



**XVII ENANPUR**

SÃO PAULO • 2017



# Forças Regionais e Estrutura Interna da Cidade

Regional forces and Internal City Structure

*Izabele Colusso<sup>1</sup>, UNISINOS, icolusso@unisinós.br.*

**Romulo Krafta<sup>2</sup>, UFRGS, krafta@ufrgs.br.**

---

<sup>1</sup> Doutora em Planejamento Urbano e Regional, Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UNISINOS

<sup>2</sup> PhD, Professor do PROPUR/UFRGS

## RESUMO

A busca pelo entendimento das transformações espaciais geradas diante do aumento do número de pessoas que vivem em cidades, do consequente aumento do espaço urbanizado, dos impactos na questão de consumo de espaço, e assim, das novas formas urbanas é assunto perseguido por diversas pesquisas. Nesta investigação, discute-se a possibilidade de influência que o sistema regional pode ter sobre a estrutura interna das cidades. A diferença de escala envolvida nesta perspectiva, que vai desde a escala regional e chega à escala intraurbana, traz uma nova ótica no entendimento dos modelos: que contradigam evidências empíricas porque sugerem que as cidades podem se desenvolver de forma independente. O encaminhamento desta pesquisa se dá através da proposta da medida de tensão regional, juntamente com verificações estatísticas e espaciais. Os instrumentos desenvolvidos para obtenção de resultados nesta investigação fornecem uma ferramenta útil para estudar a influência dos efeitos espaciais sobre a agregação de modelos de interação espacial e o quanto podem contribuir para realizações substanciais em estudos econométricos espaciais, além de sugerirem ferramentas estatísticas que inferem o valor, intensidade e hierarquia provável de fluxos médios a certos níveis de agregação de variáveis disponíveis reais e estimadas. As possibilidades de visualização e comparação da repercussão entre diferentes escalas espaciais permitem relacionar escalas regionais e intraurbanas, e constata-se que existe grande influência da escala regional sobre as alterações da estrutura interna da cidade.

**Palavras Chave:** estrutura interna da cidade, forças regionais, interação espacial, tensão regional.

## ABSTRACT

The search for understanding the spatial transformations generated by the increase in the number of people living in cities, so as the resulting increase in urbanized space, and the impact on the issue of space consumption, leads to new urban forms that are a subject pursued by several researches. In this investigation, the possibility of influence that the regional system can have on the internal structure of cities is discussed. The difference of scale involved in this perspective, that goes from the regional scale and reaches the intra-urban scale, brings a new light on the paradox of understanding of models: that contradict empirical evidence because they suggest that cities can develop independently. The routing of this research goes through the proposal of a regional tension measurement, along with statistical and spatial checks. The instruments developed to achieve results in this study provide a useful tool for studying the influence of spatial effects on the aggregation of spatial interaction models and how they can contribute to substantial achievements in spatial econometric studies, and suggest statistical tools that infers the amount, intensity and probable hierarchy of average flows at certain levels of aggregation of real available variables and estimated. The display options and comparison the impact of different spatial scales permits to relate regional and intra-urban scale, and it appears that there is a great influence of the regional scale of the changes of the internal structure of the city.

**Keywords:** internal structure of the city, regional forces, spatial interaction, regional tension.

## INTRODUÇÃO

Estamos observando a transição de um mundo rural para um mundo urbano, atravessando um grande número de transformações, que foram refletidas num processo de urbanização acelerado, cuja consequência foi o surgimento de diversos outros problemas, dentre eles, os refletidos na urbanização do território. Ainda, o crescimento urbano tem se dado no sentido da aglomeração de cidades e na formação de contínuos urbanos. Ao agrupar cidades de diferentes portes, esta nova urbanização favorece o intercâmbio entre elas e promove o exercício de influências de umas sobre as outras. Essas influências estariam manifestas não apenas nos fluxos entre cidades, mas na forma e estruturação internas dessas cidades.

A história do aumento da urbanização é de migrações constantes ao longo de um período e de concentração espacial (Allen, 1997). Sendo assim, a maneira como esta urbanização ocorre assume grande importância e passa a figurar entre uma das principais problemáticas no que se refere à redistribuição espacial da população e do espaço por ela urbanizado.

