



# XIV Encontro Nacional da ANPUR

23 a 27 · maio · 2011 · Rio de Janeiro

---

XIV ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR  
Maio de 2011  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

---

FORMA CONSTRUÍDA URBANA COMO UM CASO DE CRITICALIDADE AUTO-ORGANIZADA

**Romulo Krafta** (UFRGS) - krafta@ufrgs.br

*professor titular do Departamento de Urbanismo e do Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, PhD em Ciência Urbana (Cambridge), pós-doutorado em Análise Espacial Avançada (University College London), pesquisador CNPq*

**Vinicius Netto** (UFF) - vnetto@vm.uff.br

*professor adjunto do Departamento de Urbanismo, PhD em Urbanismo (University College London), pós doutorado em Análise Espacial Urbana (UFRGS)*

# Forma Construída Urbana como um caso de Criticalidade Auto-Organizada

## 1. INTRODUÇÃO

A forma construída urbana tem sido tratada como o resultado de um processo de reprodução social, que gera demanda por espaço adaptado, isto é, não explicada ou entendida como um processo autônomo. Uma exceção a isto é a abordagem praticada por Wheaton (1982), que sugere que mudanças na forma construída urbana podem emergir como um resultado de maximização da renda imobiliária, ao invés da maximização da utilidade do bem imobiliário. Outra exceção foi o tratamento dado por Krafta (1994) que explicou a dinâmica de substituição de formas construídas por outras como resultado de atividade que busca lucro e otimiza localização espacial. Essas duas proposições, embora inovadoras, não vão ao ponto de explicar como essas mudanças no interior do tecido urbano ocorrem. A primeira não toma o espaço como uma variável real, centrando sua explanação teórica no campo da economia urbana; a segunda faz, de alguma forma, o contrário, ao centrar sua explanação na morfologia urbana, negligenciando os aspectos econômicos do processo. Este trabalho procura elaborar uma nova explanação, combinando variáveis de natureza espacial e econômica, numa equação que trata de valores imobiliários diferenciais, características das formas construídas e localização urbana, num cenário em que a produção de formas construídas urbanas constitui uma atividade industrial em busca de lucro.

O princípio da maximização da renda de uma estrutura imobiliária, fixa no espaço e pertencente a um sistema urbano que cresce, sugere que a renda por ela gerada pode ser diferente a cada momento no tempo. Ela será certamente máxima no tempo  $t_0$ , quando essa estrutura é concluída e posta para funcionar; com o passar do tempo, a cidade estende suas fronteiras, fazendo com que cada localização pré-existente se torne um pouco mais central. Paralelamente, as estruturas imobiliárias envelhecem, perdem funcionalidade e se tornam menos atrativas ao uso e menos recompensadoras. Essas forças conspiram para fazer com que a expectativa de renda cresça mais rapidamente que a renda realmente produzida, gerando uma tensão entre o valor locacional crescente e o valor da edificação que decresce. Essa tensão constituiria, na visão deste trabalho, o cerne do processo de transformação da forma construída interna da cidade.

## 2. PROPOSIÇÃO TEÓRICA

Assume-se que toda localização intra-urbana possui um valor de mercado composto, no qual dois componentes são essenciais: a terra e a estrutura edilícia. O valor da terra é uma função de sua posição relativa dentro do sistema espacial urbano e a teia de atividades que se desenvolve ao seu redor. Nesse sentido, localização depende diretamente da configuração espacial e do tamanho do sistema a cada momento. Toda nova localização, materializada na forma de uma fração de terra urbanizada disponível para ocupação e uso adicionada ao sistema, na sua borda, altera o valor locacional das pré-existentes, devido ao aumento de centralidade. Em segundo lugar, valor de localização depende da distribuição de usos e atividades na cidade. Similar à situação anterior, cada nova atividade adicionada ao sistema deve modificar os valores das localizações pré-existentes, ao alterar a polarização e a interação espacial. Edificações também têm seu valor afetado por fatores como idade e tipologia. É esperado que edificações urbanas percam valor relativo com o passar do tempo, mesmo que fatores circunstanciais possam eventualmente retardar ou acelerar o processo de desvalorização. Perda de funcionalidade também contribui para a desvalorização, devido aos limites de adequação a novas atividades sociais, tecnologias e equipamentos.

É igualmente pertinente pensar em um valor, ou renda, esperada, isto é, a recompensa financeira que cada proprietário obterá de uma edificação, se ela estivesse produzindo o seu máximo rendimento. Isso ocorreria apenas no momento em que uma edificação, nova, é posta no mercado; nesse momento o aproveitamento do terreno é supostamente máximo, tanto no que se refere ao uso quanto à ocupação e o valor do prédio está igualmente no seu ponto máximo. Num cenário de crescimento urbano continuado, os valores das localizações tendem a aumentar, enquanto os valores das edificações tendem a cair. Qualquer que seja o valor combinado dessas duas variáveis, sempre será menor do que o valor esperado; com o passar do tempo a diferença entre valor real e valor esperado tende a aumentar.

Crescimento urbano ocorre inicialmente nas bordas, onde o valor da terra é mínimo, formando anéis de desenvolvimento. Entretanto, cada novo anel acrescenta centralidade a todos os demais, pré-existentes anéis, particularmente aos mais centrais, onde a diferença entre renda real e esperada cresce a ponto de tornar as edificações instáveis; eventualmente a decisão de destruir uma edificação existente e a substituir por outra, compatível com a expectativa de renda, é tomada. Toda localização urbana está destinada a encontrar este ponto de mudança de fase em certo momento.

O processo sugerido acima seria cíclico, ou seja, uma edificação provê renda máxima no momento de sua inauguração, vai perdendo essa capacidade à medida que a cidade cresce e o tempo passa, até ser substituída por outra, reiniciando o ciclo. Não obstante, a dinâmica que ocorre na escala da cidade pode ser muito diferente. A substituição de uma edificação por outra, mais rentável, pode acelerar o ritmo de decadência de outras, da vizinhança imediata ou mesmo de outras áreas remotas, porém com características similares. Dessa forma, a troca de uma edificação por outra sugere a ocorrência de um ponto crítico na evolução daquela localização, cuja mudança de estado ou fase, mesmo estabilizando aquela localização, afeta a estabilidade de muitas outras, podendo provocar transformações mais ou menos extensas e profundas na morfologia urbana. A referida troca edilícia não remete o sistema ao estado estável prévio, mas ao contrário, tende a mantê-lo próximo de outras rupturas, que ao se sucederem, tornam o sistema permanentemente instável.

