



17º CONGRESSO BRASILEIRO
DE TRANSPORTE E TRÂNSITO

VI INTRANS
EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL
DE TRANSPORTE E TRÂNSITO

28/SET A 2/OUT DE 2009 • CURITIBA • PR

A IMPORTÂNCIA DO TRANSPORTE PÚBLICO PARA A MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL.

Conrado Vidotte Plaza¹; Marcela da Silva Costa²; Antônio Néelson Rodrigues da Silva³

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Transportes,
Av. Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos / SP - Brasil -CEP 13566-590
Tel: (+55 16) 3373 9595, Fax: (+55 16) 3373 9602.

¹ conrado.plaza@usp.br

² marcelas_costa@yahoo.com.br

³ anelson@sc.usp.br

RESENHA

O objetivo deste trabalho é caracterizar a influência do transporte público no cálculo do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS). Esse índice destina-se à gestão da mobilidade urbana e à formulação de políticas para torná-la sustentável.

Palavras-chave: mobilidade urbana, mobilidade sustentável, transporte público urbano.

INTRODUÇÃO

O agravamento dos problemas de transportes e a necessidade de uma nova abordagem para o planejamento da mobilidade têm motivado o desenvolvimento de uma série de estudos e documentos, no Brasil e em outros países, os quais apresentam abordagens distintas para o tema, ao mesmo tempo em que tratam de diferentes questões associadas ao mesmo (ver, por exemplo, ANTP, 2003; BLACK *et al.*, 2002; COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 2007; EUROFORUM, 2007).

Neste contexto, foi desenvolvido o IMUS - Índice de Mobilidade Urbana Sustentável, a partir de dados coletados em 11 capitais brasileiras (SILVA *et al.*, 2009; COSTA, 2008). O índice é composto por uma hierarquia constituída por 9 Domínios: Acessibilidade, Aspectos Ambientais, Aspectos Sociais, Aspectos Políticos, Infraestrutura, Modos Não-motorizados, Planejamento Integrado, Tráfego e Circulação Urbana e os Sistemas de Transporte Urbano. Os Domínios são divididos em 37 Temas, que por sua vez são subdivididos em 87 Indicadores.

Para o cálculo do IMUS, o produto dos pesos associados a cada indicador pelos seus respectivos escores é combinado segundo uma lógica de compensação entre critérios, ou seja, um indicador com valor baixo pode ser compensado por outro com valor alto, de forma a evidenciar a contribuição global e setorial dos mesmos para o resultado final do IMUS. Os pesos Setoriais são obtidos para os Temas, em relação a cada uma das dimensões da sustentabilidade: Social, Econômica e Ambiental. O resultado final, ou escore normalizado, sempre se situa entre zero e um, valores que correspondem, respectivamente, à pior e à melhor condição possível. No Guia de Indicadores do IMUS, parte integrante do trabalho de Costa (2008), são apresentadas tabelas e detalhes de cálculo para esta normalização.

Com o propósito de avaliar o impacto do transporte público no cálculo do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável foi conduzido um estudo de caso na cidade de São Carlos-SP. O impacto de cada um dos indicadores no valor do índice é discutido detalhadamente nesse trabalho, o que aponta para os aspectos que devem ser objeto de intervenção de curto, médio e longo prazo, visando promover os valores do índice baseados na melhoria das condições do transporte público urbano.



DIAGNÓSTICO, PROPOSIÇÕES E RESULTADOS

Conhecida como importante pólo científico e tecnológico do Brasil, a cidade de São Carlos está localizada no centro do estado de São Paulo. Abriga importantes centros de ensino e pesquisa, além de inúmeras empresas de alta tecnologia. Nas últimas décadas, a cidade experimentou um intenso crescimento. Com população aproximada de 213 mil habitantes (IBGE, 2008), São Carlos apresenta hoje uma grande pressão por infraestruturas de diferentes naturezas, dentre elas as de transporte (COSTA, 2008).

