

DESENVOLVIMENTO DE MODELO MULTICRITÉRIO PARA AUXÍLIO NO PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE RÁPIDO DE MASSA

RESUMO

Um projeto de sistema de transporte urbano que leve em consideração o conceito de mobilidade sustentável requer comprometimentos de longo prazo e grandes investimentos de capital. O problema é que um bom traçado ou uma boa configuração de malha não é uma escolha óbvia. Políticos, engenheiros, usuários, ambientalistas e outros grupos de interesse geralmente têm desejos e expectativas diferentes. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo baseado em um método multicritério que ajude na escolha dos melhores traçados para linhas de sistemas de transporte urbano. O propósito do modelo é escolher a melhor alternativa para um dado sistema buscando atender aos interesses dos diferentes agentes envolvidos no processo, além de garantir a sustentabilidade em longo prazo. O modelo desenvolvido será aplicado em um estudo de caso.

ABSTRACT

A transport system project that takes into consideration the sustainable mobility concept requires long term planning and large amounts of capital. The problem is that the best configuration alternative is seldom an obvious choice. Politician, engineers, users, environmentalists and other groups of interest often have different needs and expectations. The main goal of this paper is the development of a multi criteria decision making model that could be a useful tool for rapid transit system planning. The purpose of the model is to choose the best alternative for a given system that will meet the needs of the different agents involved in the process, as well as to ensure long term sustainability. The developed model will be applied in a case study.

1. INTRODUÇÃO

Uma cidade é um complexo de atividades e necessidades inter-relacionadas, as quais requerem um sistema de transporte eficiente a fim de garantir o crescimento e desenvolvimento econômico sustentável em longo prazo (AKINBAMI e FADARE, 1997).

O problema é que um bom traçado ou uma boa configuração de malha não é uma escolha óbvia. Outro limitante é que na etapa de planejamento, os dados são geralmente escassos e muitas vezes não confiáveis, os custos incertos ou subestimados e, além disso, critérios não quantificáveis ou atributos externos devem ser levados em consideração (DUFOURD et al., 1996).

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia baseada em um método multicritério que ajude na escolha dos melhores traçados para linhas de sistemas de transporte urbano. O propósito do modelo é escolher a melhor alternativa para um dado sistema buscando atender aos interesses dos diferentes agentes envolvidos no processo, além de garantir a sustentabilidade em longo prazo.

2. MODELOS DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

A comunhão entre a maximização da qualidade de serviço e minimização dos custos é o maior objetivo do planejamento de transportes. No entanto, é importante considerar em qualquer projeto que, na prática, a adoção de uma lista de critérios depende muito das políticas de planejamento e da legislação da região em que o sistema será implantado (INIESTRA e GUTIÉRREZ, 2009).

Nesse contexto, para Bruno et al. (1998) tanto critérios quantificáveis como não quantificáveis devem ser considerados, como custos de construção e operação, tempos de viagem, nível de satisfação da demanda, proteção de áreas históricas, impacto visual, poluição atmosférica e sonora e outros.

Ülengin et al. (2009) desenvolveram um modelo multicritério para auxílio em decisões de transportes com uma lista bastante abrangente de variáveis pertencentes a três módulos principais: o ambiental, o social e o de energia.

Spencer e Andong (1996) realizaram uma análise de alternativas de projetos de transporte para Beijing, na China. Para definir se o melhor sistema de transporte para aliviar um corredor congestionado seria uma faixa exclusiva de ônibus ou um sistema de VLT, os autores realizaram uma análise custo-benefício. Foram identificados sete impactos hipotéticos da implantação de um novo sistema de transporte. Segundo os autores, o efeito de crescimento seria a demanda gerada pela oferta de um novo sistema de transporte, pois este passa a ser uma nova opção para aqueles que utilizavam outros modais. Já o efeito de geração representaria uma mudança de comportamento a curto prazo, resultante da melhora no transporte, o que levaria ao surgimento de viagens que antes não seriam realizadas. O efeito uso do solo seria um impacto similar ao anterior, só que a longo prazo. Os autores sugerem que ocorre uma mudança no uso do solo em áreas próximas estimuladas pela melhora no trânsito e no sistema de transporte.

