

# ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL PARA CIDADES BRASILEIRAS

**Marcela da Silva Costa<sup>1</sup>**  
**Rui António Rodrigues Ramos<sup>2</sup>**  
**Antônio Néilson Rodrigues da Silva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos

<sup>2</sup>Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

## RESUMO

Este trabalho descreve o processo de formulação de um índice de mobilidade urbana sustentável adaptado para cidades brasileiras, e discute aspectos relacionados a sua aplicação como ferramenta de auxílio às atividades de planejamento e gestão da mobilidade em nível urbano. O índice baseia-se em três elementos básicos: uma hierarquia de critérios construída através de dados obtidos junto a técnicos e gestores de onze cidades brasileiras, pesos definidos a partir de consulta a especialistas do Brasil e de outros países nas áreas de planejamento urbano, transportes, mobilidade e sustentabilidade urbana e um procedimento de combinação de critérios que permite a compensação entre os mesmos. Incorporando as dimensões da sustentabilidade em sua estrutura, o índice permite, além da avaliação global da mobilidade urbana, avaliar aspectos específicos para os domínios Social, Econômico e Ambiental, auxiliando na proposição de políticas setoriais e integradas, voltadas à promoção do conceito de mobilidade urbana sustentável.

## ABSTRACT

This work describes the process of construction of a sustainable urban mobility index suitable for Brazilian cities. Some aspects related to its practical implementation as a supporting tool for mobility planning and management at the urban level are also discussed. The index is based on three basic elements: a hierarchy of criteria built on data gathered from public managers and practitioners of eleven Brazilian cities, weights obtained from experts in the fields of urban and transportation planning, mobility and urban sustainability in Brazil and abroad, and a procedure allowing trade-off for the combination of criteria. In addition to a global evaluation of urban mobility, the index allows the assessment of specific aspects in the social, environmental and economic dimensions of sustainability, as they are embedded in the index structure. That can be a useful contribution for the definition of sectorial or integrated public policies aiming at the promotion of sustainable urban mobility.

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar das definições já aceitas e difundidas internacionalmente, o conceito de mobilidade sustentável permanece extremamente dependente do contexto a que se aplica. Em função disso, cada país deverá trabalhá-lo em diferentes níveis, de modo a refletir suas prioridades e as prioridades de suas diferentes regiões. Além disso, os sistemas de transportes são complexos, e tal complexidade deriva das diferenças estruturais existentes, como também das diferentes organizações envolvidas em seu planejamento e gestão. Esta complexidade é agravada pela existência de diferentes modos e do papel que estes representam, sistemas regulatórios e de financiamento, tecnologias e modelos de uso do solo (Richardson, 2005).

A Europa e a América do Norte são pioneiras na pesquisa de um novo conceito de mobilidade e no desenvolvimento e aplicação de indicadores para sua monitoração. Na Europa, o foco principal destas medidas está sobre a integração das questões ambientais nas demais políticas públicas. Nos Estados Unidos, sistemas de indicadores são desenvolvidos em todos os níveis, formalizando planos estratégicos estabelecidos pelo governo. No Canadá, ferramentas para medir o desempenho de políticas públicas também incluem relatórios sobre desenvolvimento sustentável baseados na observação de indicadores, combinando elementos e estruturas presentes nas experiências da Europa e Estados Unidos (Gudmundsson, 2000).

No Brasil, a noção de sustentabilidade ambiental, econômica e social tem sido recentemente incorporada no processo de planejamento urbano, especialmente no que se refere ao planejamento da mobilidade (Silva *et al.*, 2007). Neste sentido, a análise da evolução de indicadores se constitui em uma importante ferramenta neste processo, na medida em que permite analisar a estrutura das cidades, identificar oportunidades e deficiências e acompanhar a implementação e impactos das estratégias visando a mobilidade sustentável.

Neste contexto, este trabalho apresenta uma proposta de Índice de Mobilidade Urbana Sustentável adaptado para cidades brasileiras, de forma a fornecer uma ferramenta auxiliar no processo de implementação do conceito e acompanhar a evolução das políticas implementadas. O método de desenvolvimento do índice, bem como considerações sobre sua estrutura e aplicação são discutidos a seguir.

## **2. MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DO IMUS**

O Índice de Mobilidade Urbana Sustentável, identificado neste trabalho como IMUS, de modo a constituir uma ferramenta de apoio ao processo de monitoração da mobilidade urbana e à formulação de políticas públicas, tem como principais características:

- apóia-se em uma hierarquia de critérios construída a partir de conceitos e elementos identificados junto a técnicos e gestores em nível municipal e metropolitano, de onze das principais cidades brasileiras;
- estabelece um sistema de pesos para os critérios, revelando sua importância relativa. Considera ainda o peso das dimensões da sustentabilidade (Social, Econômica e Ambiental) para cada tema avaliado, permitindo avaliar os impactos de ações setoriais sobre o sistema de mobilidade e sobre cada dimensão;
- adota um modelo de agregação dos critérios que permite sua compensação, ou seja, permite que um critério de qualidade baixa seja compensado por um conjunto de critérios de maior qualidade;
- constitui uma ferramenta de fácil compreensão e simplicidade de aplicação, não exigindo pacotes computacionais específicos, nem conhecimento de modelos matemáticos complexos para sua utilização.

As etapas de construção do índice são descritas nos subitens apresentados a seguir.

