

# A FORMA URBANA COMO PROBLEMA DE DESEMPENHO

O IMPACTO DE PROPRIEDADES ESPACIAIS  
SOBRE O COMPORTAMENTO URBANO

VINICIUS M. NETTO  
ROMULO KRAFTA

**RESUMO** *O artigo traça crítica a indicadores urbanos usuais, baseados na intensidade de presença de características ou propriedades, e aponta a necessidade de indicadores de comportamento definidos pelo conhecimento do impacto da trama de propriedades espaciais sobre as dinâmicas da cidade – indicadores verdadeiramente de desempenho, aptos a avaliar a cidade como fenômeno dinâmico e relacional, no qual seus componentes e dimensões têm efeitos uns sobre os outros. Indicadores capazes de capturar, por exemplo, os modos como diferentes padrões de morfologia podem impactar a vida microeconômica, a socialidade urbana ou o ambiente em níveis de influência sobre tendências de menor ou maior dependência veicular na movimentação intraurbana. Para tanto, lança os fundamentos teóricos e metodológicos para um novo sistema de indicadores arranjados em dois eixos: metaindicadores de desempenho (equidade, eficiência, qualidade espacial e sustentabilidade) e dimensões urbanas (morfologia, dinâmica socioeconômica, limiares urbanos e relações cidade–ambiente).*

**PALAVRAS - CHAVE** *Desempenho e comportamento urbano; indicadores sistêmicos; planejamento.*

## INTRODUÇÃO

As ações de produção urbana parecem estar atingindo preocupantes limiares em nosso país – limiares que evidenciam riscos para o próprio funcionamento das cidades brasileiras. Formas de crescimento espacial, ora por densificação possivelmente excessiva de áreas intraurbanas ora induzindo padrões de dispersão periférica, vêm esgotando infraestruturas e impactando sua dinâmica, impondo dificuldades severas de mobilidade e, paradoxalmente, aumento do grau de dependência de transporte. As externalidades de padrões potencialmente perdulários de urbanização parecem repercutir sobre a própria equidade, eficiência e continuidade da cidade como suporte à vida social e sobre suas inserções ecossistêmicas. As relações entre produção econômica e urbanização têm se caracterizado por uma desconexão entre ações de urbanização e seus efeitos, tanto internamente em nossas cidades quanto externamente. A problemática relação entre crescimento, industrialização, impactos ambientais e a limitação de recursos energéticos tem afirmado a *cidade* – principal *locus* da produção expressa no próprio processo de urbanização do país – como tema central na discussão do desenvolvimento, eficiências e ineficiências econômicas e energéticas, e impactos sobre o ambiente natural.

No entanto, parecemos atravessados por uma dificuldade em identificar quais são exatamente os problemas de nossa urbanização – quais aspectos da forma e do crescimento de nossas cidades gerariam impactos negativos sobre quais dinâmicas socioeconômicas

e seu ambiente externo. De forma mais grave, observa-se um distanciamento entre esta crescente preocupação e o desenvolvimento de estratégias e instrumentos que permitam identificar de forma sistemática o problema urbano como relacionado a aspectos de comportamento tidos como desejáveis.

Atento ao caráter potencialmente problemático dos padrões espaciais da cidade brasileira e a importância do seu conhecimento, teceremos uma crítica aos indicadores urbanos usuais, baseados na intensidade de cobertura ou presença de características ou propriedades – e não verdadeiramente de *desempenho*. Apontaremos a necessidade de produção de indicadores focados no impacto da trama de características e propriedades urbanas sobre as dinâmicas multidimensionais de nossas cidades. Propomos a construção de um método para objetivação desses comportamentos e problemas urbanos sob forma de duas contribuições: (i) os indicadores propostos operam sobre propriedades do urbano capturadas na sua natureza sistêmica, partem de uma visão da cidade como complexo de interações e inter-relações ativas entre *elementos* constitutivos, *características* morfológicas e *implicações* socioeconômicas e ambientais; (ii) tais propriedades são usadas para a definição de indicadores capazes de identificar sua influência no comportamento urbano, considerando de forma explícita o problema da mudança em tais elementos, características e implicações como fatores ativos nas dinâmicas da cidade como um todo. Esse conjunto de indicadores sistêmicos é desenvolvido em dois eixos de abordagem: *categorias de desempenho* (qualidade espacial e eficiência, equidade, e sustentabilidade urbanas) e indicadores do estado de *dimensões urbanas* (estados da *morfologia* da rede urbana e da forma construída, dinâmicas socioeconômicas, os limiares da estrutura urbana face a processos de auto-organização e relações entre cidade e ambiente).

## DE INDICADORES DE PROPRIEDADES A INDICADORES SISTÊMICOS DO COMPORTAMENTO URBANO

As dificuldades da cidade brasileira tornam explícitas as fissuras entre o ideal das prescrições generalistas dos planos normativos e a complexidade das transformações urbanas, bem como a seriedade dos impactos delas sobre as dinâmicas sociais e econômicas. Tais fatores são de difícil captura discursiva: eles envolvem a análise de *intensidades de presença e relacionalidade, as quais terminam por requerer uma metodologia também quantitativa*. A maneira mais eficaz de conhecer o comportamento de sistemas urbanos, dada a multiplicidade e simultaneidade de seus processos, mostra-se através de indicadores da forma e dinâmica urbana como parâmetros centrais em estratégias de aumento da *viabilidade urbana*. Recentemente, o debate em torno de formas urbanas sustentáveis tem envolvido a produção de indicadores variados, a maior parte produzida fora do país, essencialmente baseada em correlações entre aspectos do urbano capturados através de mensurações simples de estado com base em características da forma visível – uma abordagem que pode ser traçada de volta aos estudos da relação entre geometria (implantação, volumetria e tipologias resultantes) e capacidade de densidade ou potencial construtivo (Martin & March, 1972).

Entretanto, tais abordagens têm mostrado limitações: (i) grande parte dos indicadores ou são meros apontamentos de taxas de proporção entre fatores como compactidade, distâncias internas, tempos de viagem, consumo de combustível e estímulo à eficiência no uso do transporte coletivo (Burton, 2002), e a promoção de economias de escala e provi-

são de serviços e facilidades (Chen et al., 2008). Elas têm apontado correlações simples (graus de co-incidência) positivas ou negativas entre a presença ou ausência de certos fatores, como a compacidade, e certos efeitos urbanos, como externalidades ambientais ou disponibilidade de serviços, sem apontar com firmeza as relações causais que explicariam tais co-incidências ou amarrar sistemicamente *como* tais fatores da morfologia de fato influenciam essas dinâmicas – através da identificação de quais seriam as linhas de causalidade (e o que haveria de contingência) ligando aspecto identificado e efeito urbano; (ii) descrições de desempenho fixadas nas características superficiais da forma urbana têm se mostrado pouco aptas a considerar a morfologia como suporte a atividades e agentes em constante interação e mudança. A relação entre morfologia como um sistema de unidades espaciais, arquitetônicas, irregularmente distribuídas, social e economicamente interativas dentro da dinâmica da cidade, e mediadas por uma rede espacial de caminhos apresentando níveis diversificados de acessibilidade interna, não é problematizada. Esses itens mostram uma severa inadequação de avaliações baseadas em aspectos profundamente não sistêmicos em sua consideração do urbano.

O ponto de partida para a concepção de um sistema de análise de desempenho *sistêmico, dinâmico e espacial* foi estabelecido por Bertuglia et al. (1994). A ideia central é a constituição de um sistema de representação da cidade que permita descrever seus sucessivos estados e analisar seu desempenho integradamente. Isso pressupõe consistência entre aspectos, suas relações e diferentes parâmetros. O núcleo seria um método capaz de representar a dinâmica socioespacial, secundado por um conjunto de indicadores que usem as mesmas variáveis, acionadas sistematicamente a cada cenário. Desde 1994, a representação do urbano evoluiu dos modelos multicausais de equilíbrio aos modelos complexos, em que as relações causa—efeito são verificáveis *a priori* somente no plano das relações entre componentes elementares do sistema (nível micro), a forma macro é emergente, e a dinâmica é fora do equilíbrio. A partir disso, uma extensa produção de novos meios analíticos de conhecimento da dinâmica urbana tem ocorrido, sem que, entretanto, a proposta de Bertuglia tenha sido revisitada e atualizada. Estes instrumentos, conhecidos como Sistemas de Suporte ao Planejamento (SSP – Planning Support Systems), trazem indicadores baseados na análise de benefícios locais para consumidores e provisão de oportunidades para fornecedores finais. Desempenho é entendido como a eficiência da localização de serviços, verificada pela sua acessibilidade em relação a um padrão de localização de potenciais consumidores, em abordagens baseadas no *trade off* entre custos de transporte e localizações que maximizam as vantagens do consumidor. Indicadores sociais incluem variáveis de qualidade de vida. Tais sistemas têm importância central para servir ao planejamento urbano em tempo real – e têm sido apontados como uma tendência para a próxima década, na aproximação entre as instâncias de pesquisa e de decisão (Batty, 2007).

