



O USO DA MENSURAÇÃO DE DESEMPENHO PARA A COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRANSPORTES URBANOS PÚBLICOS

Álvaro Luiz Neuenfeldt Júnior

Doutorando em Engenharia Industrial e Gestão pela
Universidade do Porto, Portugal.

E-mail: alvjr2002@hotmail.com

Julio Cezar Mairesse Siluk

Doutor em Engenharia da Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. Professor da Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

E-mail: jsiluk@ufsm.br

Marlon Soliman

Mestrando em Engenharia da Produção pela
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

E-mail: marlonsoliman@gmail.com

Sabine Ritter de Paris

Doutoranda em Arquitetura pela Universidade do Porto, Portugal.

E-mail: sa.paris@hotmail.com

Caroline Martins Machado

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

E-mail: carolmartinsm@hotmail.com

Resumo

Inserido ao contexto social e demográfico das cidades, os sistemas de transportes públicos são considerados como um dos principais elementos para a dinâmica da mobilidade urbana. Atualmente, existem diversos modais capazes de realizar tal tarefa, o que torna o processo de comparação entre eles relevante, visto a relação custo-benefício do investimento necessário para a sua implantação. Portanto, a presente pesquisa objetiva propor uma modelagem capaz de realizar a avaliação entre sistemas de transportes públicos, através dos conceitos relativos aos métodos multicritérios de apoio à decisão e a mensuração de desempenho. Para a aplicação prática, utilizou-se o design urbano inspirado na cidade de Curitiba, constatando-se o BRT como o mais viável. Por fim, concluiu-se que a modelagem se mostrou coerente no que tange a verificação das possíveis condições de operação em um centro urbano, sendo capaz de possibilitar a previsão da maneira com que estes estão predispostos ao contexto em questão.

Palavras-chave: Transportes públicos. Métodos multicritério. Mensuração de desempenho.

THE PERFORMANCE MEASUREMENT FOR THE COMPARISON OF URBAN PUBLIC TRANSPORT SYSTEMS

Abstract

Inserted to the social and demographic context of cities, public transport systems are considered as a major factor in the dynamics of urban mobility. Currently, there are various modals capable of performing such task, which makes the comparison process between them relevant, seen the cost-benefit of the investment needed for its implementation. Therefore, this research aims to propose a modeling capable of performing the evaluation of the public transport systems through the concepts related to multicriteria methods of decision aid and performance measurement. For its practical application, it was used an urban design inspired on Curitiba city, pointing the BRT as the most feasible one. Finally, it was found that the modeling showed to be consistent regarding to the verification of the possible operational conditions in an urban center, being able to promote the prediction of the manner in which they are predisposed to context.

Keywords: Public transport. Multicriteria methods. Performance measurement.

1 INTRODUÇÃO

Acompanhando o desenvolvimento das formas de organização das sociedades modernas, atualmente, é possível afirmar que mais de 50% da população mundial está localizada em centros urbanos, o que gera uma diversidade de problemas e desafios para a vida da comunidade como um todo (WRIGHT; HOOK, 2007; LERNER, 2009).

Grande parte desse crescimento ocorreu de forma consideravelmente acelerada, gerando assim uma quantidade relativamente elevada de ocupações ilegais de territórios, bem como um aumento irreversível da especulação imobiliária, gerando altos graus de discrepância dos valores imobiliários em relação aos planejamentos concebidos em épocas passadas (KITTELSON & ASSOCIATES; HERBERT; HARRIS, 2007; DUARTE; SÁNCHEZ; LIBARDI, 2012).

Em conjunto, os deslocamentos motorizados de pessoas e cargas no contexto brasileiro acompanhou esse mesmo perfil, oriundos da necessidade de deslocamentos de maior distância desde o ponto de origem até o destino, acarretando assim no aumento do número de acidentes e na poluição, fatos esses diretamente relacionados à utilização dos modais de transportes privados em detrimento as públicos (LERNER, 2009; DUARTE; SÁNCHEZ; LIBARDI, 2012; DE CARVALHO; CORSO-PEREIRA, 2013).

Apesar desse cenário relativamente adverso, é possível observar também ao longo dos últimos anos o desenvolvimento maior de tecnologias e formas de se transportar pessoas em massa com qualidade, segurança, conforto e eficácia, de maneira a se adequarem a realidade econômica local, com reduzidos valores de investimento inicial, prospectando períodos de tempo para a sua implantação cada vez menores (DUARTE; SÁNCHEZ; LIBARDI, 2012; VASCONCELLOS, 2012).

A esse contexto podem ser citados como soluções mais difundidas atualmente no contexto brasileiro o *Bus Rapid Transit* (BRT), os ônibus tradicionais (com corredores exclusivos), o Veículo Leve sob Trilhos (VLT) e o metrô (WRIGHT; HOOK, 2007; FERREIRA, 2009; IPEA, 2011; MIRANDA; SILVA, 2012). Porém, por se tratarem de locais que possuem naturezas e características distintas de funcionamento, é possível perceber a dificuldade corrente quando do momento de se verificar quais destes atendem de maneira satisfatória as demandas dos usuários e a relação custo-benefício para implementação, visto a permanente escassez de recursos financeiros notoriamente observado na gestão pública (DRUCIAKI; FERREIRA; OLIVEIRA, 2011; BANDEIRA et al., 2012; HERNÁNDEZ, 2012).

Com isso, o presente artigo tem por objetivo propor um modelo para realizar uma avaliação comparativa capaz de abranger diversos sistemas de transportes urbanos públicos, por meio dos conceitos relativos aos métodos multicritérios de apoio à tomada de decisão e os sistemas de mensuração de desempenho.

Como justificativa para a efetivação da proposta tem-se a preocupação com a

plenitude da realização das funções consideradas básicas para o fornecimento de um serviço capaz de atender as exigências mínimas dos clientes, bem como da otimização dos recursos públicos investidos para a implantação e manutenção dos serviços propostos, evitando assim como consequência a ineficiência dos acarretes públicos, conforme proposto por Lerner (2009).

É possível perceber que as decorrências dessa ineficiência para o sistema público pode tomar proporções que envolvem os agentes envolvidos amplamente, partindo do descontentamento dos próprios usuários, capaz de resultar na migração destes para os modais privados, resultando assim no aumento da proporção do número de veículos deste tipo, causando como consequência o congestionamento ainda maior dos centros urbanos e aumentando assim o número de acidentes.

Sob o ponto de vista científico-acadêmico, pesquisas realizadas nos portais *Web of Knowledge* e *Scopus*, para o período compreendido entre 2008 e 2014, foram encontrados por meio das palavras-chaves “*urban public transport*”, “*public transport comparison*” e “*transport comparison*” ao total quarenta e dois artigos, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Levantamento das produções científicas mais relevantes na área

