



As medidas do

Desde 2003 uma equipe liderada pelo físico Geoffrey West, do Instituto Santa Fé, nos Estados Unidos, acumula evidências de que o desenvolvimento das cidades obedece a certas regularidades estatísticas. É uma espécie de física do crescimento urbano, regido por fórmulas matemáticas relativamente simples – as chamadas leis de escala ou potência – que permitem fazer previsões sobre as propriedades de uma cidade. As leis de escala tornam possível estimar com precisão razoável os valores que os indicadores socioeconômicos e de infraestrutura de uma cidade podem assumir, conhecendo-se apenas o seu número de habitantes. De modo geral, funcionam para cidades de diferentes tamanhos, de metrópoles a vilarejos, com as mais variadas histórias e culturas, na Europa, na Ásia e nas Américas.

As cidades brasileiras também obedecem a essas leis de escala, verificaram recentemente os físicos Haroldo Ribeiro, Luiz Alvez, Renio Mendes e Ervin Lenzi, da Universidade Estadual de Maringá (UEM), no Paraná. Em um estudo publicado em setembro na revista *PLoS One*, eles confirmaram que é possível usar essas leis para enxergar tendências no desenvolvimento urbano do Brasil no espaço e no tempo. Com base nessas tendências, a equipe paranaense desenvolveu um modelo matemático simples e simulou a evolução de oito indicadores socioeconômicos – os índices de trabalho infantil, desemprego, analfabetismo, homicídio, renda familiar, idosos, homens e mulheres – em 1.605 municípios brasileiros. “Ao colocar os resultados dessas



crecimento urbano

Grupos no Brasil e no exterior usam novas métricas para identificar tendências no desenvolvimento das cidades

previsões em mapas, conseguimos identificar as regiões do Brasil em que esses indicadores devem aumentar e aquelas em que devem diminuir quando forem medidos no censo nacional de 2020”, diz Ribeiro (ver mapas na página 55).

Ribeiro ressalta que as leis de escala revelam tendências nos indicadores socioeconômicos que podem passar despercebidas ou serem distorcidas pela maneira convencional como especialistas em planejamento urbano avaliam esses indicadores. Relatórios e guias para políticas públicas costumam medir o desempenho de cidades com tamanhos diferentes ou a evolução de uma mesma cidade cuja população cresceu levando em conta os valores médios de indicadores socioeconômicos divididos pelo número de habitantes. Assim, tenta-se averiguar como as taxas de desemprego, analfabetismo ou homicídio evoluem de um lugar ou de um período para outro tomando-se por base os dados *per capita*. “A análise *per capita*, em princípio, elimina o efeito do tamanho da população e permite comparar cidades com populações de tamanho diferente”, explica Ribeiro. “Quando não consegue eliminar esse efeito, porém, essa análise pode introduzir vieses nos indicadores.”

A origem desses vieses é uma suposição que se faz *a priori*. Ao usar esses

indicadores para comparar cidades com populações de tamanhos diferentes, os pesquisadores assumem implicitamente que o crescimento das cidades acontece sempre de maneira linear. Seguindo esse raciocínio, uma cidade de 2 milhões de habitantes seria apenas uma versão duas vezes maior de uma cidade com 1 milhão de habitantes. Assim, seria esperado, por exemplo, que a cidade maior tivesse em média duas vezes mais homicídios do que a menor. Mas essa regra nem sempre funciona.

CAMUNDONGOS E ELEFANTES

Cálculos feitos por Ribeiro e seus colegas indicam que, em 2010, uma cidade brasileira com 2 milhões de habitantes tenderia a apresentar mais de duas vezes mais assassinatos – precisamente, 2,44 vezes mais – do que uma cidade com a metade dessa população. Esse resultado indica que nem sempre os índices *per capita* eliminam completamente o efeito do tamanho da população e que as cidades grandes não são apenas versões ampliadas de cidades pequenas. Elas são qualitativamente distintas. E a maneira como elas diferem lembra o que ocorre com animais grandes e pequenos, como o elefante e o camundongo.