Valor esperado pode ser visto como uma forma construída virtual, habitando a mesma localização de outra, real, gradualmente a superando, a pressionando até a ruptura. À medida que o valor esperado cresce, a pressão exercida por essa forma construída virtual se constitui num caminho para o sistema urbano se livrar da prisão representada pelas formas construídas reais. O faz rearrajando-se através da troca de edificações; formas construídas estabilizadas precisariam, então, ser substituídas para permitir a reprodução e a sustentabilidade do sistema urbano.

A teoria delineada acima se assemelha muito às situações descritas por Bak et al (1988) e referidas genericamente pela denominação '*criticalidade auto-organizada*'. A expressão remete a sistemas dinâmicos cuja evolução tende a estados críticos, onde ocorrem mudanças de fase, e os mantém nas proximidades desses estados críticos, caracterizando uma dinâmica instável. A imagearia clássica usada por Bak para descrever sistemas desse tipo é a do monte de areia, formado pela adição de grãos sucessivos a partir de um mesmo ponto, disposto acima de uma superfície lisa. À medida que os grãos se acumulam nessa superfície, um monte toma forma; a inclinação de sua encosta tende a aumentar até um ponto em que um novo grão não encontra sustentação e rola para a base, possivelmente arrastando outros consigo, constituindo uma micro-avalanche. Esta tem o dom de rebaixar o ângulo de inclinação da encosta a um valor abaixo do crítico, porém não muito abaixo, de forma que novos grãos, continuamente adicionados, rapidamente fazem o monte se aproximar da inclinação crítica, que provoca nova avalanche, e assim por diante. Segundo Bak, o momento, assim como a magnitude das avalanches não podem ser previstas, entretanto a frequência segundo o tipo de ocorrência pode ser descrita por uma lei de potência a ser calculada.

Outros aspectos da dinâmica urbana poderiam ser descritos pelo mesmo enunciado, sendo talvez o sistema de fluxos viários o mais óbvio. É fato constatado que apenas uma pequena parcela de vias urbanas é efetivamente usada para canalizar as viagens realizadas diariamente numa cidade, o que constitui uma tendência de concentração de tráfego em alguns canais, que eventualmente congestionam em bases regulares. Congestionamentos podem eventualmente estimular alguns motoristas a buscar novas rotas, o que causa diminuição de congestionamento, que estimula motoristas a retomar essas rotas, provocando novamente congestionamento. Alargamentos e obras viárias aliviam ainda mais as situações críticas, provocando novos afluxos de usuários e fazendo o sistema retomar mais uma vez a antiga situação crítica.

A suposta criticalidade auto-organizada urbana, aqui sugerida, não depende apenas da substituição de formas construídas, mas também de transformações estruturais internas que ocorrem simultaneamente com a mudança da morfologia. Como a noção de diferença entre renda real e esperada sugere, a substituição de edificações velhas por novas no interior da cidade sempre envolve mudança de padrão urbano. Wheaton (1982) mostra que, para algumas cidades americanas pesquisadas, mudança na forma construída envolve ou mudança de densidade edilícia (na ordem de sete vezes) ou mudança de valor unitário (na ordem de três vezes). Mudanças de densidade edilícia são obviamente seguidas por mudanças de densidade de uso, ou seja, mais habitantes, ou mais usuários regulares, da mesma forma que alterações de valor unitário envolvem mudança de padrões socioeconômicos de moradores e usuários. Assim, densificando, gentrificando, ou substituindo usos residenciais por comerciais, as trocas edilícias estão na base das mudanças estruturais urbanas. Se o enunciado teórico de Bak é adequado para representar esse processo, então se tem aí um sistema cujo equilíbrio nunca se estabiliza, não enquanto o padrão de crescimento for mantido.

## **UM MODELO SIMPLES DE SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DA FORMA URBANA**

Duas relações simples são propostas: a primeira decorre do fato presumido que o investimento feito em terra, como um componente importante da produção do espaço construído, não deveria exceder certa proporção do investimento total; por simplicidade, se assume que essa proporção seja vinte por cento. Isto implica que, mantendo a relação 1:4 entre terra e edificação, a quantidade desta última aumenta com o crescimento do valor de localização. Significa também que locais onde o valor da terra é maior serão mais densamente ocupados e utilizados, ou alternativamente, serão ocupados por edificações

mais valiosas, refletindo padrões de uso mais altos, ou ainda situações mistas entre esses dois extremos. A proporção 1:4 não está muito distante da realidade de cidades brasileiras, refletindo, talvez, uma média aceitável. A segunda relação estabelece que uma nova edificação urbana somente seja erigida no lugar de outra, antiga e assim previamente removida de um terreno, se e apenas se o valor dessa nova estrutura for menor do que a diferença entre renda esperada e real naquela localização; caso contrário será erigida na borda. As duas relações aplicadas simultaneamente fazem com que qualquer decisão de acréscimo de formas construídas no sistema urbano encare uma bifurcação na qual uma das alternativas possíveis é renovar o estoque nas áreas mais centrais. Isso seria suficiente para, em áreas suficientemente antigas e deterioradas, causar instabilidade, seguida de substituição de edificações e, possivelmente, mudanças estruturais.