O entendimento de como ocorrem os crescimentos urbanos e quais as forças que moldam este processo constitui um dos fenômenos mais estimulantes na área do conhecimento urbano e dos sistemas complexos. São muitos os estudos que abordam o assunto, que não é recente, pois já na primeira metade do século passado, temos diversos autores (Burgess, Hoyt, Christaller, etc) teorizando e buscando entendimento sobre como a estrutura da cidade se molda, e até os dias atuais, temos o envolvimento de outras disciplinas, como geografia e economia (Krugman, Fujita, Allen, Thissé), que igualmente se somam na proposição de novas teorias que buscam explicar a maneira como as cidades crescem.

Sendo assim, cidades de uma mesma região estariam associadas de alguma forma, descrevendo padrões de crescimento que responderiam ao mesmo tempo a demandas e constrangimentos internos, próprios de cada uma, e estímulos ou condições externas, mais próprios da região. Nessa perspectiva, cidades-membro de regiões evoluiriam segundo padrões diferentes de cidades isoladas de mesmo porte e retrospecto. Eles oferecem uma nova compreensão da origem e evolução dos padrões do estabelecimento humano e ocupações, tão bem quanto o crescimento urbano e estrutura (Allen, 1997), e estariam diretamente associados com a produção e consumo do espaço urbanizado, como a eficiência da estrutura espacial, e a consistência entre a infraestrutura, regulações e o espaço ocupado por determinada forma urbana (Bertaud, 2003).

A discussão da influência que o sistema regional tem sobre a estrutura interna das cidades poderia explicar a forma urbana derivada da posição relativa num aglomerado de cidades. A diferença de escala envolvida nesta visão, que vai desde a escala regional, passa pela escala municipal, e chega à escala intraurbana, traz uma nova ótica no entendimento dos modelos: que contradigam evidências empíricas porque sugerem que as cidades podem se desenvolver de forma independente, de formas isoladas. Segundo Favaro & Pumain (2011), as cidades devem estar relacionadas de alguma forma, porque pertencem à mesma distribuição estatística, envolvendo uma determinada taxa de crescimento média e desvio padrão, a qual gera uma implícita interdependência entre elas.

Colocada esta conjuntura que apresenta a maneira como hoje se aborda formas, cidade e região, verifica-se que os estudos carecem de uma maior conexão e avaliação das influências entre as diferentes escalas e impactos.

Assim, é proposta uma medida de tensão regional, que poderia ser explicativa das questões regionais e sua influência nas demais escalas consideradas. Com isso, temos um modelo de tensão regional, cujo arcabouço teórico é uma dinâmica expressão de modelos de interação espacial proposto por Wilson (1967, 1970, 2002), o qual tem sido amplamente usado tanto para estudos empíricos e geográficos sobre fluxos migratórios e em trabalhos teóricos sobre modelagem de sistemas urbanos (Pumain, 2008; Flowerdew & Aitkin 1982; Batty, 2005).

O encaminhamento deste trabalho se dá através da proposta de um roteiro metodológico que envolve a medida de tensão regional, caracterizada genericamente como um campo de força atuante na conformação interna de cada cidade-membro, e verificação simultânea da evolução de diversos indicadores de estruturação urbana, com os quais essa tensão regional poderia se relacionar estatisticamente. As verificações surgem como uma forma de ajuste de como pode ser alterada, de forma dinâmica e endógena, a maneira como a atratividade das cidades é tratada, de acordo com um processo de identificação das variáveis mais significativas. Este processo de controle é dado na escala regional, e verifica-se o nível de aceitação da atratividade por todo o sistema e a especialização relativa de cidades para a sua adaptação à atração.

Para esta verificação, foi utilizado o caso da região central do estado do Rio Grande do Sul, um sistema regional composto por 27 cidades, em 3 períodos de tempo, tornando possível a comparação das formas urbanas e seu respectivo crescimento e influência na estrutura interna das cidades.

Os instrumentos desenvolvidos para obtenção de resultados nesta investigação fornecem uma ferramenta útil para estudar a influência dos efeitos espaciais sobre a agregação de modelos de interação espacial e o quanto podem contribuir de diversas maneiras para realizações substanciais em estudos econométricos espaciais.

Além disso, podem sugerir ferramentas estatísticas que inferem o valor, intensidade e hierarquia provável de fluxos médios a certos níveis de agregação de variáveis disponíveis reais e estimadas.

## **A INFLUÊNCIA DO SISTEMA REGIONAL NA ESTRUTURA INTERNA DAS CIDADES**

Os estudos clássicos de estruturação de cidades e suas formas urbanas em regiões, a partir de Christaller (1966) e Losch (1944), descrevem arranjos hierárquicos de cidades, onde a hierarquia dos serviços (tais como complexidade, alcance, porte) e tamanhos de populações tendem a convergir para a formação de um sistema policêntrico especializado.

