In: FAISSOL, S. (org.) Urbanização e regionalização. Relações com o desenvolvimento econômico. Rio de Janeiro, IBGE, 1978.

Cidades como sistemas dentro de sistemas de cidades

Brian Berry

Este trabalho examina algumas das maneiras através das quais a compreensão das cidades e dos conjuntos de cidades fez progressos durante a primeira década da ciência regional. Havia-nos sido pedido, originalmente, que preparássemos um trabalho que passasse em revista toda a série de modelos urbanos mas, por muitas razões, decidi adotar um enfoque mais restrito. A comissão de Urbanização do Conselho de Pesquisa de Ciências Sociais preparou recentemente um completo retrospecto dos estudos urbanos a ser publicado dentro em breve sob o título de "O estudo da Urbanização", [1] e tentar uma duplicação de tal trabalho neste pequeno artigo seria tão temerário quanto de resultados superficiais. Outros trabalhos a serem apresentados nestas reuniões tratarão de certos tipos de modelos urbanos como, por exemplo, aqueles relacionados com estudos sobre transporte metropolitano, ou aqueles envolvendo estudos da base econômica urbana através de matrizes insumo-produto, e não tentarei reproduzir aqui o que eles têm a transmitir.

Qual é, então, o objetivo do presente trabalho? São exploradas três vias que levam em direção ao desenvolvimento de sólidos modelos urbanos, e deduzidas as suas implicações mais relevantes. Por modelos queremos entender modelos "simbólicos" e não aqueles do tipo icônico ou análogo. [2] Além disso, os modelos simbólicos que interessam são aqueles que fornecem representações idealizadas de teorias científicas convenientemente formuladas e verificadas e relativas às cidades e conjuntos de cidades concebidas como sistemas espaciais.

(1) Este volume (33) inclui trabalhos de revisão por historiadores, geógrafos, cientistas, políticos, sociólogos, economistas e outros (obs. ref. folha 1).

(2) Ackoff (1) desenvolve esses termos.

Qualquer teoria científica compreende logicamente duas partes: a) simples generalizações indutivas tiradas de fatos observáveis do mundo e b) construções lógicas abstratas. É a coincidência das deduções tiradas das construções lógicas e das generalizações indutivas feitas a partir dos fatos que torna válida uma teoria científica.

Há dez anos atrás os estudos urbanos estavam numa situação de dilema: ou existiam generalizações indutivas ou elaborações lógicas, sendo as primeiras elaboradas mais comumente por geógrafos urbanos e as últimas por economistas urbanos. Como a palavra "modelo" estava em voga, ambos denominaram seus produtos de modelos, mas nenhum deles possuía verdadeiros modelos de teorias no preciso sentido da palavra.

A importância da última década foi o encontro das duas através da ciência regional. Além disso, o encontro se realizou quando os métodos de análise quantitativa, facilitados pelo rápido desenvolvimento da tecnologia do computador, iniciavam uma revolução tecnológica que provocou profundas transformações em todas as ciências. Que mudança mais impressionante poderia haver do que uma que facilitasse os estudos em larga escala conduzentes à especificação da força da convicção nas generalizações indutivas, que permitisse o exame objetivo do grau de coincidência entre as generalizações indutivas e as deduções de construções lógicas, e que facilitasse a replicação?

O avanço tecnológico significou algo mais, entretanto a virtual eliminação da antiga grande lacuna existente entre a formulação dos problemas e a avaliação dos resultados, o aperfeiçoamento das questões formuladas, o início e a conclusão de experiências de dimensões inimagináveis sob as condições técnicas anteriores e muitas outras coisas mais.

O encontro, então, foi oportuno. As generalizações indutivas puderam ser encaminhadas em direção à teoria, as construções lógicas puderam ser comparadas com o último teste da realidade, e novas formas de empiricismos e de experimentações puderam ser desenvolvidas. Estes são os três caminhos debatidos nas seções seguintes deste trabalho. São apresentados exemplos, mais sob forma expositiva do que de uma maneira rigorosa, já que cada um deles foi elaborado em outros trabalhos. As conclusões deste trabalho são de que os modelos urbanos são da mesma espécie daqueles usados em outras pesquisas sobre sistemas. A teoria urbana deve ser encarada, portanto, como um aspecto da teoria geral de sistemas. Os caminhos viáveis para a futura pesquisa urbana poderiam, portanto, ser identificados pela aceitação daqueles outros aspectos da teoria geral de sistemas, que estão relativamente bem adiantados para verificar como eles alcançaram esta posição mais desenvolvida.

1. GENERALIZAÇÕES INDUTIVAS À PROCURA DE UMA TEORIA

Duas das mais conhecidas generalizações interessando cidades são a relação tamanho-hierarquia para conjuntos de cidades, e a relação inverso-distância para densidades demográficas dentro de cidades. Ambas foram muitas vezes estudadas e formalizadas há dez anos ou mais como "regras" empíricas, a primeira sob o nome de "regra tamanho-hierarquia" por G. K. Zipf e a segunda sob o nome de "função exponencial negativa" por Colin Clark.

Contudo, como observou Isard em 1956, "O quanto a regra tamanho-hierarquia pode ser considerada válida e universal é, neste estágio, uma questão de opinião e julgamento individual". [3] Além disso, embora Clark argumente que a regra exponencial negativa "parece ser verdadeira para todos os lugares e tempos estudados" ele não fornece nenhum raciocínio teórico para suas observações, tendo apenas especificado que elas poderiam ter algo a ver com os custos de transporte. [4] Durante a última década, ambas as generalizações indutivas foram elevadas para mais perto do "status" de modelos científicos, tendo sido cuidadosamente especificado o alcance de sua validade.