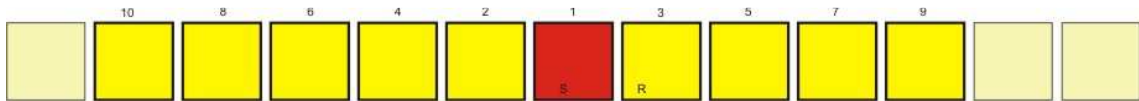
A simulação foi mantida nos termos mais simples possíveis: uma 'semente' urbana linear composta de dez células, cada uma contendo uma única unidade de forma construída, todas ocupadas por atividades residenciais e de serviço na proporção fixa de 9:1. Com isso a 'semente' urbana é uma linha de dez células, sendo nove residenciais e uma comercial, localizada no ponto médio da linha. Essa cidade cresce, a taxas constantes, de duas possíveis formas: a) externamente, adicionando células nas extremidades à esquerda e à direita das pré-existentes, ocupadas por unidades de forma construída, e b) internamente, substituindo unidades de forma construída existentes por novas, mais densas. Unidades de forma construída mais densas são, na realidade unidades superpostas, de maneira que densidade três, por exemplo, representaria uma estrutura contendo três unidades de forma construída. Para monitorar a evolução do sistema foram estabelecidos quatro indicadores, todos derivados de uma medida básica de centralidade. Centralidade é uma maneira usual de representar e medir diferenciação espacial, e pode ser expressa de várias maneiras, como descrito em Crucitti et al (2006). A centralidade utilizada aqui é derivada daquela desenvolvida originalmente por Freeman (1977), denominada por ele de "centralidade por perpasso" (*betweenness centrality*). A medida original de Freeman supõe que uma centralidade por perpasso existe quando uma entidade (um indivíduo, em seu modelo original, uma unidade de espaço no modelo aqui desenvolvido) se encontra no caminho mínimo entre duas outras, sendo, assim, central para a interação entre elas. Para um sistema composto de muitos indivíduos, o mais central será aquele que mais vezes for responsável por transmitir informação entre pares de indivíduos, considerados todos os pares possíveis.

A esse modelo básico, foram acrescentados dois novos elementos, destinados a adaptá-lo aos requerimentos da representação da estrutura espacial urbana. O primeiro deles é uma

tensão, hipoteticamente existente entre cada par de unidades espaciais, decorrente dos conteúdos urbanos aí existentes. Tensão, assim, torna-se a correspondente configuracional da atratividade existente entre pares de localizações urbanas, decorrente das quantidades de atividades urbanas interdependentes, nelas contidas. O segundo elemento é um gradiente de distância, que relativiza a tensão entre cada par de unidades espaciais em função da quantidade de outras unidades espaciais interpostas no caminho mínimo entre o referido par (Krafta, 1994). Como se pode ver, o modelo resultante corresponde, até certa medida, aos modelos gravitacionais clássicos. Por esse caminho, a medida de centralidade resultante ultrapassa a dimensão puramente configuracional e admite fatores relativos à distribuição de estoques edificados e atividades existentes no sistema espacial.

O primeiro indicador é a própria medida de centralidade, aqui utilizada como um *proxi* do valor da localização, como previamente sugerido (Krafta & Spinelli, 1998). Valores de centralidade são atualizados a cada iteração do modelo, e representam nesta simulação a estrutura e evolução dos valores da terra urbana. O segundo indicador é denominado valor da edificação, fixado como quatro vezes o valor da localização (primeiro indicador) obtido no momento em que a respectiva célula é criada e ocupada. Assim, o parâmetro inicial para o valor da edificação nas dez células iniciais do sistema são os valores de centralidade respectivos do momento anterior à primeira iteração, multiplicados por quatro. Os valores das edificações são depreciados a uma taxa fixa a cada iteração, na tentativa de capturar o efeito de perda de valor imobiliário decorrente do envelhecimento. O terceiro indicador, denominado valor real, representa o valor final do investimento imobiliário, e contabiliza a soma dos dois anteriores (valor da localização + valor da edificação). Finalmente o quarto indicador chama-se valor esperado e é obtido multiplicando o valor de centralidade de cada célula, a cada iteração, por cinco. Num cenário de crescimento continuado, o primeiro indicador deveria crescer continuamente ao longo da simulação, enquanto que o segundo faz o contrário, perdendo valor ao longo do tempo. O terceiro deve subir, apesar de depender da velocidade do crescimento experimentado pelo sistema. O quarto indicador é proporcional ao primeiro.

A simulação é processada a partir de uma taxa de crescimento exogenamente imposta ao sistema 'semente' e suas subseqüentes configurações, de acordo com sucessivas iterações, cada uma representando uma unidade de tempo decorrido na evolução do sistema. O estado inicial ( $t_0$ ) do sistema é composto por dez células dispostas em linha, cada uma contendo uma única forma construída. Uma das células centrais (a quarta ou a quinta) contém atividade comercial, enquanto as demais são residenciais, como mostra a figura 1.



*Figura 1: O sistema "semente" no seu estado inicial: as células numeradas representam o sistema existente, ocupadas inicialmente com uma unidade de edificação; vermelho representa atividade comercial e amarelo residencial. Células mais claras e com bordas pontilhadas representam as possibilidades de crescimento do sistema.*

Considerando uma taxa de crescimento de cinco por cento, nenhuma nova célula será adicionada ao sistema na primeira iteração (menos que o mínimo) e uma única nova célula com uma unidade de forma construída e atividade residencial será adicionada ao sistema, na borda, na segunda iteração, fazendo com que a linha de células cresça em uma das extremidades. Isso ocorre porque: a) o crescimento estipulado requer uma nova célula; esta será residencial e ocorrerá na borda, já que as demais formas construídas ainda estão gerando renda igual ou muito similar à esperada. Após a inclusão da nova célula, todos os indicadores são atualizados, ocorrendo as seguintes mudanças: a) o indicador de valor de localização é modificado para todas as células, cujos parâmetros são elevados em função do crescimento do sistema; b) o indicador de valor de edificação é depreciado à taxa de desvalorização estabelecida para cada iteração; c) o terceiro indicador é aumentado, em função das modificações nos anteriores, assim como o quarto. A segunda iteração toma lugar, com o cálculo de acréscimo, a verificação da atividade (frações de crescimento menores que um são acumuladas e alocadas somente quando somam uma unidade ou mais) da(s) nova(s) forma(s) construída(s) e, importante, a verificação da posição em que ela(s) deverá(ão) ocorrer (na borda, caso a condição número dois não seja alcançada, na célula em que a imposição da condição dois indicar). Crescimento residencial e comercial são mantidos na mesma proporção, e toda vez que uma nova unidade de edificação para fins comerciais for incluída no sistema, ocorrerá nas células mais centrais, expelindo a atividade residencial, que será re-allocada na borda. O crescimento comercial no centro aumenta exponencialmente a centralidade devido ao ser poder polarizador. O diagrama da figura 2 ilustra o procedimento simulatório.