Igualmente relevante para a compreensão do fenômeno é o clássico modelo de auto-organização de Von Thunen, de 1826 (Krugman, 1996). Enquanto Von Thunen descreve as forças que presidem a estrutura espacial monocentral, Fujita, Krugman & Venables (1999) demonstram em que condições o modelo monocentral prevalece e conseqüentemente, para além destas, como ocorre a emergência da policentralidade.

Em uma perspectiva mais dinâmica, os estudos clássicos ficam devendo maiores explicações, e não explicam a formação e dinâmica, o que somente foi alcançado por Allen (1997) que, mediante o uso de modelos dinâmicos, demonstrou o processo de emergência de hierarquia e especialização, dentro de parâmetros de equilíbrio instável, além de autores que atualizam e reinterpretam os conceitos anteriormente apresentados, como Fujita, Krugman & Venables

(1999). Ainda, vale ressaltar que o trabalho de Krugman (1996) adiciona contributos às teorias de localização clássicas de Von Thunen, Losch e Christaller: "por mais mudanças que se façam nas políticas económicas, a sua implicação para o desenvolvimento regional e urbano é um problema importante".

Verificar, portanto, a dinâmica dos crescimentos urbanos e as variáveis intervenientes neste processo, a partir do sistema regional, é uma condição para o entendimento do desenvolvimento de todo o sistema urbano. Desta maneira, busca-se identificar se estes processos espaciais promovem diferenciação no padrão espacial existente, e se este padrão tensiona as cidades de alguma forma, conduzindo-as a assumir uma forma urbana diferente do seu estado inicial.

A análise da estrutura interna da cidade auxilia no entendimento de como o crescimento da cidade pode ser associado e generalizado em padrões, que identificam processos e geram uma forma urbana que pode ser mais compacta ou dispersa.

A questão locacional de atratividade acaba por determinar hierarquias no espaço urbano, onde determinados espaços são mais atratores de atividades do que outros.

No âmbito regional, a teoria do lugar central expressa esta condição, ao tratar da questão de como o fator central concentra atividades e explica como cidades concentram grande número de atividades em uma região. Mas nesta escala também existe uma lacuna de conhecimento, pois dificilmente é investigado o quanto a abordagem espacial regional influencia a dinâmica interna da cidade, ou o sistema espacial intraurbano.

Esta condição de existência de cidades que têm uma hierarquia sobre outras em um determinada região faz emergir uma dinâmica, pois traz a ideia de que, enquanto uma hoje se destaca pela quantidade de atratores, a qualquer momento pode vir a surgir um fator que gerará uma outra hierarquia neste sistema, que é dinâmico, e variável de acordo com os crescimentos das cidades que o compõem.

Cidades e regiões têm sido vistas como bons exemplos de sistemas, na medida em que sua composição (grande número de componentes) e estruturação (relação de dependência entre todos os componentes) são consistentes com a definição mesmo de sistema. O sistema regional refere-se basicamente à localização, organização e interações entre as diferentes cidades que compõem uma região, e à sua dinâmica evolutiva.

A Teoria do Lugar Central de Christaller (1966) e Losch (1944) auxilia na compreensão dos padrões de localização de cidades em uma região e a influência hierárquica que uma exerce sobre a outra. Esta hierarquia tem determinadas repercussões, retratadas por Allen (1997), que relata o quanto os padrões originados em determinadas cidades emergem em um dado sistema regional, surgindo uma dinâmica de formação e evolução da região.

A questão locacional de atratividade acaba por determinar hierarquias no espaço urbano, onde determinados espaços são mais atratores de atividades do que outros. A teoria do lugar central expressa esta condição, ao tratar da questão de como o fator central concentra atividades e explica como cidades concentram grande número de atividades em uma região.

A condição de existência de cidades que têm uma hierarquia sobre outras em uma determinada região faz emergir uma dinâmica, pois traz a ideia de que, enquanto uma hoje se destaca pela quantidade de atratores, a qualquer momento pode vir a surgir um fator que

gerará outra hierarquia neste sistema, que é dinâmico, e variável de acordo com os crescimentos das cidades que o compõem.