Contudo, processos geradores de aglomeração, como aumentos de produtividade na economia urbana, não são considerados: a cidade é tida como um estado sobre o qual se extraem indicadores de intensidade e distribuição de benefício locacional. Observa-se nesses estudos, ainda, a ausência de elementos de *avaliação* de desempenho: os graus de eficiência, equidade e sustentabilidade das distribuições espaciais (sob forma de padrões de densidades compactas ou fragmentadas, com diferentes graus de dispersão) sobre as dinâmicas dos agentes urbanos. Têm-se produzido medidas de intensidade da presença de uma certa característica em dada condição ou contexto, o que dá ideia de maior ou menor adequação ou qualidade da característica em si (por exemplo, maior ou menor aces-

sibilidade), mas não da *implicação* desta característica no desempenho urbano (os efeitos de um certo nível de acessibilidade para as dinâmicas do sistema urbano ou no consumo de recursos energéticos). Tais implicações permanecem apenas no campo das suposições. A ideia de desempenho deveria pressupor o comportamento relacional de componentes e processos urbanos no tempo: o conhecimento do grau de vínculo entre *aspecto urbano* e seus efeitos. Em outras palavras, o papel dos indicadores – o ponto-chave na definição de parâmetros seguros de avaliação – *é capturar os efeitos da presença e intensidade de uma certa característica na natureza e qualidade dos comportamentos urbanos*, e dar respostas à perguntas fundamentais do ponto de vista das correntes preocupações com a viabilidade urbana, como “qual o impacto na variação de uma dada característica espacial sobre a sustentabilidade social ou microeconômica de uma cidade?”. Vemos, assim, a necessidade de instrumentos capazes de mostrar as implicações de padrões e transformações morfológicas (observadas empiricamente, simuladas em cenários hipotéticos ou decorrentes de ações de planejamento), sobretudo nos *potenciais de interação de agentes socioeconômicos*, as localizações das atividades futuras em áreas da cidade e as configurações edificadas envolvidas – digamos, o efeito do aumento da compacidade sobre a compressão de interações e o apontamento dos possíveis ganhos ou perdas de produtividade com o aumento de interatividade socioeconômica como externalidade da densificação em um cenário urbano. Os indicadores disponíveis simplesmente não têm feito tais conexões: eles apontam a intensidade de propriedades, mas não indicam suas implicações ou seus efeitos potenciais sobre outras propriedades, dimensões e dinâmicas do urbano.

Epistemologicamente, a pesquisa de desempenho urbano depende da demonstração de relações ao menos parcialmente causais entre fatores e características da forma e dinâmicas urbanas, ou, de modo menos linear, entre forma e dinâmicas urbanas sobre outras dinâmicas frequentemente mais complexas, voláteis e imprevisíveis. Sua utilidade na verdade depende da identificação, entre todas as contingências e não linearidades inerentes ou no entorno dessas relações, de “feixes de causalidades” intrínsecos a elas. Tais métodos devem ser úteis também para demonstrá-las, ao confrontarem-se com casos reais, especialmente comparativamente. Em outras palavras, no centro da preocupação com desempenho e da construção de um método de análise, há a necessidade de se estabelecer *pontos de causalidade* (ao menos parciais) que nos permitam reconhecer dependências entre propriedades urbanas e qualidades do comportamento urbano, e isolar aspectos problemáticos a serem tratados com ações de planejamento, em uma cidade analisada. Portanto, um método de análise de desempenho deve buscar primeiramente consistências na identificação dessas causalidades parciais, pois sua construção depende da aferição da existência das implicações entre presença de fatores e efeitos, traduzida na quantificação das propriedades e operações entre indicadores. Em outras palavras, as operações internas de um método de análise inevitavelmente dependem de (e evidenciarão) tais feixes de causalidade, seus limites e pontos de inflexão, criticalidade e mudança e possibilidades de bifurcação e mesmo inversão – quando a presença de uma propriedade com base em certa intensidade (ou na presença de outra propriedade) passa a ter efeitos eventualmente inversos sobre o sistema urbano. A dependência entre análise de desempenho e a identificação de causalidades parciais, condicionais, certamente ligadas a contingências e imersas em complexidade, são simultaneamente a fraqueza metodológica e também a *raison d'être* destes métodos: *sem apontar a probabilidade de certos efeitos sob certas condições, tais métodos tornam-se inúteis*.

Metodologicamente, uma forma de fazer isso é termos o usual indicador específico apontando a intensidade de presença de determinada propriedade; e uma segunda opera-

ção: sua ligação a um segundo indicador geral, de comportamento, mostrando o efeito potencial da propriedade sobre outros aspectos do sistema urbano. As diferenças na intensidade de uma propriedade (como a compacidade) e seus efeitos (como a intensificação de centralidades, interatividade socioeconômica ou oportunidades espaciais) podem ser definidas e testadas através de simulações teóricas do aumento de unidades/agentes espaciais envolvidos, simulações então confrontadas com observações de casos reais – confronto que permitirá a calibragem das relações entre propriedades e dinâmicas, e a consolidação das ponderações obtidas pelos indicadores. O confronto *a priori* com o empírico na definição das causalidades entre propriedades e efeitos – *a aferição da sua implicação sistêmica sob forma de diferenças conhecidas nos graus de sua relação* – é o item central tanto na afirmação da relevância dos indicadores verdadeiramente sistêmicos de propriedades como na sua utilidade na geração de indicadores do desempenho urbano em geral.

Propomos que a análise de desempenho vinculando características, dinâmicas, relações ou fatores urbanos, diversos em sua natureza, seus efeitos mútuos entre si e sobre o sistema urbano em geral, seja conduzida em dois eixos analíticos, como formas alternativas, mas complementares, de verificação. Através de metaindicadores de *desempenho*, coincidentes com paradigmas de diferentes fases do desenvolvimento teórico-urbano: *eficiência* (foco das preocupações urbanas da década de 1960); *equidade* (paradigma nos anos 1970) e *qualidade espacial*; e, mais recentemente, *sustentabilidade*. Ou por meio da verificação direta de *dimensões urbanas* empiricamente reconhecidas, sob forma de metaindicadores de *morfologia* que combinam qualidades tanto do edificado como da rede espacial; *dinâmica socioeconômica* ou relação entre agentes mediadas por espaço; dinâmicas de auto-organização e os *limiaries* do sistema urbano; relações entre sistema urbano e sistema natural ou *cidade-ambiente*. Tanto os metaindicadores de desempenho como as dimensões urbanas envolvem aspectos particulares – conjuntos de fatores capturados e reconstruídos teoricamente através de combinações de séries de indicadores específicos<sup>1</sup> (como compacidade ou acessibilidade). Indicadores específicos de características e propriedades (largamente o caso dominante na literatura em desempenho), estados e dinâmicas serão propostos de modo a compor relacionalmente mais de um metaindicador. Este segundo caminho de análise de desempenho tem a vantagem de certo apelo intuitivo para o planejador; ambos são naturalmente afins metodologicamente (utilizam combinações de indicadores e operações). Também serão formas de aplicação empírica, somadas à possibilidade de análise direta por meio dos indicadores específicos. Vejamos o modo de abordagem ou reconstrução teórica do “urbano” de modo a permitir o nível analítico e relacional demandado por essas intenções.

## REPRESENTANDO O URBANO

O exame do desempenho demanda a análise das relações ativas entre um sistema de materialidade marcada por sua durabilidade, rigidez e opacidade (o espacial) e um sistema substancialmente volátil (na forma de práticas e socialidades) (Netto, 2008b). O presente método de análise de desempenho considera *níveis ontológicos* independentes como elementos reconhecidamente diferenciados, mas dependentes como elementos essencialmente interativos:

<sup>1</sup> Veja trabalhos do grupo de pesquisa Sistemas Configuracionais Urbanos (UFRGS, UFPel e UFF – Krafta, 1994; 1997); na literatura de indicadores, veja, entre outros, Bertuglia et al. (1994), Burton et al. (2002), Hasse & Lathrop (2003), e Chen et al. (2008); em estudos no Brasil, veja Ribeiro & Holanda (2006) e Ribeiro (2009).

Sistema espacial	ambiental urbano
Sistema social	agentes pluralizados, individuais agentes arranjados (ou reconhecidos) em redes
Relações exógenas	estímulos macroeconômicos relações interurbanas e regionais

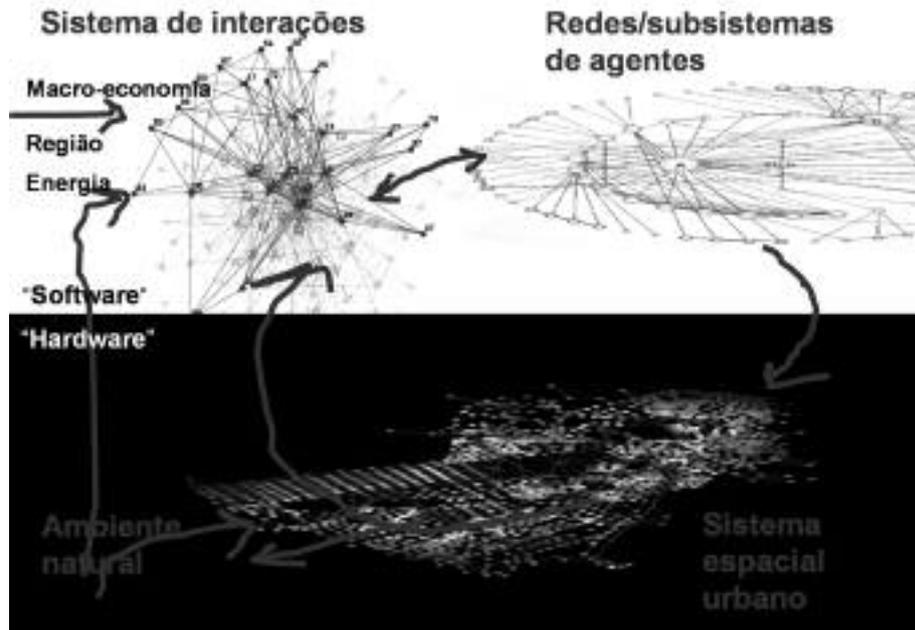


Figura 1 – Os níveis ontológicos na análise do comportamento de cidades.