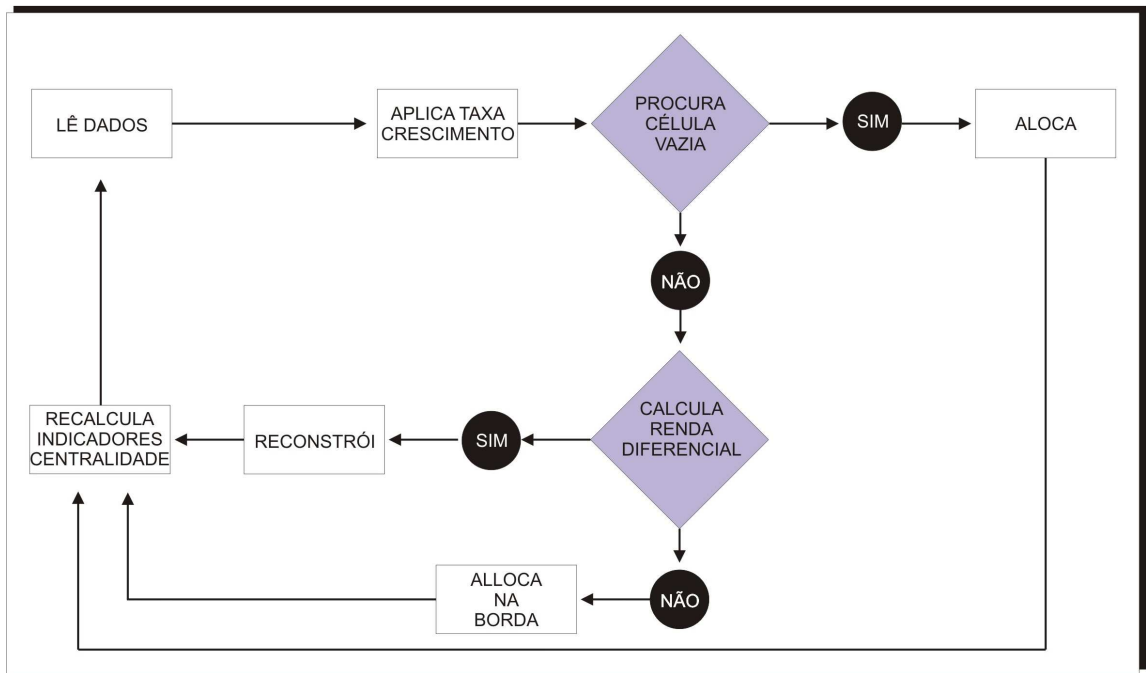


Figura 2: Fluxograma esquemático do modelo de simulação

## EXPERIMENTAÇÃO

O modelo foi aplicado ao sistema da figura 1 em trinta iterações, e os resultados dos indicadores para as células 1, 2 e 3 foram registrados ao longo do processo. A tabela 1 mostra o que ocorre com a célula 3, a primeira a se tornar instável, como decorrência do crescimento do indicador de valor esperado acima do indicador de edificação. Isso ocorre na oitava iteração, entretanto a substituição da edificação pré-existente somente ocorre efetivamente duas iterações depois, já que a nona iteração tem alocação zero. A relação entre o valor original e atualizado da localização é, a essa altura, praticamente um para dois, sugerindo que a ocupação da célula em questão deveria dobrar em densidade. Uma vez realizada a substituição, a diferença entre renda real e esperada retorna a zero, decorrente do fato de a nova edificação estar provendo renda máxima. Essa relação pode ser inclusive negativa no momento de uma substituição, como aparece na figura 3, já que os empreendimentos podem ser feitos de maneira a superar a simples diferença de renda, antecipando uma concentração mais intensa do que a simples reposição da renda imobiliária.

*Tabela 1: Resultados parciais da simulação para a célula 3 em dez iterações, mostrando: a) contínuo crescimento do valor da terra causado pelo contínuo aumento do valor de centralidade da célula em questão; b) contínuo decréscimo do valor da edificação, até o momento de sua substituição, quando o valor é atualizado; c) contínuo crescimento da diferença entre renda real e esperada, conduzindo o sistema a uma situação de instabilidade e eventualmente substituição da forma construída original por outra com maior densidade de ocupação.*

Cel 3	Valor da Terra	Valor da Edificação	Valor Real	Valor Esperado	Diferença
t0	46,04	184,16	230,20	230,20	0,00
t1	46,04	174,95	220,99	230,20	9,21
t2	46,04	166,20	212,24	230,20	17,96
t3	52,79	157,89	210,68	263,95	53,27
t4	52,79	150,00	202,79	263,95	61,16
t5	54,83	142,50	197,33	274,15	76,82
t6	60,99	135,37	196,36	304,95	108,59
t7	60,99	128,61	189,60	304,95	115,35
t8	63,12	122,18	185,30	315,60	130,30
t9	63,12	116,07	179,19	315,60	136,41
t10	69,10	276,40	345,50	345,50	0,00

Pelo exposto na tabela 1 se vê que o valor de localização aumenta toda vez que uma nova célula é adicionada ao sistema, fazendo com que a centralidade seja modificada, aumentando os graus das células pré-existentes, e em particular as mais centrais, que se tornam ainda mais centrais. Assim é que o valor inicial de 46,04 vai se modificar após a terceira iteração, como resultado da adição da primeira nova célula; isso ocorre novamente na iteração seguinte e sucessivamente, conforme o sistema cresce. Já o valor da edificação da referida célula perde valor continuamente, conforme a taxa estipulada de desvalorização. O valor real tem comportamento associado a essas duas variáveis anteriores (sua soma). Já o valor esperado cresce proporcionalmente ao valor da terra, gerando, com isso, a diferença de renda da última coluna. Nesta se vê que na iteração oito a diferença já é maior do que o valor da edificação, disparando, assim, a sua substituição.