Nos anos 1930, o biólogo suíço Max Kleiber estudou a influência do tama-

nho dos mamíferos na fisiologia de seus corpos. Kleiber comparou o número de calorias que animais de diferentes espécies precisam consumir todos os dias para se manterem vivos. E verificou que, independentemente do tamanho, o metabolismo obedecia sempre uma lei matemática de escala. No caso dos mamíferos, a quantidade de energia necessária para viver aumentava seguindo uma lei de potência em que o expoente era o número 0,75. Isso significava que um animal com o dobro da massa de outro precisava consumir só 1,68 vez mais calorias, e não o dobro de energia.

O fato de esse expoente ser menor que 1 significa que um animal maior necessita proporcionalmente de menos energia que um menor. Por essa razão, um elefante precisa de 40 mil quilocalorias por dia para se manter vivo, enquanto um camundongo consome apenas 4 quilocalorias. A quantidade de energia que o elefante ingere é 10 mil vezes maior do que a que o camundongo consome, embora a massa total do primeiro seja 220 mil vezes maior que a do segundo. No final dos anos 1990, Geoffrey West e seu grupo descobriram que essa economia é decorrente da forma como a energia é distribuída pelo corpo: quanto maior o animal, mais eficientemente a energia chega aos diferentes pontos do seu corpo.

Em 2003, West e sua equipe verificaram que uma lei de escala idêntica determina o crescimento das cidades. Dados de cidades dos Estados Unidos, da Europa e da Ásia mostravam que indicadores de infraestrutura urbana como o número de postos de gasolina, a malha viária e o comprimento total dos cabos da rede elétrica aumentam com o tamanho da população da cidade seguindo a lei de Kleiber. Quando a população de uma cidade dobra, a infraestrutura necessária para atendê-la não precisa ser duas vezes maior, mas apenas 1,68 vez – esse fator varia um pouco de país para país. “É como se a cidade grande otimizasse o uso de seus recursos”, explica Ribeiro. Matemáticos e físicos chamam esse padrão de crescimento de sublinear.

Uma lei de escala semelhante regula o crescimento dos indicadores socioeconômicos. Mas o ritmo é diferente. Enquanto os indicadores de infraestrutura tendem a crescer mais lentamente à medida que a população aumenta, os índices socioeconômicos aumentam de maneira acelerada, mais do que dobrando quando a população da cidade dobra. West observou que, nesses casos, indicadores de crescimento econômico como o produto interno bruto e o número de patentes geradas aumentam cerca de 2,22 vezes. Do ponto de vista econômico, portanto, uma cidade de 2 milhões de habitantes é mais eficiente e produtiva do que duas cidades de 1 milhão de habitantes cada uma – padrão de crescimento conhecido

Indicadores socioeconômicos crescem de maneira acelerada com o aumento do tamanho da população

como superlinear. Infelizmente, como qualquer habitante de uma metrópole pode adivinhar, indicadores de baixa qualidade de vida, como a taxa de desemprego ou de homicídio, também crescem mais ou menos na mesma proporção.

Mas há exceções. Nem todos os indicadores aumentam de maneira não linear. Alguns deles, tanto de infraestrutura como socioeconômicos, podem crescer na mesma proporção que a população, de modo linear, caso do

consumo de eletricidade por domicílio. Também há categorias de indicadores que podem apresentar diferentes ritmos de crescimento. Em um artigo publicado em agosto no *Journal of Urban Health*, uma equipe liderada pelo físico brasileiro Luis Rocha, do Instituto Karolinska, na Suécia, comparou vários indicadores de saúde pública de cidades no Brasil, nos Estados Unidos e na Suécia. Nos três países, a incidência de doenças infecciosas como a gripe e a Aids aumentou de modo superlinear, talvez porque a aglomeração maior de pessoas nas cidades grandes facilite a transmissão dessas enfermidades. Já as mortes por ataque cardíaco e suicídio cresceram sublinearmente. A explicação para esse resultado ainda é controversa. Os pesquisadores suspeitam que tenha a ver com o fato de as cidades maiores terem rede hospitalar mais bem estruturada e com uma dificuldade maior de se isolar socialmente.