Autor	Temática
Akimov e Banister (2011)	A situação dos transportes públicos urbanos após a transição comunista, para o caso da cidade de Tashkent (Uzbequistão)
Albalate e Bel (2010)	Relação entre o turismo e os transportes públicos
Alvarez et al. (2010)	Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para otimizar os serviços de transportes públicos urbanos
Alves, Da Silva e Waerden. (2012)	Técnicas exploratórias para localizar potenciais usuários de transporte público urbano
Amaral (2008)	Comparativo entre a gestão pública e privada dos transportes urbanos na Europa
Amaral, Saussier e Yvrande-Billon (2009)	Estudo das formas de funcionamento dos procedimentos de licitação e concorrência dos serviços de transportes públicos na França e em Londres (Inglaterra)
Attard (2012)	Efeitos da reforma dos sistemas de transportes públicos em Malta
Betanzo-Quezada, Romero-Navarrete e Obregon-Biosca (2013)	Índice para avaliar as políticas públicas em transporte urbano de mercadorias
Burinskiene, Uspalyte-Vitkuniene e Tuminiene (2011)	Integração dos transportes públicos no planejamento urbano das cidades
Chen, Liu e Du (2011)	Estimativa do tempo de viagem dos passageiros que utilizam os transportes públicos urbanos, baseado na metodologia SP Survey
Costa e Fernandes (2012)	Contexto do transporte público na Europa, sob o enfoque da tecnologia e organização dos mercados de atuação
Cruz, Barata e Ferreira (2012)	Avaliação da performance dos sistemas públicos de transportes urbanos sob o contexto de Portugal
D'Agosto, Ribeiro e De Souza (2013)	Estudo a respeito das oportunidades de redução dos gases de efeito estufa pelo uso de combustíveis alternativos e tecnologias em transporte público urbano no Brasil
De Lieto Vollaro et al. (2013)	Otimização da eficiência energética para ônibus urbanos
Ding e Ding (2012)	Estudo empírico das redes de transportes públicos da China

Dragu, Roman e Roman (2013)	Avaliação da qualidade no transporte público
Duarte e Ultramari (2012)	Verificação das falhas e virtudes dos BRTs na cidade de Curitiba (Brasil)
Fernandez, Ch e Malbran (2008)	Design dos sistemas urbanos de transportes sob o enfoque da demanda
Githui, Okamura e Nakamura (2010)	A estrutura da satisfação de usuários no serviço de transporte público urbano em países em desenvolvimento
Heredero, Bermejo e Botella (2012)	O impacto dos sistemas de suporte operacionais (OSS) na melhoria dos serviços de transporte público urbano
Heres, Jack e Salon (2013)	Estudo da relação entre os investimentos em transportes e o desenvolvimento econômico nos centros urbanos, para o caso da aplicação dos sistemas Bus Rapid Transit de Bogotá (Colômbia)
Horváth (2012)	Método de previsão da demanda de passageiros para o contexto dos transportes públicos
Ibrahim-Adedeji (2011)	Estudo das características socioeconômicas e verificação da percepção dos usuários a respeito dos transportes urbanos em Lagos (Nigéria)
Joheni (2012)	Situação dos transportes públicos na Venezuela
Kaltenbrunner et al. (2010)	Ciclos urbanos e padrões de mobilidade: Maneiras de explorar e prever tendências em um sistema de transporte público baseada em bicicleta
Langford, Higgs e Fry (2012)	O uso da técnica <i>Floating Catchment Analysis</i> (FCA) para examinar as variações intraurbanas de acessibilidade nos transportes públicos urbanos em Cardiff (País de Gales)
Li Ming, Rissel e Fu (2013)	O efeito de transporte ativo, os sistemas de transporte e desenho urbano na saúde da população
Matsunaka et al. (2013)	Comparação entre as estruturas e o nível de serviço dos transportes urbanos, sob o enfoque de multicasos
Moura, Ibeas e Dell’Olio (2010)	Modelo de simulação para o planejamento do transporte de suprimentos em áreas urbanas, onde existe a ocorrência de elevados índices de congestionamentos
Petrovic et al. (2009)	Utilização de combustíveis alternativos nos ônibus da cidade de Belgrado (Sérvia)
Pflieger et al. (2009)	Correlações entre o passado e o presente dos transportes e políticas de planejamento urbano
Polat (2012)	Revisão de literatura da determinação do perfil da demanda que utiliza os sistemas públicos de transportes
Ralevic et al. (2012)	Modelo matemático para avaliar a eficiência dos sistemas urbanos e suburbanos públicos de transportes
Roháčová (2013)	A otimização dos transportes públicos urbanos a partir do método <i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA)
Roumboutsos e Kapros (2008)	Abordagem relacionada a maneira com que a teoria dos jogos pode ser aplicada para a política de integração dos transportes públicos urbanos
Salonen e Toivonen (2013)	Modelagem para comparar o tempo de viagem necessário entre os meios de deslocamentos privados e os públicos motorizados

Sezhian et al. (2011)	Desenvolvimento da matriz de importância do desempenho para empresas de transportes do sector público
Shibayama (2011)	Comparação esquemática das estruturas organizacionais dos transportes públicos urbanos
Sobota e Zochowska (2008)	Modelo para a verificação da pontualidade dos transportes públicos urbanos
Sui et al. (2012)	Modelo para verificar a evolução do espaço e a análise empírica de redes de transportes públicos urbanos
Wei e Kao (2010)	Medir o envolvimento do viajante em relação aos serviços públicos de transporte da cidade de Kaohsiung (Taiwan)
Yatskiv, Pticina e Savrasovs (2012)	Estimativa de confiabilidade de sistemas de transportes públicos urbanos utilizando simulação microscópica

Fonte: A autoria própria

Por meio do levantamento das publicações científicas apresentadas, constatou-se que o enfoque das pesquisas está voltado majoritariamente para a questão das maneiras com que os diferentes tipos de transportes públicos estão enquadrados ao contexto urbano, individualmente para cada modal. Dessa forma, observou-se uma lacuna referente à inexistência de modelagens consolidadas capazes de avaliar comparativamente a dinâmica de operação destes, de modo que a abordagem proposta visa contornar esta deficiência, a partir de uma ferramenta prática que auxilie no processo de tomada de decisão.

Ainda, é imprescindível afirmar que em momento algum foi foco desta pesquisa o desenvolvimento de uma pesquisa bibliográfica em detalhes sobre o tema, de modo que para tanto haveria a necessidade de se incrementar o campo, os indexadores e o período compreendidos na busca.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

Decorrente dos estudos relativos as melhorias na forma com que o trânsito nas cidades está distribuído ao decorrer da sua amplitude, nota-se que a eficiência dos transportes privados motorizados está cada vez mais reduzida, fruto da relação existente da desconexão dos planejamentos urbanísticos em relação a realidade de ocupação dos solos (WRIGHT; HOOK, 2007; DUARTE; SÁNCHEZ; LIBARDI, 2012).

Diante desse contexto, o oferecimento de serviços públicos torna-se uma das principais formas de escoar o fluxo de veículos, devendo oferecer aos usuários um serviço eficaz e democrático de mobilidade e acessibilidade, contextualizados com as políticas de planejamento urbano, integrado a outras plataformas (LERNER, 2009; VASCONCELLOS, 2012).

Dentre algumas das alternativas públicas de locomoção, o ônibus tradicional é considerado como a mais difundida atualmente, no qual é necessário para a sua operacionalização a simples definição de itinerários independentes, onde cada um possui uma frota específica para o seu cumprimento, havendo para tanto a existência de uma agência reguladora responsável por definir as diretrizes do transporte público no local, com cobrança das tarifas realizada no interior do veículo e paradas de ônibus sinalizadas por meio de postes ou coberturas simples (SILVA; COSTA; MACEDO, 2008).

De modo considerado como evolutivo em relação ao ônibus tradicional de transporte, o BRT se insere no contexto das cidades como um modal sob pneus que visa o oferecimento de um serviço com melhorias significativas no contexto da mobilidade urbana, sob o

cumprimento de quatro preceitos básicos: prestação de um serviço rápido, confortável, eficiente e de qualidade, por meio da utilização de corredores exclusivos com as mesmas características dos transportes sobre trilhos, integrando as demais formas existentes (LEVINSON et al., 2003; WRIGHT; HOOK, 2007; KOEHLER; CAMPONOGARA; KRAUS JUNIOR, 2011; BRASIL, 2012).