A figura 3 mostra o desempenho dos quatro indicadores ao longo de trinta iterações. A linha azul claro (GAP 3), que representa o indicador de diferença entre renda real e esperada, mostra um percurso feito de contínuo crescimento até um ponto de ruptura, quando retorna ao ponto inicial (zero, ou um valor negativo perto dele), para recomeçar um crescimento na

direção de nova ruptura. Cada queda brusca dessa linha corresponde a uma geração de edificação na célula em exame.

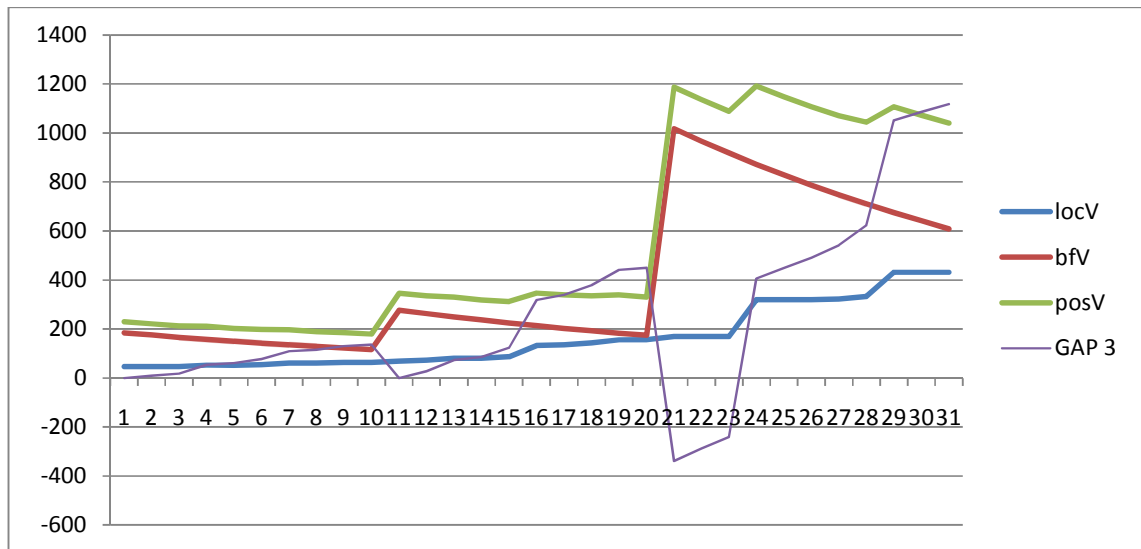


Figura 3: Desempenho da célula 3 ao longo de trinta iterações, mostrando: a) crescimento contínuo do valor da terra, devido ao aumento da centralidade, b) tendência à desvalorização da edificação respectiva, conduzindo a substituições, c) tendência de aumento da diferença entre renda real e esperada, corrigida sempre que uma edificação é substituída por outra mais densa. Eventos de substituição de edificações ocorrem nas iterações 10 e 20.

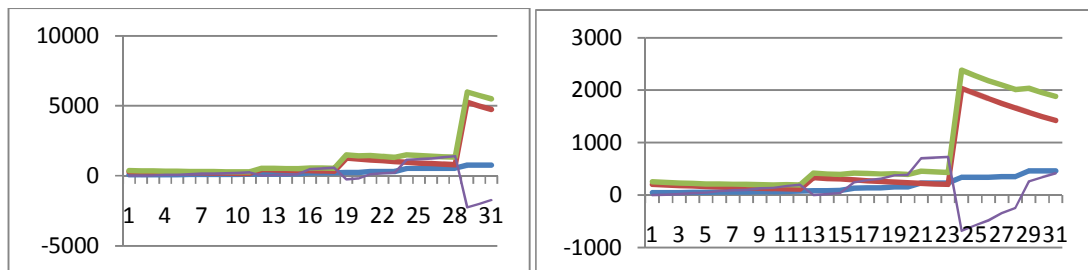


Figura 4: Desempenho das células 1 (esquerda) e 2 (direita), mostrando desenvolvimento dos seus indicadores semelhante aos da célula 3, exceto nos momentos dos eventos de mudança. Estes ocorrem nas iterações 11, 18 e 28 na célula 1, 12 e 23 na célula 2, comparados com 10 e 20 na célula 3.

A figura 4 mostra o desempenho das células 1 e 2, como esperado, muito similar ao já observado na célula 3, mas com uma importante diferença: o momento em que a substituição das respectivas edificações, diferente para cada célula. Na célula 1 ocorre três substituições, nas iterações 11, 18 e 28; na célula 2 elas ocorrem nas iterações 12 e 23, e na célula 3 nas iterações 10 e 20, conformando um primeiro grupo de três mudanças em seqüência direta, um segundo grupo com três mudanças em seqüência interrompida, e

finalmente uma grande e singular mudança, que seria seguida de outras, se a simulação continuasse. Também se pode notar que o sistema, depois de um período de crescimento periférico, se envolve num processo quase contínuo de transformações internas.

A figura 5 mostra a plotagem do indicador de diferença de renda das três células examinadas, onde se pode ver que, enquanto cada célula passa por um processo cíclico, o sistema demonstra estar sob constante mudança.