Um modelo de programação bi-critério foi desenvolvido por Bruno et al. (1998) com o objetivo de maximizar a atratividade de uma linha de transporte rápido de massa. Com o mesmo objetivo, Bruno et al. (2002) desenvolveram um algoritmo de duas fases e o aplicaram a dados reais da cidade de Milão, Itália.

Guihaire e Hao (2008) apresentaram uma revisão dos pontos cruciais táticos e estratégicos para o planejamento em transportes. Entre os objetivos relativos à maximização da cobertura do serviço, os autores destacam o número de transferências necessárias de modais ou de linhas como uma medida de nível de atendimento da demanda. Em seu modelo multicritério para auxílio no planejamento de transportes, Iniestra e Gutiérrez (2009) consideraram como critérios os custos do projeto, a relevância do projeto em termos de conectividade com o sistema de transporte já em operação, as preferências das autoridades e o impacto social medido como a quantidade de pessoas beneficiadas pelo novo sistema.

Para escolher a melhor alternativa de localização de estações do Trem de Alta Velocidade (TAV) na cidade do Porto em Portugal, Mateus et al. (2008) desenvolveram um método multicritério. Esse modelo foi estruturado em um primeiro nível em quatro áreas de avaliação. Um relatório preparado pelo Working Group 13 da *International Tunneling Association* (2004) buscou relacionar os diferentes objetivos e impactos de um sistema de transporte rápido de massa.

O trabalho realizado por Lisboa (2002) apresentou uma metodologia baseada em multicritérios. O modelo desenvolvido foi então utilizado para determinar o melhor traçado para uma rodovia em trecho urbano, considerando fatores técnicos, ambientais e sociais.

Após a análise desses estudos, foram selecionados os pontos de vista mais relevantes para o desenvolvimento da lista de critérios preliminar a ser utilizada no modelo e foi desenvolvido um quadro comparativo, na Tabela 1.

3. DISCUSSÕES SOBRE CRITÉRIOS

Entre os critérios mais citados e utilizados em modelos de planejamento de sistemas de transporte urbano, sem dúvida, o grupo mais mencionado é o de custos ou aspectos econômicos, dependendo da denominação escolhida por cada autor. Nos trabalhos estudados, alguns autores se referiram somente a custos do projeto, no geral, alguns já ressaltaram a diferença entre custos construtivos e operacionais e outros lidaram diretamente com a lucratividade ou viabilidade do projeto como variável correspondente a aspectos econômicos.

No presente trabalho, a análise do indicador custos sugerida será parecida com a classificação de Lisboa (2002). Ou seja, o critério aspectos econômicos será composto por sub-critérios ou indicadores como custo de projeto, custo da obra, custo de desapropriações, custo de reassentamento e custo operacional. Dependendo do projeto e da disponibilidade de dados, essa lista de sub-critérios pode ser maior ou menor, ou simplesmente, algum termo poderá ser substituído por outro.

Tabela 1: Quadro comparativo de critérios encontrados na literatura

Trabalhos	Descrição da pesquisa	Crítérios/Impactos considerados
Bruno et al. (1998)	Um modelo bi-critério para avaliar a atratividade de um TRM	<ul style="list-style-type: none">* Custos: construção e operação* Tempos de viagem* Nível de satisfação da demanda* Proteção de áreas históricas* Impacto visual* Poluição sonora e atmosférica
Ülengin et al. (2009)	Um modelo multicritério para auxílio em decisões de transporte e análise das relações entre transporte e ambiente	<p>Três áreas principais: ambiental, social e energia. Mais relevantes:</p> <ul style="list-style-type: none">* Legislação referente a limites de emissão de poluentes para veículos, renda per capita, gastos com acidentes, nível de ruído, número de veículos, infra-estrutura rodoviária existente, número de usuários atendidos pelos modais já existentes, população da área urbana
Spencer e Andong (1996)	Análise custo-benefício de alternativas de projetos de transporte para Beijing	<p>Avaliação de impactos sociais:</p> <ul style="list-style-type: none">* Efeito de crescimento* Efeito de geração* Efeito uso do solo
Guihaire e Hao (2008)	Uma revisão dos pontos cruciais táticos e estratégicos para planejamento em transportes	<ul style="list-style-type: none">* Qualidade e cobertura do serviço (número de transferências necessárias como uma medida de nível de atendimento da demanda)* Custos operacionais* Lucratividade do sistema