Como se vê, existem inúmeras evidências de que forças de caráter regional, interurbanas, estariam presentes nos processos de evolução das cidades, notadamente em seu tamanho e grau de especialização; não parece haver, entretanto, o correspondente exame da evolução da morfologia interna dessas cidades como possível resultado da combinação de forças internas e externas. A busca pelo estabelecimento de uma relação entre a escala intraurbana e a escala regional é uma lacuna a ser preenchida, e o quanto possíveis influências do sistema regional alteram a estrutura espacial intraurbana é o que direciona este trabalho.

*Figura 01 - Diagrama ilustrativo da Teoria do Lugar Central, de Christaller. Fonte: adaptado de Christaller, 1966.*

*Figura 02 - Padrões de interações espaciais e sua variabilidade espaço-temporal. Fonte: adaptado de Corrêa (1997)*



## MODELOS GRAVITACIONAIS, DE INTERAÇÃO ESPACIAL E DE CENTRALIDADE

É introduzida a discussão envolvendo o surgimento dos modelos de interação espacial, nos modelos gravitacionais, até a apresentação da estrutura e características que os mesmos podem assumir, como a classe de modelos que fazem referência particular ao sistema regional, como forma de embasamento para o modelo de tensão regional.

A modelagem de fluxos utilizando modelos de interação espacial é uma ferramenta extremamente útil para pesquisadores interessados em aprofundar análises de população e território. Entretanto, pode-se argumentar que muitas vezes a maneira de construir um modelo baseado em interação espacial pode ser confrontado com uma série de equações complexas e detalhes matemáticos, em vez de informações práticas sobre como usar os dados existentes para calibrar os parâmetros e em seguida, produzir novas estimativas (Dennett, 2012).

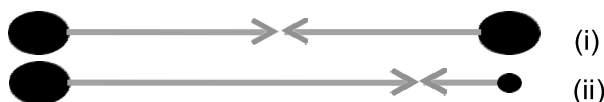
Devem ser considerados aspectos referentes a interrelações e interconexões entre as cidades de origem e destino, as diferentes escalas das cidades envolvidas, as bordas ou fronteiras do sistema espacial em questão, a influência das rotas ou caminhos possíveis e a influência da proximidade dos vizinhos (cidades centrais atratoras) (Gershmell, 1970).

O campo de aplicação destes modelos é muito amplo, pois permite quantificar os movimentos e os fluxos de população, bens, serviços, informações, insumos de produção, para medir a atratividade exercida por determinada atividade, entendida como uma cidade. Como modelo de localização é particularmente adequado para estimar e simular o comportamento espacial das atividades para as quais o fator de localização é fundamental.

Em se tratando da aplicação da interação espacial a um sistema regional, deve-se levar em consideração os efeitos de bordas, que viriam a ser o quanto a distância geométrica influencia em um modelo gravitacional, decaindo proporcionalmente até encontrar um novo território, chamado 'breakpoint', ou ponto de quebra por Haggett (1979) e Fujita, Krugman e Venables (1999).

Haggett (1979) explicita que pode-se definir a localização de uma borda entre dois centros utilizando o modelo gravitacional, ao assumir que entre duas cidades exista uma dada separação física, estimando o chamado ponto de quebra (Figura 03).

*Figura 03 - Ponto de quebra na relação entre duas cidades separadas pelas mesmas distâncias geométricas, mas de iguais atratividades (i) e diferentes atratividades (ii). Fonte: dos autores.*



O ponto de quebra atesta se um equilíbrio simétrico tende a ser estável ou não. Fujita, Krugman e Venables (1999) o definem como crítico no espaço que separa casos onde o equilíbrio simétrico entre duas cidades não está definido como estável ou instável. Uma outra situação abordada pelos autores dá conta de quando a concentração de atratividade em uma região, quando estabilizada, será um estado de equilíbrio, e existiria assim um sustain point, ou ponto de sustentação. Seria um valor crítico no espaço que separa duas cidades no qual o equilíbrio de concentração pode ou não ser sustentado.

O ponto de sustentação seria uma explicação para o modelo centro-periferia de Krugman (1996), onde o ponto de quebra estaria abaixo do ponto de sustentação, e o significado disto seria que quando as trocas existentes entre as cidades são grandes, apenas o equilíbrio simétrico é sustentado. Quando as trocas caem abaixo do ponto de quebra, a estabilidade do equilíbrio simétrico se esvai, e apenas o equilíbrio concentrado é estável. Sendo assim, quando a natureza do equilíbrio varia com a aplicação específica, os pontos de quebra e sustentação estão entre os elementos que unificam a análise da região (Fujita, Krugman e Venables, 1999).