### **2.1. Caracterização do conceito de Mobilidade Urbana Sustentável**

Na primeira etapa de construção do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável foi identificada uma série de elementos que refletem o entendimento da questão em cidades brasileiras. Os dados foram obtidos com base nas atividades desenvolvidas em *workshops* realizados com técnicos e gestores públicos e promovidos pelo Ministério das Cidades no contexto do programa de capacitação “Gestão Integrada da Mobilidade Urbana”. Esses *workshops* foram realizados em onze cidades brasileiras distribuídas pelas cinco regiões do país, de Maio de 2005 a Novembro de 2006. As cidades envolvidas foram Porto Alegre e Florianópolis, na Região Sul, Belo Horizonte e Vitória, na Região Sudeste, Goiânia, na Região Centro-oeste, Aracaju, Maceió, Recife e Fortaleza, na Região Nordeste, e Palmas e Manaus, na Região Norte do país.

A dinâmica dos *workshops*, que reuniam em média 40 participantes cada um, incluía a discussão de aspectos relacionados à Política Nacional de Mobilidade Urbana difundida pelo Ministério das Cidades, além do processo de construção do referencial de mobilidade urbana sustentável para a cidade ou conjunto de cidades que sediaram o evento. As atividades foram desenvolvidas com base na Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão - Construtivista

(conhecida pela sua sigla em inglês MCDA-C), culminando em um conjunto de Alternativas, Pontos de Vista Fundamentais (PVFs) e Indicadores que descrevem os problemas, preocupações e potencialidades para a efetivação do conceito de mobilidade urbana sustentável na cidade ou Região Metropolitana. Detalhes da metodologia MCDA-C podem ser vistos em Bana e Costa (1993), Roy (1996) e Ensslin *et al.* (2001). Já detalhes de sua aplicação nos *workshops*, bem como a análise global e por região dos dados obtidos podem ser vistos em Costa e Silva (2006) e Silva *et al.* (2007).

## **2.2. Construção da estrutura Hierárquica de Critérios do IMUS**

O conjunto de 55 Alternativas, que refletem grandes áreas de preocupação, 96 PVFs, que refletem temas específicos, e 645 Indicadores, relacionados à monitoração dos aspectos discutidos nos onze *workshops* realizados, foram posteriormente analisados e agregados, a fim de reduzir o conjunto de elementos e estabelecer uma hierarquia de critérios comum a todas as cidades pesquisadas.

A agregação dos critérios teve início com as Alternativas, onde foram desenvolvidos processos sucessivos de análise dos conceitos, comparação e fusão daqueles que expressavam idéias semelhantes. As etapas de agregação das Alternativas compreenderam:

- agrupamento das Alternativas com nomenclatura idêntica, reduzindo o conjunto de 55 para 45 elementos;
- agrupamento das Alternativas com pelos menos um tópico em comum ou denominação semelhante, reduzindo o conjunto para 15 elementos;
- identificação dos agrupamentos com menor número de Alternativas, verificação do nível dos PVFs para detalhamento do conceito expresso em cada Alternativa e relocação dos PVFs para agrupamentos maiores, quando verificada semelhança entre as idéias expressas, reduzindo o conjunto para 9 elementos;
- atribuição de nomes aos 9 agrupamentos que melhor descrevessem as idéias expressas nas Alternativas e PVFs agregados.

Para a redução do conjunto de PVFs agregados às Alternativas foram realizados os seguintes procedimentos:

- resgate dos conceitos completos que originaram os PVFs (pólo positivo que representava um conceito orientado à ação e pólo negativo que representava o oposto psicológico), a partir dos registros efetuados nos *workshops*;
- identificação da idéia-chave de cada PVF com base no conceito completo;
- agrupamento dos PVFs dentro de cada Alternativa, de acordo com as idéias-chave, reduzindo o número de PVFs de 96 para 37. Os indicadores associados a cada PVF são relocados junto com o mesmo;
- renomeação dos PVFs de acordo com o conceito mais amplo que expressa.

Devido à sua abrangência, as Alternativas passaram a ser identificadas como Domínios. Já os PVFs, por tratarem de questões específicas associadas a cada Domínio, passaram a ser identificados como Temas na hierarquia de critérios que compõe o IMUS.

Para cada um dos Temas identificados são associadas as três dimensões consideradas na sustentabilidade (Social, Econômica e Ambiental) a fim de relacionar os impactos que cada ação pode vir a ter em cada uma dessas dimensões, conforme será detalhado no item 4.

## **2.3. Identificação de Indicadores de Mobilidade**

A identificação de indicadores relacionados à monitoração de cada um dos Temas foi

desenvolvida a partir de dois conjuntos de informação: uma base de referência composta por aproximadamente 2700 indicadores urbanos oriundos de sistemas desenvolvidos no Brasil e no exterior; e o conjunto de indicadores obtido nos *workshops* realizados nas cidades brasileiras.

Primeiramente foi estabelecida uma estrutura auxiliar para a busca de indicadores no sistema de referência. Esta estrutura é composta pelos Domínios, Temas e suas respectivas definições, tópicos abordados em cada tema (com base nas informações iniciais obtidas nas cidades) e palavras e expressões que auxiliassem na identificação destes tópicos. Um exemplo da estrutura de referência para o Domínio *Aspectos Ambientais* é mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1:** Estrutura de auxílio à busca de indicadores.

ID	Dom.	ID	Tema	Definição	Auxílio à Busca	
					Tópicos	Palavras Expressões
2	Aspectos Ambientais	2.1	Controle dos impactos no meio ambiente	Instrumentos de monitoração e controle dos impactos oriundos dos sistemas de transporte no meio ambiente.	Emissões de poluentes Medidas preventivas e mitigadoras Ruído de tráfego	control, polu (pollu), ambient (environment), tecno (tech), mitiga, emiss, impact, preven, resid (waste)
		2.1	Recursos naturais	Utilização de recursos naturais pelos sistemas de transporte e mobilidade.	Consumo de energia Fontes de energia	recurso (resource), renov (renewable), alternativ, energ, combust (fuel)

Através da busca pelas palavras e expressões na base de referência e da atribuição do respectivo identificador (ID) aos indicadores que as continham foram identificados 575 elementos, classificados de acordo com os Temas que compõem a hierarquia. O mesmo procedimento foi aplicado para o conjunto de indicadores das cidades, classificando 623 indicadores. Vinte e dois indicadores não puderam ser classificados por conterem informações incompletas e imprecisas, impossibilitando a definição do seu respectivo Tema.