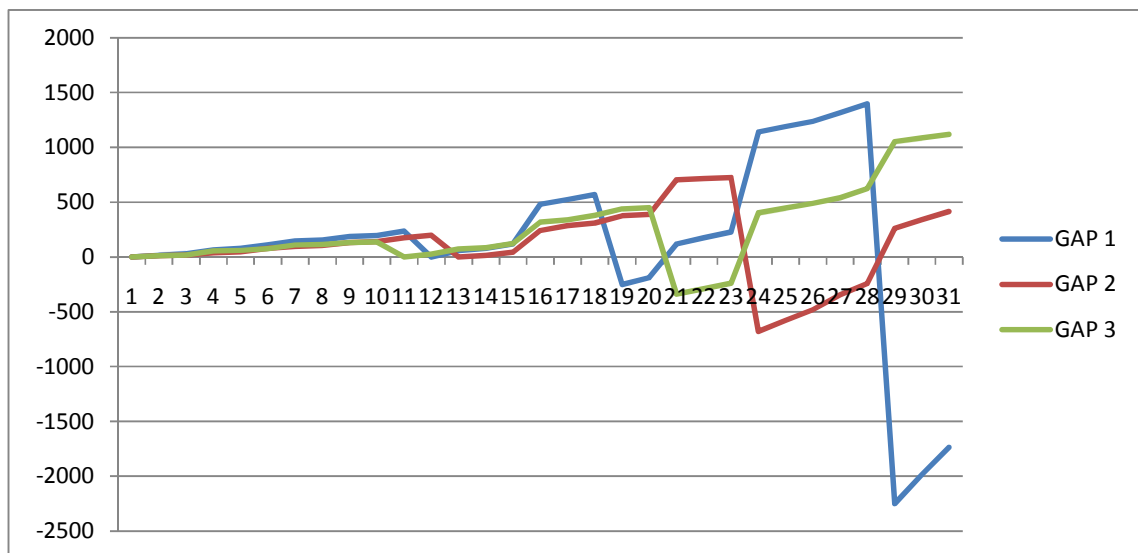


Figura 5: Curvas de desempenho do indicador de diferença entre renda real e esperada para uma simulação de trinta iterações, mostrando que: a) cada célula passa por um processo cíclico, cujo ritmo envolve uma aceleração do tempo e da escala da mudança, e b) o sistema como um todo evolui, desde sua origem, na direção de uma situação crítica de mudança e, depois de alcançá-la, tende a permanecer na zona crítica.

## DISCUSSÃO

Apesar de realizar uma simulação simplificada, este artigo produz resultados que auxiliam a verificação dos seguintes pontos:

a) A existência de uma relação orgânica entre crescimento urbano interno e externo. Modelos de centralidade têm sido tradicionalmente aplicados em análises de estado de sistemas espaciais, ou seja, são tidos como instrumentos aptos a capturar diferenciação espacial existente no interior de um sistema em determinado momento. Uma variante dessa aplicação clássica é a proposta por Krafta (1994), quando a diferenciação espacial capturada por seu modelo de centralidade é tomada como um fator de desequilíbrio que

conduz à mudança. Nessa situação a centralidade maior das localizações melhor posicionadas no sistema espacial age como uma força centrífuga, incentivando o desenvolvimento nas localizações menos privilegiadas desse sistema. Isso seria devido às vantagens comparativas para aquisição de terras. Com isso, aquele trabalho sugere que a relação entre centro e periferia é sintetizada em um vetor de desenvolvimento para fora. É verdade que a definição de “fora” não exclui transformações intra-urbanas, por considerar que a forma construída urbana é feita de muitos padrões e, assim, cada área composta por um padrão de forma construída teria o seu próprio núcleo e periferia.

Aqui, entretanto, essa relação é levada um passo adiante, ao considerar que o desenvolvimento da periferia teria algum efeito de indução no centro, uma espécie de força centrípeta. Esse vetor somente pode ser identificado na evolução do sistema espacial, quando então o crescimento externo aumenta a centralidade das localizações pré-existentes, particularmente as originalmente mais centrais. Somente considerando a mudança configuracional ocorrida pela passagem do tempo é que se consegue detectar o surgimento e desenvolvimento de uma centralidade virtual, paralela à real, aqui caracterizada como “valor esperado”. Assim, se é sensato supor que a existência de um centro estimule o desenvolvimento de uma periferia, agora também é igualmente justo supor que o desenvolvimento de uma periferia estimule mudanças no centro. O sistema dual de forças centrífuga e centrípeta aqui proposto se aproxima dos modelos da Nova Geografia Econômica (Fujita & Thisse, 2009), particularmente o modelo centro-periferia de Krugman (1991), que assume forças opostas, assim como diferenciação espacial, embora em escala regional.

b) *O poder do crescimento urbano interno para alterar a estrutura espacial urbana.* A modificação estrutural aqui sugerida atende a duas características; a primeira delas se refere às mudanças de padrões implicadas nas substituições da forma construída. Wheaton (1982) já notava que uma edificação jamais seria substituída por outra de mesmas características, ao contrário, a mudança de uma estrutura por outra implicaria necessariamente ou uma significativa densificação (da ordem de sete vezes, para as cidades americanas por ele pesquisadas), ou uma significativa elevação de padrão (aumentos da ordem de três vezes no valor unitário), ou as duas coisas combinadas. Tanto densificação quanto gentrificação envolvem re-ordenamento de relações entre origens e destinos de viagens, locais preferenciais de oferta de serviços, padrões de uso dos espaços públicos, entre outros. A segunda característica do processo, não inteiramente demonstrado pela simulação, é a emergência de novas centralidades, separadas espacialmente do centro urbano original. Na simulação foi possível constatar que as substituições ocorrem

inicialmente nas imediações do centro original, ou no próprio, de acordo com um processo mais ou menos regular. Não obstante é possível divisar variações importantes nesse padrão, uma vez consideradas outras variáveis, não incluídas neste modelo, como por exemplo, limitações impostas pelos regulamentos urbanísticos, custos de re-locação de atividades comerciais, limitações técnicas, etc., que contribuem para enrijecer a estrutura física urbana e transferir o efeito da força centrípeta para localizações mais afastadas do centro original.