A série de indicadores para o tratamento relacional dos elementos, relações e dinâmicas urbanas opera dentro e entre estes níveis. O *sistema espacial* aqui considerado é um sistema de materialidades não exclusivamente físicas, mas fundadas na rigidez e durabilidade do espaço, composto pelo sistema espacial urbano e sua relação com um ambiente geográfico natural, imediato e ativo, tanto como cenário dos impactos das externalidades dos processos urbanos como na dependência do urbano sobre quantidades de recursos nele disponíveis. O sistema espacial urbano é analisado em atratores (edificações e seus conteúdos socioeconômicos e cognitivos), rede de espaços públicos de acesso (ruas) e suas áreas de ocupação (lotes, bairros etc.). O *sistema social* é constituído de agentes pluralizados, incluindo *indivíduos* e *agrupamentos* na forma de instituições e firmas, eventualmente arranjados em *redes de agentes* por semelhança de condição social (caso dos indivíduos e suas classes sociais) e papel econômico (consumidor, fornecedor, firma produtora de bens finais e bens intermediários), e atividades produtivas e reprodutivas. Temos, assim, a possibilidade de incluir redes de agentes dentro e fora do sistema urbano analisado – os quais completariam o leque de relações socioeconômicas constituintes do urbano e permitiriam investigações diretas da *relacionalidade nas redes de agentes*, como seu grau de coesão ou conectividade interna e externa, transmissão de informação etc. para fins de avaliações direcionadas ao comportamento dos agentes em si. A abordagem ainda permite considerar as conexões entre o sistema urbano localizado (a cidade sob análise) e dinâmicas econômicas mais amplas, sob forma de suas *relações macroeconômicas ou regionais*. Sugere-se que tais conexões sejam acrescentadas oportunamente ao método sob forma de

índices de crescimento econômico como fatores exógenos de estímulo à produção de bens e serviços internos (taxas de crescimento econômico da região que tendem a se replicar na produtividade das firmas internamente à cidade em análise).<sup>2</sup> Propõe-se a inclusão das redes de agentes (envolvendo sobreposições) apropriando-se ativamente do espaço e competindo por localização para fins de sua própria reprodução, ligadas a itens de eficiência e equidade, produzindo e interagindo no espaço urbano:

- I. Redes de agentes individualizados ou parte de grupos sociais
- II. Redes de interação Fornecedor final–Consumidor final
- III. Redes de ligação Firmas intermediárias
- IV. Redes Firma–Trabalhador
- V. Redes Produtor espaço–Consumidor espaço

A rede espacial que viabiliza as ligações entre agentes coloca-se como elemento central nas relações e na definição de hierarquias naturais de suas localizações e suas vantagens aglomerativas. *Ganhos de acessibilidade* na produção (nas ligações entre firma e entre setor) são tão importantes quanto nas ligações entre fornecedor final e consumidor final, ou entre oportunidades de trabalho e a localização residencial dos trabalhadores. Indicadores devem permitir avaliar as condições da interação entre agentes a partir da nuvem atual de suas localizações e avaliar a capacidade da estrutura urbana em dar suporte à rede de interações atual e potencial (orientada para análise comparativa), como o *grau de interferência do espaço urbano no potencial de interação nas redes de agentes*, ou, mais detalhadamente, o grau de interferência da localização dos agentes e da configuração da malha de acessos na interatividade nas redes e entre redes. Um sistema de análise focada em comportamento urbano deve verificar padrões de proximidade/distância entre agentes, e ganhos/perdas em cenários de novas localizações ou modificações na malha de acessibilidade sobre o desempenho e sustentabilidade econômica do sistema urbano. Apontamos aqui para as *relações entre interatividade dos agentes* e a *conectividade do sistema espacial*: a correspondência entre essas dimensões do fenômeno urbano é item fundamental para seu desempenho. Parece relevante colocar a questão do papel da estrutura física urbana, suas possíveis transformações e modificações em padrões urbanos e produção de centralidades como hipótese central no exame do desempenho e dos estímulos urbanos, e modelar as redes de agentes que produzem aglomeração, competem por localização, geram fluxos dentro e entre cidades e dependem tanto de distribuição de localizações como de acessibilidade para sua produtividade e para a distribuição dos efeitos de suas externalidades sobre a cidade.

Uma vez definidos os fundamentos teóricos da abordagem ao problema urbano como profundamente sistêmico, ativamente correspondente em suas dimensões ontológicas (suas espacialidades e estruturas e suas socialidades e redes de interação), passemos à definição dos indicadores de tais relações e dinâmicas.

## METAINDICADORES DE DESEMPENHO

Os indicadores individuais podem ser endereçados em suas combinações. Iniciemos pela rápida definição das formas de abordar o urbano de modo explicitamente sistêmico – a fim de preparar teoricamente o caminho para a definição de indicadores capazes de capturar relações entre diferentes elementos e dinâmicas do urbano.

**2** A inclusão das redes de interação entre Produtor de espaço e Consumidor de espaço em um submodelo de crescimento urbano será contemplada em um estágio avançado da pesquisa. Outros estímulos econômicos sob forma de demanda e entrada de bens e serviços considerados em quantidades de fluxos trocados não serão tema do método de análise de desempenho urbano. Veja a inclusão destes fluxos no trabalho recente de Wilson (2007).

## QUALIDADE ESPACIAL

A análise de qualidade espacial refere-se às qualidades inerentes do casco da cidade, e tem sido tratada, no universo do planejamento urbano, de modo trivial, limitada a aspectos locais de microacessibilidade, conforto, “bom desenho” ou habitabilidade, todos atributos puramente locais. Sugerimos indicadores de cunho mais amplo e sistêmico. A análise de características espaciais e seu potencial impacto sobre habitantes não implicam juízos de valor formal, mas de aferição da interação entre forma construída, atividade urbana e habitante. Trata-se de um campo aberto, cujas explorações existentes se resumem à formulação de conceitos e, quando muito, à explicitação de uma forma de aferição sem experimentação empírica e muito menos associação a sistemas de indicadores de desempenho mais avançados. A presença das características espaciais não é garantia de existência de qualidade espacial, entretanto, é certo que sua presença contribui para situações urbanas com potencial de mais alta qualidade espacial. Qualidade espacial trata de indicadores diretos da estrutura e das características do espaço urbano (compacidade da forma edificada, acessibilidade, permeabilidade, distributividade e continuidade da rede espacial, mobilidade), da qualidade informacional desses espaços (identidade, navegabilidade, capacidade informacional), e das características locais do espaço urbano em estreita relação com aquelas globais (continuidade da forma construída, microeconomicidade e socialidade). Traz em si a implicação dessas características com a prática e uso do espaço. Qualidade espacial, neste sentido, não se refere a propriedades apenas “locais”, compacidade, por exemplo, é uma medida também usada para analisar a cidade como um todo ou suas partes isoladamente. Qualidade espacial considera *implicitamente* o impacto de características morfológicas sobre tais dinâmicas a partir das correlações reconhecidas *a priori* entre propriedades espaciais (digamos, o aumento de compacidade) e efeitos sobre o sistema urbano (o aumento de centralidade e interatividade socioeconômica), permanecendo, no âmbito espacial, restrita às propriedades referentes às características espaciais, sem incluir variáveis socioeconômicas em sua formulação. Propomos um indicador geral de “qualidade espacial” que combine fatores de morfologia, indicadores diretos do tecido urbano local (por exemplo, cobertura vegetal), elementos de informação espacial (o quanto o espaço local ajuda na navegação do habitante) e da qualidade ambiental destes espaços.

## EQUIDADE

A análise de equidade evidencia impactos da estrutura física sobre as atividades de grupos e classes sociais distintos no sistema urbano. Foca na distribuição de benefícios locais e mobilidade como capacidades de geração de renda e como fatores de aumento ou redução de custo (relacionados a transporte, tempo, eficiência de deslocamentos, número e intensidade de atividades realizadas e, em última instância, produtividade do indivíduo) para agentes socialmente diferenciados. Supõe-se que certas localizações e graus de mobilidade potencializam essas capacidades, o que torna a relação agente-estrutura urbana um item relevante de equidade social (Harvey, 1973) – ainda que uma relação direta entre ambas seja, naturalmente, de difícil demonstração e, portanto, controversa. Se considerarmos que um sistema urbano se beneficia com o aumento de produtividade distribuída entre seus agentes, supõe-se que as condições espaciais para que agentes sejam equanimemente produtivos também sejam itens de eficiência urbana. A

análise da equidade urbana estende a atenção aos impactos da estrutura física (como o das distâncias internas) sobre a eficiência da produção (incluindo a produção da própria cidade) e do comportamento de consumo ao problema dos custos e benefícios aos indivíduos. Quando o objetivo é capturar o quanto o espaço interfere nas condições de acesso a atividades e produtividade dos indivíduos por classe, o uso de indicadores econômicos ou sociológicos de diferença de renda ou educação – mais afeitos a capturar equidade como um problema social mais geral – são menos elucidativos. Indicadores como *oportunidade espacial* (análise do privilégio locacional; Krafta, 1997), *acessibilidade* (indicando influência da estrutura da rede urbana sobre alcançabilidade),<sup>3</sup> *mobilidade* (sensível para diferentes grupos sociais e formas de transporte predominante) e *segregação espacial* (grau de concentração e distância entre localizações de habitantes de classes diferentes) mostram-se formas mais aptas de capturar esses impactos. Operacionalmente, o indicador geral de equidade se vale principalmente do indicador de oportunidade espacial de *trabalho e consumo* (serviços/comércio), sendo sensível a diferenças: quando uma classe tem mais privilégios locacionais que outra, o indicador deve apontar queda da equidade. Equidade inclui a valorização de mobilidades similares entre classes, usando valores simples de ponderação para diferentes modalidades de transporte. O indicador de mobilidade segue relevante em razão das fricções da distância que se abatem sobre indivíduos socialmente diferentes<sup>4</sup> – e das modalidades de transporte usados para burlar o efeito dessas fricções constantes. O indicador de acessibilidade captura de forma simples a distância entre uma localização em relação a todo o sistema, sendo verificada para cada ponto residencial e agregada de acordo com classe (acessibilidade média dos residentes/classe), cuja média segue mesmo princípio de harmonização. Segregação espacial mostra o grau de concentração entre residentes de mesma classe como indicio de uma equidade de oportunidade na localização: sistemas urbanos em que haja concentração dos semelhantes e distância entre os diferentes indica que a inequidade é uma característica que atravessa o sistema urbano na produção de seu padrão locacional. É verificada como a diferença entre a média da distância topológica entre agentes similares e a média entre diferentes classes, como uma ponderação para apontar sistemas menos e mais equânimes na sua produção e formação de padrões de localização residencial.