O foco trazido por Fujita, Krugman e Venables (1999) e Haggett (1979) no equilíbrio múltiplo, ponto de quebra e ponto de sustentação, indica a possibilidade de que a estrutura das atividades atratoras pode não ser robusta o suficiente para suportar grandes alterações na estrutura do sistema regional. A Lei de Zipf (1949) sugere que, ainda assim, exista a longo prazo um rearranjo na hierarquia das cidades de acordo com os seus tamanhos.

Podemos então relacionar esta questão com a existência de competitividade entre cidades em um sistema regional, onde existiriam variações na localização e no potencial de atratividade de cada cidade, fazendo com que os pontos de quebra e de sustentação fossem definidores de padrões no espaço, como por exemplo a sobreposição de potenciais afins e/ou a competição em determinadas atratividades concorrentes (Figura 04).

*Figura 04 - Competição entre duas cidades com uma dada distância de separação mostra que a desproporção de atratividade gera uma curva de atratividades proporcional à quantidade de atratores e de população em cada ponto. Fonte: dos autores.*



A adaptação das teorias de Haggett (1979) e Fujita, Krugman e Venables (1999) para o sistema regional torna ainda mais complexas estas relações, pois teríamos que considerar a existência de diversas cidades com diferentes distâncias entre si, cada uma contendo sua bagagem de população e atratividade, gerando equilíbrios múltiplos distintos em simetria e inconstantes no tempo.

Esta análise acerca dos modelos existentes se mostra essencial para avaliar quais os que melhor se adaptam à realidade da modelagem de fluxos em uma escala regional, com múltiplos dados e tensões simultâneas. Os modelos de interação espacial mostram-se, desta forma, especialmente aplicáveis para uma grande gama de sistemas espaciais diferentes (Wilson, 2003), enquanto os modelos de centralidade, pela possibilidade de avaliar a hierarquização e diferenciação em escalas diferentes, tratando-se da atratividade exercida pelos sistemas espaciais considerados.



## MODELO DE TENSÃO REGIONAL BASEADO EM MODELOS DE INTERAÇÃO ESPACIAL

O modelo de tensão regional é proposto como maneira de calcular a medida de tensão regional, específica e baseada na medida de interação espacial, que relaciona os fluxos existentes no território baseados na interação espacial (população e distância) e a centralidade (atratividade). Neste sentido, a interação espacial visa prever fluxos, enquanto a tensão visa prever potencial de interação.

É uma medida que trata as forças existentes no sistema espacial considerado como um tipo de consequência das alterações provocadas pela interação espacial. Tem duas resultantes: uma de curto prazo, que são os fluxos existentes no sistema, e uma de longo prazo, causa cumulativa do sistema, que, supõe-se, seria refletida nos nós que representam cada cidade do sistema regional.

Vale notar que mesmo regras de transição (regras determinadas à medida em que o modelo está sendo construído) poderiam ser consideradas como não estáticas e poderiam, assim, modificar ao longo do tempo, conforme considerado por Fujita, Krugman & Venables (1999). É por este motivo que a medida de tensão regional será aplicada para verificar a repercussão que o sistema regional tem sobre a forma urbana ao longo do tempo, verificando a alteração de hierarquias e a dinâmica do modelo.

Ou seja, não basta hierarquizar o sistema tratado, deve ser extraída uma medida de tensão, derivada da interação, a qual constitui uma força que interfere na estrutura interna das cidades na forma urbana ao longo de um dado período de tempo.

Assim, considerando a interação espacial, que trata de população e distância, o processo de distribuição regional de um determinado atrator (equipamento urbano, comércio, serviço, residência etc) com origem numa zona  $i$ , a parte alocável a uma determinada zona  $j$  será diretamente proporcional à quantidade de atratividade existente em  $j$  e inversamente proporcional à atratividade a partir da zona  $i$ . É correto afirmar, assim, que a medida de tensão regional é baseada tanto em modelos gravitacionais quanto em modelos de interação espacial.

No modelo de tensão regional, o entendimento básico é de que a tensão entre as cidades é determinada pela potencialidade das atratividades existentes em determinado destino, confrontadas com as oportunidades mais acessíveis, considerando a distância entre as zonas de origem e destino, pois o que se observa é que o deslocamento dos indivíduos ocorre em função da distância e também em função das características das cidades. A Figura 05 ilustra um grafo representativo de um sistema regional com os pontos representando as cidades (a,b,c,d,e,f), e suas conexões possíveis representadas pelas linhas em (1), e em (2), o quanto varia a atratividade (representada pelas flechas) de uma cidade sobre outra nas conexões do sistema regional.