continuação

Trabalhos	Descrição da pesquisa	Crerérios/Impactos considerados
Iniestra e Gutierrez (2009)	Um modelo multicritério para auxílio no planejamento de transportes	<ul style="list-style-type: none"> * Custos do projeto * Relevância (conectividade com o sistema já em operação) * Preferências das autoridades * Impacto social (número de pessoas beneficiadas) <p>Também citados: diminuição de tempos de viagem, redução de acidentes, impactos ambientais e desenvolvimento econômico</p>
Mateus et al. (2008)	Um modelo multicritério para escolher melhor alternativa de localização de estações do Trem de Alta Velocidade na cidade do Porto	<ul style="list-style-type: none"> * Fatores endógenos durante a construção (custos de construção e desapropriações, cronogramas de construção, riscos) * Fatores endógenos durante a operação (custos de operação, manutenção, demanda, acessibilidade, tempo de viagem, conforto) * Fatores exógenos durante a construção (movimentos de terra, ruídos, vibração, impactos no trânsito, nas atividades residenciais e nas atividades econômicas) * Fatores exógenos durante a operação (impacto em áreas sensíveis ou protegidas, ruído, vibração, famílias deslocadas, impacto no trânsito, no centro da cidade, nas rodovias e na infra-estrutura de intermodalidade)
<i>International Tunneling Association</i> (2004)	Estudo em diversos sistemas de transporte para analisar como é a escolha entre sistemas de trens subterrâneos ou de superfície	<ul style="list-style-type: none"> * Eficiência sócio-econômica Menores tempos de viagem Menos engarrafamentos Menos custos para a sociedade Crescimento do comércio e produtividade * Desenvolvimento da cidade Melhor funcionamento de algumas áreas Direcionamento do desenvolvimento urbano * Impactos sociais Desapropriações e realocação de famílias * Melhorias ambientais Depende das características da cidade, da qualidade do projeto e legislação ambiental

continuação

Trabalhos	Descrição da pesquisa	Critérios/Impactos considerados
Lisboa (2002)	Um modelo multicritério utilizado para determinar o melhor traçado para rodovia em trecho urbano	<p>Em três níveis:</p> <p>* Aspectos econômicos</p> <p>Custo de implantação (custo de obra + custo de desapropriação + custo de reassentamento + custo operacional)</p> <p>* Aspectos construtivos</p> <p>Obras em superfície (áreas favoráveis, com algumas restrições e com severas restrições)</p> <p>Obras especiais (pontes e viadutos e túneis)</p> <p>* Aspectos operacionais e segurança de tráfego</p> <p>Tráfego de passagem (raio mínimo, rampa máxima)</p> <p>Tráfego local</p> <p>Tráfego de pedestres</p> <p>* Aspectos ambientais</p> <p>Impactos no uso do solo urbano (desapropriações de unidades produtivas e residências e reassentamento populacional)</p> <p>Impactos no uso do solo rural (vegetação nativa, travessia de áreas de parques reflorestamento, pastagem e agricultura)</p> <p>Impactos no meio físico (interferências com recursos hídricos, impactos na qualidade do ar e ruídos)</p>

Quando se pensa em impactos trazidos por um novo sistema de transporte urbano, pensa-se logo nos benefícios e nos problemas que o empreendimento poderá trazer para a população da cidade. Nesse sentido, na literatura podem ser destacados alguns impactos, os quais podem ser vistos no quadro resumo da Tabela 1: desapropriações, melhora ou piora no trânsito, desenvolvimento urbano, tempos de viagem, valorização ou desvalorização de algumas áreas, conforto, qualidade e cobertura do serviço, entre outros.