EVOLUÇÃO BRASILEIRA

No trabalho da *PLoS One*, Ribeiro e seus colegas analisaram os dados de 1.605 municípios brasileiros, obtidos nos anos de 1991, 2000 e 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DataSUS). Como esperado, os indicadores socioeconômicos de renda familiar, desemprego e homicídios cresceram com a população da cidade de maneira superlinear. Já os índices de trabalho infantil e analfabetismo fugiram à regra, crescendo de maneira sublinear: cidades maiores parecem erradicar esses problemas mais facilmente.

Os pesquisadores observaram outra tendência clara: ao longo do período estudado, os índices medidos nas cidades brasileiras se aproximaram dos valores projetados pelas leis de escala. Em 1991, por exemplo, a cidade de Peixoto de Azevedo, em Mato Grosso, tinha um número de homicídios muito maior do que o esperado para uma cidade de seu tamanho. Ao longo das últimas décadas, porém, o número de homicídios da cidade caiu, se aproximando do esperado pela lei de escala obtida pela equipe de Ribeiro. Já as cidades brasileiras que tinham menos homicídios do que o esperado pela lei de escala sofreram um aumento de casos de homicídio. Ribeiro arrisca uma explicação. “Parece que



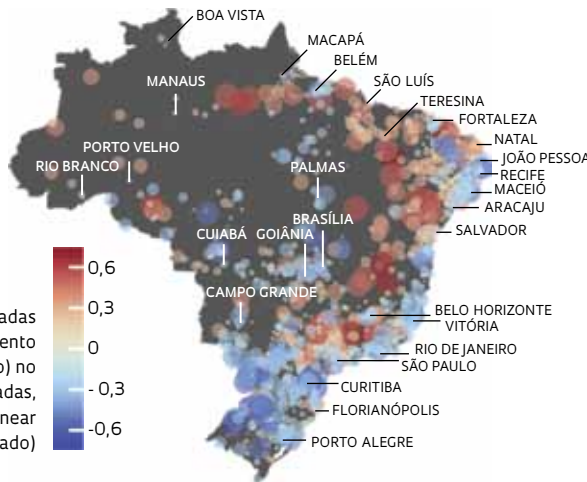
O Brasil em 2020

Os mapas mostram como devem evoluir alguns indicadores até o fim da década em relação a 2010 em 1.605 municípios

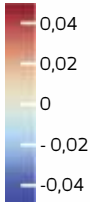
HOMICÍDIOS

Os índices de assassinato devem crescer mais no interior (círculos avermelhados) e diminuir no litoral e no Sul do país

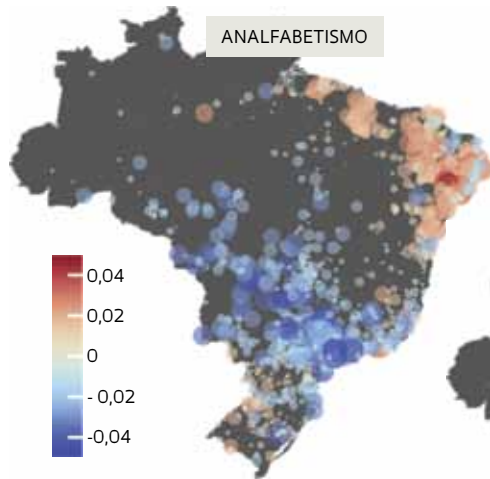
As cores avermelhadas representam crescimento superlinear (acelerado) no índice; as azuladas, crescimento sublinear (desacelerado)



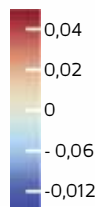
ANALFABETISMO



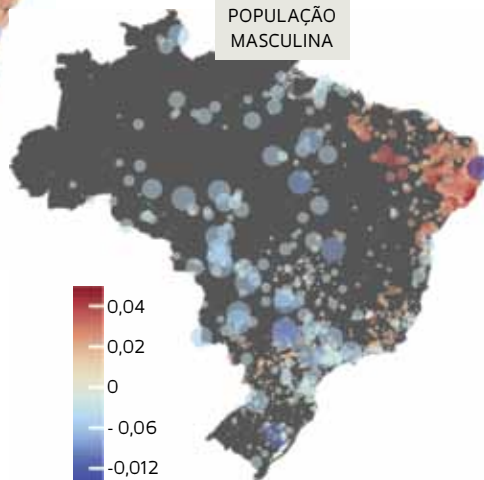
As taxas de analfabetismo, segundo a projeção, devem se agravar principalmente no Nordeste brasileiro