Distribuição de tamanhos de cidades

A regra tamanho-hierarquia [5] estabelece que para um grupo de cidades, usualmente as cidades além de um certo tamanho em determinado país

$$P_r = p_1/r^2 \quad (1)$$

onde P_1 é a população da maior cidade ou a cidade de primeira categoria, P_r é a população da cidade de categoria r, e q é uma constante [6] donde segue-se que

$$\log P_r = \log P_1 - q \log r \quad (2)$$

de modo que uma plotagem da categoria versus o tamanho, em papel logarítmico duplo, deverá formar uma linha reta com um gradiente de $-q$.

Um outro modo de expressar o que foi dito é o de que a distribuição de freqüências de cidades por tamanho parece ser altamente assimétrica, com a forma de um J invertido. Uma série de distribuição de probabilidades, entre as quais a lognormal e a

(3) Isard (34) em conexão com um debate sobre regularidades empíricas.
(4) Vide Berry (12) para comentários.
(5) Berry (8) relaciona a literatura pertinente com algum detalhamento. Contribuições posteriores abrangem trabalhos de Bell, Friedmann (29) e Ward (51).
(6) Se toda a população fosse urbana, então $P_1 = P_1 \Sigma p - q$
Vide Weiss (52).

Yule possuem a mesma forma de *J* invertido, tendo cada uma delas uma semelhança geral através de suas assimetrias. Cada qual é, na verdade, a distribuição de quase-equilíbrio de um simples processo estocástico similar. Poderiam as regularidades tamanho-hierarquia das cidades ser também resultantes de um tal processo estocástico? A essência dos argumentos apresentados na última década é a de que os processos estocásticos realmente produzem tal estrutura, e tanto a distribuição de Yule quanto a lognormal foram propostas como a base das regularidades tamanho-hierarquia. [7] Na verdade, ambas são tão semelhantes que qualquer das duas poderia ocorrer, quando da distribuição cumulativa de cidades por tamanho, formando uma linha reta no papel de probabilidades lognormal. A aplicabilidade de uma ou de outra ao caso particular dependerá do sistema de cidades estudado, se fechado ou se em expansão.

Consideremos a matriz de transição de um processo estocástico na qual as fileiras e colunas estejam especificadas por grupos de tamanho de cidades. Se a densidade da função probabilidade de cada classe de cidades é aproximadamente a mesma, [8] então o quase-equilíbrio do processo estocástico será lognormal se o conjunto de cidades existentes ao iniciar-se o processo for o mesmo até o fim, realizando o quase-equilíbrio. Se, contudo, a menor categoria de tamanho for acrescida de novas cidades numa taxa de quase constância durante todo o processo, o quase-equilíbrio será o da distribuição de Yule.

Se se pode dizer que o crescimento de cidades dentro do conjunto ocorre sob a forma de pequenos incrementos independentes, com as mesmas possibilidades de crescimento para cada categoria de tamanho (o crescimento é o resultado de "muitos fatores operando de muitas maneiras" e ocorre de maneira tal que, se os tamanhos das cidades para o período de tempo "um" são "plotados" contra os tamanhos para o período de tempo "n", a resultante dispersão de pontos é homoscedástica com uma inclinação de $+1$), então pode-se dizer que as condições básicas para esse processo estocástico foram satisfeitas.

Uma ou outra restrição conduz ou ao lognormal ou ao Yule, no primeiro caso um sistema fechado de cidades deve existir, ao passo que no último caso o sistema deve crescer a uma taxa uniforme pela adição de cidades no nível mais baixo.

Um recente estudo mostra que a regularidade tamanho-hierarquia se aplica por todo o mundo tanto nos países muito desenvolvidos, com alto grau de urbanização, quanto em grandes países, e mesmo em países como a Índia e a China que, além de grandes,

(7) Simon (48), Berry e Garrison (7), Thomas (49), Dacey (25) e Ward (51).
(8) Isto é, o que sustenta a "lei de efeito proporcionado".

possuem antiga tradição urbana. Ao contrário, prevalecem as "cidades primazes" ou com determinado grau de primazia se um país é muito pequeno, ou possui uma "economia dual". [9]

Além disso, estudos adicionais demonstraram recentemente que muitas distribuições com algum grau de primazia tomam cada vez mais uma forma de "tamanho-hierarquia" à medida que o nível de desenvolvimento e o grau de urbanização aumentam. [10] Assim, por via do tamanho e da complexidade, os países com distribuições tamanho-hierarquia parecem satisfazer a condição de "muitos fatores operando de várias maneiras", e a crescente complexidade de uma economia espacial certamente trás a distribuição de tamanho de cidades mais próxima da forma tamanho-hierarquia. A regularidade tamanho-hierarquia não é encontrada quando poucos fatores moldam o sistema urbano de alguma maneira simples: em pequenos países, onde as economias de escala se concentram em uma única "cidade primaz"; ou em "economias duais" onde uma ou algumas cidades exógenas e coloniais de grande porte são superimpostas sobre um sistema urbano indígena constituído por localidades menores etc. Em tais casos, os padrões de crescimento não podem ser resumidos sob a forma de um processo estocástico da espécie simples acima delineada. [11] Para todos os sistemas grandes e complexos de cidades existentes no mundo, entretanto, os padrões agregados de crescimento ajustam-se a tal processo estocástico, de modo que a característica macroscópica desses sistemas é a regularidade tamanho-hierarquia das dimensões de cidades. A regularidade pode, por sua vez, ser "explicada" [12] pelo processo estocástico.