Porém, se os critérios adotados pelos diversos autores forem compilados dessa maneira, essa lista de possíveis impactos sociais fica bastante variada e até confusa, já que consideraria junto os impactos positivos e negativos e os impactos para a cidade como um todo e para os usuários do novo sistema apenas. Por isso, frente aos pontos de vista apresentados na literatura e considerando a premissa de que os mais variados agentes estão envolvidos no planejamento, implantação e operação de um sistema de transporte urbano, os aspectos sociais serão classificados de acordo com os agentes envolvidos. Ou seja, o primeiro critério seria aspectos da cidade, o que inclui os impactos tanto à estrutura da cidade, quanto à sua população em geral,

como impactos no tráfego, redução de acidentes, poluição visual, a questão das áreas históricas, entre outros. Já os aspectos dos usuários, serão a qualidade e cobertura do serviço, tempos de viagem, número de transferências, conectividade com outros modais, entres outros.

Com o critério separado para aspectos dos usuários, pretende-se considerar os mais diversos fatores que podem atrair ou não usuários para um novo sistema, o que é um pontos cruciais para a viabilidade de um projeto deste tipo. Enquanto na literatura, os autores citados consideraram geralmente só um ou dois fatores relacionados à cobertura do serviço e a atração e geração de demanda, neste modelo proposto, quatro fatores, cobertura do serviço, tempos de viagem, número de transferências e conectividade com outros modais são considerados.

No aspecto ambiental, não há muitas discrepâncias entre os critérios considerados pelos diferentes autores. Neste trabalho, será considerada uma classificação parecida de Lisboa (2002). A Tabela 2 mostra a estruturação de critérios preliminar para o modelo e as condições de utilização desses critérios.

Tabela 2: Estruturação preliminar de critérios para o modelo

Critérios	Indicadores	Utilização
Aspectos econômicos	Custo de projeto	
	Custo da obra	*
	Custo de desapropriações	*
	Custo de reassentamento	*
	Custo operacional	*
Aspectos da cidade	Impactos no tráfego	** / ***
	Impactos em acidentes de trânsito	** / ***
	Poluição visual	***
	Impacto em áreas históricas	***
	Impactos no mercado imobiliário	** / ***
	Impactos no uso do solo	** / ***
	Impactos na ocupação do solo	** / ***
Aspectos dos usuários	Cobertura do serviço	*
	Tempos de viagem	*
	Número de transferências	*
	Conectividade com outros modais	*
Aspectos ambientais	Interferências em áreas de vegetação urbana e parques	*
	Interferências em áreas de proteção ambiental	*
	Interferências em áreas de pastagens ou de agricultura	*
	Interferências nos recursos hídricos	*
	Qualidade do ar	** / ***
	Ruídos	** / ***

* Em todos os tipos de projeto de sistemas de transporte rápido de massa

** Sujeito a restrições devido à disponibilidade de dados

*** Necessidade de utilização depende das características da cidade e/ou do sistema

4. MÉTODO DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO

As análises custo-benefício são muito comuns na etapa de planejamento para atestar a viabilidade de projetos e auxiliar na tomada de decisão em transportes. Porém, esse tipo de análise geralmente busca o objetivo único de maximização dos lucros ou minimização dos custos (TENG e TZENG, 1996). Atualmente, em muitos projetos, a necessidade da consideração de variáveis não-econômicas, como ruído, acidentes, poluição do ar, entre outras, tem se tornado um limitante para a aplicação do método (TUDELA et al., 2006). Nesse contexto, os métodos multicritério vêm sendo cada vez mais usados, já que podem lidar com essas limitações.

Devido à sua simplicidade e aplicabilidade em modelos de transportes, o método que será utilizado para o desenvolvimento do modelo de escolha da melhor alternativa de traçado de transporte rápido de massa é o *Analytic Hierarchy Process* ou Método de Análise Hierárquica (AHP).