#### EFICIÊNCIA URBANA

Trata-se da análise da relação entre morfologia e dinâmicas socioeconômicas intraurbanas. Em princípio, “eficiência urbana” refere-se tanto à eficiência das dinâmicas em uma dada condição espacial como à eficiência da estrutura urbana em seus impactos sobre tais dinâmicas. A primeira possibilidade envolve a análise da rede das conexões entre agentes face a rede espacial como fator de custos e eficiência nas trocas, ou seja, as relações entre agentes econômicos complementares em relação à proximidade espacial (cenário atual) e entre agentes *potencialmente* complementares (cenário potencial).<sup>5</sup> A segunda possibilidade analisa o quanto a estrutura urbana atua para efetivar trocas atuais e potenciais, analisando o comportamento da rede espacial em confronto com as possibilidades de conexão da rede dos agentes. A análise da eficiência é fundamental para verificarmos o quanto as atividades e trocas entre indivíduos e firmas sofrem “atritos espaciais.” A vida urbana cotidiana, diferente para cada indivíduo porque montada a com base na sua rede particular de relações e dependências, pode, não obstante, ser equiparada a um contínuo processo de deslocamentos e interações intermitentes. Com efeito, independentemente

**3** Alcançabilidade se refere a uma capacidade de bem-sucedido na movimentação intraurbana na busca por atividades ou outros agentes.

**4** Uma pessoa de menor renda dependente do transporte coletivo e pedestre localizada, digamos, em favela intersticial central, sofre menos o atrito das distâncias do que uma localizada periféricamente, mas tende a sofrer mais fricção para acessar a nuvem de oportunidades espaciais das quais teoricamente dispõe do que a pessoa que tem veículo privado.

**5** Proximidade espacial entre firmas é um fator considerável na eficiência econômica de um sistema urbano; é reconhecidamente um fator gerador de externalidades, não consideradas no presente método.

do que cada indivíduo realize ao longo de seu dia, seu procedimento envolve deslocamentos e atividades localizadas, sequenciais. A eficiência desse procedimento envolve distribuição espacial de atividades e minimização de distâncias, ambas associadas à forma urbana. A universalidade desse problema se deve a características fundamentais da reprodução e produção socioeconômica baseadas na mobilidade de objetos, consumidores e trabalhadores, e no confronto desses com um dado inescapável: a distância entre as localizações e suas implicações nos tempo de deslocamentos e custos de transporte, bem como a configuração da estrutura espacial urbana produzida coletiva e historicamente como resposta à necessidade de proximidade entre a diversidade de agentes. Tal estrutura, contudo, pode apenas minimizar (em graus diferentes para estruturas urbanas diferentes) o problema da distância, criando inevitavelmente problemas adicionais de *restrições para o conhecimento de agentes potencialmente interativos e alcançabilidade (e uma redistribuição de potenciais) entre agentes*. Em outras palavras, a estrutura espacial urbana, rígida e opaca, produzida como solução material ao problema das distâncias nas interações, implica contudo novas restrições nas possibilidades do indivíduo quanto ao conhecimento dessa própria estrutura e da sua exposição a outros agentes – possibilidades construídas através da experiência heurística do espaço urbano (Portugali & Casakin, 2003). Mesmo uma vez conhecidas as possibilidades de agentes para interação – sendo todas as outras condições iguais –, a distância tende a ser um critério de escolha de interações em função dos custos de transporte nas trocas entre agentes. O metaindicador “eficiência” se refere essencialmente ao exame dos diferentes graus de interferência do espaço sobre essas possibilidades, sobre escolhas para efetivar interações, e a *intensidade* de possibilidades e de interações efetivadas (“sustentabilidade”, por sua vez, incluiria também a diversidade e longevidade na geração de possibilidades de interação e de interações efetivas). A urgência típica nas interações diárias na cidade, a centralidade das condições espaciais propícias para maximizar as mobilidades e viabilizar a efetivação desse emaranhado de interações e o problema dos custos e tempo de transporte inerentes ao cenário do consumo e sobretudo na produção evidenciam a necessidade de abordagem de sua eficiência face as fricções impostas física e cognitivamente pela estrutura urbana. A eficiência urbana é uma forma de buscar economia de meios, ganhos de produtividade, funcionalidade. Nesta abordagem, eficiência é voltada para o *estado* do sistema urbano.

- 1 A eficiência de um padrão de localização de atividades (distâncias relativas) para agentes potencialmente interativos e vinculados a estas atividades – isto é, os impactos da acessibilidade da rede urbana sobre a movimentação entre atividades: o grau de facilidade para novas relações entre agentes emergirem e se efetivarem no espaço urbano, com menos esforço material.
- 2 O grau de intensidade com o qual essas trocas entre agentes complementares emerge, em diferentes instâncias de produção e consumo dentro de uma configuração de localizações e acessibilidade.

Como mencionado, uma forma sintética de verificar estas eficiências é através do potencial de conexão nas redes de agentes, na *passagem da nuvem de possibilidades de conexões de agentes complementares para a rede das conexões efetivadas, mediadas pela rede material das localizações espaciais destes agentes apontando maior potencial de conexões*. Uma cidade eficiente teria uma rede de ligações físicas conectando um padrão de localização tal que facilitasse a passagem entre a rede de ligações possíveis para a rede das

ligações efetivas – e eficientes –, entendendo a proximidade topológica como ingrediente-chave para a atualização de conexões socioeconômicas ou para a prática dos agentes. Graus de dispersão entre agentes mutuamente dependentes quanto a trocas físicas implicarão maiores distâncias e, portanto, atividades mais ineficientes quanto ao uso de recursos e tempo, o que afeta o comportamento do sistema social e microeconômico, gerando ainda externalidades negativas, como impactos sobre rede urbana (tráfego) ou novos riscos sobre a sincronia na produção. A análise da eficiência urbana passaria então por medidas de relação topológica entre pares de agentes e sua distância em relação a uma rede ideal de posições de total conectividade (passo 1) entre esses conjuntos de agentes em um “espaço virtual, líquido”, mostrando o quanto um sistema espacial está próximo de oferecer distância mínima entre conjuntos de agentes complementares ou potencialmente interativos. Considera ainda o tamanho do sistema urbano em análise como fator determinante – mas que pode ser relativizado, se a eficiência dos padrões de localização for relativizada em função do tamanho do sistema, sobretudo para fins comparativos da eficiência das localizações e alcançabilidades em diferentes cidades. A aferição de eficiência pode ainda:

- dirigir-se a *subsistemas específicos* de agentes (como serviço-consumidor ou firma-firma) verificando o grau de eficiência destas ligações físicas (ou proximidade dessa distribuição com a rede de conexão ideal) –, usando-se, por exemplo, distância topológica média entre localizações;
- considerar a *eficiência geral de diversos subsistemas de agentes*, ponderados numa consideração sintética do sistema urbano. Portanto, as propriedades da rede de ligações físicas que conectam essa nuvem potencial de agentes/localizações passam a ser centrais na análise da eficiência urbana;
- mostrar *ganhos de eficiência com a qualificação de componentes urbanos*; por exemplo, com o eventual aumento de acessibilidade em razão de melhorias na rede de acessos ou de modificações no panorama de localizações de agentes complementares; com o ganho de compactação/centralidade (interna e global para uma área); ou com o ganho de informação espacial a respeito de agentes complementares, avaliados em cenários hipotéticos;
- a análise da dessincronia entre a rede de ligações potenciais e a rede das localizações entre potenciais agentes em interação pode apontar a *hierarquia dos espaços mais apropriados para futuras localizações de agentes* dentro destes campos de complementaridade. Essa é uma aplicação possível da análise para fins de tomada de decisões de planejamento;
- o exame de eficiência pode ainda ser dirigido no sentido contrário: *a análise da eficiência das ligações existentes entre agentes, e o quanto elas se beneficiam do espaço* (ou eventualmente ignoram vantagens locais ou agentes complementares melhor localizados para possíveis interações). A eficiência das interações entre agentes, obtida pelo confronto da análise das redes de agentes *versus* a análise da centralidade ou hierarquia na rede espacial das localizações reais, depende, contudo, da existência de dados de ligações efetivadas.