Todos os procedimentos usados no cálculo do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável para São Carlos e uma análise detalhada dos resultados obtidos podem ser encontrados em Costa (2008). A Tabela 1 apresenta o resultado global da aplicação do IMUS na cidade de São Carlos, bem como os resultados parciais relacionados a cada uma das três principais dimensões de sustentabilidade. De acordo com o método desenvolvido por Costa (2008), quando o cálculo de algum Indicador ou Tema não é possível, é feita uma redistribuição dos pesos dos mesmos. Desta forma, os resultados apresentados na Tabela 1 já foram corrigidos para compensar a impossibilidade de cálculo de sete dos oitenta e sete indicadores quando da aplicação do método em São Carlos.

Tabela 1 - Resultados do IMUS para a cidade de São Carlos

Índice	Resultados
IMUS _{Global}	0,578
Social	0,195
Econômico	0,193
Ambiental	0,190

Para avaliar a importância dos indicadores de transporte público nos resultados do IMUS foram selecionados para este trabalho, dos 87 indicadores que originalmente compõem o índice, apenas aqueles relacionados ao transporte público urbano, totalizando 21 indicadores. Estes estão distribuídos em diferentes domínios e temas: três pertencem ao *Domínio Acessibilidade* e os demais dezoito ao *Domínio Sistemas de Transporte Urbano*. Para atingir o objetivo proposto, foram executadas análises de sensibilidade de forma individual e conjunta nos indicadores, conforme detalhado nas subseções a seguir.

Análise Individual dos Indicadores

Individualmente, os 21 indicadores foram submetidos a uma análise de sensibilidade, atribuindo-se a cada indicador o valor mínimo e máximo do escore normalizado, respectivamente zero e um. Ao longo desse processo foram registradas as variações observadas no resultado obtido para o valor global do IMUS em relação ao valor originalmente observado (0,578). Com isto tornou-se possível avaliar a influência de cada um deles para o índice global, conforme consta da Tabela 2. As informações contidas na Tabela 2 permitem identificar os Domínios (coluna 1) e Temas (coluna 2) de cada um dos Indicadores (coluna 3), associados aos códigos numéricos originalmente atribuídos por Costa (2008). Além disso, a quarta coluna apresenta o escore normalizado do indicador, obtido através do seu cálculo para a cidade de São Carlos, e que levou ao valor global do IMUS reproduzido na sexta coluna. A quinta coluna e a sétima coluna contêm, respectivamente, os valores mínimo e máximo para o valor global do IMUS caso os indicadores descritos em cada uma das linhas assumissem os valores zero e um. Isso aconteceria quando o indicador estivesse em sua pior condição (ou seja, escore normalizado igual a zero), ou em sua melhor condição (ou seja, escore normalizado igual a um).



Tabela 2 - Análise de sensibilidade individualizada dos indicadores do IMUS
relacionados ao Transporte Público

DOMÍNIO	TEMA	INDICADOR	Escore original associado ao indicador	IMUS _{Global}		
				Mínimo possível	Cálculo original	Máximo possível
1 - ACESSIBILIDADE	1.1 - Acessibilidade aos sistemas de transporte	1.1.1 - Acessibilidade ao transporte público	0,589	0,572	0,578	0,583
		1.1.2 - Transporte público para pessoas com necessidades especiais	1,000	0,568	0,578	0,578
		1.1.3 - Despesas com transporte	0,289	0,575	0,578	0,586
9 - SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO	9.1 - Disponibilidade e qualidade do transporte público	9.1.1 - Extensão da rede de transporte público	0,125	0,578	0,578	0,581
		9.1.2 - Frequência de atendimento do transporte público	0,000	0,578	0,578	0,582
		9.1.3 - Pontualidade	0,650	0,576	0,578	0,579
		9.1.4 - Velocidade média do transporte público	0,625	0,576	0,578	0,579
		9.1.5 - Idade média da frota de transporte público	0,810	0,576	0,578	0,579
		9.1.6 - Índice de passageiros/km	0,000	0,578	0,578	0,582
		9.1.7 - Passageiros transportados anualmente	0,250	0,577	0,578	0,581
		9.1.8 - Satisfação do usuário com o serviço de transporte público	0,180	0,578	0,578	0,581
	9.2 - Diversificação modal	9.2.1 - Diversidade de modos de transporte	0,750	0,573	0,578	0,580
		9.2.2 - Transporte coletivo x transporte individual	0,000	0,578	0,578	0,585
		9.2.3 - Modos não-motorizados x modos motorizados	0,000	0,578	0,578	0,585
	9.3 - Regulação e fiscalização do transporte público	9.3.1 - Contratos e licitações	1,000	0,568	0,578	0,578
		9.3.2 - Transporte clandestino	1,000	0,568	0,578	0,578
	9.4 - Integração do transporte público	9.4.1 - Terminais intermodais	0,330	0,574	0,578	0,586
		9.4.2 - Integração do transporte público	1,000	0,566	0,578	0,578
	9.5 - Política tarifária	9.5.1 - Descontos e gratuidades	0,417	0,575	0,578	0,582
		9.5.2 - Tarifas de transporte	0,000	0,578	0,578	0,585
		9.5.3 - Subsídios públicos	1,000	0,571	0,578	0,578