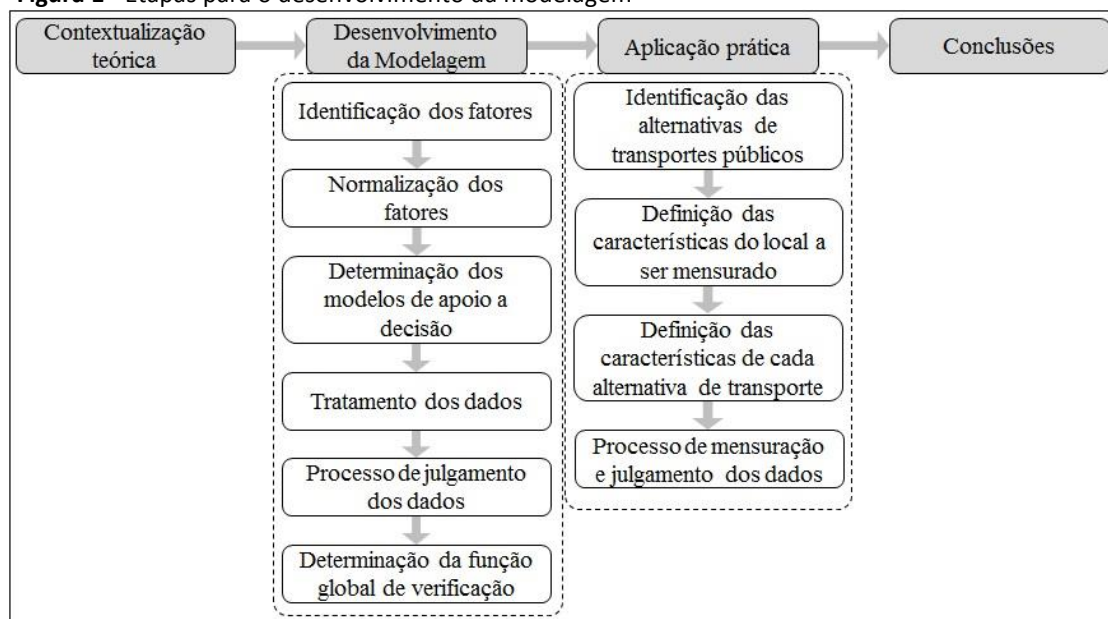
Quanto aos modais públicos sobre trilhos, os metrô surgiram no século XIX como uma alternativa de conectar as localidades de maneira expressa e não concorrente ao trânsito dos veículos, seja de forma elevada, no mesmo nível dos leitos das ruas ou até mesmo por túneis, arranjados em redes interligadas, visando o transporte de um elevado número de pessoas simultaneamente por viagem, evitando assim o seu contato direto com os modais motorizados (BOARETO; 2007; LERNER, 2009).

Por fim, a quarta classificação está proposta com base nos veículos denominados por *Veículo Leve sobre Trilhos (VLT)*, onde circulam por meio de trilhos instalados nas vias das cidades, geralmente partilhando o espaço de circulação com outros tipos de locomoção, possuindo como característica predominante o uso da energia elétrica para o seu funcionamento, além da fácil mecânica adotada para a captação dos usuários (LERNER, 2009; VASCONCELLOS, 2012).

3 METODOLOGIA

De modo a compreender os principais aspectos abordados para a resolução do objetivo proposto, a pesquisa será compreendida sob quatro prismas distintos, interligados sob o regime sequencial conforme proposta concebida na Figura 1.

Figura 1 - Etapas para o desenvolvimento da modelagem



Fonte: Autoria própria

A primeira etapa da pesquisa está compreendida pelo estudo a respeito das principais teorias e conceitos a respeito dos temas abordados durante o referencial teórico. Para tanto, houve a necessidade de se recorrer a ferramentas de investigação capazes de retornar ao pesquisador informações com alto grau de fundamento, utilizando-se prioritariamente o portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES),

assim como dos editores *Web of Knowledge* e *Scopus*, a fim de obter artigos publicados em revistas tanto relacionadas ao âmbito nacional quanto internacional, além de referências em livros sobre os principais autores e anais de congressos.

Quanto ao desenvolvimento da modelagem, esta é proposta inicialmente por meio da verificação dos fatores (d), $\forall d = \{1, 2, \dots, n\}$, considerados como críticos para o sucesso de sua implantação, por meio das informações descritas por Levinson et al. (2003), Kittelson & Associates, Herbert e Harris (2007), Wright e Hook (2007), Lerner (2009), NTU (2011), Arruda et al. (2012), Vasconcellos (2012) e Embarq Brasil (2013).

Porém, devido a divergência em suas características houve a necessidade de se vincular a verificação o processo de normalização dos resultados para uma escala α , $\forall \alpha \in \{1, 2, \dots, 10\}$, concebido segundo as diretrizes vinculadas ao *software* PerformancePoint Server® (2007), desenvolvido pela *Microsoft Corporation*®, por ser uma ferramenta de simples aplicação que atende satisfatoriamente a demanda para a unificação das unidades de medida disponibilizadas em cada um dos fatores encontrados.

Quanto ao processo de apoio à tomada de decisão designou-se a utilização de três métodos, com base nos pressupostos descritos por Guitouni e Martel (1998) e representados pelo índice ma , $\forall ma = \{1, 2, 3\}$: AHP Clássico ($ma = 1$), AHP Referenciado ($ma = 2$) e AHP B-G ($ma = 3$), relacionados a uma escala própria de valores, segundo as suas características, gerando resultados numéricos capazes de mensurar o seu desempenho relativo ao contexto global do problema. Para tanto, a fim de cumprir com os pressupostos da AHP Clássica houve a prévia necessidade do Tratamento dos dados para uma escala qualitativa β , $\forall \beta \in \{1, 2, \dots, 9\}$, com base nos pressupostos de Saaty (1980).

A seguir ocorreram os julgamentos dos dados, com base nos procedimentos descritos pelos métodos supracitados, o que permitiu posteriormente a formulação da função-objetivo para agregar os resultados encontrados, de modo a unificar e apontar a situação das s alternativas de transportes públicos, $\forall s \in \{1, 2, 3, 4\}$, em relação ao contexto adotado.

Por fim, foi proposta a aplicação propriamente dita do modelo, contando com a prévia definição das características do local escolhido, no caso a cidade de Curitiba, devido a esta ser referência no que tange a questão da implementação de soluções eficazes para o transporte público urbano. Em conjunto, houve a caracterização das quatro alternativas de transportes escolhidas para verificação, ônibus tradicional ($s = 1$), o *Bus Rapid Transit* (BRT) ($s = 2$), o metrô ($s = 3$) e o Veículo Leve sob Trilhos (VLT) ($s = 4$), independente se o centro urbano selecionado possui ou não tais modelos instalados em seu contexto de mobilidade viária, pois o estudo visa projetar quais poderiam se enquadrar melhor ao sistema em questão.

4 DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM

A fim de demonstrar as bases utilizadas para a construção da modelagem proposta, torna-se necessário a discussão para a mensuração do desempenho de cada alternativa, bem como das formas com que será realizada a analogia destas com os critérios elencados, a fim de se obter resultados quantitativos condicentes com a realidade encontrada ao contexto dos centros urbanos a serem estudados.