Este método é baseado em comparações par a par, dispostas numa matriz quadrada $n \times n$, onde as linhas e as colunas correspondem aos n critérios analisados para o problema em questão. Considerando $A = [\alpha_{ij}]$, com $i, j = 1, 2, \dots, n$, cada linha i fornece as razões entre o peso do critério ou subcritério de índice i , em relação aos demais, j . As matrizes são sempre recíprocas, tal que $\alpha_{ij} = 1/\alpha_{ji}$, e positivas.

Se todas as comparações par a par fossem perfeitamente coerentes entre si, seria possível verificar que $\alpha_{ij} \times \alpha_{jk} = \alpha_{ik}$, para qualquer $i, j, k = 1, \dots, n$, e a matriz A seria consistente. Logo, a equação matricial é $Aw = nw$. No entanto, o que geralmente ocorre e que é previsto pelo método é alguma inconsistência nas comparações. Segundo Saaty (1980) apud Bandeira et al. (2008), quanto mais próximo estiver o valor de λ_{\max} de n , maior será a consistência dos juízos e, sendo A uma matriz de valores, deverá ser encontrado o vetor que satisfaça a equação $A\varpi = \lambda_{\max} \times \varpi$. Então, para obter o autovetor, tem-se:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n vi \frac{[Aw]_i}{w_i}$$

Considerando isso, pode-se afirmar que λ_{\max} permite avaliar a proximidade dos julgamentos realizados com a escala de razões que seria usada se a matriz A fosse totalmente consistente. Isso pode ser feito por meio do cálculo de um índice de consistência (IC) e da razão de consistência (RC), obtidas respectivamente pelas duas equações a seguir:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} ; \quad RC = \frac{IC}{IR}$$

O valor de IR, o qual é um índice de aleatoriedade, é tabelado e depende de n . Para a avaliação, quanto maior o RC, maior a inconsistência.

Com a hierarquia construída, são comparadas par a par as alternativas, os subcritérios em relação a cada critério, e os critérios de um determinado nível em relação ao objetivo do nível imediatamente superior. Tais resultados são normalizados pela equação:

$$v_i(A_1) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

Então, o vetor de prioridades do subcritério i (A_{ij}) em relação ao critério (C_i) é calculado como na equação a seguir:

$$v_i(A_j) = \sum_{j=1}^n v_i(A_j) / n$$

Em que, $i: 1, \dots, n$; $j: 1, \dots, m$; v é o vetor; A é a matriz de critérios de segundo nível (subcritérios) e n é o número de critérios de um mesmo nível.

As ponderações são realizadas a partir das equações a seguir, em que ω é o vetor; C representa os critérios e m o o número de critérios de um mesmo nível.

$$\omega_j(C_i) = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^m C_{ij}}$$

$$\omega(C_i) = \sum_{j=1}^m \frac{\omega_j(C_i)}{m}$$

Os valores finais dos componentes são gerados por um processo de agregação, sendo estes ordenados por meio da função a seguir, na qual j vai de 1 a n , sendo n o número de alternativas.

$$f(A_j) = \sum_{i=1}^m \omega(C_i) \times v_i(A_j)$$

5. APLICAÇÃO DO MODELO

5.1. Estudo de caso

Este estudo de caso compreenderá a classificação de alternativas de sistemas de transporte rápido de massa para uma cidade brasileira de médio porte. Serão analisadas duas alternativas de sistemas de quatro linhas cada, o Sistema A e o Sistema B, para a tecnologia de Veículo Leve sobre Trilhos (VLT).

Os VLTs são sistemas de separação substancial, ou seja, faixas horizontalmente segregadas do resto do tráfego e com prioridade em eventuais cruzamentos. A velocidade média de operação é em torno de 20-30 km/h. (*International Tunneling Association*, 2004). Essa tecnologia foi escolhida para a análise, pois, em análises preliminares, esta provou ter custo mais acessíveis que os de metrô subterrâneo ou de superfície, para uma cidade desse porte, e tempos de viagem menores e mais atrativos que os de uma faixa exclusiva de ônibus.