Avanços no exame da eficiência urbana podem incluir outros itens: eficiência da cobertura e tempos para modalidades de *transportes* e sua relação com graus de *alcançabilidade* entre atividades, sob forma de relação entre graus de *acessibilidade* intrínsecos a uma rede espacial em um dado estado e os graus de *mobilidade* estimulados morfologicamente, vinculados ainda à eficiência da cobertura e velocidades das modalidades de

transporte. Pode-se ainda apontar para a eficiência de infraestrutura urbana, a qual não será tema neste artigo.

#### SUSTENTABILIDADE URBANA

Exatamente pela grande extensão de fatores envolvidos e a consequente indefinição (e eventual contradição entre) conceitos propostos e intenso – e largamente desinformado – uso do termo (Netto, 2008a), “sustentabilidade” é uma categoria de desempenho de difícil tratamento. As noções de sustentabilidade referidas à cidade estão frequentemente associadas a ideias de *escassez de recursos* e não poluição, centrando-se na necessidade de permanência de recursos ou de qualidade de vida – mecanismos que se encarregam de sustentar sua continuidade (Polidori & Krafta, 2004). O metaindicador de sustentabilidade consiste de uma análise da *continuidade de sistemas urbanos diante de perturbações internas e externas, de sua dependência de recursos e das externalidades geradas em seus processos de produção e reprodução*. Requer atenção por questões também metodológicas: dada a impossibilidade teórica de uma aferição de “sustentabilidade geral” de uma sociedade ou mesmo de uma região, tal análise deve iniciar-se na escala *individual* de cidades, sendo relacionável na análise de redes de cidades e suas interfaces com seu ambiente ou região. Metodologicamente, é necessária a abordagem local da “sustentabilidade” como problema sistêmico, que afeta regiões e relações em cadeias entre ambientes urbanos e ecossistemas.

As hipóteses usuais da relação entre forma e sustentabilidade têm apontado para considerações como: *cidades mais compactas tendem a ser mais sustentáveis do que as menos compactas; cidades mais fragmentadas tendem a ser menos sustentáveis do que as menos fragmentadas* (cf. Burton, 2002; Chen et al., 2008; Ribeiro & Holanda, 2009). Polidori e Krafta (2004) argumentam contra supersimplificações, considerando que fragmentação e compacidade são processos que implicam movimentos necessários na continuidade da cidade (veja também Abramo, 2009). Em outras palavras, observações de sustentabilidade têm se focado em análises de estado e não como processos urbanos em direção a soluções menos ou mais sustentáveis ao longo do tempo. O problema do tempo nos leva a reconhecer o papel da estabilidade e instabilidade de sistemas urbanos – e a rejeitar *a priori* a definição desinformada de sustentabilidade urbana como associada à estabilidade ou continuidade linear de processos. A questão que se coloca é *como avaliar instabilidade*: se como uma ameaça à sustentabilidade ou, ao contrário, como um sinal de vitalidade. Estas duas possibilidades espelham a essência do debate sobre sustentabilidade hoje existente, a oposição entre uma sustentabilidade buscada mediante redução do desenvolvimento e outra, que aposta na capacidade de resolução de problemas alcançada justamente no desenvolvimento.

*Instabilidade é um componente intrínseco do processo urbano, pois mudança e transformação estão na essência do conceito de urbano*. Entre os fatores centrais em sustentabilidade como processo e sua relação com instabilidade estão: a oscilação dos processos de transformação urbana como manifestação de mudanças em dinâmicas socioeconômicas, sujeitas a estímulos exógenos das conexões entre cidade, região e a macroeconomia; o problema dos limiares na constituição de estruturas ao longo da evolução urbana, e a intermitente consolidação e mudança de padrões urbanos. Tais processos espaciais ocorrem em diferentes escalas implicadas no tempo e espaço, em uma distribuição descontínua de frequências e estruturas, em que as descontinuidades marcam a transição de uma

para outra escala. O problema da transformação e instabilidade urbanas, fundamental para a compreensão das condições reais de sustentabilidade, aponta para o problema dos *limiares* de transformação presentes em diferentes escalas: *limiares locais* que implicam mudanças de padrões globais da cidade, e vice-versa. Estímulos de mudança e instabilidade, limiares estruturais e pontos de criticalidade se relacionam com a capacidade do sistema urbano em absorver e reorganizar-se frente a tais mudanças: a capacidade de *autoorganização* torna-se um item essencial na sua continuidade e sustentabilidade. Sustentabilidade inclui, assim:

- o comportamento de eficiência da cidade quanto a seus processos, agora avaliado no *tempo*, incluindo análise da evolução para a continuidade do sistema urbano;
- a capacidade estrutural do sistema urbano de responder a variações de estímulos (*autoorganização*) geradas internamente ou externamente à cidade quanto à sua morfologia e suas dinâmicas internas na geração ou mudanças em seus padrões espaciais aparentes (*limiares*),<sup>5</sup> e a possibilidade de mudanças estruturais ou parciais em áreas urbanas sob tensão de crescimento por densificação/expansão: a capacidade de absorção e transformação da estrutura urbana, as quais assegurariam formas – adequadas ou inadequadas – de continuidade do urbano.
- a consideração da dependência da cidade face à disponibilidade de recursos para alimentação das suas dinâmicas, e as externalidades negativas de tais dinâmicas sobre o seu ambiente, as quais potencialmente voltam a comprometer a continuidade do sistema urbano (relações *cidade-ambiente*);
- comportamento do sistema urbano quanto à equidade, item de continuidade e da eficiência;
- a análise dos *limiares da estrutura urbana* diante de seus efeitos sobre dinâmicas socioeconômicas e o comportamento urbano de modo geral: limiares de crescimento e estruturação de morfologias de desempenhos mais sustentáveis: limiares superiores e inferiores de expansão, ocupação e densificação de cidades e presença de atividade microeconômica e seus impactos sobre a capacidade de interação dos agentes socioeconômicos; limiares de recursos e energia disponíveis para sistemas urbanos; limiar para externalidades ambientais negativas de dinâmicas urbanas (conforme indicador detalhado mais adiante).

A análise de desempenho baseada em sustentabilidade deve fundamentar-se na análise da evolução de estados urbanos e seus comportamentos, confrontando-os com indicadores do ambiente ao longo do tempo e traçando projeções de cenários futuros fundamentados em parâmetros encontrados na análise temporal. “Sustentabilidade” coloca-se, portanto, como uma “categoria maior” que sumariza e estende as anteriores, reunindo em sua ponderação itens destas categorias mais aspectos capturados nos indicadores de limiares e relações cidade-ambiente.

## **METAINDICADORES: AS DIMENSÕES EMPÍRICAS DO URBANO**

A análise de sistemas urbanos naturalmente esbarra no problema da diversidade: a complexidade do número e diversidade de elementos e dinâmicas envolvidos na cidade abre a possibilidade de geração de uma quantidade de indicadores quase tão grande

<sup>5</sup> Exemplos são a capacidade e limiares de substituição de morfologia edificada, de substituição de usos e novas interatividades entre usos; capacidade da rede de acessibilidade absorver demandas de novos atratores ou a intensificação de fluxos; modificações na rede que possam colocar o sistema urbano em novo patamar de eficiência até novo ponto de criticalidade.



Figura 2 – Dimensões do problema urbano e os meta-indicadores correspondentes.

quanto o número de variáveis identificadas. Um aspecto, portanto, conveniente – e um ponto a ser explorado metodologicamente – é a seleção, combinação e eventual síntese de indicadores específicos. Como vimos, tais indicadores podem ser agrupados de várias formas, de acordo com as categorias sustentabilidade, eficiência, equidade e qualidade espacial. Por questão de facilidade de aplicação, sugerimos agora uma segunda forma de agrupamento em *metaindicadores* que combinarão a variedade de medidas em um elenco conciso diretamente ligado às dimensões mais evidentes do fenômeno urbano. Leques mínimos de indicadores, diretamente ligados ou aos critérios principais ou às características do fenômeno, tendem a ser mais facilmente entendidos e operados no momento da análise. Assim, “indicadores de morfologia” se referirão a características do sistema espacial cuja mensuração pode trazer dados do desempenho da cidade sobre este aspecto; “indicadores de dinâmicas socioeconômicas” capturarão relações entre sistema espacial e sistema de agentes; “indicadores cidade–ambiente” capturarão a relação entre funções urbanas e seu sistema ambiental circundante; e assim por diante. Estas “dimensões” poderão ter seu comportamento avaliado sob critérios de desempenho agrupados anteriormente; elas também poderão ser reformuladas; outras, adicionadas etc. A estrutura de indicadores sugerida (Figura 2) consiste de uma reorganização de medidas já desenvolvidas ou a serem desenvolvidas, com a intenção de enfatizar o caráter intuitivo e um rápido poder explicativo sobre o fenômeno e seus critérios de desempenho.

#### INDICADORES DE MORFOLOGIA URBANA

Estes indicadores são de suma importância para o conhecimento por parte do planejador das características da estrutura espacial da cidade e suas implicações de desempenho – sendo análogos aos indicadores da categoria de desempenho “qualidade espacial”. Temos três instâncias de investigação da morfologia: suas condições globais (a cidade como um sistema espacial completo), a geração de informação útil para a navegação e práticas sociais a partir desta configuração, e a escala morfológica local (de caráter de ocupação e densificação do lote e quarteirão) como manifestação de tendências e demandas morfológicas globais, a qual volta a impactar as dinâmicas globais.