Análise dos Indicadores em Conjunto

Dada a diversidade de condições a que estão submetidos os indicadores nas condições reais da cidade, a identificação de grupos de elementos com características similares pode ser útil para as análises propostas. Dessa forma, torna-se possível avaliar também a influência desses grupos de indicadores no valor global do IMUS. Embora os vinte e um indicadores selecionados permitam uma grande possibilidade de combinações para a formação de grupos, para as análises de sensibilidade aqui realizadas foram identificados apenas cinco grupos com características relevantes para o objetivo em questão.

Neste processo, as análises de sensibilidades foram feitas considerando-se as variações possíveis em cada grupo, ou seja, elevando ou reduzindo simultaneamente aos extremos os escores de todos os indicadores pertencentes ao grupo. Assim é possível obter resultados para os índices global e setoriais para o grupo e, posteriormente, compará-los aos índices reais de São Carlos, apresentados na Tabela 1. O primeiro grupo considerado, por exemplo, denominado Grupo TPU, é constituído por todos os 21 indicadores relacionados ao transporte público, conforme já apresentado na Tabela 2. Os resultados da análise de sensibilidade para o Grupo TPU estão resumidos na Tabela 3. Essa forma de análise ressalta o intervalo máximo e mínimo da influência do transporte público no valor do IMUS, considerando a hipótese de todos os indicadores receberem melhorias e assumirem escores altos ou agravarem-se ao extremo, tornando a situação crítica.

Os valores apresentados na Tabela 3 (e nas Tabelas 7, 8, 9 e 10, que também apresentam resultados das análises de grupos) estão organizados da seguinte forma. Na primeira coluna encontra-se discriminada a dimensão a que se referem os resultados de cada linha. Tanto podem aparecer os resultados globais do IMUS, como os resultados associados a cada uma das dimensões de sustentabilidade. Na sequência, logo após a coluna 2, em que são reproduzidos os valores originais que servem como referência para cálculo, aparecem os valores mínimos para cada um dos índices (quando todos os indicadores do grupo considerado assumem valor zero), bem como as variações destes valores em relação aos valores originais encontrados na cidade, conforme a coluna 2. O mesmo se dá, respectivamente, nas duas últimas colunas da Tabela 3, mas em relação aos valores máximos (quando todos os indicadores do grupo considerado assumem valor igual a um).

Tabela 3 - Análise de sensibilidade do Grupo TPU

Índice	Valores originais de referência	Resultados			
		Mínimo	Variação (%)	Máximo	Variação (%)
IMUS _{Global}	0,578	0,499	- 14	0,642	+ 11
Social	0,195	0,167	- 14	0,218	+ 12
Econômico	0,193	0,166	- 14	0,215	+ 11
Ambiental	0,190	0,166	- 13	0,209	+ 10

A formação dos demais grupos de análise obedeceu a duas classificações a que foram submetidos os indicadores, com base nos seguintes critérios:

- Avaliação do estado crítico dos indicadores;
- Avaliação da implantação de possíveis soluções para promoção dos indicadores.