Densidades Populacionais Urbanas [13]

Cidade alguma foi jamais estudada sem que a expressão $d_x = d_o\, e^{-bx}$ (3) tenha sido satisfeita de modo estatisticamente significativo.

Nesta equação, que foi empiricamente deduzida por Colin Clark, d_x é a densidade populacional d a uma distância x do centro da cidade; d_o é a densidade central, extrapolada na área central de negócios da cidade; e b é o gradiente da densidade.

$$\ln d_x = \ln d_o - bx \qquad (4)$$

(9) Berry (8).
(10) Bell (5) • Friedmann (29).
(11) A menos que o processo encaminhe-se, por exemplo, para uma potência aleatória em relação ao tamanho, como é o caso do lognormal. Vide Thomas (49).
(12) Nagel (42) debate os vários modos de explicação científica e o papel da explicação na ciência.
13) Berry (12) enumera a literatura relevante. Vide também Winsborough (54).

Alonso e Muth forneceram uma "explicação" [14] satisfatória da regularidade recentemente observada em termos aluguel-transporte — custo — termos de troca de indivíduos em diferentes estágios do ciclo familiar em níveis diferentes de renda e a distâncias diversas do centro da cidade. [15] Portanto, o que Clark havia especulado como tendo algo a ver com custos de transporte quando previu, há uma década, a regularidade, na verdade o tem.

Aparentemente, a função competição/aluguel é mais acentuada para o mais pobre de qualquer par de domicílios de padrões iguais na cidade americana. Assim, o pobre vive perto do centro da cidade em terreno caro e utilizando muito pouco dele e o rico vive na periferia consumindo muito. [16]

A forma exponencial negativa do decréscimo provém da natureza da função de produção para moradia e da forma da função preço-distância. [17] A expressão (3) é pois uma equação de certa generalidade que pode ser derivada como uma implicação lógica da teoria de mercado das terras urbanas.

Isto posto, pode-se tirar várias conclusões. Por exemplo, a população que reside a uma distância m do centro da cidade é

$$P_m = \int_0^m d_o\, e^{-bx}\,(\pi\, 2x)\, dx \tag{5}$$

que se torna

$$P_m = 2d_o \pi b^{-2}\,[1 - e^{-bm}\,(1 + bm)] \tag{6}$$

Isto significa que o padrão de população de uma área urbana poderia ser descrito por dois parâmetros apenas, b e d_o. Winsborough chamou a primeira de medida da "concentração" da população da cidade e a última de índice de seu "congestionamento". [18]

Ora, para qualquer conjunto de cidades e para qualquer determinada cidade através do tempo, uma outra expressão empírica sustenta que [19]

$$b = ap^{-c}. \tag{7}$$

Assim, b é, por sua vez, uma função do tamanho da cidade. A densidade central, d_o, parece ser, por outro lado, uma função da forma da cidade tal como ela se definiu naquela fase especial na qual ela cresceu e assim está diretamente relacionada com a idade da

(14) Alonso (2) e Muth (41). Vide também o 12 acima.
(15) Ibid.
(16) Alonso, op. cit.
(17) Muth, op. cit.
(18) Winsborough (54).
(19) Berry (12), Weiss (52) e Newling (43).

cidade. [20] Conhecendo-se a população de uma cidade e a sua idade, é possível prever com boa aproximação o padrão de densidades demográficas dentro dela.

Em qualquer sistema de cidade no qual prevaleça a regularidade de tamanho-hierarquia, a população p de uma cidade de hierarquia r, P_r, é apenas função de P_1 e q. (vide equação 1). Portanto, b deve ser da mesma maneira uma função de P_1 e q. (Vide equações (1) e (7). A distribuição da população dentro das cidades é uma função da posição e idade dessas cidades dentro de todo o sistema. Se o maior sistema for de forma Yule, a idade é simplesmente a geração do processo estocástico subjacente pelo qual a cidade ingressou no sistema, de modo que o congestionamento d_o, assim como a concentração b, são determinados dentro da estrutura do sistema maior. As afirmações precedentes podem portanto, ser alteradas da seguinte forma: a distribuição da população dentro das cidades é uma função da posição dessas cidades dentro de todo o sistema de cidades em algum ponto no tempo e do período de tempo em que elas estão dentro do sistema.

2. FORMULAÇÕES LÓGICAS À PROCURA DE UM TESTE

Os dois modelos precedentes dizem respeito ao tamanho e às características de distribuição das populações urbanas, mas nada dizem sobre as localizações das cidades interessadas. Três conjuntos de razões para as localizações de cidades foram apresentadas, cada um deles com parâmetros mais ou menos explícitos: cidades como localizações estratégicas nas vias de transporte; cidades como resultado de concentrações locais de atividades econômicas especializadas; e cidades como "localidades centrais" desempenhando funções de serviço e varejo para as áreas circunvizinhas. Apenas o último conjunto possui interesse para nós.

Teoria da Localidade Central

A teoria da localidade central [21] foi formulada por Walter Christaller como uma "teoria geral e puramente dedutiva" e destinava-se a "explicar o tamanho, número e distribuição de cidades" apoiada em razões que também fizeram dela "a teoria do comércio e instituições urbanas". [22] Há dez anos atrás esta teoria talvez fosse a única teoria perfeitamente desenvolvida [23] interessando sistemas de cidades.

(20) Winsborough, op. cit.
(21) Berry e Pred (9). Estudos posteriores incluem (10), (11), (13), (22). Vide também as especulações paralelas de Rashevsky (46), (47).
(22) Christaller (21).
(23) Berry e Pred. op. cit.