*Figura 05 - Representação esquemática de um grafo com interações entre as zonas de origem e destino, de acordo com a sua atratividade. Fonte: dos autores.*

É adotado um conjunto de hipóteses associadas com as relações possíveis entre o fluxo estabelecido entre cidades de origem e cidades de destino e as variáveis explicativas de tais interações. Parte-se da suposição de que as interações entre cada par (i,j) de origem-destino em um dado tempo t é :

proporcional à potencialidade de cada cidade de origem de impulsionar a interação; proporcional à potencialidade de cada cidade de destino de atrair a interação;

inversamente proporcional a uma medida de impedância, associada com a distância geométrica (ou separação física) entre as cidades i e j;

inversamente proporcional a uma medida de impedância, associada com uma medida de atratividade existente entre as cidades i e j;

Deste modo, leva-se em consideração os efeitos da tendência de interação em cada cidade de origem e de destino, a atratividade das cidades de destino e os efeitos da impedância representada pela distância (ou características da separação espacial) e da atratividade existente entre as cidades de origem e destino.

A expressão inicial do modelo é dada:

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j e^{-\beta (d_{ij})^\alpha} e^{\gamma (a_{ij})^\delta}, i, j = 1, 2, \dots, n$$

onde:

$T_{ij}$  é o número de fluxos da cidade de

origem i para a zona de destino j;  $V_{ij}$  é o

número de viagens ocorridas entre i e j;

$O_i$  é a distância geométrica, tempo de viagem ou custos de

transporte entre as zonas i e j;  $A_i$  e  $B_j$  são fatores de

balanceamento.

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$  são parâmetros a calibrar;

$$A_i = \left[ \sum_j B_j D_j e^{-\beta (d_{ij})^\alpha} e^{\gamma (a_{ij})^\delta} - 1 \right]$$

$$B_j = \left[ \sum_i A_i O_i e^{-\beta (d_{ij})^\alpha} e^{\gamma (a_{ij})^\delta} - 1 \right]$$

$W_{ij}$  é uma medida do número de atratividade existente entre as cidades i e j;

Em um modelo regional, é necessário integrar dados múltiplos, combinando todas as origens e destinos envolvidos no sistema considerado. Busca-se reunir as teorias que fundamentam a interação espacial e a centralidade, estabelecendo a complementaridade dos efeitos da distância geométrica e da posição relativa sobre os fluxos entre as diferentes cidades de uma região. Na Figura 06, vemos o sistema espacial e os vetores de atratividade de uma cidade em

relação a outra, baseado em suas conexões (1); em (2), vemos que existe uma hierarquia de algumas cidades em relação às demais (algumas cidades são maiores), com os nós em destaque; a atratividade acaba cristalizando em torno do nó (como nas cidades representadas pelas letras a, b, d) e se transformando no crescimento da forma urbana na direção da conexão entre os pares de cidades (3).

*Figura 06 - Representação esquemática da evolução do grafo representando a medida de tensão regional, onde o foco está nas relações entre as cidades, que acaba cristalizando o nó. Fonte: dos autores.*

A calibragem dos modelos de interação espacial envolve o tratamento da medida de impedância, que precisa ser ponderada enquanto está sendo testada; para fins deste estudo, será utilizada a calibragem baseada nos modelos de entropia (Wilson, 1970), utilizando modelos estatísticos e empíricos, ao se comparar posteriormente com a realidade.

Sendo assim, cada par de cidades poderia gerar duas medidas de tensão, que precisam ser condensadas em uma única expressão que extrai a relação entre as duas:

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j e^{-l_{ij}}$$

onde:

$T_{ij}$  é o número de fluxos da cidade de origem  $i$  para a zona de destino  $j$ ;  $A_i$  é fator de balanceamento;

$B_j$  é fator de balanceamento;

$O_i$  é o número de viagens com origem em  $i$ ;  $D_j$  é o número de viagens com destino em  $j$ ;

$l_{ij}$  é uma medida de impedância que pode ser a distância ou características da separação física entre  $i$  e  $j$ .

O desenvolvimento do modelo de tensão regional tenta explicar, assim, a relação entre o paradoxo da estocástica modelística e a realidade: esses modelos contradizem evidências empíricas porque sugerem que as cidades podem se desenvolver de forma independente, isoladas.