O primeiro critério utiliza a Tabela 2 como base de comparações, através do cotejo da coluna 6 com as colunas 5 e 7 para cada indicador. Quando o valor da coluna 6 se aproxima do valor da coluna 7, o indicador é considerado em estado Ótimo; já quando próximo do valor da coluna 5, é dito em estado Crítico. Os níveis intermediários são decorrentes da distância do valor do indicador a esses extremos. Para aplicação do segundo critério foram



estudadas soluções para elevação do escore dos indicadores e, em seguida, estas foram classificadas de acordo com a sua facilidade de implantação. Se a solução apresenta poucas restrições e baixos custos, a solução possui fácil implantação, caso contrário, possui difícil implantação. As escalas de classificação dos critérios estão apresentadas na Tabela 4 e na Tabela 5. A classificação dos indicadores a partir destes conceitos aparece resumida na Tabela 6. Cabe observar que os indicadores que originalmente já haviam obtido escore máximo igual a um quando normalizado não receberam nenhuma avaliação no que se refere ao nível de solução.

Tabela 4 - Grupos de acordo com escala de classificação do estado do indicador

Identificação do Grupo	Estado do Indicador
TPU_(+/+)	1 - Ótimo
TPU_(+)	2 - Bom
TPU_(+/-)	3 - Razoável
TPU_(-)	4 - Ruim
TPU_(-/-)	5 - Crítico

Tabela 5 - Grupos de acordo com escala de grau de dificuldade de implantação da solução

Identificação do Grupo	Nível da Solução
TPU_FAC	1 - Fácil implantação
TPU_INT	2 - Intermediário
TPU_DIF	3 - Difícil implantação

Tabela 6 - Indicadores e suas classificações

Indicador	Estado do Indicador					Nível da Solução		
	1	2	3	4	5	1	2	3
1.1.1 - Acessibilidade ao transporte público				X				X
1.1.2 - Transporte público para pessoas com necessidades especiais	X							escore 1
1.1.3 - Despesas com transporte				X				X
9.1.1 - Extensão da rede de transporte público					X			X
9.1.2 - Frequência de atendimento do transporte público					X			X
9.1.3 - Pontualidade		X					X	
9.1.4 - Velocidade média do transporte público		X						X
9.1.5 - Idade média da frota de transporte público		X						X
9.1.6 - Índice de passageiros/km					X			X
9.1.7 - Passageiros transportados anualmente					X			X
9.1.8 - Satisfação do usuário com o serviço de transporte público					X			X
9.2.1 - Diversidade de modos de transporte				X				X
9.2.2 - Transporte coletivo x transporte individual					X			X
9.2.3 - Modos não-motorizados x modos motorizados					X			X
9.3.1 - Contratos e licitações	X							escore 1
9.3.2 - Transporte clandestino	X							escore 1
9.4.1 - Terminais intermodais					X			X
9.4.2 - Integração do transporte público	X							escore 1
9.5.1 - Descontos e gratuidades					X			X
9.5.2 - Tarifas de transporte					X			X
9.5.3 - Subsídios públicos	X							escore 1



A partir das Tabelas 4, 5 e 6 foi possível definir outros grupos de indicadores com características específicas que os tornam potencialmente interessantes para as análises de sensibilidade conduzidas na sequência. Este é o caso dos grupos de indicadores que receberam a classificação Ruim (valor 4 da Tabela 4 - Grupo TPU_(-)) ou Crítico (valor 5 da Tabela 4 - Grupo TPU_(-/-)), conforme lista da Tabela 6. A análise destes grupos fornece a informação de como os indicadores mais críticos, tendo em vista os seus pesos, influenciam no resultado final do IMUS caso sofram alterações. Os índices encontrados para o Grupo TPU_(-) combinado com o Grupo TPU_(-/-) (indicadores em estado ruim ou crítico) estão resumidos na Tabela 7, enquanto que os valores encontrados somente para os indicadores do Grupo TPU_(-/-) (indicadores em estado crítico) estão resumidos na Tabela 8. Pode-se observar, pela comparação dos valores máximos possíveis para o $IMUS_{Global}$ nos dois casos, que o impacto adicional da melhoria dos indicadores do Grupo TPU_(-) em relação aos do Grupo TPU_(-/-) foi relativamente pequeno (de + 8 para + 10 % no caso do valor máximo e de - 1 para - 2 % no caso do valor mínimo).