Os dois sistemas projetados são muito semelhantes, tendo como única diferença marcante as linhas centrais. Por isso, o que será efetivamente realizado neste estudo de caso é a comparação, segundo o modelo desenvolvido, entre as duas linhas centrais projetadas. Como os dois sistemas são bastante parecidos, então a análise da melhor opção de linha central determina qual será o melhor sistema.

5.2. Critérios e indicadores utilizados

De acordo com os dados disponíveis para a análise e com as características da cidade, a lista de critérios considerada para esse estudo de caso, determinada a partir do critérios da Tabela 2 está na Tabela 3. Deve-se ressaltar também, que alguns critérios da lista original não foram utilizados na análise, simplesmente porque para os traçados analisados não havia diferença importante entre alternativas nesses critérios.

Tabela 3: Critérios aplicados no estudo de caso

Critérios	Indicadores
Aspectos econômicos	Custo de implantação
	Cobertura do serviço
Aspectos dos usuários	Tempos de viagem
	Número de transferências
	Conectividade com outros modais
Aspectos ambientais	Interferências em parques
	Interferências nos recursos hídricos

5.3. Métricas adotadas

De acordo com os diversos trabalhos estudados na literatura e com os dados disponíveis, as seguintes métricas foram adotadas.

5.3.1. Aspectos econômicos

- Custo de implantação: custo total das linhas centrais de cada alternativa, estimado a partir de custos de construção por km apresentados por *International Tunneling Association* (2004), para VLTs na mesma cota da rua, em reais.

5.3.2. Aspectos dos usuários

- Cobertura do serviço: Número total de pólos geradores de viagens, edificações que têm como característica atrair um grande número de viagens (veículos e pedestres), atendidos num raio de até 500 m das estações.
- Tempos de viagem: Média dos tempos totais de viagem, em minutos, entre diferentes setores econômicos da cidade utilizando o sistema em questão, para cada alternativa.
- Número de transferências: Porcentagem de viagens entre os mesmos setores em que o número de transferência seria igual ou maior que 2, para cada alternativa.
- Conectividade com outros modais: Número total de pontos de ônibus e taxi localizados num raio de 500m a partir das estações.

5.3.3. Aspectos ambientais

- Interferências em parques: Comprimento total da alternativa a ser implantada que atravessasse parques urbanos (m).
- Interferências nos recursos hídricos: Número total de rios cortados, ou seja que sofrerão algum impacto, pelo sistema a ser implantado.

Tabela 4: Quantitativos dos critérios e indicadores

Fonte: dos autores

Critérios	Alternativas de Traçado	
	Sistema A	Sistema B
Custo Implantação	579.841.500,00	497.292.600,00
Cobertura do serviço	98	48
Tempos de viagem	57,89	62,28
Nº de transferências	49,51%	44,30%
Conectividade	115	47
Interferência em parques	0	800 m
Interferência em A Prot Amb	0	0
Interferência em Rec Hídricos	4	6

5.4. Pesos dos critérios

Para a comparação entre critérios, foram consideradas as seguintes premissas. Para que um projeto de transporte urbano seja viável economicamente, este deve atingir um nível de utilização mínimo e portanto seu projeto deve considerar o atendimento da maior população de possíveis usuários. Por isso, os fatores de aspectos dos usuários foram considerados os mais importantes, seguidos dos fatores econômicos ou custos. Como as duas alternativas têm seus traçados totalmente inseridos na área urbana e, além disso, estas foram projetadas para utilizar o máximo do traçado de ruas e avenidas já existentes, os aspectos ambientais foram considerados de menor importância. A matriz de correlação entre critérios pode ser vista na Tabela 5.