Os dois conjuntos classificados foram cruzados permitindo destacar os indicadores mais representativos de cada Tema, e comuns a ambos os conjuntos. Para filtragem e determinação dos indicadores finais foram analisadas as informações técnicas e metodológicas disponíveis em seus sistemas de origem, privilegiando a seleção daqueles que apresentavam informações mais claras e detalhadas para seu desenvolvimento.

Com base nestes procedimentos foram selecionados 87 indicadores, para os quais se encontra em preparação um guia contendo todos os procedimentos para seu desenvolvimento, incluindo: definição detalhada, unidade de medida, contribuição para o índice IMUS (positiva ou negativa), método de cálculo e ferramentas auxiliares e processo de normalização.

A Figura 1 apresenta a configuração final dos critérios da estrutura hierárquica proposta para o IMUS, subdividida em Domínios, Temas e Indicadores, em que surgem inseridas as dimensões da sustentabilidade entre a definição dos Domínios e respectivos Temas.



**Figura 1:** Configuração da hierarquia de critérios proposta para o IMUS.

#### 2.4. Definição de pesos para os critérios

De posse dos critérios que compõem a estrutura hierárquica do IMUS, a fase seguinte contemplou a determinação de pesos para os mesmos. Estes foram obtidos recorrendo à opinião de um painel de especialistas nas áreas de planejamento urbano, transportes,

mobilidade e sustentabilidade, do Brasil e do exterior. A seleção dos especialistas se deu com base em sua experiência prévia e trabalhos desenvolvidos nas áreas relacionadas. A intenção foi envolver pesquisadores com conhecimento em diferentes campos, permitindo uma análise comparativa dos critérios que compõem o IMUS, evidenciando sua importância relativa para a sustentabilidade urbana.

A consulta foi desenvolvida via internet e a cada um dos avaliadores convidados a participar no painel foi enviado o endereço eletrônico que permitia acessar às informações sobre a pesquisa e executar o processo de avaliação.

Aos especialistas foi solicitado avaliar a importância de cada Tema dentro do Domínio em que se integra e a importância relativa a cada Dimensão da sustentabilidade. A avaliação foi efetuada através da atribuição de pontos utilizando uma escala de 5 níveis, variando de 1 (Insignificante) a 5 (Extremamente importante).

Os resultados das avaliações de cada especialista foram registrados automaticamente em um banco de dados. Posteriormente estes foram normalizados de modo a obter pesos para cada um dos critérios, por avaliador. O peso final definido para cada critério corresponde à média aritmética de todas as avaliações efetuadas para esse critério.

Os pesos dos Temas e das Dimensões da sustentabilidade para cada Tema foram obtidos diretamente do painel e dos procedimentos descritos anteriormente. Os pesos dos Domínios foram obtidos através da média aritmética dos pesos dos Temas que incluem. No que diz respeito aos Indicadores, foram atribuídos pesos iguais para os indicadores integrantes de cada Tema.

## **2.5. Agregação e normalização dos critérios: aplicação do índice**

A etapa final de construção do índice consiste na definição do processo de normalização dos valores obtidos para os indicadores e na definição do modelo de agregação dos critérios.

O processo de normalização é necessário, uma vez que os valores de diferentes critérios não são comparáveis entre si, o que inviabiliza a sua agregação imediata. Desta forma, eles são normalizados para uma mesma escala de valores. Para cálculo do IMUS, o processo consiste no cálculo de um *score* normalizado para os valores dos indicadores, obtido através da diferença entre o valor do indicador e a média geral dos indicadores obtidos para todas as cidades, dividida pelo respectivo desvio padrão. Neste processo podem ser incorporadas variáveis que assumem o valor +1 quando maiores valores do *score* do critério contribuem positivamente para o objetivo em causa, ou o valor -1 quando maiores valores do *score* contribuem negativamente para o objetivo (Silva *et al.*, 2004; Mendes, 1999).

Uma vez normalizados, os *scores* dos indicadores podem ser agregados de acordo com uma regra de decisão, cuja descrição extensiva destes métodos pode ser vista em Malczewski (1999). O método de agregação proposto para o IMUS consiste em uma combinação linear ponderada, onde os critérios são combinados através de uma média ponderada.

Conforme Silva *et al.* (2004), a característica mais importante deste procedimento é o fato de permitir a compensação entre critérios, o que significa que uma qualidade (*score* obtido para um critério) muito pobre numa dada alternativa pode ser compensada por um conjunto de boas qualidades (*scores* mais altos a respeito de outros critérios).

### 3. HIERARQUIA DE CRITÉRIOS E CÁLCULO DO ÍNDICE IMUS

Os procedimentos descritos no item 2 resultaram em uma hierarquia de critérios composta por nove Domínios (originados das Alternativas obtidas nas cidades pesquisadas), trinta e sete Temas (originados dos PVFs) e oitenta e sete Indicadores, com seus respectivos pesos obtidos a partir do processo de normalização e cálculo da média aritmética tendo por base a participação dos especialistas. A hierarquia agrega ainda as três Dimensões da sustentabilidade, indicando a importância que cada um dos trinta e sete Temas possui em relação a cada uma delas. A Tabela 2 apresenta a estrutura completa do IMUS.