#### INDICADORES DA CONFIGURAÇÃO GLOBAL URBANA

Endereçam propriedades diretas do sistema espacial, especialmente quanto a itens ligados à alcançabilidade e potencial de interação espacial. Podem ser divididas em subconjuntos de acordo com a abordagem da forma urbana: por características *geomé-*

*tricas absolutas* (áreas, volumes, distâncias métricas) ou por características *geométricas relacionais* (conectividade, distância topológica etc.). Para fins de operacionalização e, sobretudo, de facilidade de aplicação, propõe-se abaixo uma seleção, agrupamento e, eventualmente, combinação das medidas desenvolvidas – dispostas em dois conjuntos: morfologia edificada e morfologia da rede espacial.

#### MORFOLOGIA EDIFICADA

*Compacidade*: O problema da compacidade vem recebendo grande atenção em debates sobre sustentabilidade urbana, por seu natural envolvimento em questões de distâncias internas, dependência veicular e suas implicações. Indicadores atuais são baseados em medida métrica em três formas: relação entre área construída e área urbana; área ocupada e área urbana; e população e área urbana (indiretamente, supondo que cidades mais densas também serão mais compactas). Contudo, indicadores baseados em área e altura de cobertura edificada não capturam com precisão o que a compacidade implica para o sistema urbano: a questão não se refere meramente à característica do espaço físico, mas *o que esse espaço físico de fato sedia de práticas e atividades sociais*. É esta relação que importa para o desempenho urbano. Um mesmo caso pode ter intensidades de ocupação diferentes, e formas de atividade com níveis certamente bastante diferentes quanto à sua interatividade com o restante do sistema urbano, ou com grau de dependência com relação à proximidade a agentes e atividades complementares. Estas duas características, abrigadas por morfologias menos ou mais densas, só podem ser capturadas se considerarmos o espaço arquitetônico urbano como um sistema de unidades espaciais irregularmente distribuídas, social e economicamente interativas dentro da dinâmica urbana. O tratamento metodológico mais adequado seria, portanto, não o da compacidade como intensidade de áreas brutas construídas sobre área de solo, mas um *indicador da compressão de unidades de atividade/residência por área ou trecho de rua*. A consideração de população não é o suficiente, por não mostrar sua interatividade, assim como a do número de economias.<sup>6</sup> É urgente retirarmos o item “compacidade” da mera descrição de densidade geométrica absoluta e o relacionarmos com a ideia de “configuração” como relações entre entidades urbanas articuladas, na forma do número de unidades de atividades e residências por unidade espacial (métrica ou topológica). Essa adequação, além de oferecer mais riqueza descritiva, retira a imprecisão de cascos semelhantes com intensidades de ocupação diferentes, ainda oferece natural compatibilidade metodológica com os demais indicadores sistêmicos: o tratamento de seus aspectos em relação àqueles de outras propriedades fica alinhado e explícito. Aqui também temos o problema do *limiar de compactação*: se os efeitos da compacidade sobre a alcançabilidade/mobilidade na cidade ainda deve ser demonstrada apropriadamente, ela também deve incluir o problema do *limiar superior*, a compactação em excesso pode levar ao problema da baixa habitabilidade. Esses limiares devem ser introduzidos.

#### MORFOLOGIA DA REDE ESPACIAL

*Acessibilidade*: indicador topológico global de centralidade considerando cada unidade espacial ligada ao sistema viário em relação a todas as outras. Cada unidade espacial terá uma distância média em relação às demais, a qual expressa a acessibilidade dessa unidade; se as distâncias médias de todas as unidades espaciais forem comparadas, obtém-se um *ranking* de acessibilidade expressando diferenciação espacial existente (Krafta, 1994). O indicador pode relacionar diferenciações a aspectos do funcionamento das cidades, tais

<sup>6</sup> Compacidade indica a intensidade da presença de atividades, enquanto os indicadores sistêmicos de centralidade, oportunidade e convergência (Krafta, 1994; 1997) mostram o potencial de interatividade latente numa área ou trecho axial entre si (passo menor) ou quanto a todo o sistema (passo *n*) resultante dessas compacidades.

como probabilidade de localização de zonas comerciais e localização de áreas potencialmente segregadoras. Ele é vinculado explicitamente ao problema da mobilidade e à equidade, eficiência e sustentabilidade urbanas.

*Profundidade:* consiste do grau de distanciamento entre unidades espaciais do sistema espacial urbano. O indicador de profundidade pode ser associado a avaliações de eficiência e equidade urbanas. A eficiência pode ser denotada pelo fato de sistemas mais ou menos profundos produzirem viagens mais ou menos extensas; a equidade decorre da inferência de que sistemas profundos tendem a produzir mais segregação socioespacial. É útil para responder questões como: “o que o aumento de profundidade de um sistema particular – no caso, por exemplo, de expansão urbana – provoca sobre as distâncias percorridas na cidade e itens como consumo de combustível? O quanto reduz eficiência e sustentabilidade da morfologia da cidade?”. A primeira forma de aferir profundidade é calcular a distância média do sistema, obtida pelo somatório de todos os caminhos mínimos ligando todos os pares de unidades espaciais do sistema. A segunda forma (verificar o diâmetro ou o maior caminho mínimo existente, indicando as duas unidades espaciais mais distantes entre si no sistema urbano) é sujeita a distorções em razão de formas urbanas menos convexas ou mais dendríticas. A terceira usa as distâncias de um determinado ponto, tomado como referência, ordenando o sistema a partir desse ponto. Contudo, o indicador isolado pode ser pouco informativo se não incluir a relativização da propriedade em função do tamanho do sistema: uma cidade pode ter uma morfologia mais eficiente que outra cidade menor (menos profunda), se tiver, por exemplo, maior compactidade.

*Distributividade:* indicador topológico do grau de conectividade da rede viária urbana associada à quantidade de percursos alternativos existentes entre dois pontos quaisquer de um sistema. Uma rede é não distributiva quando, entre um par qualquer de localizações, há apenas um caminho possível (como nas formações urbanas compostas de apenas uma via principal e várias outras transversais). Pode ser obtido pela quantidade de “ciclos fechados” existente em um sistema, comparada com uma grelha retangular perfeita com o mesmo número de nós (a grelha retangular, por ser a forma mais comum de organização espacial existente, embora não seja a mais distributiva), e varia de acordo com o tamanho do sistema (grau de conectividade e continuidade de caminhos). Um item complementar envolve a eficiência dos caminhos alternativos – caminhos alternativos mais curtos aumentam a fluidez ou distributividade.

*Permeabilidade:* indicador métrico de penetrabilidade do espaço (global ou local) e da intensidade da interface entre o espaço público e o privado resultante da quantidade de oportunidades de troca entre eles. Funda-se na noção de que essa interação, chave para a existência da cidade e consecução das atividades humanas, é a oportunidade de contato entre os universos do público e do privado, propiciada pelas linhas de contato entre vias públicas e lotes de terra privados. Pode ser obtida pela relação entre extensão total de vias existentes em uma zona urbana e a área desta zona: razão entre comprimento das vias pela área do sistema ou proporção entre áreas de quarteirão ocupadas e cobertura de ruas. Supõe-se que tramas permeáveis sejam mais eficientes; entretanto, considera-se que o aumento na área viária possa levar a ineficiências quanto à ocupação do espaço construído, e uma distributividade tal que dispersa quantidades veiculares e pedestres para níveis menores que os necessários para sustentar comércios locais, por exemplo. Aqui há outro problema de limiar: se baixas permeabilidades são claramente problemáticas para as dinâmicas socioeconômicas, altamente dependentes de mobilidade, permeabilidades altas demais impactam a proporção entre áreas de ocupação e atividade (quarteirões) e de

movimento (rede de ruas), e conseqüentemente a densificação e compacidade, e a centralidade e intensidade de interações na cidade.

*Continuidade da rede espacial:* captura a importância de redes com fluidez, visibilidade e alta conectividade de suas ruas: sistemas viários com baixa descontinuidade de seus caminhos internos têm redução em suas distâncias internas e ganhos de acessibilidade, mobilidade e inteligibilidade, com possíveis efeitos sobre outras propriedades urbanas como a eficiência dos padrões de localização e centralidade, e sobre formas de desempenho de equidade e eficiência urbanas. A aferição interna da continuidade da rede substitui indicadores mais simples, voltados para a relação entre perímetro urbano e sua área interna.

*Mobilidade:* relaciona acessibilidade topológica, distância métrica interna (dependente da compacidade) e alcance por meio pedestre e veicular (vinculada com a disponibilidade de transportes).

#### INDICADORES DE INFORMAÇÃO ESPACIAL

Verificam a relação cognitiva entre agente, morfologia urbana e graus de inteligibilidade da rede espacial, e os conteúdos práticos e semânticos de seus espaços edificados como informação espacial para a navegabilidade e como meio para o conhecimento social dos agentes sobre atividades sendo produzidas por outros agentes (o conhecimento do sistema social e econômico local). Indicadores de informação espacial são relevantes na análise das dinâmicas de apropriação do espaço e do crescimento urbano (como aspectos de reforço à interatividade e à auto-organização dos agentes), e analogamente, na análise da eficiência e sustentabilidade urbanas.

*Identidade:* explicitamente vinculada com a leitura cognitiva, analisa a extensão do sistema de espaços públicos de uma cidade que está sob o controle da sua estrutura primária, supondo que ela ancora os processos de cognição espacial e navegação urbana.

*Capacidade informacional:* capacidade de difusão de informação sobre atividades e agentes produzida e contida na estrutura da cidade (Faria &Krafta, 2003).