As cidades devem ser relacionadas de alguma maneira, porque pertencem à mesma distribuição estatística, envolvendo uma determinada taxa de crescimento médio e desvio padrão, a qual gera uma implícita dependência entre elas (Pumain, 2003).

## APLICAÇÃO DO MODELO DE TENSÃO REGIONAL

O modelo de tensão regional busca aferir a explicação que a medida de tensão regional traz a respeito dos fluxos existentes no território e que podem influenciar a forma urbana que as cidades tendem a assumir.

Para verificar a consistência do modelo, propõe-se um estudo de caso: a região central do estado do Rio Grande do Sul, no entorno da cidade de Santa Maria. O sistema regional em questão é composto de 27 cidades, e foi escolhido a partir da publicação do último estudo REGIC (Região de Influência de Cidades, 2007, IBGE). Neste contexto, Santa Maria foi considerada Capital regional B<sup>3</sup>, e é considerada “região de influência de Santa Maria”, o sistema regional composto por 27 cidades, consideradas influenciadas diretamente por Santa Maria, e foi isolado o sistema das influências secundárias que incidem sobre Santa Maria, ou que Santa Maria exerce sobre outras cidades (Figura 13).

Para serem percebidas alterações significativas nas estruturas das formas urbanas, seria necessário um período de tempo considerável, ao qual escolheu-se o período de 40 anos, com intervalo de tempo de 20 anos: 1970, 1990 e 2010.

Na escala intraurbana, a expectativa é de que a medida de tensão regional se relacione com a centralidade, uma medida de hierarquia interna da cidade, derivada da centralidade. Esta verificação visa medir o deslocamento da hierarquia espacial da cidade em sentido consistente com as forças regionais, e analisar se existe relação entre a alteração desta hierarquia em função das forças existentes no sistema regional. Objetiva medir as mudanças internas da cidade, sendo o resultado esperado do jogo de atração e interação entre as cidades.

Sendo assim, serão analisadas 5 cidades do sistema regional em questão, e averiguadas quais as alterações na estrutura interna das cidades.

$$\Delta Tr \sim \Delta c$$

onde  $\Delta Tr$  é a diferença de Tensão Regional e  $\Delta c$  é a diferença de Centralidade na escala intraurbana.

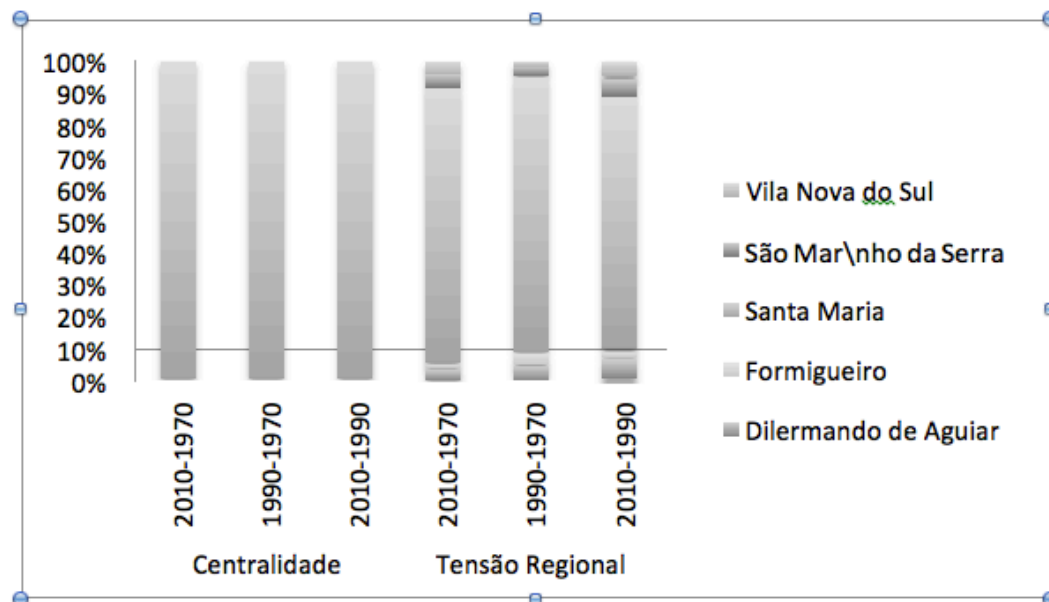
O que ocorre é que a medida de centralidade existe para um par de interação, e não para o ponto da cidade de forma específica, sendo em primeiro momento, uma correlação impossível de ser realizada. É necessário extrair uma medida que represente a força do vetor na direção determinada do vetor crescimento da cidade em uma direção qualquer. Sendo assim, foi considerado que a medida de tensão regional para uma cidade seria distribuída em todas as direções (norte, sul, leste e oeste) e seria extraída aquela medida na direção para onde a cidade apresentou maior crescimento (diferença de área urbanizada por direção).