Já o processo de agregação dos critérios, considerando a avaliação dos Indicadores, Temas e Domínios e a inserção das Dimensões da sustentabilidade, resultou em um índice global e em índices setoriais, para cada dimensão, conforme mostram as equações 1 e 2, respectivamente.

$$\text{IMUS}_g = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i \cdot c_i \cdot x_i \quad (1)$$

em que:  $\text{IMUS}_g$ : Índice Global;  
 $a_i$ : peso do Domínio a que pertence o Indicador  $i$ ;  
 $b_i$ : peso do Tema a que pertence o Indicador  $i$ ;  
 $c_i$ : peso do Indicador  $i$ ;  
 $x_i$ : *score* (valor normalizado) obtido para o Indicador  $i$ .

$$\text{IMUS}_{s_j} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot d_i \cdot b_i \cdot c_i \cdot x_i, \text{ com } s_j = \text{Dimensão Social ou Econômica ou Ambiental} \quad (2)$$

em que:  $\text{IMUS}_{s_j}$ : Índice Setorial para a Dimensão  $s_j$ ;  
 $d_i$ : peso da Dimensão de sustentabilidade  $s_j$  no Tema a que pertence o Indicador  $i$ ;  
 $a_i, b_i, c_i, x_i$ : conforme definições acima.

### 4. ANÁLISE DA ESTRUTURA DO IMUS

A análise da hierarquia de critérios e do sistema de pesos obtidos para o IMUS deve considerar, primeiramente, aspectos relacionados à obtenção dos dados sobre os quais se baseou a estrutura proposta, o processo de agregação dos mesmos, além do método de obtenção dos pesos para os critérios.

O índice buscou refletir as questões fundamentais para a promoção do conceito de MUS no país, uma vez que sua estrutura foi obtida com base em pesquisa realizada com técnicos e gestores municipais, que conhecem e vivenciam os problemas de planejamento e gestão da mobilidade urbana das principais cidades brasileiras. No entanto, a hierarquia de critérios representa as preocupações específicas das capitais de estado, bem como suas características espaciais, econômicas e sociais, além das características de seus sistemas de mobilidade. Deve-se, portanto, avaliar sua aplicabilidade para municípios de menor porte, com estrutura institucional e sistemas de mobilidade distintos, propondo eventualmente adaptações para melhor adequá-lo a estas situações. Além disso, os dados obtidos estão relacionados a um contexto temporal específico, podendo ser reavaliados em situações futuras, em função de mudanças de ordem econômica, social ou ambiental ou do sistema de mobilidade urbana.