Com efeito, a regularidade do processo de crescimento do diferencial de renda e a troca de edificações velhas por novas repetidamente somente ocorre na simulação por conta da simplicidade das equações, que focam o essencial do processo, sem eliminar ou negar a interveniência de outras variáveis, como as sugeridas acima. Supondo que localizações centrais atinjam um limiar de ocupação que retarde ou mesmo impeça a renovação dos estoques, a ruptura tende fatalmente a ocorrer em outras localizações onde esse limiar ainda não foi atingido.

c) *O crescimento urbano interno teria características de criticalidade auto-organizada.* A teoria proposta neste estudo supõe que a dinâmica de crescimento urbano impõe às suas localizações mais centrais uma tensão espaço-temporal, que pode ser descrita tanto na escala da unidade espacial mínima (o lote) quanto na do tecido urbano. Essa tensão consiste na oposição de dois vetores, um que descreve o potencial de uma localização para gerar renda, e outro que descreve o seu desempenho real na geração dessa renda; a oposição se expressa na diferença crescente entre ambos, já que o primeiro cresce continuamente, enquanto que o segundo tem limites impostos pela edificação. Essa tensão tem dimensão espaço-temporal porque depende da posição de cada lote e do tamanho do sistema espacial, e simultaneamente depende da evolução desse sistema, que causa modificações nos parâmetros dos vetores referidos. Desde o ponto de vista de cada localização, então se pode dizer que sua evolução se dá na direção de uma situação crítica, caracterizada pelo seu crescente déficit de renda. Essa dinâmica, embora orientada por um estado crítico, ainda não a caracteriza como uma CAO, visto que o processo é basicamente cíclico. Do ponto de vista do sistema espacial como um todo, entretanto, a situação ganha em complexidade, visto que a substituição, mesmo de uma única edificação em um único lote, tem o efeito de aumentar a centralidade deste e de muitos outros ao seu redor, já que a centralidade é uma propriedade distributiva do sistema espacial. Assim, uma nova edificação em um determinado lote causa uma aceleração da tensão diferencial de renda nos vizinhos, aumentando a probabilidade de estes virem a ter suas respectivas edificações substituídas

num prazo mais curto. Dessa maneira, a situação crítica individual possui propriedades de propagação, tornando sistêmica uma mudança discreta e eventual.

Uma vez atingido um estágio crítico, o sistema espacial permanece lá, trocando edificações velhas por novas; essas turbulências tanto podem ser microscópicas – como em áreas já renovadas, ou muito densas – quanto de muito maior escala – como em áreas antigas e mantidas deterioradas por força de fatores externos. No primeiro caso as transformações do sistema serão menos impactantes, no segundo ao contrário; entre um extremo e outro, haverá uma distribuição dos tamanhos das transformações, cujas características não são conhecidas, mas que bem pode estar disposta segundo uma lei de potência específica. Porto Alegre, como exemplo, teve pelo menos duas grandes “avalanches” nos bairros Bela Vista e Moinhos de Vento nos últimos trinta anos, e parece estar iniciando outra, no chamado Quarto Distrito. Ao mesmo tempo, mudanças isoladas ocorrem em todo lugar a todo o momento.

O estado crítico para o qual converge toda forma construída urbana pode ser comparado ao ‘estado minimamente estável’ de Bak (1988), ou seja, o correspondente unidimensional da CAO. Bak descreve sua simulação da dinâmica da pilha de areia unidimensional usando autômato celular, na qual grãos de areia, um de cada vez, são soltos para formar uma pilha; nessa simulação os grãos, representados por células quadradas, se empilham umas sobre as outras até atingir um limite especificado. Quando isso ocorre, o grão superior rola até o patamar inferior (num primeiro momento, o solo); a seqüência de rolagens cria diversos patamares, que são igualmente submetidos à regra do limite de empilhamento. Dessa forma, o sistema propaga avalanches, que tanto podem ser unitárias – apenas uma célula – quanto de outros tamanhos, conforme a seqüência de patamares criados pela evolução do sistema. Para Bak, sistemas como esses tem “assinaturas” temporais e espaciais: no tempo, apresentam características de intermitência, e no espaço são auto-similares, ou seja, fractais. Nas cidades temos a formação de pilhas ao contrário, que crescem fisicamente nas posições mais centrais, mas que não obstante, apresentam a mesma assinatura espaço-temporal e podem, assim, corresponder ao mesmo processo de criticalidade das simulações de Bak.

O argumento aqui desenvolvido igualmente sugere algumas críticas mais imediatas, tais como:

a) *O processo cíclico de substituição de edificações teria um limite físico, que seria também um limite teórico.* É verdade que a substituição de edificações velhas por novas encontra limites, seja nos regulamentos urbanos, seja na tecnologia de construção, seja na tradição

cultural; com isso, os ciclos de renovação edilícia de cada unidade espacial têm certamente limites temporais e físicos. É igualmente certo que esses limites podem ser superados, seja pela evolução técnica e cultural, seja pela simples passagem do tempo, entretanto essa eventual superação não é essencial para a discussão aqui empreendida. Com efeito, o que caracteriza a semelhança entre dinâmicas espaciais urbanas e CAO não é exatamente o que ocorre com cada unidade do sistema, muito menos quantas vezes cada uma passa pelo processo de mudança de estado, mas o fato de o sistema, como um todo, alcançar um estado crítico, onde essas transformações ocorrem, e, uma vez alcançado, permanecer nesse estado crítico, permanentemente experimentando mudanças de estado, sejam isoladas, sejam agrupadas em seqüências espaciais e temporais.

b) *A simulação com um sistema de base unidimensional não comporta um mínimo de realismo.* É igualmente certo que a simulação aqui empreendida é simplificadaíssima (tal qual a célebre simulação unidimensional da pilha de areia de Bak!) e, como tal, não abarca todas as possibilidades do fenômeno. Se se considera um sistema bidimensional, haveria duas linhas possíveis de desenvolvimento da dinâmica espacial: a primeira, longitudinal, do centro para a borda, tal qual o experimento mostrou, e uma segunda, transversal, propiciada pela multiplicação de linhas centro-borda disponíveis numa matriz bidimensional. Isso tornaria a simulação mais interessante, pois oportunizaria a descontinuidade da dinâmica centro-borda verificada na uni dimensionalidade. Na verdade, ao possibilitar a ocorrência de mudanças também no sentido concêntrico e diagonal no sistema espacial, uma base bi-dimensional explicita com maior clareza a natureza não determinística do processo e a importância limitada de cada ocorrência discreta com respeito ao efeito sistêmico. Não obstante, a essência do processo pode ser capturada e reproduzida mesmo numa simulação reduzida, como a apresentada aqui.

c) *O crescimento interno obtido por simulação seria apenas uma 'segunda opção' ao externo.* A crítica centra-se na hipótese de a teoria aqui proposta atribuir ao crescimento interno uma relevância secundária, de certa forma dependente da expansão do sistema espacial. Com efeito, na simulação apresentada, o crescimento interno depende do externo, visto que a tensão do diferencial de renda das localizações centrais cresce apenas com a expansão do domínio espacial do sistema. Isso não significa, entretanto, que a mudança interna seja menor e, pior, menos importante na dinâmica urbana. Ao contrário, ficou demonstrado que esta teria poder de transformar estruturalmente o sistema, ou seja, criar diferenciação interna suficientemente forte para re-orientar polaridades, dependências inter-espaciais, fluxos e padrões de uso do solo. Além disso, a simulação sugere certo equilíbrio entre produção de edificações no interior e na borda do sistema espacial; essa



proporcionalidade, embora não corroborada empiricamente, por falta de informação, pode ser inferida pelos dados da figura 6: o bairro centro teve liberação de mais construções que os bairros à sua volta.