#### INDICADORES DE MORFOLOGIA LOCAL FRENTE A TENDÊNCIAS GLOBAIS URBANAS

Considerando o número de variáveis espaciais constituintes da morfologia urbana e seu grau de interdependência, é relevante expandir a análise do desempenho de morfologias gerais da cidade ao exame das características “microestruturais” do tecido urbano, a fim de capturar comportamentos locais e relacioná-los ao comportamento global urbano. Naturalmente, modificações na escala local apresentam-se como manifestações de tensões produzidas nas dinâmicas globais na cidade (como as tendências de adensamento, de atividade ou distribuição de tráfego menor ou maior em certas áreas). Modificações locais (adensamentos em lotes e quarteirões, trocas de usos, mudanças na configuração das ruas, reconexões), por sua vez, têm impactos sobre dinâmicas globais em vários aspectos: mobilidade e limiar de mobilidade, diversificação de usos, consolidação e modificações na hierarquia de centralidades etc. Os indicadores mais adiante apresentam propriedades de *relacionamento entre escalas*. Quanto ao universo dos indicadores, há um considerável potencial para inovação neste item: instrumentos existentes tendem a focar nessas diferentes escalas como independentes, sem retroalimentação – tanto em modelos de produção do espaço (quando tendências globais de centralidade, densificação e atratividade irrompem como novas edificações) como em modelos de análise de estado. A análise do desempenho da morfologia em âmbito local permite estender tendências espaciais

7 Naturalmente, esse grau de análise não pode ser considerado na escala geral da cidade, por razões de volume de dados e pertinência da informação.

verificadas na escala global (como densificação ou expansão) ao seu *item constitutivo*: a constituição do edifício, lotes e quarteirão.<sup>7</sup> O indicador também oferece a possibilidade de avaliação da *capacidade de tecidos locais* prevendo *limites de ocupação e compactação* em função tanto da capacidade edilícia dos lotes e quarteirões como das condições de sua habitabilidade, que pode *retroalimentar* a análise de capacidade global da cidade, seus limites e seus efeitos sobre suas dinâmicas.

*Continuidade da forma construída*: relaciona as superfícies construídas e a extensão das vias públicas, assumindo fachadas como suporte ao uso de pedestres e ocupação de terrenos por comércio e serviços. É relacionada com a *eficiência* do espaço edificado em relação à rede pública como cenários para troca social e econômica.

*Vida microeconômica*: análise da morfologia das implantações edificadas quanto a seu potencial para oferta de serviços; analisa o grau de suprimento e oportunidades de serviços em raio de alcance pedestre; como indicadores de desempenho microeconômico (Netto, 2008a).

*Socialidade*: análise da morfologia das implantações quanto a seu potencial para estimular o uso pedestre do espaço público, com possíveis benefícios, como aumento de segurança pública (Jacobs, 2000; Hillier & Sahbaz, 2005), constituindo um indicador de comportamento social do espaço urbano (Netto, 2008a).

A relação destes indicadores com indicadores usuais de desempenho de *habitabilidade urbana* (sombreamento, ventilação, conforto sonoro etc. – veja Ratti et al., 2003) como outro limiar importante na ocupação também qualifica a análise da morfologia local. A análise local, alimentada pela consideração global da cidade, é útil sobretudo no teste de cenários possíveis – incluindo o *impacto de decisões de planejamento sobre a densidade e ocupação* em trechos da cidade ou sobre a cidade como um todo.

#### INDICADORES DE DINÂMICA SOCIOECONÔMICA

Uma série de indicadores permite a análise de estado da relação entre agentes intrinsecamente mediados pelo espaço, na instância da reprodução social.

*Centralidade*: identifica gradientes de diferenciação espacial no interior das cidades, correspondentes a gradientes de intensidade de atividades urbanas diversas como os fluxos viários e de pedestres, atividade comercial etc. – relações estruturais entre configuração e distribuição espacial de atividades urbanas. Usos do solo adicionam à configuração espacial um fator de centralidade específico, diferente para cada atividade, o que deve ser considerado quando se procura descrever centralidade urbana (Krafta, 1994; Palma & Krafta, 2001; 2007).

*Convergência*: indicador de distribuição potencial de usuários de um determinado serviço em relação a seus diversos pontos de oferta, baseados no critério de localização espacial, em uma análise direcionada que considera apenas os pares de unidades espaciais que tenham como origem as localizações residenciais e como destino as que ofertam o serviço em questão. Denota o poder de cada ponto de oferta de serviço para capturar proporções de usuários distribuídos irregularmente no espaço urbano (Krafta, 1997).

*Oportunidade*: indicador do privilégio locacional residencial, relativamente a um serviço ou conjunto de serviços. Relaciona-se fortemente com a análise de equidade e eficiência urbanas, ao descrever as facilidades de acesso de cada ponto de localização residencial a um sistema de serviços existente. A população é analisada em suas localizações urbanas (trecho de quadra ou esquina) e serviços detalhados por porte, atratividade, complexidade e tipo. Faz uso de uma análise direcionada (origens e destinos especificados),

incluindo mobilidade de cada residente e atratividade de cada serviço. Relaciona cada localização residencial a todos os serviços localizados no alcance do residente, utilizando a distância e a atratividade como variáveis discriminantes (Krafta, 1997).

*Polaridade*: efeito de um determinado uso do solo ou, mais especificamente, um determinado equipamento urbano, sobre a centralidade urbana. O indicador tensiona o tipo de equipamento em relação a todos os consumidores possíveis, carregando os espaços até eles, acumulando mais em certos espaços, mais bem servidos do que em outros (Krafta, 1997).

*Segregação dinâmica*: grau de sobreposição das redes sociais de diferentes classes ou grupos sociais no espaço urbano, considerada através das movimentações e padrões de apropriação do espaço típicas dessas categorias, incluindo atratores e a rede espacial (Netto & Krafta, 1999; Netto, 2010).

*Mobilidade*: indicador que vincula acessibilidade topológica, distância métrica interna (dependente da compacidade) e alcance por meio pedestre e veicular (vinculado com a disponibilidade de transportes).

#### INDICADORES DE LIMIAR

Verificam a capacidade do sistema urbano (a estrutura espacial e suas relações às redes de agentes) para absorver e rearranjar-se diante de mudanças em um e em outro sistema, ou flutuações nas interações com ambiente, região ou macroeconomia. Não se trata de um indicador de “grau de ordem” ou “estabilidade,” mas da capacidade do sistema de reagir frente à natural desestabilidade dinâmica das ações de agentes em relação ao sistema de localizações de atividades e o estado de redes espaciais. Os indicadores de limiares urbanos operam com os principais indicadores de dinâmicas socioeconômicas, tais como centralidade, relacionados de forma a capturar explicitamente indícios de auto-organização e emergência de padrões urbanos face a limiares de criticalidade. Incluem, entretanto, aspectos específicos, a saber:

*Tensão estrutural*: intensidade de atividade urbana, definida com base na configuração e no uso do solo. Seria lógico supor que lugares de maior centralidade coincidisse com os de maior acessibilidade, já que esta denota potencial para centralidade, mas essa relação apresenta dissonâncias. O indicador considera a correlação entre as posições dos espaços num e noutro núcleo, particularmente em cidades onde o crescimento é mais intenso.

*Auto-organização*: habilidade do sistema urbano em responder a forças desestruturadoras e retomar suas dinâmicas uma vez perturbado; é a capacidade de absorver transformação. O indicador demanda conhecer relações causais entre estímulos e seus efeitos no urbano, e a maneira como ele absorve tais estímulos e se rearranja espacialmente e/ou socialmente.

*Limiares de morfologia*: verificam o grau de saturação dos espaços para substituição e adensamento; *centralidade* verifica limiares de centralidade e possibilidade de emergência de novas centralidades urbanas; e *mobilidade* vincula qualidades espaciais de acessibilidade, continuidade da malha e mobilidade considerando limiares de saturação face à capacidade das vias e quantidade de veículos.

#### INDICADORES DAS RELAÇÕES CIDADE–AMBIENTE

Avaliam o grau de uso e de *externalidades do uso de recursos energéticos* na reprodução e produção urbana (risco extração indiscriminada, não sustentável), e as externalidades negativas oriundas das interações entre sistema de agentes e sistema espacial (espaço consumido em urbanização e impactos negativos da expansão sobre o natural;

poluição etc.). A representação do sistema ambiental se dá por valores de recursos disponíveis que alimentam o sistema urbano, e as externalidades dos processos urbanos sobre o ambiental. Interessa aferir esses aspectos da dependência entre ambos do ponto de vista da dinâmica urbana. Avalia recursos a serem consumidos na reprodução urbana, como:

- a relação entre espaço, crescimento e consumo de áreas não urbanas (Polidori e Krafta, 2004);
- os recursos e energia usados pelo sistema urbano (disponibilidade, custo de recursos e limiares);
- as externalidades ambientais negativas das dinâmicas urbanas, como efeitos como a poluição, que passam a prejudicar o comportamento dos agentes e do sistema urbano.