**Tabela 2: Estrutura Hierárquica de Critérios do IMUS e respectivos Pesos**

DOMÍNIO	PESO	DIMENSÕES			IMUS			PESO	INDICADOR	PESO
		S	E	A	TEMA					
ACESSIBILIDADE	0,108	0,38	0,36	0,26	Acessibilidade aos sistemas de transportes	0,29	Acessibilidade ao transporte público	0,33		
							Transporte público para pessoas com necessidades especiais	0,33		
							Despesas com transporte	0,33		
		0,40	0,32	0,27	Acessibilidade universal	0,28	Travessias adaptadas a pessoas com necessidades especiais	0,20		
							Acessibilidade a espaços abertos	0,20		
							Vagas de estacionamento para pessoas com necessidades especiais	0,20		
ASPECTOS AMBIENTAIS	0,113	0,38	0,30	0,32	Barreiras físicas	0,22	Fragmentação urbana	1,00		
		0,46	0,28	0,27	Legislação para pessoas com necessidades especiais	0,21	Ações para acessibilidade universal	1,00		
		0,29	0,28	0,43	Controle dos impactos no meio ambiente	0,52	Emissões de CO	0,25		
							Emissões de CO <sub>2</sub>	0,25		
							População exposta ao ruído de tráfego	0,25		
							Estudos de Impacto Ambiental	0,25		
ASPECTOS SOCIAIS	0,108	0,30	0,32	0,42	Recursos naturais	0,48	Consumo de combustível	0,50		
							Uso de energia limpa e combustíveis alternativos	0,50		
		0,40	0,31	0,29	Apoio ao cidadão	0,21	Informação disponível ao cidadão	1,00		
		0,45	0,30	0,25	Inclusão social	0,20	Equidade vertical (renda)	1,00		
		0,39	0,30	0,31	Educação e cidadania	0,19	Educação para o desenvolvimento sustentável	1,00		
		0,41	0,27	0,32	Participação popular	0,19	Participação na tomada de decisão	1,00		
ASPECTOS POLITICOS	0,113	0,35	0,30	0,35	Qualidade de vida	0,21	Qualidade de Vida	1,00		
		0,33	0,34	0,32	Integração de ações políticas	0,34	Integração entre níveis de governo	0,50		
							Parcerias público/privadas	0,50		
		0,33	0,40	0,27	Captação e gerenciamento de recursos	0,33	Captação de recursos	0,25		
							Investimentos em sistemas de transportes	0,25		
							Distribuição dos recursos (público x privado)	0,25		
INFRA-ESTRUTURA	0,120	0,34	0,33	0,32	Política de mobilidade urbana	0,34	Distribuição dos recursos (motorizados x não-motorizados)	0,25		
		0,28	0,41	0,31	Provisão e manutenção da infra-estrutura de transportes	0,46	Política de mobilidade urbana	1,00		
							Densidade da rede viária	0,25		
MODOS NÃO-MOTORIZADOS	0,110	0,33	0,35	0,33	Distribuição da infra-estrutura de transportes	0,54	Vias pavimentadas	0,25		
		0,32	0,29	0,39	Transporte cicloviário	0,31	Despesas com manutenção da infra-estrutura de transportes	0,25		
							Sinalização viária	0,25		
		0,33	0,28	0,39	Modos não-motorizados	0,34	Vias para transporte coletivo	1,00		
							Extensão de ciclovias	0,33		
							Frota de bicicletas	0,33		
PLANEJAMENTO INTEGRADO	0,108	0,28	0,32	0,40	Redução de viagens	0,35	Estacionamento para bicicletas	0,33		
							Vias para pedestres	0,50		
							Vias com calçadas	0,50		
		0,31	0,37	0,32	Capacitação de gestores	0,12	Distância de viagem	0,25		
							Tempo de viagem	0,25		
							Número de viagens	0,25		
		0,35	0,30	0,35	Áreas centrais e de interesse histórico	0,11	Ações para redução do tráfego motorizado	0,25		
		0,31	0,34	0,35	Integração regional	0,12	Nível de formação de técnicos e gestores	0,50		
		0,38	0,32	0,31	Transparência do processo de planejamento	0,12	Capacitação de técnicos e gestores	0,50		
		0,31	0,32	0,36	Planejamento e controle do uso e ocupação do solo	0,14	Vitalidade do centro	1,00		
							Consortícios intermunicipais	1,00		
							Transparência e responsabilidade	1,00		
TRÁFEGO E CIRCULAÇÃO URBANA	0,107	0,32	0,35	0,33	Planejamento estratégico e integrado	0,14	Vazios urbanos	0,20		
							Crescimento urbano	0,20		
		0,31	0,39	0,30	Planejamento da infra-estrutura urbana e equipamentos urbanos	0,13	Densidade populacional urbana	0,20		
							Índice de uso misto	0,20		
		0,31	0,35	0,35	Plano Diretor e legislação urbanística	0,12	Ocupações irregulares	0,20		
							Planejamento urbano, ambiental e de transportes integrado	0,50		
SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO	0,112	0,37	0,38	0,26	Acidentes de trânsito	0,21	Efetivação e continuidade das ações	0,50		
							Parques e áreas verdes	0,33		
							Equipamentos urbanos (escolas)	0,33		
		0,39	0,31	0,30	Educação para o trânsito	0,19	Equipamentos urbanos (hospitais)	0,33		
		0,29	0,35	0,36	Fluidez e circulação	0,19	Plano Diretor	0,33		
							Legislação urbanística	0,33		
							Cumprimento da legislação urbanística	0,33		
		0,34	0,33	0,33	Operação e fiscalização de trânsito	0,20	Velocidade média de tráfego	0,50		
0,32	0,31	0,36	Transporte individual	0,21	Violação das leis de trânsito	1,00				
SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO	0,112						Índice de motorização	0,50		
							Taxa de ocupação dos veículos	0,50		
		0,35	0,33	0,32	Disponibilidade e qualidade do transporte público	0,23	Extensão da rede de transporte público	0,13		
							Frequência de atendimento do transporte público	0,13		
							Pontualidade	0,13		
							Velocidade média do transporte público	0,13		
							Idade média da frota de transporte público	0,13		
							Índice de passageiros por quilômetro	0,13		
							Passageiros transportados anualmente	0,13		
							Satisfação do usuário com o serviço de transporte público	0,13		
		0,31	0,34	0,34	Diversificação modal	0,18	Diversidade de modos de transporte	0,33		
							Transporte público x transporte privado	0,33		
0,34	0,35	0,31	Regulação e fiscalização do transporte público	0,18	Modos motorizados x modos não-motorizados	0,33				
					Contratos e licitações	0,50				
0,37	0,33	0,30	Integração do transporte público	0,22	Transporte clandestino	0,50				
					Terminais intermodais	0,50				
0,38	0,37	0,25	Política tarifária	0,19	Linhas integradas	0,50				
					Descontos e gratuidades	0,33				
					Preços dos transportes	0,33				
					Subsídios públicos	0,33				

Já o processo de agregação dos dados procurou estabelecer uma estrutura que contemplasse todos os elementos fundamentais identificados nas cidades pesquisadas. O processo de agregação e análise dos conceitos obtidos permitiu destacar os principais Domínios que devem ser considerados na avaliação da mobilidade urbana em cidades brasileiras: Acessibilidade, Aspectos Ambientais, Aspectos Sociais, Aspectos Políticos, Infra-estrutura de Transportes, Modos não-motorizados, Planejamento Integrado, Tráfego e Circulação Urbana e Sistemas de Transporte Urbano.

Uma vez que critérios semelhantes receberam denominações distintas em cada região, o processo de agregação buscou identificar e detalhar os conceitos que originaram cada critério, tanto para o nível dos Domínios como para o nível dos Temas, e assim identificar aqueles que expressavam idéias semelhantes de forma a não se repetirem. Ainda que este processo tenha sido desenvolvido de forma sistemática e que todas as suas etapas tenham sido documentadas detalhadamente, este é um processo dependente da forma como o pesquisador compreende a questão. Neste sentido, durante o processo de agregação dos dados, o pesquisador se valeu de suas percepções e registros feitos durante a pesquisa empreendida nas onze cidades brasileiras para a construção de uma hierarquia que refletisse com maior fidelidade os aspectos discutidos. Isso pode implicar em hierarquias de critérios com feições distintas e elementos que as compõem identificados de forma diferente, dependendo da forma como os dados são trabalhados por cada indivíduo. No entanto, é primordial ter o cuidado de manter as idéias-chave expressas na coleta de dados, relacionadas ao modo como os vários temas são percebido pelos técnicos e especialistas das cidades intervenientes.

Com relação ao sistema de pesos para os critérios, dois aspectos devem ser considerados, as características do grupo de avaliadores que participaram do processo e o método de obtenção dos pesos. Ao contrário da composição da hierarquia de critérios, feita com base em dados obtidos através de consulta a profissionais brasileiros vinculados às cidades em estudo, a avaliação dos critérios buscou a opinião de profissionais e especialistas de diferentes países, que possuem extensa experiência e conhecimento nos temas abrangidos pelo índice, ou seja, planejamento urbano e de transportes, mobilidade e sustentabilidade urbana. Buscou-se assim uma avaliação desvinculada do contexto específico das cidades pesquisadas, mas relacionada ao conceito de mobilidade urbana sustentável, propriamente dito. O sistema de pesos deve permitir assim, identificar os aspectos de maior importância para a promoção da mobilidade urbana sustentável nas cidades brasileiras, coerente com o referencial de sustentabilidade já amplamente difundido e trabalhado internacionalmente.