Para tanto, com base nas bibliografias descritas na etapa metodológica, houve a determinação de nove fatores considerados como críticos, conforme mostra o Quadro 2, onde:

CV: Representa a capacidade unitária de cada veículo;
FR: Frequência de veículos por hora designados para trafegar;
v: Número de veículos possíveis de serem utilizados, $\forall v \in \{1, 2, \dots, n\}$;
 ϑ : Grau de flexibilidade do sistema, $\forall \vartheta \in \{1, 2, \dots, 10\}$;
 γ : Possibilidade de se atender aos eventos especiais, $\forall \gamma \in \{1, 2, \dots, 10\}$;
tr: Cada tarefa executada nas atividades preliminares a operacionalização, $\forall tr \in \{1, 2, \dots, n\}$;
VPB, VF, VPE e VIMP: Respectivamente os valores estimados para o projeto básico, financiamento, projeto executivo e implantação;
PPB, PF, PPE e PIMP: Relativos aos prazos para a conclusão do projeto básico, financeiro, executivo e implantação;
pas: Expectativa de passageiros diária que utiliza o transporte público, $\forall pas \in \{1, 2, \dots, n\}$;
 \overline{DE} : Distância percorrida desde a origem até a estação;
 \overline{DP} : Distância percorrida na plataforma de embarque;
 \overline{AR} : Deslocamento necessário para se chegar do ponto de desembarque até a rua;
 \overline{TAE} , \overline{TAP} , \overline{TT} e \overline{TAR} : Respectivamente, os valores estimados para o tempo médio necessário para se chegar a estação, até a plataforma, do transporte propriamente dito e para se chegar até rua;
q: Índice de mensuração da qualidade dos serviços prestados, $\forall q \in \{1, 2, 3, 4\}$, onde $q=1$ proposto para a verificação da qualidade dos veículos, $q=2$ para a qualidade das estações, $q=3$ referente a acessibilidade e $q=4$ a operação propriamente dita;
 β : Módulo da qualidade das diferentes formas de avaliação propostas em **q**, $\forall \beta \in \{1, 2, \dots, 10\}$; e
 ρ : Medida do nível de inserção da alternativa em relação ao centro urbano, $\forall \rho \in \{1, 2, \dots, 10\}$.

Quadro 2 - Fatores determinados para a modelagem proposta

Fatores (d)	Propósito	Unidade medida	Métrica proposta (Id)	Escala	Tendência
Capacidade (d=1)	Lotação media permitida por trecho capaz de atender aos requisitos mínimos para o deslocamento dos usuários, de maneira segura e com qualidade, inclusive em horários considerados “de pico”	Absoluta	$I1 = \frac{\sum_{v=1}^n (CV \cdot FR)_v}{n}$	$[0, +\infty)$	Crescente
Flexibilidade (d=2)	Estar devidamente adequado a relação entre a capacidade de se adequar ao aumento cada vez maior da densidade demográfica dos centros urbanos, quando do momento da sua instalação	Absoluta	$I2 = \vartheta$	$[1, 10]$	Crescente
Demandas especiais (d=3)	Atendimento a situações especiais que compreendem a realização de eventos de diversos tipos, visando aumentar a capacidade de deslocamento das pessoas em comparação com o serviço	Absoluta	$I3 = \gamma$	$[1, 10]$	Crescente

	privado motorizado				
Investiment o necessário (d=4)	São os custos propriamente ditos alocados para a implementação do sistema, desde o seu planejamento até a operacionalização	Monetária (Reais)	$I4 = \sum_{tr=1}^n (VPB + VF + VPE + VIMP)_{tr}$	[0, +∞)	Decrescente
Prazos (d=5)	Tempo médio em que as obras básicas para o funcionamento do sistema demandam para serem concluídas	Anos	$I5 = \sum_{tr=1}^n (PPB + PF + PPE + PIMP)_{tr}$	[0, +∞)	Decrescente
Distância para deslocament o usuário (d=6)	Distância necessária para que usuário consiga realizar o seu deslocamento até a estação de embarque e, consequentemente, ao modal de transporte estudado	Quilômetros	$I6 = \frac{\sum_{par=1}^n (DE+DF+AR)_{par}}{n}$	[0, +∞)	Decrescente
Tempo para deslocament o usuário (d=7)	Tempo médio necessário para que o usuário realize o seu deslocamento desde o seu ponto de origem até a saída da estação de destino	Horas	$I7 = \frac{\sum_{par=1}^n (TAE+TAP+TT+TAR)_{par}}{n}$	[0, +∞)	Decrescente
Nível de conforto (d=8)	Determinado de acordo com a situação em que o passageiro é tratado durante todas as etapas da prestação do serviço	Absoluta	$I8 = \frac{\sum_{q=1}^n \beta_q}{n}$	[1, 10]	Crescente
Nível de inserção no centro urbano (d=9)	Relacionado a imagem pública da prestação do serviço e das instalações constituídas para a sua operação em proporção ao plano urbanístico local	Absoluta	$I9 = \rho$	[1, 10]	Crescente

Fonte: Autoria própria

Percebe-se que a mensuração dos fatores não foi determinada em unidades de medidas constantes, onde para se obter um valor proporcional entre eles é necessário se realizar a normalização de cada um para uma unidade considerada padrão.

Para tanto, a metodologia do *software PerformancePoint Server*® (2007) propõe a realização do procedimento de padronização para cada indicador através do cumprimento de seis etapas distintas, iniciando pelo cálculo da pontuação bruta ($GP_s(Id)$) em relação à TId e Id_s , conforme a Equação (1),

$$GP_s(Id) = \begin{cases} \infty, \frac{\theta \cdot Id_s}{TId} \left\{ \lim_{Id_s \rightarrow 0} [PB_s(Id)] = 0 \right. \\ \quad \theta = 1 \\ 0, \frac{TId}{\theta \cdot Id_s} \left\{ \lim_{Id_s \rightarrow 0+} [PB_s(Id)] = \infty \right. \\ \quad \theta = 1 \end{cases} \quad (1)$$

onde θ é a constante na definição da curva da função $GP_s(Id)$ e $PB_s(Id)$ é a pontuação bruta obtida da métrica utilizada em cada indicador. Ainda, foi necessário parametrizar a métrica do alvo (ou meta) TId , segundo a Equação (1), a partir da determinação do nível de exigência (NE) esperado no momento de aplicar o modelo, $\forall NE \geq 0$, de modo a ser atribuído conforme as expectativas de performance esperadas para a avaliação do contexto ($TId \propto NE$).

A seguir, é necessário determinar os limites e as faixas em que as pontuações estão localizadas, de forma a identificar o seu posicionamento em relação a uma classificação padrão, o que deve representar o seu nível de desempenho de acordo com as r faixas estabelecidas, das quais permeiam desde o valor considerado mínima N_{min} até o máximo N_{max} , sendo os valores limites superiores (LS_r) para cada faixa determinados pela Equação (2), a partir das diferenças Δ_r originadas do intervalo de valores assumido.

$$LS_r = \begin{cases} r = N_{max}, Id_{max} \begin{cases} Id_{max} \geq 100\% \rightarrow Id_{max} = 100\% \\ Id_{max} < 100\% \rightarrow Id_{max} \end{cases} \\ r \in \{2, \dots, NF_{max-1}\}, \Delta_r + LS_{r-1} + u_i \\ r = N_{min}, Id_{min} \begin{cases} Id_{min} \leq 0 \rightarrow Id_{min} = 0 \\ Id_{min} > 0 \rightarrow Id_{min} \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

Para tanto, u_i é a constante que determina a diferença de LS_{r-1} e o limite inferior LI_r entre duas faixas subsequentes, $\forall \sum_{k=NF_{min}}^{NF_{max}} \Delta_r = 100\%$. O próximo passo é o cálculo do fator limite $FL_s(LS_r)$, ajustando proporcionalmente LS_r e LI_r para o comprimento em que $GP_s(Id)$ está compreendida, através da Equação (3). Como consequência, a pontuação convertida (PC_r) é calculada pela relação da distância entre a pontuação bruta e o respectivo limite inferior da faixa em que ela está localizada, conforme a Equação (4),

$$FL_s(LS_r) = [LS_r - (LS_{r-1} - u_j)] * NF_{max} \quad (3)$$

$$PC_r = 0,01 * \left[\frac{GP(Id) - (LS_{r-1} - u_j)}{FL(LS_r)} \right] \quad (4)$$

onde u_j é a constante na definição da curva da função $FL(LS_r)$.