### **COMBINAÇÕES: OS METAINDICADORES DE DIMENSÕES URBANAS E CATEGORIAS DE DESEMPENHO**

Os indicadores do sistema de análise urbana devem ser usados de forma independente pelo planejador, permitindo analisar ora um aspecto específico (digamos, o grau de *acessibilidade* global de uma cidade ou de ruas em particular), ora uma dimensão do urbano (como o indicador de morfologia ou de qualidade espacial), ora categoria de desempenho urbano (como o grau de sustentabilidade urbana envolvendo os itens anteriores e outros). Devem ainda permitir aplicação de forma relacional (como a verificação de graus de acessibilidade como fator de sustentabilidade urbana). Devem, portanto, ajudar o planejador a obter respostas bastante diretas a questões como “o quanto um aumento na compacidade aumentaria a qualidade espacial ou a eficiência geral do sistema urbano em questão”. A composição da coleção de indicadores em metaindicadores referentes às categorias de desempenho e às dimensões urbanas se dá através de ponderações baseadas em médias harmônicas dos seus indicadores específicos (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 – Categorias de desempenho como metaindicadores urbanos e seus indicadores componentes

Metaindicador de desempenho	Qualidade espacial	Equidade	Eficiência	Sustentabilidade urbana
Indicadores específicos	Compacidade Acessibilidade Profundidade topológica Distributividade Permeabilidade Continuidade rede Mobilidade Identidade Navegabilidade Capacidade inform. Continuidade de forma Microeconomicidade Socialidade Habitabilidade	Oportunidade espacial Acessibilidade Mobilidade Segregação espacial	Centralidade Oportunidade espacial Convergência Interatividade de redes Tensão estrutural Compacidade Continuidade de rede espacial Acessibilidade Mobilidade	Qualidade espacial Compacidade Acessibilidade etc. Equidade Mobilidade Segregação Eficiência Centralidade Oportunidade espacial etc. Criticalidade Tensão estrutural Auto-organização Limiares Cidade-ambiente Consumo áreas Consumo recursos Externalidades negativas

Tabela 2 – Dimensões urbanas como metaindicadores urbanos e seus indicadores componentes

Dimensão urbana	Morfologia	Dinâmica socioeconômica	Criticalidade	Cidade-ambiente
Indicadores específicos	GLOBAL Compacidade Acessibilidade Profundidade topológica Distributividade Continuidade rede espacial Mobilidade LOCAL Continuidade forma Microeconomia Socialidade Habitabilidade INFORMAÇÃO ESPACIAL Identidade Capacidade informacional	Centralidade Convergência Oportunidade espacial Polaridade Segregação dinâmica Mobilidade	Tensão estrutural Auto-organização Resiliência Limiares Morfologia Centralidade Mobilidade	Consumo áreas Consumo recursos Externalidades negativas

## CONCLUSÃO: O DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO DE ANÁLISE

O modelo conceitual para um sistema de análise de desempenho baseado em indicadores de fatores relacionados prevê o desenvolvimento quantitativo dos indicadores apontados. Os metaindicadores serão construídos a partir da síntese matemática dos seus indicadores específicos componentes, cuja formulação encontra-se disponível com os autores. Alguns dos indicadores propostos serão objeto de tradução quantitativa no estágio seguinte de pesquisa. Em razão da complexidade das propriedades analisadas e a natureza e volume de suas intensidades, a pesquisa envolve a construção de uma arquitetura de indicadores sistêmicos na forma de método computacional, já em desenvolvimento com base nos estudos do grupo de pesquisa. Há ainda possibilidade de indicadores mais dirigidos, por exemplo, ao comportamento das redes sociais ou ao desempenho de trechos de escala local em uma cidade, a serem exploradas em estágio posterior da pesquisa, tal como de *interatividade social*, apontando as características das redes sociais urbanas (graus de conectividade, intensidade de interações efetivas e transmissão de informação nas relações sociais ou microeconômicas, como nas redes de produção e de oferta-consumo) como item vital para a auto-organização, eficiência e sustentabilidade do sistema urbano, por capturar a efetivação, na forma de interações, da capacidade de informação e de mobilidade latentes no sistema urbano. O uso dos indicadores deve ser, entretanto, implicado: o método deve ser útil para demonstrar possíveis relações de causalidade, como as hipóteses referentes aos efeitos de aumentos na compacidade urbana (Tabela 3).

**Vinicius M. Netto** é professor adjunto da Escola de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal Fluminense (UFF). E-mail: vnetto@vm.uff.br.

**Romulo Krafta** é professor titular da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e do Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR), e pesquisador do CNPq. E-mail: krafta@ufrgs.br.

Artigo recebido em maio de 2009 e aprovado para publicação em setembro de 2009.

Tabela 3 – Exemplos da influência de características capturadas por indicadores específicos sobre metaindicadores

Indicador específico	Indicador dependente	Dimensão urbana	Categoria desempenho
↑ compacidade ?	–	↑ morfologia	↑ qualidade ↑ eficiência ↑ sustentabilidade
↑ compacidade	↑ centralidade	↑ dinâmica	↑ eficiência ↑ sustentabilidade
↑ compacidade [limiar]	↓ habitabilidade	↓ morfologia	↓ qualidade ↓ sustentabilidade

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMO, P. A cidade com-fusa: mercado e a produção da estrutura urbana nas grandes cidades latino-americanas. In: *Anais do XIII Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional*. Florianópolis: Anpur, 2009.
- BATTY, M. Planning Support Systems: Progress, Predictions, and Speculations on the Shape of Things to Come. CASA Working paper. In: <http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/workingPaperDetail.asp?ID=122>. Acesso em: 2007.
- BERTUGLIA, C.; CLARKE, G.; WILSON, A. *Modelling the City: Performance, Policy and Planning*. London: Routledge, 1994.

- BURTON, E. Measuring urban compactness in UK towns and cities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 29(2), p.219-50, 2002.
- CHEN, H.; JIA, B.; LAU, S. Sustainable urban form for Chinese compact cities: challenges of a rapid urbanized economy. *Habitat International*, p.(32), p. 28-40, 2008.
- FARIA, A.; KRAFTA, R. Representing urban cognitive structure through spatial differentiation. In: HANSON, J. (ed.) *Proceedings of 4<sup>th</sup> Space Syntax International Symposium* London: UCL Press, p.53.1-18, 2003.
- HARVEY, D. *Social Justice and the City*. Baltimore: John Hopkins University Press, 1973.
- HASSE, J.; LATHROP, R. Land resource impact indicators of urban sprawl. *Applied Geography*, (23), p.159-75, 2003.
- HILLIER, B.; SAHBAZ, O. High resolution analysis of crime patterns in urban street networks: An initial statistical sketch from an ongoing study of a London borough. In: <http://www.ipam.ucla.edu/programs/chs2007/>. Acesso em: 2005.
- JACOBS, J. *Morte e vida de grandes cidades*. São Paulo: Martins Fontes, 2000.
- KRAFTA, R. Modelling Intraurban configurational development. *Environment and Planning B: Planning and Design*, (21), p.67-82. 1994.
- \_\_\_\_\_. Urban convergence: morphology and attraction. In: TIMMERMANS, H. (org.) *Decision Support Systems in Urban Planning*. London: E&FN Spon, 1997.
- MARTIN, L.; March, L. *Urban Space and Structures*. Cambridge: Cambridge University Press, 1972.
- NETTO, V. Morfologias para uma sustentabilidade arquitetônico-urbana. In: *NUTAU 2008 – 7o Seminário Internacional: O Espaço Sustentável – Inovações em Edifícios e Cidades*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008a.
- \_\_\_\_\_. Practice, space, and the duality of meaning. *Environment and Planning. D, Society & Space*, (26), p.359-79, 2008b.
- \_\_\_\_\_. The segregation upon the body: sociospatial differentiation and the invisibility of the other. In: *Everyday Life In The Segmented City*, Florence, 2010.
- NETTO, V.; KRAFTA, R. Segregação dinâmica urbana: modelagem e mensuração. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, (1), p.133-52, 1999.
- PALMA, N.; KRAFTA, R. Specific Centralities Spatial configuration linked to socioeconomic complementarity between urban spaces. In: *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Space Syntax Symposium*. London: 2001.
- \_\_\_\_\_. POTENTIAT model: transformation and socioeconomic relationship under a complexity science approach. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*. São Paulo, 2007.
- POLIDORI, M.; KRAFTA, R. Environment – urban interface within urban growth. In: *Proceedings DDSS*. Eindhoven, 2004.
- PORTUGALI, J.; CASAKIN, H. Information communication and the design of cities. In: *Proceedings of the Conference on Creating Communicational Spaces*. Edmonton: J Frescara, 2003.
- RATTI, C.; RAYDAN, D.; STEEMERS, K. Building Form and Environmental Performance: Archetypes, Analysis and an Arid Climate. *Energy and Buildings*, 35(1), p.49-59, 2003.
- RIBEIRO, R. Índices de qualidade configuracional urbana. In: *Anais do XIII Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional*. Florianópolis, 2009.

RIBEIRO, R.; HOLANDA, F. Proposta para análise do Índice de Dispersão Urbana. *Cadernos Metrópole*, (15), p.49-70, 2006.

WILSON, A. Urban and regional dynamics – 1: a core model. *CASA Working Paper Series*, (128). In: <http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/workingPaperDetail.asp?ID=128>. Acesso em: 2007.

**A B S T R A C T** *The present work proposes concepts and indicators intended to grasp features and effects of urban form; in fact, systemic indicators defined to tackle cityscapes as relational processes whose constituents are pervaded by mutual effects. Firstly, it brings a critique of indicators found in the literature, asserting that most indicators are feature indicators rather than performance indicators. Secondly, it advances theoretical and methodological grounds for new indicators geared to assess the impacts of urban structure on aspects of social life, equity in the access to jobs and facilities, the efficiency of locational patterns in economic interactions, and the sustainability of urban reproduction. Thirdly, a new set of indicators is proposed and arranged in two major groups: (i) performance indicators (spatial quality, urban equity, efficiency and sustainability), and (ii) meta-indicators for urban dimensions (general indicators of urban morphology, socioeconomy, criticality, and city-environment relations). Finally, the paper discusses possibilities of application and further development, and brings mathematical definitions of the systemic indicators.*

**K E Y W O R D S** *Urban performance; systemic indicators; criticality.*