Naquela época, embora muitos estudos empíricos de localidades centrais houvessem sido efetuados, o fato de não ter sido feito nenhum teste satisfatório da teoria, demonstra, à saciedade, que os pesquisadores procuravam exemplos de implicações teóricas simplesmente inferidas para exemplificação por Christaller, na pressuposição de uma planície isotrópica.

Houve também cerrados debates sobre se algumas das inferências teóricas mais fundamentais, como, por exemplo, a da hierarquia das localidades centrais possuiam qualquer validade empírica. Foi somente nesta última década que tais questões foram solucionadas. Uma revisão completa da maioria dos aspectos deste assunto pode ser encontrada no "Central Place Studies". "A Bibliography of Theory of Applications", a primeira da série bibliográfica do Instituto de Pesquisa de Ciência Regional (Regional Science Research Institute); por isto ela não será repetida aqui.[24] Posteriormente à "Bibliografia", os vários postulados da teoria foram fundidos em um modelo. Como este modelo parece ter alguma generalidade (as inferências do modelo, por exemplo, foram verificadas independentemente) ele será aqui apresentado a seguir.[25]

O modelo se aplica aos sistemas de localidades centrais nos quais os elementos são vistos agregadamente. Contudo, um conjunto de desigualdades suplementa o modelo, e essas expressões empiricamente derivadas unem os padrões agregados à organização regional das localidades centrais sob condições específicas de densidade populacional, ao especificar expectativas para os graus hierárquicos da localidade central. As variações aleatórias dos padrões de graus ideais das localidades centrais, em uma série de áreas locais, combinada com as mudanças lógicas na localização dos graus ou etapas de acordo com a densidade de população, integragem para produzir as regularidades que podem ser observadas no conjunto.

As definições, igualdades, equações estruturais e deduções do modelo seguem sem maiores comentários.

P_t = população total servida pela localidade central

P_c = população da localidade central

P_r = população rural e população dos centros de níveis mais baixo servidas pela localidade central

A = área da área comercial servida

Q_t = densidade demográfica da área servida

Q_r = densidade demográfica daquelas partes da área servida que estão fora da localidade central

(24) Ibid.
(25) Vide (10) e (14).

T = número de funções centrais desempenhadas pelo centro, e como as funções centrais entram numa progressão regular e podem ser classificadas de *1* ... T em ordem decrescente de ubiquidade, *T* é *também* a função central de mais alto nível desempenhada pelo centro

E = números de estabelecimentos que fornecem os tipos T de trabalho

D_m = a distância máxima que os consumidores viajarão para a localidade central de tamanho *T*, ou o alcance da mercadoria *T*.

Igualdades:

$$P_t = P_c + P_r \qquad \text{(E1)}$$

$$P_t = AQ_t \qquad \text{(E2)}$$

$$P_r = AQ_r \qquad \text{(E3)}$$

$$A = KD_m^q \qquad \text{(E4)}$$

A figura 1 mostra, em cinco diferentes áreas de estudo nos Estados Unidos,[26] a igualdade (E2). Em cada caso, a população total e a área total servida tem uma relação positiva com uma inclinação + 1 para cima e para a direita no papel logarítmico duplo. As diferenças entre as áreas de estudo são simplesmente uma função das densidades populacionais.

Equações estruturais:[27]

$$\log P_c = a_1 + b_1 T \qquad (1)$$

$$\log D_m = a_2 + b_2 T \qquad (2)$$

$$\log E = a_3 + D_3 \log P_t \qquad (3)$$

Essas equações estruturais aplicam-se a qualquer área de estudo (isto é, em que qualquer nível de densidade) e relacionam a população de um centro de mercado com as várias funções centrais exercidas pelas áreas circunvizinhas, o poder de atração do centro para suas ofertas, e o número de estabelecimentos separados desempenhando as funções *T* (*E* excede a *T* para todas exceto as menores vilas e aldeias) para a população total servida, para explicar as demandas não básicas de artigos e serviços para a população P_c bem como as demandas básicas geradas pela população da área servida, P_r.

(26) Vide (10) ou (11) para maiores detalhes.
(27) Apenas uma amostra das equações estruturais necessárias para facilitar o atual debate é dada aqui.

Naquela época, embora muitos estudos empíricos de localidades centrais houvessem sido efetuados, o fato de não ter sido feito nenhum teste satisfatório da teoria, demonstra, à saciedade, que os pesquisadores procuravam exemplos de implicações teóricas simplesmente inferidas para exemplificação por Christaller, na pressuposição de uma planície isotrópica.

Houve também cerrados debates sobre se algumas das inferências teóricas mais fundamentais, como, por exemplo, a da hierarquia das localidades centrais possuiam qualquer validade empírica. Foi somente nesta última década que tais questões foram solucionadas. Uma revisão completa da maioria dos aspectos deste assunto pode ser encontrada no "Central Place Studies". "A Bibliography of Theory of Applications", a primeira da série bibliográfica do Instituto de Pesquisa de Ciência Regional (Regional Science Research Institute); por isto ela não será repetida aqui. [24] Posteriormente à "Bibliografia", os vários postulados da teoria foram fundidos em um modelo. Como este modelo parece ter alguma generalidade (as inferências do modelo, por exemplo, foram verificadas independentemente) ele será aqui apresentado a seguir. [25]

O modelo se aplica aos sistemas de localidades centrais nos quais os elementos são vistos agregadamente. Contudo, um conjunto de desigualdades suplementa o modelo, e essas expressões empiricamente derivadas unem os padrões agregados à organização regional das localidades centrais sob condições específicas de densidade populacional, ao especificar expectativas para os graus hierárquicos da localidade central. As variações aleatórias dos padrões de graus ideais das localidades centrais, em uma série de áreas locais, combinada com as mudanças lógicas na localização dos graus ou etapas de acordo com a densidade de população, interagem para produzir as regularidades que podem ser observadas no conjunto.