A PC_r tem por finalidade relacionar o valor bruto em relação aos limites da faixa. Com isso, afere-se com precisão o posicionamento dessa pontuação, a partir do referencial estabelecido pela faixa de desempenho mínima (N_{min}), a fim de determinar a quantidade de ajustes necessários para a padronização das pontuações brutas $AF_s(r)$, Equação (5).

Por fim, é possível encontrar através da Equação (6) o valor dos indicadores normalizados (Ind_s), com base no formato escalar linear α , com base nos pressupostos descritos pela Escala Likert, $\forall \alpha \in \{1, 2, \dots, 10\}$, considerando o valor igual a 1 como o mínimo possível de ser atingido e 10 o máximo,

$$AF_s(r) = \frac{r-1}{NF_{max}}, \forall r \in \{1, \dots, NF_{max-1}\} \quad (5)$$

$$Ind_s = (PC_r)_s + AF(r)_s \quad (6)$$

e, com os resultados dos fatores normalizados, parte-se para o cálculo relativo as comparações paritárias das s alternativas de transportes públicos supracitadas, considerando para tanto a utilização de três métodos multicritério: A AHP Clássica ($ma = 1$), o AHP Referenciado ($ma = 2$) e a AHP B-G ($ma = 3$).

Como para as matrizes de julgamentos optou-se por técnicas cujos pressupostos estão descritos com base na AHP, o tratamento dos dados inicia-se com a conversão dos indicadores normalizados (Ind_s), apontados ao decorrer da coleta de dados e que se encontram descritos na escala α , Equação (7) para a escala β , relativa a avaliação fundamental desenvolvida por Saaty (1980), que compreende valores entre $\beta = (1;9)$ que geram novas parametrizações para a avaliação descritas como $cInd_s$,

$$cInd_s = Ind_s \times \frac{cInd_s \max}{Ind_s \max} \quad (7)$$

onde $cInd_s \max$ e $Ind_s \max$ são relativos aos máximos possíveis de serem atingidos em $cInd_s$ e Ind_s .

Assim, a AHP Clássica consiste na verificação, por meio da realização de julgamentos durante todos os níveis da estrutura hierárquica estudada, de quais alternativas elencadas são mais interessantes para o caso, gerando assim uma pré-ordem das opções a fim de facilitar a escolha a ser realizada pelos decisores, tendo por premissa básica a obtenção de pesos capazes de indicar a importância relativa existente de cada um dos fatores através da interação paritária em entre eles (MARINS et al., 2010; SAATY; SHANG, 2011; SAATY; VARGAS, 2012).

Por meio das C_{cInd_s} matrizes de julgamentos é possível o cálculo dos vetores prioridades normalizados $\bar{w}_s(C_{cInd_s})$ para cada fator em relação à s alternativas elencadas que, posteriormente, são normalizadas a partir das definições contidas na Equação (8), com base nos pressupostos de Gomes e Gomes (2012),

$$\bar{w}_s(C_{cInd_s}) = \frac{\bar{w}_i(C_{cInd_s})}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i(C_{cInd_s})} \rightarrow \sum_{s=1}^n \bar{w}_s(C_{cInd_s}) = 1 \quad (8)$$

onde $\bar{w}_i(C_{cInd_s})$ é o vetor não normalizado que sinaliza o quanto cada alternativa é relevante para o critério d em questão, de modo que o resultado final do julgamento daquele para com esses, segundo os pressupostos da AHP Clássica (RM_{S_1}), ocorre por meio da Equação (9).

$$RM_{S_1} = \frac{\sum_{d=1}^n \bar{w}_s(C_{cInd_s})}{n} \quad (9)$$

Saaty e Shang (2011) definem que para todo e qualquer modelo existe a necessidade de definir a consistência lógica dos julgamentos realizados em cada um dos níveis da estrutura, partindo do pressuposto que os avaliadores da situação podem ser, no momento da tomada da decisão, inconsistentes com a definição dos pesos para os fatores, onde a medida dessa

relação é apresentada a razão de consistência ($CM_{C_{clId_s}}$).

No caso de $CM_{C_{clId_s}}$ exceder o limite tolerável para o modelo ($\geq 0,1$), o tomador de decisão deve realizar a revisão das comparações definidas atribuindo novas pontuações para os subcritérios envolvidos no julgamento proposto (SAATY, 1980). Ao contrário da AHP Clássica, a Análise Hierárquica Referenciada e a B-G realizam a concepção da normalização dos resultados não apenas através da relativização dos valores encontrados nas C_{clId_s} matrizes de julgamentos.

No caso da primeira, pela introdução de uma constante K de proporcionalidade para a comparação, conforme as características das unidades de medida do modelo, seguido dos fatores denominados por escala (q_{Id_s}) que definem a medida de cada critério proporcionalmente as unidades do objetivo, para se chegar, finalmente, ao cálculo da importância de cada um deles (x_{Id_s}), descrito pela Equação (10), baseado nos pressupostos descritos por Gomes e Gomes (2012),

$$x_{Id_s} = K * q_{Id_s} * \sum_{d=1}^n (T_s)_d \quad (10)$$

onde T_s é o módulo relativo ao valor absoluto do fator para a alternativa estudada no momento.

Quanto ao grau de priorização de cada família em relação aos fatores elencados, é proposta a elaboração das matrizes de julgamento, da mesma forma que o procedimento descrito pela AHP Clássica, de modo a se tornar viável determinar os vetores para os resultados do seu conjunto de fatores ($\bar{v}_s(C_{clId_s})$), normalizados por intermédio do vetor $\bar{v}_{P_s}(C_{clId_s})$ em relação aos resultados obtidos para as alternativas, de acordo com a Equação (11) (GOMES; GOMES, 2012),

$$\bar{v}_{P_s}(C_{clId_s}) = \frac{\bar{v}_s(C_{clId_s})}{\sum_{s=1}^n \bar{v}_s(C_{clId_s})} \rightarrow \sum_{i=1}^n \bar{v}_{P_s}(C_{clId_s}) = 1 \quad (11)$$

de maneira que a importância relativa das alternativas (RM_{S_2}) pode ser observada para o Processo de Análise Hierárquica Referenciada através da analogia com o valor encontrado em x_{Id} e $\bar{v}_{P_s}(C_{clId_s})$, resultando na proposta descrita pela Equação (12):

$$RM_{S_2} = \sum_{d=1}^n x_{Id_s} * \bar{v}_{P_s}(Id_s) \quad (12)$$

Enquanto isso, para o processo de análise B-G, primeiramente deve-se encontrar dentro das matrizes de julgamentos, o maior valor dos resultados estabelecidos para cada alternativa $\bar{v}_i(C_{clId_s})$, denominado por z_{max} , a fim de tornar este proporcional a uma unidade de medida em relação aos outros valores em C_{clId_s} , de acordo com o procedimento estabelecido pela Equação (13),

$$\max_{i \in C_{clId_s}} \bar{v}_i(C_{clId_s}) = z_{max} \propto 1;$$

$$\text{sujeito a: } \begin{cases} z_{\max} = \bar{v}_i(C_{cId_s}) * \frac{1}{\bar{v}_i(C_{cId_s})} \\ i = 1, 2, \dots, n \\ z_{\max} \cong 1 \\ z_{iId_s} = \bar{v}_i(C_{cId_s}) * \frac{1}{z_{\max}} \end{cases} \quad (13)$$

obtendo-se como produto os elementos z_{iId} proporcionais ao valor máximo, sendo o valor da importância de cada fator (δ_{Id_s}) proposto pela Equação (14) e, conseqüentemente, o cálculo pela Equação (15) para o resultado final de cada alternativa (RM_s).

$$\delta_{Id_s} = K * q_{Id_s} * z_{\max} \quad (14)$$

$$RM_s = \sum_{d=1}^n \delta_{Id_s} * z_{iId_s} \quad (15)$$

Com isso, é possível obter o resultado final de modo que compreende os valores de todos os métodos estabelecidos ($RM_{s_{ma}}$), a fim de exprimir com maior confiabilidade a solução ótima para a modelagem se comparado a utilização de apenas um método individualizado, onde a compilação desses resultados proposta pela Equação (16) através do índice RM_s ,

$$RM_s = \sqrt[n]{\prod_{ma=1}^n RM_{s_{ma}}} \quad (16)$$

considerando uma importância de grau equivalente entre os métodos selecionados.