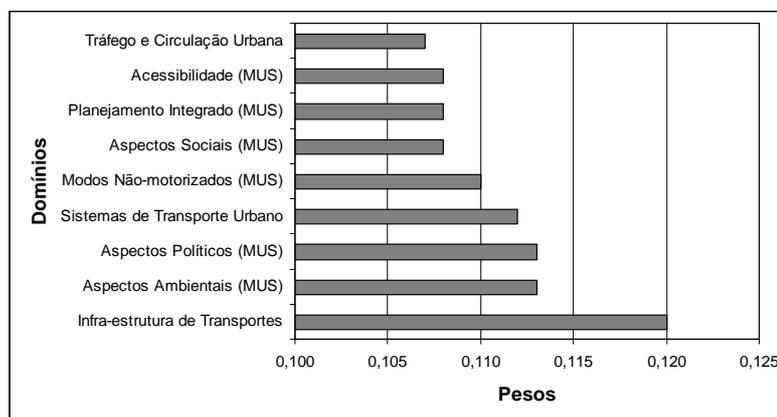
Outro ponto a ser discutido sobre o sistema de pesos refere-se ao método utilizado para a obtenção dos mesmos. O método baseado na escala de pontos consiste em um método de avaliação direta e de fácil compreensão, sendo facilmente implementado em planilhas eletrônicas ou Internet (com o registro dos resultados em um banco de dados), simplificando assim o processo e garantindo maior retorno das respostas pela sua praticidade. No entanto, a aplicação de uma escala de cinco níveis, como a utilizada neste estudo, e o posterior processo de normalização implicou em uma pequena diferenciação dos pesos obtidos e resultou, portanto, em um conjunto com baixo Desvio Padrão. Acredita-se que o alargamento da escala a um maior número de níveis (sete ou nove níveis), ou a utilização de um processo de maior complexidade como o método de comparação par a par (Ramos, 2000; Silva *et al.* 2004; Saaty, 1980), pode resultar num conjunto de pesos mais diferenciado (com maior amplitude) e que mostre mais claramente a importância relativa dos critérios.

#### 4.1. Análise dos pesos obtidos para os critérios

A Figura 2 mostra a relação de pesos para os Domínios que compõem o IMUS. O peso de cada Domínio foi obtido através da razão entre a média aritmética do peso de seus respectivos Temas e o somatório das médias obtidas para o conjunto de Domínios.

Apesar de não ter havido grande diferenciação entre os pesos obtidos para estes critérios, em função dos aspectos já discutidos, o domínio *Infra-estrutura de Transportes* apresentou uma maior importância relativa, seguido por *Aspectos Ambientais* e *Aspectos Políticos*. O Domínio *Tráfego e Circulação Urbana*, de grande destaque no planejamento de transportes no país principalmente nos anos 80 e 90 do século passado, apresentou o menor peso entre todos os domínios avaliados.

Pode-se perceber que os domínios de enfoque tradicional e os domínios relacionados ao novo paradigma de tratamento das questões de mobilidade urbana intercalaram seus pesos, ou sua importância, na estrutura obtida para o índice. Estes últimos Domínios aparecem acompanhados das iniciais MUS na Figura 2, indicando sua estreita relação com o conceito de Mobilidade Urbana Sustentável e com o novo paradigma em desenvolvimento no país.



**Figura 2:** Pesos para os Domínios do IMUS.

No que diz respeito aos pesos obtidos para os Temas, *Distribuição da infra-estrutura de transportes*, *Controle dos impactos no meio ambiente*, *Recursos naturais* e *Provisão e manutenção da infra-estrutura* apresentaram a maior importância relativa.

Com relação às Dimensões da sustentabilidade, foram obtidos pesos que representam a sua participação ou importância em cada um dos Temas avaliados. O objetivo desta abordagem é permitir aos planejadores e gestores mensurarem os resultados de investimentos e ações em cada Tema para as esferas da sustentabilidade, como por exemplo: ao se empreender ações de *Provisão e manutenção da infra-estrutura de transportes*, qual é a principal Dimensão da sustentabilidade que está sendo promovida? Com base nos pesos obtidos para cada Dimensão verifica-se que ações nesta área irão implicar em maiores benefícios econômicos, seguidos por benefícios ambientais e benefícios sociais de menor proporção, uma vez que os pesos obtidos foram 0,41, 0,31 e 0,28, respectivamente, conforme a Tabela 2.

A Tabela 3 apresenta os Temas que obtiveram os maiores e menores pesos (indicados, respectivamente, através dos sinais + e -) para as Dimensões Social, Econômica e Ambiental.