As definições, igualdades, equações estruturais e deduções do modelo seguem sem maiores comentários.

P_t = população total servida pela localidade central

P_c = população da localidade central

P_r = população rural e população dos centros de níveis mais baixo servidas pela localidade central

A = área da área comercial servida

Q_t = densidade demográfica da área servida

Q_r = densidade demográfica daquelas partes da área servida que estão fora da localidade central

(24) Ibid.
(25) Vide (10) e (14).

T = número de funções centrais desempenhadas pelo centro, e como as funções centrais entram numa progressão regular e podem ser classificadas de *1* ... T em ordem decrescente de ubiquidade, T é *também* a função central de mais alto nível desempenhada pelo centro

E = números de estabelecimentos que fornecem os tipos T de trabalho

D_m = a distância máxima que os consumidores viajarão para a localidade central de tamanho T, ou o alcance da mercadoria T.

Igualdades:

$$P_t = P_c + P_r \qquad \text{(E1)}$$

$$P_t = AQ_t \qquad \text{(E2)}$$

$$P_r = AQ_r \qquad \text{(E3)}$$

$$A = KD_m^q \qquad \text{(E4)}$$

A figura 1 mostra, em cinco diferentes áreas de estudo nos Estados Unidos, [26] a igualdade (E2). Em cada caso, a população total e a área total servida tem uma relação positiva com uma inclinação + 1 para cima e para a direita no papel logarítmico duplo. As diferenças entre as áreas de estudo são simplesmente uma função das densidades populacionais.

Equações estruturais: [27]

$$\log P_c = a_1 + b_1 T \qquad (1)$$

$$\log D_m = a_2 + b_2 T \qquad (2)$$

$$\log E = a_3 + D_3 \log P_t \qquad (3)$$

Essas equações estruturais aplicam-se a qualquer área de estudo (isto é, em que qualquer nível de densidade) e relacionam a população de um centro de mercado com as várias funções centrais exercidas pelas áreas circunvizinhas, o poder de atração do centro para suas ofertas, e o número de estabelecimentos separados desempenhando as funções T (E excede a T para todas exceto as menores vilas e aldeias) para a população total servida, para explicar as demandas não básicas de artigos e serviços para a população P_c bem como as demandas básicas geradas pela população da área servida, P_r.

(26) Vide (10) ou (11) para maiores detalhes.
(27) Apenas uma amostra das equações estruturais necessárias para facilitar o atual debate é dada aqui.

Elas foram inseridas na figura 1 e, no caso do estudo da área do "corn belt", as observações individuais foram identificadas como foram classificadas na análise fatorial. [29]

3. INOVAÇÃO SOB ESTÍMULO TECNOLÓGICO

Esta década assistiu a uma grande variedade de inovações, muitas delas facilitadas pelo rápido desenvolvimento da tecnologia em computador, que tornou possível tipos de pesquisas nunca esperadas antes desse desenvolvimento. O começo dessa fase pode ser visto através da elaboração de simuladores urbanos que facilitarão os estudos de cidades e conjuntos de cidades em situações experimentais do tipo laboratório. [30] As tentativas mais bem sucedidas até agora foram a de Chapin em estudo sobre desenvolvimento do uso da terra [31] e a de Morrill em análises da evolução de padrões das localidades centrais, [32] embora esta afirmação não tencione desmerecer as tentativas desse molde feitas em estudos atuais econômicos e de transporte urbano. Além desses estudos, em especial os que foram empreendidos em Chicago, Pittsburgh e na Região da Pennsilvania e N. Jersey, e também aqueles efetuados pela RAND CORPORATION AND RESSOURCES FOR THE FUTURE, emergirão certamente modelos com certo poder de predição e de capacidade experimental.

Um outro trabalho estuda este assunto nos presentes encontros, verificando qual poderá ter sido a mais importante e nova dimensão acrescentada à pesquisa urbana durante a última década. Acreseentaremos aqui um outro assunto, o novo empirismo da década, estimulando pelo adiantamento da teconologia de computadores e a conseqüente difusão das análises multivariadas pelas ciências sociais. Interessa-nos aqui uma forma de análise multivariada, a análise fatorial, e estudaremos brevemente como, sob a forma de análises da área social, ela facilitou os estudos da estrutura interna das cidades.

Análise de Área Social

A análise de área social [33] é uma abordagem ao problema clássico da ecologia urbana, a descrição sucinta da localização por tipo de áreas residenciais dentro de cidades, em termos significativos para as pessoas que se interessam pela diferenciação social e pela estratificação. Por todos esses anos, vários conceitos

(29) Os resultados fatoriais analíticos são apresentados em (14) e (10).
(30) Garrison (30) tem uma das primeiras apresentações.
(31) Vide (20).
(32) Vide (38) e (39).
(33) Bell (6) fez um excelente estudo.

foram desenvolvidos neste contexto: [34] o conceito de crescimento urbano de Hurd segue dois padrões, o crescimento central e o crescimento axial; a hipótese de Burgess sobre as zonas concêntricas da localização por tipos de áreas residenciais, provindo da natureza de um processo de crescimento que continua para fora do centro da cidade, acompanhada por ondas de invasão e sucessão residencial; a ênfase de Hoyt sobre o crescimento axial de vizinhanças de maior renda fora do centro da cidade ao longo de algum setor; e as noções de Harris e Ullman de múltipla nucleação da cidade.