5 APLICAÇÃO E RESULTADOS

Para a aplicação da proposta, inicialmente foi necessário definir quais as alternativas de transportes e as características do trecho a ser verificado, de modo que, para o primeiro, foram adotados os quatro modais citados no referencial teórico, de acordo com as características mostradas pelo Quadro 3, enquanto para o segundo ponto foi utilizado como padrão a configuração encontrada no centro urbano da cidade de Curitiba, em um trecho de 20 km, para uma demanda de passageiros considerada como rotineira.

Quadro 3 - Características das alternativas de transportes propostas

Alternativa	Tempo Veículo	Tipo Via	Tipo Estação	Tipo Linha	Veloc. linha (km/h)
Metrô	Trem oito carros	Segregada	Sem ultrapassagem	Paradora	40
VLT	Trem quatro carros	Segregada parcialmente	Sem ultrapassagem	Paradora	20
BRT	Biarticulado	Exclusiva	Sem ultrapassagem	Paradora	20
Ônibus Tradicional	Convencional	Segregada parcialmente	Ponto de parada	Paradora	17

Fonte: Lerner (2009)

A estimativa conta com a utilização de um metrô composto por oito vagões, subterrâneo, onde a via é segregada para cada um dos dois sentidos, havendo a disponibilização de estações de embarque e desembarque a uma distância média de 1 km, com uma velocidade média de 40 km/h por trecho. Para o VLT, considera-se a utilização de um trem com quatro vagões, sendo a via segregada parcialmente em um mesmo nível da de veículos motorizados, dividindo apenas os cruzamentos com estes, em trilhos com duplo sentido que não permitem a ultrapassagem, com terminais localizados em média a cada 0,8 km de distância. Em relação à velocidade média, o sistema foi projetado para operar a 20 km/h.

Quanto aos BRTs, estes estão determinados para servirem os clientes por meio de ônibus biarticulados, em vias com corredores exclusivos ao mesmo nível dos outros tipos de veículos motores, porém sem espaço para que haja ultrapassagem, havendo terminais localizados a cada 0,8 km aproximadamente.

Por fim, tem-se o modelo de ônibus conhecido como tradicional, por meio da utilização da via em compartilhamento com os modais de uso privado, disponibilizando para o transbordo dos passageiros uma estrutura conhecida como parada de ônibus coberta, distantes entre elas de 0,8 km em média e com velocidade de 17 km/h.

Assim, parte-se para o cruzamento dessas características com os dados necessários para a mensuração dos fatores propostos. Diante das proposições e com cada uma das alternativas para os indicadores, o Quadro 4 mostra os resultados obtidos para cada uma delas.

Quadro 4 - Resultados obtidos em cada indicador por alternativa proposta

Alternativas	Fatores normalizados (I_{nd_s})								
	$d = 1$	$d = 2$	$d = 3$	$d = 4$	$d = 5$	$d = 6$	$d = 7$	$d = 8$	$d = 9$
Metrô ($s = 1$)	1,00	0,09	0,25	0,05	0,25	0,23	0,55	0,54	0,44
VLT ($s = 2$)	0,29	0,43	0,41	0,24	0,38	0,82	0,61	0,61	0,51
BRT ($s = 3$)	0,23	0,70	0,58	0,90	0,92	0,82	0,47	0,58	0,66
Ônibus Tradicional ($s = 4$)	0,07	0,78	0,75	1,00	1,00	0,82	0,41	0,25	0,37

Fonte: Elaboração própria

Com os resultados mensurados é possível perceber que o metrô, apesar de possuir uma capacidade superior de transportar passageiros, demanda de altos investimentos para a sua concepção e operacionalização (estimativa aproximada de US\$ 840 milhões), o que exige a construção de estruturas de maior grau de complexidade, além de maiores prazos para a conclusão das obras (em torno de 9 anos). Por consequência, esse tipo de inserção afeta de maneira direta e mais intensiva, em relação aos outros modais, na forma da utilização dos solos da área urbana e no nível de flexibilidade deste as possíveis mudanças especiais necessárias.

Outro ponto a considerar é a necessidade que o usuário tem de se deslocar até chegar aos vagões (900 m), pois geralmente esse tipo de estrutura se encontra instalada subterraneamente nas cidades, havendo assim um maior trajeto a ser percorrido em relação aos meios de deslocamento públicos terrestres que, neste caso, foram calculados como de igual proporção (250 m), considerando-se um mesmo ponto de origem para as situações. Em contrapartida, tem-se que o metrô se apresenta como melhor opção no que tange o total de passageiros possíveis de serem transportados por hora por trecho, pois pode comportar apenas em uma viagem cerca de 2000 a 3000 usuários, dependendo das suas dimensões.

Em outro espectro se encontra o BRT, que se destaca principalmente pelo

atendimento de forma flexível a demandas especiais anuais, a boa relação investimentos-benefícios para a sua efetivação (US\$ 46 milhões), no qual possibilita gerar um nível de inserção em relação à sociedade de modo integrado a outros meios de transportes, tanto públicos quanto privados.

Em conjunto, cabe o destaque especial para o desempenho do Ônibus Tradicional em quatro dos nove fatores listados ($d = 2, 3, 4, 5$) porém, em outras quatro situações a avaliação do seu desempenho retornou resultados muito abaixo da expectativa ($d = 1, 7, 8, 9$), principalmente devido ao nível em que as diversas formas de serviços são oferecidas aos clientes, das quais culminam no pouco conforto disponibilizado desde na espera até o decorrer do transporte em si e na baixa eficiência quanto da capacidade de transporte (em média 80 passageiros por viagem).

Por fim, o VLT se apresentou como uma solução intermediária na relação entre qualidade e custo de implantação de um sistema público de transportes, destacando-se no que os pontos relacionados a estimativa de tempo em que o usuário necessita para fazer o deslocamento (26 minutos) e ao conforto disponibilizado, o qual exige uma contrapartida financeira mínimo de instalação prevista de US\$ 168 milhões.

Dessa forma, por meio dos dados normalizados descritos no Quadro 5 houve a possibilidade de se conceber os julgamentos relativos a condição de cada uma das alternativas ao contexto urbano designado, conforme mostra o Quadro 4 relativa aos resultados dos três modelos selecionados (RM_s) e da função-objetivo (RM_s).

Por consequência dos resultados descritos nos fatores, é possível confirmar que a tendência de avaliação positiva do BRT se confirma para todos os métodos, com um valor global $RM_3 = 30\%$, apenas 1% superior se comparado ao segundo melhor resultado encontrado para o ônibus tradicional ($RM_4 = 29\%$), que ainda se apresenta como uma alternativa viável por ser relativamente flexível e com baixos custos de implantação e manutenção da frota em comparação com os outros.