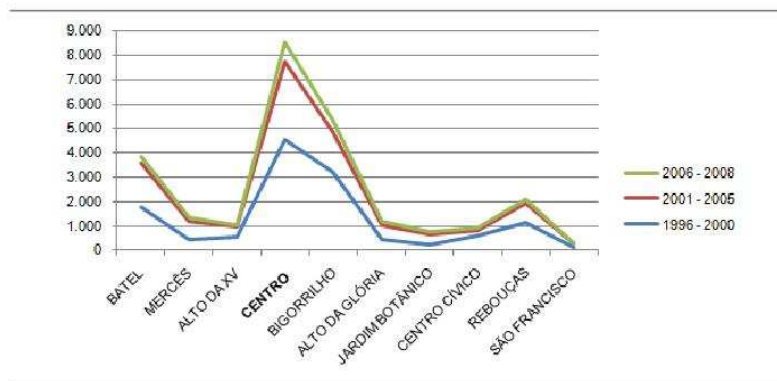


Figura 6: Evolução do número de construções liberadas por bairro de 1996 a 2008, em Curitiba.

Fonte: Gadens, Leticia, 2010, *O processo de degradação física das áreas centrais e sua relação com a dinâmica urbana em Curitiba*, Dissertação de mestrado em gestão urbana da PUCPR

## EXTENSÕES

Para concluir, o trabalho suscita especulações quanto a alguns pontos relevantes da agenda da pesquisa urbana atual, a saber:

a) *Sustentabilidade*: as noções mais comumente associadas à sustentabilidade, tais como estabilidade, durabilidade, escala, parecem resultar seriamente afetadas por este trabalho, já que a essência da dinâmica urbana aqui delineada é a de um processo dissipativo, ou seja, um processo que, para existir, pressupõe consumo de energia e recursos, incluindo partes de sua própria materialidade. Nessa linha, a cidade, para existir, precisa exercitar uma destruição criativa, ou seja, a desvalorização sistemática de parte de seu capital, a destruição contínua de parte de sua constituição física. Essas características não são propriamente novas na pesquisa urbana, não obstante, o trabalho confere a elas uma relevância e um papel novos, que, por oposição, sugerem que estabilidade, durabilidade e escala local seriam características de estagnação. Não é difícil associar estagnação urbana a muitos outros aspectos da vida econômica e social estreitamente associados à vida urbana.

b) *"Sprawl"*: dispersão urbana é um fenômeno abundantemente referido na pesquisa urbana recente, referido às tendências de fragmentação e espalhamento do tecido e das funções urbanas no território. A questão que se coloca imediatamente é como isso se relaciona com

o processo de substituição da forma construída descrito neste trabalho. Em termos genéricos, a dispersão equivale a um dos vetores considerados nesta teoria, a do crescimento periférico; o fato de ser descontínuo não afeta em essência a natureza dessa força centrífuga. O vetor oposto, de centralização, não parece ter sido foco de muita atenção nos estudos sobre dispersão, mas deve acontecer, e para isso pode-se antecipar pelo menos duas escalas: a primeira, englobando todo o sistema espacial formado a partir de cidades históricas, e a segunda considerando os fragmentos gerados pela dispersão. No primeiro caso haveria alguma recomposição do núcleo histórico simultânea à fragmentação; cidades brasileiras mostram claramente que isso efetivamente ocorre. No segundo caso haveria uma reprodução do processo de substituição de edificações nos fragmentos, que passariam a ter dinâmica similar às cidades que lhe deram origem; isso parece ainda cedo para ser verificado.

c) *Morfologia*: inferências dadas por este trabalho permitem divisar um padrão de forma urbana emergente, caracterizado pela diversidade. Essa diversidade seria resultado da substituição de unidades de forma construída existentes por outras, a tempos diferentes. A substituição propriamente dita já envolve significativa mudança de densidade e padrão socioeconômico; a essas se pode facilmente acrescentar a escala e a tecnologia. Por escala se entende a grandeza de cada ocorrência individual, que tende a aumentar com a concentração de capital; por tecnologia estão implicadas questões de forma, materiais, linguagem arquitetônica e padrão de uso, evolutivos.

## REFERÊNCIAS

- BAK, P., TANG, C., WIESENFELD, K. Self-Organized Criticality. *Physical Review A* 38, 364-374, 1988
- CRUCITTI, P., LATORA, V., PORTA, S. Centrality measures in spatial networks of urban streets. *Physical Review E* 73, 036125-1 – 5, 2006
- FREEMAN, L. A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry* 40, 35-41, 1977
- FUJITA, M., THISSE, J. F. New Economic Geography: an appraisal on the occasion of Paul Krugman's 2008 Nobel Prize in Economic Sciences. *Regional Science and Urban Economics* 39, 109-119, 2009

KRAFTA, R. Modelling Intra-Urban configuration development. *Environment & Planning B* 21, 67-82, 1994

KRAFTA, R., SPINELLI, J. Configuração espacial e distribuição do valor do solo urbano. *Cadernos IPPUR* 12, 83-104, 1998

KRUGMAN, P. Increasing returns and Economic Geography. *Journal of Political Economy* 99, 483-499, 1991

WHEATON, W. Urban spatial development with durable but replaceable capital. *Journal of Urban Economics* 12, 53-67, 1982