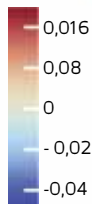
POPULAÇÃO MASCULINA



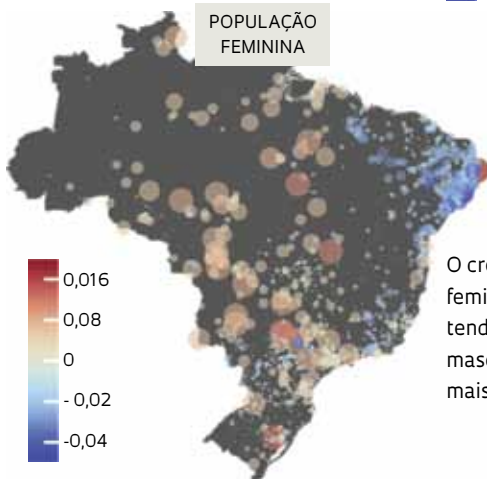
A população masculina deve aumentar mais nos estados do Nordeste e diminuir nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Norte



POPULAÇÃO FEMININA



O crescimento da população feminina apresenta tendência oposta à masculina: deve aumentar mais no Centro-Sul do país



quando há homicídios em excesso os cidadãos ficam preocupados e cobram políticas para reduzi-los”, especula. “Já quando a taxa de homicídios está muito baixa, parece que as pessoas ignoram o problema e esses índices logo voltam a subir.” Dos oito indicadores analisados pelo grupo, o único que não segue essa tendência é o analfabetismo, que tende a aumentar nas cidades onde já é alto e diminuir ainda mais onde já é baixo. “Parece um efeito de autoalimentação”, Ribeiro sugere. “Quanto mais educadas, mais as pessoas exigem educação.”

“Leis de escala permitem realizar previsões, mas esses índices também dependem das políticas adotadas pelos governos, o que não é levado em conta por esse estudo”, critica o geógrafo Cosmo Antonio Ignazzi, da Universidade Paris 1, na França, que pesquisa leis de escala nas cidades brasileiras. Ribeiro reconhece o problema e acredita ser muito difícil quantificar o efeito de políticas públicas em um modelo matemático. “Nosso modelo não é determinístico”, resalta Ribeiro. “Entretanto, nosso trabalho e o de outros pesquisadores mostram que o efeito dessas políticas é limitado pelo tamanho da população da cidade.”

Ignazzi também questiona a maneira como os físicos definiram as áreas urbanas em sua análise, considerando cada município uma cidade. “A metodologia do estudo é boa, mas eles adotaram a unidade errada. Municípios são unidades político-administrativas. Não é uma boa escolha, pois não leva em conta as grandes conurbações em torno de capitais brasileiras como Manaus, Salvador, São Paulo e Rio de Janeiro.”

“Realmente, a escolha da definição de unidade urbana é crucial, mas não há até agora um procedimento à prova de falhas para definir os limites de uma cidade”, responde Ribeiro. “Em nosso trabalho comparamos os resultados agregando ou não os dados dos municípios que compõem as 39 regiões metropolitanas do Brasil e não observamos diferença apreciável em nossas conclusões.” ■ Igor Zolnerkevic

Artigos científicos

ALVES, L. G. A. *et al.* Scale-adjusted metrics for predicting the evolution of urban indicators and quantifying the performance of cities. **PLoS One**. 10 set. 2015. ROCHA, L. E. C.; THORSON, A. E.; LAMBIOTTE, R. The non-linear health consequences of living in larger cities. **Journal of Urban Health**. v. 92 (5), p. 785-99. out. 2015.

FONTE ALVES, L. G. A. ET AL. PLOS ONE, 2015