Tanto os analistas de áreas sociais quanto os seus críticos [35] salientaram a dificuldade em testar essas hipóteses com a grande variedade de dados socioeconômicos disponíveis, por exemplo, através dos censos. Quais as variáveis que deveriam ser usadas no teste? Será a história contada por variáveis diferentes, embora, presumivelmente relacionadas à mesma? Quais são, na verdade, as histórias contadas sobre a estrutura e as diferenciações de vizinhanças urbanas pela ampla variedade de danos censitários disponíveis?

A análise fatorial pode trazer as respostas para as perguntas deste último tipo. Revisemos as características básicas do método. Consideremos uma matriz ${}_nX_m$ de dados na qual estão registrados os dados de n observações (digamos, zonas de censo) sobre m variáveis. Se os vetores da coluna de X são normalizados e estandardizados para produzir ${}_nZ_m$ então $Z^tZ = {}_mR_m$ que é, naturalmente, a matriz de correlação das m variáveis. Já que os vetores da coluna de X foram estandardizados, R é a matriz de variância-covariância de Z, e o traço de R, sendo igual a m, é a variância total das m variáveis.

Suponhamos agora que se faça uma regressão de cada uma das m variáveis sobre as $m - 1$ restantes. Surge, então, para cada uma delas, um coeficiente de determinação que expressa quanto de sua variância é mantida em comum com as outras $m - 1$ variáveis; na análise fatorial esses coeficientes de determinação são denominados comunalidades, e designados por h^2. Para cada variável, então, em sua forma estandardizada $1.0 - h^2 = u^2$ é a porção de variância única para a variável. Uma matriz diagonal U^2 pode assim ser formulada com os u^2s individuais ao longo da diagonal. Segue-se que $[R - U^2]$ tem comunalidades em sua diagonal e o traço de $[R - U^2]$ é a variância total comum das m variáveis. Esta variância total comum mais o traço de U^2 é igual a m, a variância total.

(34) Vide o retrospecto de Anderson (3).
(35) Os Duncans escrevem que "os estudiosos de estrutura urbana viveram por algum tempo com a desconfortável constatação de que suas teorias, ou antes suas descrições abstratas e esquemáticas do crescimento e forma urbanas, não eram muito susceptíveis de testes empíricos" (26).

A análise fatorial proporciona um procedimento por meio do qual a matriz ${}_nT_r$ pode ser encontrada, de tal modo que

$$[R - U^2] = AA^t \quad (1)$$

$$A^tA = \Lambda \quad (2)$$

O produto decimal de cada vetor da linha de A fornece uma das comunalidades, e o produto interior de qualquer par de vetores de linha fornece a correlação. A é uma matriz diagonal, o que subentende que os produtos internos dos pares de vetores da coluna de A são iguais a zero. Assim, esses vetores são ortogonais (sem correlação). O produto decimal de cada coluna de vetores produz um "eigenvalue" (raiz característica) λ. Já que a soma dos "eigenvalues" deve ser igual à soma das comunalidades, esses "eigenvalues" representam um outro modo de distribuir a variância total comum, umas (comunalidades) relativas à quantidade da variância total comum obtida pela associação de qualquer uma das variáveis com todas as outras variáveis os outros ((eingenvalues) relativos àquela parte do total atribuível a um dos vetores da coluna de A.

Esses vetores da coluna independente são os fatores da análise fatorial, constituindo as dimensões principais de variação a base para o grupo original das m variáveis.

Os elementos individuais de A são cargas fatoriais, coeficientes de correlação entre as variáveis originais e cada uma das dimensões comuns básicas. A propriedade de ortogonalidade das dimensões é útil, porque ela significa que cada uma das dimensões explica uma diferente parcela da variança comum, parcelas essas que são aditivas em qualquer reconstrução do todo; essa aditividade não é uma propriedade das m variáveis originais intercorrelacionadas. Cada dimensão, então, resume um padrão de variação (uma das estórias contadas) das m variáveis originais. Uma próxima etapa de muita utilidade será formar

$$_n{}^Sr = ZA^{\Lambda-1} \quad (3)$$

Em S, os S_{ij} individuais são os escores fatoriais das observações originais em cada uma das novas dimensões formadas pela análise. S expressa todas as associações e padrões comuns encontrados em X, mas sob forma mais simples.

A análise fatorial de dados censitários para toda uma série de cidades dos Estados Unidos por analistas de área social levou à conclusão que apenas três dimensões são necessárias para resumir as estórias contadas pelas características registradas por setor censitário. O estudo das correlações entre as variáveis originais e as três dimensões revelaram também padrões notavelmente estáveis de uma cidade para outra. Um dos fatores mantinha, de maneira

constante, uma alta correlação com a renda, a educação, a ocupação e a riqueza. Um segundo fator relacionava-se com a estrutura familiar, fertilidade, tipos de famílias e posição da mulher na mão-de-obra.

E um terceiro fator, finalmente, estava associado com a estrutura étnica e racial da população, composição de idade e sexo e medidas de deterioração. As especulações sobre o significado dessas regularidades conduziram os analistas da área social a identificar o primeiro como retratando variações na "hierarquia social" de indivíduos e famílias, o segundo como retratando variações na "urbanização" ou "status de família" de vizinhança e o terceiro como resultante de "segregação". Os escores fatoriais dos setores estatísticos nessas três dimensões poderiam ser usados para caracterizar vizinhanças, já que as três dimensões parecem ser as responsáveis pelas características básicas da estratificação e diferenciação urbanas.