**Tabela 3:** Temas com maior/menor importância para as Dimensões da sustentabilidade.

+/-	SOCIAL	ECONÔMICA	AMBIENTAL
+	Legislação para pessoas com necessidades especiais	Provisão e manutenção da infra-estrutura de transportes	Controle dos impactos no meio ambiente
+	Inclusão social	Captação e gerenciamento de recursos	Recursos naturais
-	Provisão e manutenção da infra-estrutura de transportes	Controle dos impactos no meio ambiente	Acessibilidade aos sistemas de transportes
-	Redução de viagens	Modos não-motorizados	Acidentes de trânsito
-	Recursos naturais	Legislação para pessoas com necessidades especiais	Política tarifária
-		Participação popular	Inclusão social

A avaliação dos pesos obtidos para os Domínios e Temas foi seguida da avaliação de cada Indicador para o valor global do IMUS, ou seja, a análise de sua contribuição para a obtenção de um maior índice de mobilidade sustentável. Para tal, procedeu-se a uma avaliação setorial, relacionada a cada uma das dimensões da sustentabilidade e uma avaliação global, considerando os vários pesos que afetam cada um dos indicadores, ou seja, o somatório nas três dimensões, conforme mostram as equações 3 e 4.

$$P_i^{S_j} = P_i \cdot PT_i \cdot PT_i^{S_j} \cdot PD_i, \text{ com } S_j = \text{Dimensão Social ou Econômica ou Ambiental} \quad (3)$$

em que:  $P_i^{S_j}$ : peso do Indicador  $i$  na Dimensão  $S_j$  (peso setorial por Dimensão de sustentabilidade);

$P_i$ : peso do Indicador  $i$ ;

$PT_i$ : peso do Tema a que pertence o Indicador  $i$ ;

$PT_i^{S_j}$ : peso da Dimensão de sustentabilidade  $S_j$  no Tema a que pertence o Indicador  $i$ ;

$PD_i$ : peso do Domínio a que pertence o Indicador  $i$ .

$$P_i^G = P_i^{S_s} + P_i^{S_e} + P_i^{S_a} \quad (4)$$

em que:  $P_i^G$ : peso global do Indicador  $i$  para o índice IMUS;

$P_i^{S_s}$ : peso do Indicador  $i$  na Dimensão Social;

$P_i^{S_e}$ : peso do Indicador  $i$  na Dimensão Econômica;

$P_i^{S_a}$ : peso do Indicador  $i$  na Dimensão Ambiental.

Os pesos globais e setoriais foram calculados para todos os indicadores a partir dos pesos mostrados na Tabela 2. Com base nestes pesos, foram identificados os indicadores com maior importância para cada Dimensão e para o IMUS como um todo. A Tabela 4 apresenta os indicadores que apresentam os maiores e os menores pesos globais, e setoriais para as dimensões Social, Econômica e Ambiental (indicados, respectivamente, pelos sinais + e - dispostos ao lado dos Indicadores na Tabela 4). Observa-se assim, que os mesmos indicadores apresentaram os dois maiores pesos globais e setoriais. Em se tratando dos indicadores com menores pesos, resultados distintos foram obtidos somente para a dimensão ambiental.

## 5. CONCLUSÕES

A estrutura e o sistema de pesos propostos no IMUS permite que este seja utilizado como ferramenta de avaliação e monitoração da mobilidade urbana de uma forma global, apoiando a formulação de políticas integradas de mobilidade. Ao mesmo tempo, pode ser usado na proposição de políticas setoriais (por Dimensões e por Domínios específicos), principalmente em situações onde se enfrenta a escassez de recursos financeiros. Isto se deve a característica do índice de ponderar todos os elementos com relação a cada uma das dimensões (Tabela 2), mostrando o efeito de políticas setoriais para a melhoria das condições de mobilidade.

Desta forma, o índice se constitui em uma ferramenta de suporte à proposição de políticas públicas, para o direcionamento de ações e, principalmente, na identificação das dimensões críticas e áreas carentes de investimentos. Sua aplicação pode se dar em toda a área do município como em seus diferentes bairros ou regiões, permitindo uma avaliação comparativa destas e o desenvolvimento de ações específicas visando a melhoria das condições de mobilidade em termos sociais, econômicos e ambientais.

**Tabela 4:** Pesos dos Indicadores no IMUS global e IMUS setoriais.

DOMÍNIO	TEMA	+/-	INDICADOR	PESOS DOS INDICADORES			
				IMUS Global	IMUS SETORIAL		
					Social	Econômica	Ambiental
ASPECTOS POLÍTICOS	Política de mobilidade urbana	+	Política de mobilidade urbana	0,0380	0,0131	0,0126	0,0123
INFRA-ESTRUTURA	Distribuição da infra-estrutura de transportes	+	Vias para transporte coletivo	0,0644	0,0210	0,0224	0,0210
PLANEJAMENTO INTEGRADO	Planejamento e controle do uso e ocupação do solo	-	Vazios urbanos	0,0030	0,0009	0,0010	0,0011
		-	Crescimento urbano	0,0030	0,0009	0,0010	0,0011
		-	Densidade populacional urbana	0,0030	0,0009	0,0010	0,0011
		-	Índice de uso misto	0,0030	0,0009	0,0010	0,0011
		-	Ocupações irregulares	0,0030	0,0009	0,0010	0,0011
SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO	Disponibilidade e qualidade do transporte público	-	Extensão da rede de transporte público	0,0033	0,0011	0,0011	0,0010
		-	Frequência de atendimento do transporte público	0,0033	0,0011	0,0011	0,0010
		-	Pontualidade	0,0033	0,0011	0,0011	0,0010
		-	Velocidade média do transporte público	0,0033	0,0011	0,0011	0,0010
		-	Idade média da frota de transporte público	0,0033	0,0011	0,0011	0,0010
		-	Índice de passageiros por quilômetro	0,0033	0,0011	0,0011	0,0010
		-	Passageiros transportados anualmente	0,0033	0,0011	0,0011	0,0010
		-	Satisfação do usuário com o serviço de transporte público	0,0033	0,0011	0,0011	0,0010

O índice agrega questões técnicas de estruturação e operação dos sistemas de mobilidade urbana, como também aspectos de planejamento e gestão. Além disso, incorpora Domínios tradicionais (*Infra-estrutura de Transportes, Tráfego e Circulação Urbana e Sistemas de Transporte Urbano*) e Domínios relacionados ao novo paradigma de tratamento das questões de mobilidade urbana (*Aspectos Sociais, Políticos e Ambientais, Acessibilidade, Modos Não-motorizados e Planejamento Integrado*), conforme mostra a Figura 2.