Tabela 5: Matriz de correlação entre critérios

Critérios	Asp. Econômicos	Asp. Usuários	Asp. Ambientais	Médias
Asp. Econômicos	1	1/2	3	0,3202
Asp. Usuários	2	1	4	0,5571
Asp. Ambientais	1/3	1/4	1	0,1226

Já entre os subcritérios de aspectos dos usuários, a cobertura dos serviços foi considerado o fator mais importante na decisão com a conectividade com outros modais em seguida. Isso porque, com uma boa cobertura e conectividade, uma dada alternativa garantiria um bom nível de utilização do serviço. Os tempos de viagem e o número de transferências também influiriam diretamente na escolha do usuário, sendo o número de transferências considerado o menos importante, pois vai depender das preferências de cada usuário. A matriz de correlação de aspectos dos usuários pode ser vista na Tabela 6.

Tabela 6: Matriz de correlação entre os subcritérios de aspectos dos usuários

Critério	Cobertura serviço	Tempos de viagem	Nº transferências	Conectividade	Médias
Cobertura serviço	1	5	7	3	0,5480
Tempos de viagem	1/5	1	3	1/4	0,1149
Nº transferências	1/7	1/3	1	1/5	0,0562
Conectividade	1/3	4	5	1	0,2808

Entre os subcritérios dos aspectos ambientais, a interferência em recursos hídricos foi considerada muito fortemente preferida em relação a interferência em parques, já que entende-se

que os parques poderiam ser reconstruídos no mesmo local ou em outro, enquanto os impactos sobre os recursos hídricos seriam mais sérios e muitas vezes irreversíveis. A Tabela 7 mostra a matriz de correlação entre os aspectos ambientais.

Tabela 7: Matriz de correlação entre os subcritérios de aspectos ambientais

Critério	Interferência em parques	Interferência em Rec. Hídricos	Médias
Interferência em parques	1	1/7	0,1250
Interferência em Rec. Hídricos	7	1	0,8750

Devido a restrições de tempo e recursos, os representantes de diferentes grupos de interesse envolvidos em uma escolha de sistema de transporte não foram consultados para a definição dos pesos entre critérios. Essa consulta a especialistas e representantes de grupos da sociedade poderá ser realizada em trabalhos futuros.

5.5. Análise de Consistência

Para garantir que não houve inconsistência na aplicação do modelo, todas as matrizes 3x3 ou maiores devem ser testadas com uma análise de consistência. Os valores das razões de consistência para cada caso podem ser vistos na Tabela 8. Pode-se perceber que nenhuma das razões de consistência tem valor maior que 0,10, o que implica que todas as matrizes de comparação tiveram grau de inconsistência considerado aceitável (GOMES et al., 2004 apud BANDEIRA et al., 2008).

Tabela 8: Análise de consistência das matrizes maiores que 3x3

Matriz	Ordem	Elementos	RC
Entre critérios principais	3x3	Asp. Econômicos	0,0158
		Asp. Usuários	
		Asp. Ambientais	
Entre subcritérios Asp. Usuários	4x4	Cobertura do serviço	0,0646
		Tempos de viagem	
		Nº de transferências	
		Conectividade	

5.6. Resultados e discussões

Após as comparações par a par entre alternativas e entre critérios obteve-se como pontuação final 0,5890 para o Sistema A e 0,4110 para o Sistema B, o que significa que, para os dados disponíveis e os critérios e pesos considerados, o Sistema A seria a melhor alternativa para a cidade. Porém, deve-se ressaltar que os pesos estão bastante próximos e que eventuais análises de sensibilidade, e outras comparações com dados diferentes ou mais precisos podem ajudar na escolha final. Além disso, o resultado encontrado depende muito dos pesos estabelecido para os critérios e, se o modelo fosse aplicado novamente, mas com outros pesos o resultado poderia ser bastante diferente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos de planejamento urbano e os pontos de vista e conceitos considerados estão em constante transformação na busca de formas de planejamento que atendam aos mais diferentes interesses. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma metodologia baseada em um

método multicritério que ajude na escolha dos melhores traçados para linhas de sistemas de transporte urbano. O modelo desenvolvido diferencia-se dos existentes na literatura por englobar os mais diversos critérios e subcritérios e ter como um dos focos principais os possíveis usuários do serviço e os fatores que os atrairiam ou não para um novo sistema.