Ainda, com 7% de diferença para o segundo colocado se encontra o VLT ($RM_2 = 21\%$), e, por fim, com $RM_1 = 20\%$ se encontra a alternativa de transporte metroviária para o trecho, fato esse diretamente relacionado aos baixos valores obtidos na mensuração de seis dos nove fatores. Em complemento, para o método AHP Clássico, verificou-se que todas as razões de consistência ($CM_{C_{clás}}$) calculadas para as matrizes estão abaixo do valor limite estipulado de 0,1, conferindo assim um elevado grau de confiabilidade dos julgamentos.

Quadro 5 - Resultados obtidos em cada método de avaliação proposto

Alternativas	AHP Clássico (RM_{s1})	AHP Refer. (RM_{s2})	AHP B-G (RM_{s3})	RM_s
Metrô ($s = 1$)	20%	18%	20%	20%
VLT ($s = 2$)	23%	21%	21%	21%
BRT ($s = 3$)	30%	31%	30%	30%
Ônibus Tradicional ($s = 4$)	28%	30%	29%	29%

Fonte: Elaboração própria

6 CONCLUSÕES

Por intermédio do desenvolvimento do estudo e dos resultados obtidos na aplicação prática proposta, tem-se que o objetivo, de propor um modelo capaz de realizar uma avaliação comparativa capaz de abranger diversos transportes urbanos públicos, se mostrou coerente no que tange a verificação das possíveis condições de operação em um centro urbano.

Ainda, com a modelagem foi possível obter maiores subsídios para embasar futuras

discussões a respeito, principalmente, da utilização de um ou mais modais de transportes públicos, sendo capaz de possibilitar a previsão da maneira com que estes podem estar predispostos ao contexto.

Em contrapartida, optou-se por adotar uma ferramenta de mensuração de desempenho, devido a sua funcionalidade e flexibilidade na busca por resultados que correspondam a realidade de pesquisa em questão, e por estar de acordo com os pressupostos de apoiar o estudo de estratégia sobre a gestão do conhecimento para esfera pública.

Para tanto, houve a necessidade de se adotar uma concepção preliminar sobre o tema, por meio da utilização de embasamentos teórico-práticos, que culminaram na obtenção dos principais fatores que podem estar influenciados com a implantação de transportes no setor público urbano.

Como limitações da pesquisa verificou-se a necessidade de se realizar um elevado detalhamento das características tanto do local quanto das alternativas propostas, o que tornou a aplicação limitada para o contexto urbano encontrado, implicando na necessidade.

Em futuros trabalhos, da utilização da mensuração em outras configurações urbanas, a fim de perceber a existência do grau de similaridade entre os resultados.

REFERÊNCIAS

- ALBALATE, D.; BEL, G. Tourism and urban public transport: holding demand pressure under supply constraints. **Tourism Management**, v. 31, n. 3, p. 425-433, 2010.
- AKIMOV, A.; BANISTER, D. Urban public transport in post-communist transition: the case of Tashkent, Uzbekistan. **Comparative Economic Studies**, v. 53, p. 721-755, 2011.
- ALVAREZ, A. et al. A computational tool for optimizing the urban public transport: A real application. **Journal of Computer and Systems Sciences International**, v. 49, n. 2, p. 244-252, 2010.
- ALVES., V. F. B.; DA SILVA, A. N. R.; & WAERDEN, P. V. D. Exploratory techniques for locating potential users of urban public transportation. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 3, p. 180, 2012.
- AMARAL, M. Public vs private management of public utilities - the case of urban public transport in Europe. **Research in Transportation Economics**, v. 22, n. 1, p. 85-90, 2008.
- AMARAL, M.; SAUSSIÉ, S.; YVRANDE-BILLON, A. Auction procedures and competition in public services: The case of urban public transport in France and London. **Utilities Policy**, v. 17, n. 2, p. 166-175, 2009.
- ARRUDA, B. D. L. et al. Uma proposta de avaliação de desempenho para os sistemas de transporte rodoviário interurbano de passageiros. **Transportes**, v. 20, n. 1, p. 41-49, 2012.
- ATTARD, M. Reforming the urban public transport bus system in Malta: Approach and acceptance. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 46, n. 7, p. 981-992, 2012.
- BANDEIRA, J. M. et al. Impact of land use on urban mobility patterns, emissions and air quality in a Portuguese medium-sized city. **Science of The Total Environment**, v. 409, n. 6, p. 1154-1163, 2012.
- BETANZO-QUEZADA, E.; ROMERO-NAVARRETE, J. A.; OBREGON-BIOSCA, S. An index to evaluate public policies in urban freight transport. **Gestion y Política Pública**, v. 22, n. 2, p. 313-354, 2013.

BOARETO, R. **Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade por bicicleta nas cidades**. Brasília: Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana, 2007.

BRASIL. Lei n. 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nos 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1o de maio de 1943, e das Leis nº 5.917, de 10 de setembro de 1973, e nº 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 jan. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm Acesso em: 30 jan. 2013.

BURINSKIENE, M.; USPALYTE-VITKUNIENE, R.; TUMINIENE, F. Public transport integration into urban planning. **Baltic Journal of Road and Bridge Engineering**, v. 6, n. 2, p. 84-90, 2011.

CHEN, X.; LIU, Q.; DU, G. Estimation of travel time values for urban public transport passengers based on sp survey. **Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology**, v. 11, n. 4, p. 77-84, 2011.

COSTA, Á.; FERNANDES, R. Urban public transport in Europe: Technology diffusion and market organization. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 46, n. 2, p. 269-284, 2012.

CRUZ, L.; BARATA, E.; FERREIRA, J. P. Performance in urban public transport systems: a critical analysis of the Portuguese case International. **Journal of Productivity and Performance Management**, v. 61, n. 7, p. 730-751, 2012.

D'AGOSTO, M. D.; RIBEIRO, S. K.; DE SOUZA, C. D. R. Opportunity to reduce greenhouse gas by the use of alternative fuels and technologies in urban public transport in Brazil. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 2, p. 177-183, 2013.

DE LIETO VOLLARO, R. et al. Energy performance optimization of a bus for urban public transport. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 5, n. 4, p. 3639-3648, 2013.

DE CARVALHO, I.; CORSO-PEREIRA, G. A cidade como negócio. **EURE**, v. 39, n. 118, p. 5-26, 2013.

DING, Y. M.; DING, Z. Model and empirical study on several urban public transport networks in China. **International Journal of Modern Physics B**, v. 26, n. 15, 2012.

DRAGU, V.; ROMAN, E. A.; ROMAN, V. C. Quality assessment in urban public transport. **Theoretical and Empirical Researches in Urban Management**, v. 8, n. 3, p. 32-43, 2013.

DRUCIAKI, V. P.; FERREIRA, E. R.; OLIVEIRA, R. R. **Geografia e transportes: estudos sobre circulação, mobilidade e acessibilidade**. Rio Claro: Editora do IGCE/UNESP, 2011.

DUARTE, F.; SÁNCHEZ, K.; LIBARDI, R. **Introdução à mobilidade urbana**. Curitiba: Juruá, 2012.

DUARTE, F.; ULTRAMARI, C. Making public transport and housing match: Accomplishments and failures of Curitiba's BRT. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 138, n. 2, p. 183-194, 2011.

EMBARQ Brasil. Sobre o sistema BRT. 2013. Disponível em: <http://embarqbrasil.org/>. Acesso em: 30 dez. 2013.

FERNANDEZ, J. E.; CH, J. D.; MALBRAN, R. H. Demand responsive urban public transport system design: Methodology and application. **Transportation Research Part A: Policy And Practice**, v. 42, n. 7, p. 951-972, 2008.