Tabela 7 - Análise de sensibilidade do Grupo TPU_(-) combinado com o Grupo TPU_(-/-)

Índice	Valores originais de referência	Resultados			
		Mínimo	Variação (%)	Máximo	Variação (%)
$IMUS_{Global}$	0,578	0,567	- 2	0,633	+ 10
Social	0,195	0,191	- 2	0,215	+ 10
Econômico	0,193	0,189	- 2	0,212	+ 10
Ambiental	0,190	0,186	- 2	0,206	+ 8

Tabela 8 - Análise de sensibilidade do Grupo TPU_(-/-)

Índice	Valores originais de referência	Resultados			
		Mínimo	Variação (%)	Máximo	Variação (%)
$IMUS_{Global}$	0,578	0,573	- 1	0,622	+ 8
Social	0,195	0,194	- 1	0,211	+ 8
Econômico	0,193	0,191	- 1	0,208	+ 8
Ambiental	0,190	0,188	- 1	0,203	+ 7

Outros dois grupos de indicadores foram considerados para análise: o Grupo TPU_FAC, formado pelos indicadores com soluções de fácil implantação, e o Grupo TPU_INT, que contém os indicadores que exigem soluções de nível intermediário de implantação. Os resultados da análise de sensibilidade do Grupo TPU_FAC constam da Tabela 9. A Tabela 10 contém os resultados da análise de sensibilidade do Grupo TPU_FAC combinado com o Grupo TPU_INT. A comparação dos valores máximos possíveis para o $IMUS_{Global}$ nos dois casos revela que o impacto adicional da melhoria dos indicadores do Grupo TPU_INT em relação aos do Grupo TPU_FAC foi expressiva (de 0 para + 8 % no caso do valor máximo e de 0 para - 4 % no caso do valor mínimo).

Tabela 9 - Análise de sensibilidade do Grupo TPU_FAC

Índice	Valores originais de referência	Resultados			
		Mínimo	Variação (%)	Máximo	Variação (%)
IMUS _{Global}	0,578	0,576	0	0,579	0
Social	0,195	0,195	0	0,196	+1
Econômico	0,193	0,193	0	0,194	+ 1
Ambiental	0,190	0,189	- 1	0,190	0

Tabela 10 - Análise de sensibilidade do Grupo TPU_FAC combinado com o Grupo TPU_INT

Índice	Valores originais de referência	Resultados			
		Mínimo	Variação (%)	Máximo	Variação (%)
IMUSg	0,578	0,557	- 4	0,624	+ 8
Social	0,195	0,188	- 4	0,212	+ 9
Econômico	0,193	0,186	- 4	0,209	+ 8
Ambiental	0,190	0,183	- 4	0,203	+ 7

CONCLUSÕES

Com o objetivo de caracterizar a influência do transporte público no cálculo do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS), foi conduzido um estudo de caso na cidade de São Carlos-SP, onde o valor global do IMUS originalmente encontrado foi de 0,578. A variação dos escores dos indicadores do Domínio estudado para valores mínimos e máximos poderia levar a uma variação do IMUS de 0,499 a 0,642. O impacto de cada um dos indicadores no valor do índice foi analisado detalhadamente nesse trabalho, o que aponta para aspectos que devem ser objeto de intervenção de curto, médio e longo prazo.

Entre os 87 indicadores que compõem o IMUS, vinte e um estão diretamente relacionados ao transporte público urbano. A influência de todos esses 21 indicadores, aqui caracterizados como o Grupo TPU de análise, pode levar o índice global a variar em um intervalo de - 14 % a + 11 %. Cabe observar que cinco indicadores (ou 24 % dos vinte e um indicadores do Grupo TPU) não necessitam de nenhuma mudança no momento, pois já se encontram no valor máximo possível, ou seja, escore normalizado igual a um. Dos 76 % restantes do Grupo TPU que podem melhorar o escore através da introdução de mudanças, apenas um indicador apresentou solução de fácil aplicação (subconjunto de indicadores que constitui o Grupo que se convencionou chamar de TPU_FAC). Trata-se do *Indicador Pontualidade*, que na estrutura do IMUS recebeu o código 9.1.3, por ser o terceiro indicador do primeiro Tema (*Disponibilidade e Qualidade do Transporte Público*) do Domínio 9 (*Sistemas de Transporte Urbano*). A análise de sensibilidade do Grupo TPU_FAC, no entanto, levou a uma variação praticamente nula no valor global do IMUS, quando comparado ao valor original encontrado para São Carlos. Isso sugere que uma melhoria isolada desse indicador não melhora as condições gerais de mobilidade da cidade de forma expressiva.