Se a última afirmação for verdadeira, então, as três dimensões deveriam permitir aos pesquisadores testarem alguns dos conceitos clássicos relativos a essa estratificação e diferenciação urbana. Um primeiro estudo nesse sentido revelou que os escores fatoriais de setores estatísticos com relação a posição social são diferenciados em uma forma setorial, da maneira como eles a deveriam ser, caso os conceitos de Hoyt se aplicassem, e que os escores fatoriais de urbanização e status de família são diferenciados em uma forma concêntrica, da maneira como eles a deveriam ser, caso as idéias de Burgess fossem válidas.[36] Contudo, as variações espaciais na segregação não apresentam regularidades, mas são específicas para cada caso. Assim, como Hurd já havia especulado muito anteriormente, os padrões concêntricos e axiais são fontes aditivas independentes de diferenciação urbana de cidade para cidade, com variações espaciais específicas para cada cidade adicionada pela terceira dimensão de segregação.

É claro que, embora os analistas de áreas sociais tenham iniciado apenas com uma visão panorâmica do assunto, com sua tarefa ulterior facilitada pelo adiantamento da tecnologia de computadores, seus trabalhos agora lançaram as bases de um modelo espacial do padrão socioeconômico interno de cidades nas quais a relevância e o papel dos conceitos tradicionais estão bem claros.[37]

4. UMA ESTRUTURA DE SISTEMAS

As constatações anteriores apontam para uma direção: a de que as cidades e os conjuntos de cidades são "sistemas" susceptíveis das mesmas espécies de análises do que os outros sistemas

(36) Anderson, op. cit.
(37) Isto, a despeito das críticas (26), tem sido o resultado "acumulativo".

e caracterizados pelas mesmas generalizações, elaborações e modelos. A "Teoria Geral de Sistemas" fornece uma estrutura para uma pesquisa sobre a natureza dos sistemas; na verdade Boulding a denomina de "esqueleto da ciência". Além disso, a "teoria da informação" veio à tona como um dos fundamentos da teoria geral de sistemas, contribuindo com os dois conceitos complementares de "entropia" e "informação" para o vocabulário da pesquisa geral de sistemas. [38]

A entropia é alcançada no estado de quase equilíbrio de um processo estocástico e atinge seu ponto máximo se este processo não sofre restrições. A informação é a medida da ordem existente se algumas pressões sistemáticas para organização causam restrições à operação do processo estocástico.

Curry [39] mostrou que dados Z povoados, nos quais Z_i tem uma população i, o número de maneiras pelas quais a população pode ser distribuída pelos povoados é

$$P = Z! \Big| \prod_{i=0}^{n} z! \qquad (0 \leq i \leq n) \tag{1}$$

e em um grande sistema a antropia E é dada por

$$E \underset{\text{def}}{=} \log p = Z \log Z - \sum Z_i \log Z_i \tag{2}$$

E é maximizado quando

$$Z_i = (Z/N)e^{-(i/N)} \tag{3}$$

na qual a equação N é a média de população por povoado, ou $N = \dfrac{n}{Z}$. Agora se S é o tamanho da cidade maior,

$$Z_{i \leq s} = S(1 - e^{-(i/N)}) \tag{4}$$

caso no qual

$$E_{max} = Z \log (eN) \tag{5}$$

e o estado mais provável do sistema, dando a máxima entropia, será aquele no qual, dado o tamanho da cidade maior, a probabilidade de que a $(q + 1)$ — *ésima* cidade possua uma população

Vale a pena anotar algumas das contribuições tornadas possíveis pela análise fatorial: (a) tipologias urbanas mais gerais (40); (b) evidência bem definida da hierarquia das localidades centrais como um sistema aditivo de classe (10), (14); (c) regionalização multivariada (31) e (d) estrutura metropolitana (32).

(38) Bertalanffy (16), (17); Boulding (19); e Beer (4).

(39) Curry (23). Outros casos por ele examinados são o espaçamento dos mais próximos vizinhos, vide também Dacey (24), o espaçamento dos mais próximos vizinhos do mesmo tamanho e a porcentagem da indústria na mão-de-obra urbana.

que seja a proporção dada da *q-ésima* cidade é uma constante. Sob essas condições, a soma dos logarítimos é um máximo e, naturalmente, esta é a condição satisfeita quando prevalece a regra para as idades tamanho-hierarquia. Se o sistema de cidades apresenta a relação tamanho-hierarquia, então a entropia foi maximizada e o estado de equilíbrio é o mais provável. [40]

Por outro lado, a organização existe devido a pressões para ordem nos sistemas de localidades centrais. Se a variação percentual em estabelecimentos nas localidades centrais for constante, a cada adição de novos tipos de negócios, então [41]

$$dE/E\ dT = K \tag{6}$$

que, integrando-se, produz

$$\log E = K_1 T + c_1 \tag{7}$$

Se existem taxas percentuais similares para os tamanhos das localidades centrais P_c, então

$$\log P_c = K_2 T + c_2 \tag{8}$$

da equação acima

$$T = K_1 \log E - C_1 \tag{9}$$

$$T = K_2 \log P_c - C_2 \tag{10}$$

agora a equação

$$1 = K \log (\textit{número de estados}) \tag{11}$$

foi identificada como uma medida de negentropia macroscópica, o inverso da entropia. Segue-se daí que o número de negócios de tipo T é um índice da quantidade de informações presentes em um conjunto de estabelecimentos localizados nas localidades centrais ou da população daquelas localidades. Isto é consistente com a utilização de tipos de funções para identificar e classificar a hierarquia da localidade central. Muitas tentativas foram feitas para avaliar a "centralidade das localidades centrais. Pareceria que muitos tipos de negócios, conteúdo de "informação", fornecem um tal índice. o sudoeste do estado de Iowa foram verificados elevados níveis de ajustamentos às equações (9) e (10)

$$T = 55.56 \quad \log E - 58 \ (r^2 = 0{,}96) \tag{12}$$

$$T = 50.00 \quad \log P_c - 105 \ (r^1 - 0{,}91) \tag{13}$$

(40) Curry esclarece que a entropia no mesmo sistema é restringida de tal forma que as pessoas tem que ser agrupadas em três, com famílias, seria H' = Z log(eN/3). Logo, uma medida de ordem é R = 1 — H'/Emax.