Como a avaliação dos critérios que estruturam o índice foi feita por um grupo de especialistas nas áreas de planejamento urbano, transportes e sustentabilidade isto permite, por sua vez, estabelecer um sistema de pesos para os elementos, revelando a contribuição relativa dos Indicadores, Temas e Domínios para a efetivação do conceito de Mobilidade Urbana Sustentável em cidades brasileiras. A partir da combinação destes pesos foram obtidos pesos globais e pesos setoriais com respeito a cada uma das Dimensões da sustentabilidade: Social, Econômica e Ambiental.

De forma global, os aspectos que contribuem mais significativamente para a obtenção de melhores índices de sustentabilidade estão relacionados à *Distribuição da Infra-estrutura de Transportes* e à *Política de Mobilidade Urbana*, refletidos através dos indicadores *Vias para Transporte Coletivo* e *Política de Mobilidade Urbana*, que obtiveram os maiores pesos globais, conforme mostra a Tabela 4. Já os Indicadores que contribuem em menor grau para a mobilidade sustentável, ou seja, obtiveram os menores pesos globais, estão relacionados ao tema *Planejamento e Controle do Uso e Ocupação do Solo*. Entre estes indicadores encontram-se: *Vazios Urbanos, Crescimento Urbano, Densidade Populacional Urbana, Índice de Uso Misto* e *Ocupações Irregulares*.

Na avaliação setorial, os mesmos temas *Distribuição da Infra-estrutura urbana* e *Política de Mobilidade Urbana* se mantiveram como mais importantes, apresentando seus indicadores os maiores pesos para as três dimensões. Já na análise dos Temas e Indicadores de menor importância (menores pesos), resultados distintos daqueles obtidos para a avaliação global foram observados somente para a dimensão Ambiental. Enquanto que para as Dimensões Social e Econômica os indicadores relacionados ao Tema *Planejamento e Controle do Uso e*

Ocupação do Solo obtiveram os menores pesos, para a dimensão Ambiental os indicadores de Disponibilidade e Qualidade do Transporte Público apresentaram a menor importância.

Finalmente, o IMUS foi desenvolvido de forma a se constituir em uma ferramenta bastante simples e de fácil aplicação pelas Prefeituras Municipais, não exigindo nenhum sistema computacional robusto nem conhecimentos matemáticos mais complexos para sua aplicação. No entanto, o grande desafio para sua utilização efetiva nas cidades brasileiras encontra-se na obtenção dos dados para o desenvolvimento dos indicadores. Ainda que o índice seja incorporado no planejamento e gestão da mobilidade urbana pela sua abrangência e praticidade, uma avaliação completa do mesmo pode ser difícil de implementar a curto prazo, devido a ausência e incompatibilidade dos dados sobre transportes e mobilidade verificados hoje nas cidades brasileiras.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao GRICES (Gabinete de Relações Internacionais da Ciência e do Ensino Superior) e à CAPES (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), agências de fomento à pesquisa em Portugal e no Brasil, respectivamente, bem como ao Programa Santander/Banespa de Mobilidade Internacional de Pós-Graduandos, pelo apoio concedido para a realização deste trabalho.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bana e Costa, C. A. (1993) *Processo de Apoio à Decisão: Problemáticas, Actores e Acções*. CESUR, Lisboa.
- Costa, M. C. e A. N. R., Silva (2006) Caracterização da Mobilidade Urbana Sustentável em Contextos Distintos com Recursos de MCDA-C. *Anais do XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Brasília, v. I, p. 817-828.
- Ensslin, L.; G. Momtibeller Neto e S.M. Noronha (2001) *Apoio à Decisão: Metodologia para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas*. Insular, Florianópolis.
- Gudmundsson, H. (2000) Indicators and Performance Measures for Transportation, Environment and Sustainability in North America. Report from a German Marshall Fund Fellowship 2000 individual study tour October 2000. National Environmental Research Institute, Denmark.
- Malczewski, J. (1999) *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Mendes, J. F. C. (1999) *Onde Viver em Portugal - Uma Análise da Qualidade de Vida nas Capitais de Distrito*. Ordem dos Engenheiros – Região Centro, Lisboa, Portugal.
- Ramos, R. A. (2000) *Localização Industrial: um Modelo Especial para o Noroeste de Portugal*. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Richardson, B. C. (2005) Sustainable Transport: Analysis Frameworks. *Journal of Transport Geography*, v. 13, p. 29–39.
- Roy, B. (1996) *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.
- Silva, A. N. R.; R. A. R. Ramos.; L. C. L. Souza; D. S Rodrigues; J. F. G. Mendes (2004) SIG - Uma Plataforma para Introdução de Técnicas Emergentes no Planejamento Urbano, Regional e de Transportes: uma Ferramenta 3D para Análise Ambiental Urbana, Avaliação Multicritério, Redes neurais artificiais. São Carlos, SP, Edição dos Autores, 227 p.
- Silva, A. N. R.; M. S. Costa; M. H. Macedo (2007) Multiple Views of Sustainable Urban Mobility in a Developing Country – The Case of Brazil. *Proceedings of 11<sup>th</sup> World Conference on Transport Research*, WCTR, Berkeley. (em CD-ROM).

---

Marcela da Silva Costa (marcelac@sc.usp.br)

Antônio Néilson Rodrigues da Silva (anelson@sc.usp.br)

Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

Av. Trabalhador São-carlense, 400 CEP. 13566-590 São Carlos, SP, Brasil. Fone: +55 11 3373-9595

Rui António Rodrigues Ramos (rui.ramos@civil.uminho.pt)

Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho

Campus Gualtar – 4710-057 Braga, Portugal. Fone: +351 253 604 720