Seis indicadores apresentaram soluções classificadas como de difícil implantação (Grupo chamado de TPU_DIF), pois são soluções que dependem diretamente de outros elementos, como alterações nas condições de distribuição da população e do tráfego, que introduzem incertezas significativas quanto aos resultados finais. Já desconsiderando aqueles indicadores que possuíam escore igual a um na situação original, os nove indicadores restantes (Grupo chamado de TPU_INT) apresentaram soluções de possível implantação, porém com restrições específicas. A análise de sensibilidade do Grupo TPU_INT foi feita de



forma combinada com o Grupo TPU_FAC e levou a uma variação do IMUS de - 4 % à + 8 %. Convém ressaltar que as possíveis soluções avaliadas para os indicadores dos Grupos TPU_INT e TPU_FAC devem apresentar resposta apenas no longo prazo. A análise de sensibilidade do Grupo TPU_(-) combinado com o Grupo TPU_(-/-) e somente do Grupo TPU_(-/-), que estão relacionados às condições atuais dos indicadores (conforme Tabela 6), também mostrou variação relativamente pequena, no intervalo de - 2 % a + 10 %.

Das análises executadas neste projeto foi possível concluir que, em uma escala de zero a um, a influência positiva resultante do transporte público urbano resulta em 14,3% no cálculo do IMUS, ou seja, na escala normalizada de zero a um, o transporte público aumenta o índice global em até 0,143. Esse aumento, relativamente pequeno, sugere uma reflexão a respeito do conceito de mobilidade e de que como ele se manifesta através do IMUS. Na sua concepção, o IMUS procura incorporar em sua estrutura diversos *Domínios* que, embora não diretamente relacionados aos transportes, produzem profundas alterações nas condições de mobilidade da população, com reflexos ambientais, sociais e econômicos. Essa condição remete a uma visão de planejamento da cidade que extrapola o planejamento de transportes da forma como ele vem sendo praticado, no mínimo, ao longo dos últimos 50 ou 60 anos. É preciso, portanto, ampliar a visão do planejamento para incorporar o planejamento da mobilidade e não apenas do transporte.

BIBLIOGRAFIA

ANTP. **Mobilidade e cidadania**. São Paulo: Associação Nacional de Transportes Públicos, 2003.

BLACK J. A.; PAEZ A.; SUTHANAYA P. A. Sustainable urban transportation: performance indicators and some analytical approaches. **Journal of Urban Planning and Development**, v.128, n. 4, p. 184-209, 2002

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. **Livro verde: por uma nova cultura de mobilidade urbana**. Documento de Trabalho da Comissão, Bruxelas, 2007.
Disponível em: <http://ec.europa.eu/transport/clean/green_paper_urban_transport/doc/2007_09_25_gp_urban_mobility_pt.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2008.

COSTA, M. C. **Um índice de mobilidade urbana sustentável para cidades brasileiras**. 2008. 248 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Área de Concentração Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

EUROFORUM. **Draft paper state of the art of research and development in the field of urban mobility**. The European Research Forum for Urban Mobility (EUROFORUM), 2007. Disponível em:
<http://www.euroforum.net/html/fileadmin/SoA_FinalDraft_160207_FINAL.PD>. Acesso em: 10 mar. 2008.

IBGE. **Cidades**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2008.
Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 15 jun. 2009.

SILVA, A. N. R.; COSTA, M. C.; MACEDO, M. H. Multiple views of sustainable urban mobility: the case of Brazil. **Transport Policy**, v. 15, n. 6, p. 350-360, jan. 2009.