(41) Odum (44), Berry (11).

indicando que onde os centros urbanos são quase que exclusivamente localidades centrais, há necessidade de encontrar bases empíricas para esses argumentos. Verifica-se, imediatamente, que as equações acima são compatíveis com aquelas anteriormente apresentadas para os sistemas de localidades centrais. Losch e Christaller pressupõem essas relações percentuais constantes também com a adição de "níveis" à hierarquia regular ($K = 3$, $K = 4$, $K = 7$ redes e suas implicações); deveriam entretanto existir medidas correlatas de informação para a ordem encontrada na natureza escalonada da hierarquia.

Não é difícil estender argumentos similares à situação dentro das cidades.[42] Por exemplo, as densidades populacionais urbanas fixam-se em um estado mais provável no qual as densidades são ordenadas pela distância a partir do centro da cidade. De outro lado, o modelo de sistemas de localidades centrais também se aplica, indicando que alguns aspectos da vida urbana sofrem restrição para atingir seu estado mais provável.

Maruyama[43] especulou acerca de uma aparente contradição da segunda lei da termodinâmica com os fenômenos sociais, inclusive aqueles relativos às cidades. De acordo com essa segunda lei, um sistema isolado tenderá mais provavelmente para o seu estado mais provável, mesmo que ele comece em um estado inomogêneo. Ele salienta que a cibernética, o estudo do equilíbrio de sistemas, considera muitos casos de auto-regulação de tal modo que os desvios são neutralizados e o equilíbrio do sistema é restaurado, normalmente, um estado mais provável sob restrição. Podemos, entretanto, citar muitos exemplos nos quais a regeneração "não" conduz à autocorreção em direção de algum equilíbrio pré-estabelecido (morfostase). Antes, um contraste progressivamente maior aparece, como entre as "regiões ricas e pobres" de Myrdal, ou com a centralização progressivamente maior das funções urbanas em um número menor de cidades maiores, ou quando o "crescimento de uma cidade aumenta à falta de estrutura interna da própria cidade", nas próprias palavras de Maruyama. Todos são exemplos de processos "amplificadores" de desvios (morfogênese) que contrariam a segunda lei.

Se um sistema tende ou não para a entropia máxima porque os processos em ação corrigem desvios, ou para a informação máxima porque os processos ampliam desvios, e portanto estruturas, isto aparentemente depende da natureza das relações causais em ação e de suas características de "feedback". Maruyama conclui que qualquer sistema junto com o subsistema no qual pode estar subdividido, contém muitos exemplos tanto de processos corretores

(42) Meier (37).

(43) Vide (35) para uma exposição das idéias de Maruyama e outras referências de interesse.

de desvio quanto de processos amplificadores de desvios. Um subsistema pode estar se tornando mais organizado, um outro pode estar se aproximando de seu estado mais provável. Para entender um sistema como um todo é necessário que cada um dos subsistemas seja entendido, assim como os seus inter-relacionamentos.[44]

Assim é no campo urbano. É claro que as cidades podem ser consideradas como sistemas; entidades compreendendo elementos interagentes interdependentes. Eles podem ser estudados em níveis variados, estrutural, funcional e dinâmico, e eles podem ser subdivididos em uma variedade de subsistemas. A parte mais imediata do ambiente de qualquer cidade são as outras cidades, e os conjuntos de cidades também constituem sistemas para os quais se aplicam todas as afirmações precedentes. Para sistemas de cidades, o ambiente mais imediato é a estrutura socioeconômica da qual eles são parte.

Embora tenha havido progressos no entendimento das várias facetas desses sistemas e subsistemas, no que diz respeito a outros aspectos, estamos aproximadamente no mesmo ponto que há dez anos atrás. Em uma estrutura de sistemas, não devemos mais nos preocupar com as contradições aparentes entre as espécies de conclusões encontradas para diferentes subsistemas (isto é, entre a distribuição dos tamanhos de cidade e a organização funcional de centros comerciais em hierarqua), já que a diferença é entendida como relativa ao equilíbrio de processos que se aproximam da entropia ou processos geradores de ordem em várias partes do sistema. Por outro lado, entretanto, temos um conhecimento demasiadamente pequeno de como agrupar esses diferentes padrões em modelos mais gerais de mais amplo alcance. Os modelos bem fundamentados estão fornecendo as pilastras para a edificação, mas o progresso máximo durante a próxima década aguarda um esforço sistematizador arquitetural.

BIBLIOGRAFIA

1. Ackoff, R. L. "Scientific Method, Optimizing Applied Research Decisions". New York: John Wiley & Sons, Inc. 1961.
2. Alonso, W. "A Theory of the Urban Land Market", Papers and Proceedings of the Regional Science Association,-1960. (Selection 4 of this volume).
3. Anderson, T. R. e J. E. Egeland. "Spatial Aspects of Social Area Analysis", American Sociological Review, 1961.

(44) Maruyama fornece um exemplo da operação de processos causais mútuos de amplificação de desvios numa distribuição espacial bidimensional, e seu estudo sobre sistemas, subsistemas e "feedback" é feito em termos de cidade.