O estudo de caso apresentado foi apenas uma exemplificação do modelo proposto e não o objetivo principal do trabalho. À primeira vista, pode-se considerar que um modelo multicritério não é o mais adequado para a comparação entre duas alternativas apenas. Porém, o propósito era realmente se aplicar um estudo de caso simplificado para que as etapas de modelo pudessem ser descritas de forma detalhada e de fácil entendimento.

Este trabalho pretende ser uma contribuição para políticos e técnicos na tomada de decisões, gerenciamento de projetos e prioridade de investimentos em planejamento de transporte urbano. O mesmo modelo, com uma lista de critérios adaptada poderia ser utilizado também para auxiliar na escolha da tecnologia a ser implantada e ainda para atestar a viabilidade técnico-econômica da implantação de um novo sistema de transporte rápido de massa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKINBAMI, J.-F. K.; FADARE, S. O. *Strategies for sustainable urban and transport development in Nigeria*. Transport Policy, vol. 4, n.4, pp. 237-245, 1997.
- BANDEIRA, M.; CIARLINI, M.; CORREIA, A. R.; ALVES, C. J. P. *Desenvolvimento de uma medida de nível de serviço para o terminal de passageiros do aeroporto internacional de fortaleza*. XXII ANPET, 2008, Fortaleza. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2008.
- BRUNO, G.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G. *A heuristic for the location of a rapid transit line*. Computers & Operations Research, vol. 29, pp. 1-12, 2002.
- BRUNO, G.; GHIANI, G.; IMPROTA, G. *A multi-modal approach to the location of a rapid transit line*. European Journal of Operational Research, vol. 104, pp. 321-332, 1998.
- DUFOURD, H.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G. *Locating a transit line using TABU search*. Location Science, vol. 4, n. 172, pp. 1-19, 1996.
- GOMES, L. F. A. M. et al., *Tomada de Decisões em Cenários Complexos: Introdução aos Métodos Discretos do Apoio Multicritério de Decisão*. São Paulo: Ed. Thomson, 2004.
- GUIHAIRE, V.; HAO, J. *Transit network design and scheduling: A global review*. Transportation Research Part A, vol. 42, pp. 1251-1273, 2008.
- INIESTRA, J. G.; GUTIÉRREZ, J. G. *Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework*. Applied Soft Computing, vol. 9, pp. 512-526, 2009.
- INTERNATIONAL TUNNELLING ASSOCIATION (ITA). *Underground or above ground? Making the choice for urban mass transit systems*. Working Group Number 13. Tunnelling and underground Space Technology, vol. 19, pp. 3-28, 2004.
- LISBOA, M. V. *Contribuição para a Tomada de Decisão na Classificação e Seleção de Alternativas de Traçado para Rodovias em Trechos Urbanizados*. POLI-USP, São Paulo, 2002.
- MATEUS, R.; FERREIRA, J. A.; CARREIRA, J. *Multicriteria decision analysis (MCDA): Central Porto high-speed railway station*. European Journal of Operational Research, vol. 187, pp. 1-18, 2008.
- SAATY, T.L. *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- SPENCER, A. H.; ANDONG, W. *Light rail or busway? A comparative evaluation for a corridor in Beijing*. Journal of Transport Geography, vol. 4, n. 4, pp. 239-251, 1996.
- TENG, J.; TZENG, G. *A multiobjective programming approach for selecting non-independent transportation investment alternatives*. Transportation Research Part B, vol. 30, pp. 291-307, 1996.
- TUDELA, A.; AKIKI, N.; CISTERNAS, R. *Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis: An application to urban transport investments*. Transportation Research Part A, vol. 40, pp. 414-423, 2006.
- ÜLENGİN, F.; KABAK, O.; ÖNSEL, S.; ÜLENGİN, B.; AKTAS, E. *A problem-structuring model for analyzing transportation-environment relationships*. European Journal of Operational Research, 2009, doi:10.1016/j.ejor.2009.01.023.