- FERREIRA, E. R. **Propostas para a melhoria do sistema viário em cidades médias**. Rio Claro: Editora do IGCE/UNESP, 2009.
- GOMES, C. F.; GOMES, L. F. A. M. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2012.
- GUITOUNI, A.; MARTEL, J. M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. **European Journal of Operational Research**, v. 109, n. 2, p. 501–52, 1998.
- GITHUI, J. N.; OKAMURA, T.; NAKAMURA, F. The structure of users' satisfaction on urban public transport service in developing country. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, v. 8, p. 1288-1300, 2010.
- HEREDERO, C. D.; BERMEJO, L. J. P.; BOTELLA, J. L. M. The impact of operational support systems (OSS) on improving urban public transport services. **Cuadernos De Economía y Dirección de la Empresa**, v. 15, n. 1, p. 12-24, 2012.
- HERES, D. R.; JACK, D.; & SALON, D. Do public transport investments promote urban economic development? Evidence from bus rapid transit in Bogotá, Colombia. **Transportation**, p. 1-18, 2013.
- HERNÁNDEZ, D. Activos y estructuras de oportunidades de movilidad: Una propuesta analítica para el estudio de la accesibilidad por transporte público, el bienestar y la equidad. **EURE**, v. 38, n. 115, p. 117-135, 2012.
- HORVÁTH, B. A simple method to forecast travel demand in urban public transport. **Acta Polytechnica Hungarica**, v. 9, n. 4, p. 165-176, 2012.
- IBRAHIM-ADEDEJI, K. Determining the socio-economic characteristics and users' perceptions of intra-urban public transport system in Ayangburen Park, Ikorodu, Lagos State, Nigeria. **International Journal of Economic Development Research and Investment**, v. 2, n. 2, p. 38-47, 2011.
- IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. A mobilidade urbana no Brasil. Brasília, 2011.
- JOHANI, U. G. Urban public transport in Venezuela: moving toward social inclusion? **Revista de Ciencias Sociales**, v. 18, n. 3, p. 449-461, 2012.
- KALTENBRUNNER, A. et al. Urban cycles and mobility patterns: Exploring and predicting trends in a bicycle-based public transport system. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 6, n. 4, p. 455-466, 2010.
- KITTELSON & Associates, Inc.; HERBERT S. Levinson Transportation Consultants; HARRIS, DMJM. **TCRP Report 118: Bus Rapid Transit Practitioner's Guide**. Washington: Transportation Research Board, 2007. Disponível em: http://www.tcrponline.org/PDFDocuments/TCRP_RPT_118.pdf Acesso em: 30 jan. 2013.
- KOEHLER, L. A.; CAMPONOGARA, E.; KRAUS JUNIOR, W. Modelo e controle da operação de um sistema BRT com segmento de faixa exclusiva única bidirecional. **Transportes**, v. 19, n. 3, p. 12–17, 2011.
- LANGFORD, M.; HIGGS, G.; FRY, R. Using floating catchment analysis (FCA) techniques to examine intra-urban variations in accessibility to public transport opportunities: the example of Cardiff, Wales. **Journal of Transport Geography**, v. 25, p. 1-14, 2012.
- LERNER, J. **Avaliação comparativa das modalidades de transporte público urbano**. Curitiba: Jaime Lerner Arquitetos Associados, 2009.

- LEVINSON, H. et al. **TCRP 90: Bus Rapid Transit, case studies in BRT**. Washington, 2003.
- LI MING, W.; RISSEL, C.; FU, H. The effect of active transport, transport systems, and urban design on population health. **Journal of Environmental and Public Health**, 2013.
- MARINS, F. A. S. et al. **Métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios: aplicações na indústria aeroespacial**. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2010.
- MATSUNAKA, R. et al. International comparison of the relationship between urban structure and the service level of urban public transportation-A comprehensive analysis in local cities in Japan, France and Germany. **Transport Policy**, v. 30, p. 26-39, 2013.
- MIRANDA, H. F.; SILVA, A. N. R. Benchmarking sustainable urban mobility: The case of Curitiba, Brazil. **Transport Policy**, v. 21, p. 141-151, 2012.
- MOURA, J. L.; IBEAS, A.; DELL'OLIO, L. Optimization-simulation model for planning supply transport to large infrastructure public works located in congested urban areas. **Networks & Spatial Economics**, v. 10, n. 4, p. 487-507, 2010.
- NTU. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. Estudos de BRT no Brasil. Brasília, 2011.
- PETROVIC, J. et al. Possibilities of buses on alternative fuel in public urban transport in Belgrade. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 15, n. 1, p. 78-89, 2009.
- PFLIEGER, G. et al. How does urban public transport change cities? Correlations between past and present transport and urban planning policies. **Urban Studies**, v. 46, n. 7, p. 1421-1437, 2009.
- POLAT, C. The demand determinants for urban public transport services: A review of the literature. **Journal of Applied Sciences**, v. 12, n. 12, p. 1211-1231, 2012.
- RALEVIC, P. et al. Mathematical model for evaluating the effectiveness of urban and suburban public transport. **Metalurgia International**, v. 17, n. 11, p. 194-202, 2012.
- ROHÁCOVÁ, V. A. A DEA based approach for optimization of urban public transport system. **Central European Journal of Operations Research**, p. 1-19, 2013.
- ROUMBOUTSOS, A.; KAPROS, S. A game theory approach to urban public transport integration policy. **Transport Policy**, v. 15, n. 4, p. 209-215, 2008.
- SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980.
- SAATY, T. L.; SHANG, J. S. An innovative orders-of-magnitude approach to AHP-based multicriteria decision making: prioritizing divergent intangible humane acts. **European Journal of Operational Research**, v. 214, p. 703-715, 2011.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Methods, Concepts & Applications of the hierarchy process**. New York: Springer, 2012.
- SALONEN, M.; TOIVONEN, T. Modelling travel time in urban networks: comparable measures for private car and public transport. **Journal of Transport Geography**, v. 31, p. 143-154, 2013.
- SEZHIAN, M. V. et al. Developing a performance importance matrix for a public sector bus transport company: A case study. **Theoretical and Empirical Researches in Urban Management**, v. 6, n. 3, p. 5-14, 2011.
- SILVA, A. N. R.; COSTA, M. S.; MACEDO, M. H. Multiple views of sustainable urban mobility: the case of Brazil. **Transport Policy**, v. 15, n. 6, p. 350-360, 2008.

SHIBAYAMA, T. Organizational Structures of Urban Public Transport: a Diagrammatic Comparison and a Typology. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, v. 9, n. 0, p. 126-141, 2011.

SOBOTA, A.; ZOCHOWSKA, R. Model of urban public transport network for the analysis of punctuality. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 28, n. 1, p.63-66, 2008.

SUI, Y. et al. Space evolution model and empirical analysis of an urban public transport network. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 391, n. 14, p. 3708-3717, 2012.

VASCONCELLOS, E. A. **Mobilidade urbana e cidadania**. São Paulo: Senac, 2012.

WEI, C. H.; KAO, C. Y. Measuring traveler involvement in urban public transport services: The case of Kaohsiung. **Transport Policy**, v. 17, n. 6, p. 444-453, 2010.

WRIGHT, L.; HOOK, W. **Manual de BRT**: guia de planejamento. Brasília: [s.n.], 2007.

YATSKIV, I.; PTICINA, I.; SAVRASOVS, M. Urban public transport system's reliability estimation using microscopic simulation. **Transport and Telecommunication**, v. 13, n. 3, p. 219-228, 2012.

Artigo recebido em 04/06/2014 e aceito para publicação em 04/02/2015