A visualização dos resultados através dos gráficos permitem equiparar as grandezas normalizadas e verificar como as mesmas se distribuem para cada cidade e por período de tempo (Figura 07).

---

<sup>3</sup> Capital regional B: constituída por cerca de 20 cidades, com medianas de 435 mil habitantes e 406 relacionamentos entre as cidades (REGIC, 2007).

Figura 07 – Gráfico da distribuição da medida de centralidade intraurbana e medida de tensão regional para 5 cidades por período de tempo. Fonte: dos autores.



Os valores das correlações obtidas mostram se existe relação entre as duas medidas: diferença de centralidade intraurbana por período de tempo e diferença da medida de tensão regional por período de tempo (Tabela 01).

Tabela 01 – Correlação entre diferença da medida de tensão regional e diferença da medida de centralidade intraurbana por período de tempo. Fonte: dos autores.

Período de Tempo	Correlação
2010-1970	0,998559
1990-1970	0,999512
2010-1990	0,999533
geral	0,977306

As correlações obtidas mostram forte relação entre a medida de tensão regional e a medida de centralidade ponderada intraurbana, o que significa que a força do vetor refletida pela medida de tensão regional também provoca alterações na estrutura interna das cidades, ao alterar também sua medida de centralidade intraurbana. A medida de tensão regional e a medida de centralidade intraurbana aumentam juntas, nas mesmas proporções.

## VERIFICAÇÃO ESTATÍSTICA E ESPACIAL

A verificação consiste na etapa derradeira do modelo de tensão regional, e envolve as etapas de verificação estatística e verificação espacial, nas quais, sempre que algum resultado apresentar algum tipo de inconformidade, deve retornar às etapas iniciais do modelo para correção de dados reais ou dados estimados.

A verificação estatística do quanto a tensão regional pode ser explicativa da medida de centralidade regional teve algumas conclusões interessantes, como por exemplo o quanto a centralidade da cidade de origem condiciona a existência da interação entre cada par de cidades, representado pela tensão regional. Ou seja, a tensão regional se relaciona mais com a posição relativa da cidade de origem, pois o fluxo será realizado, independente da localização da cidade de destino.

Com relação aos dados disponíveis, embora os mesmos limitem a precisão dos resultados produzidos, os métodos utilizados para permitir que as novas variáveis estimadas possam melhorar o resultado final, devendo ser incorporados subsequentemente às estimativas. Além disso, embora as estimativas possam usar dados de dois níveis particulares de uma hierarquia geográfica, é possível que a técnica seja aplicada às estimativas de fluxo em qualquer outra escala, onde dados de outro nível na hierarquia espacial estariam presentes.

Ainda, cabe ressaltar o quanto a relação entre a tensão regional e a área urbanizada da cidade de destino mostra-se significativa, enfatizando que o fluxo está tensionando especialmente as formas urbanizadas das cidades que atuam como destino dos pares de interação.

A verificação estatística traz a tona, então, algumas conclusões importantes na escala regional: existe relação entre a medida de tensão regional e a centralidade da cidade de origem, e a área urbanizada da cidade de destino.

A cidade escolhida para demonstração da etapa de verificação espacial foi Santa Maria, pois apresenta a maior estrutura urbana do sistema regional considerado, tendo uma área urbanizada já consideravelmente grande em 1970, com crescimento da mancha para as direções leste e oeste em 1990, e para as direções norte e sul em 2010. A centralidade tem crescimento significativo nas direções leste e oeste na série temporal analisada (Figura 08).



*Figura 08 – Estrutura urbana de Santa Maria, com a distribuição da variação da centralidade em 1970 e 2010. Fonte: dos autores.*

Estes mapas apenas ilustram a maneira como foi representada a estrutura espacial intraurbana, e através das suas manchas de ocupação de área urbanizada, e podemos perceber a evolução da estrutura urbana acompanhada da mancha de área urbanizada.

Na verificação estatística pode-se comprovar que as medidas de centralidade intraurbana e de tensão regional crescem nas mesmas proporções. A verificação espacial procura demonstrar se, além dos valores brutos serem coincidentes, as duas medidas têm relação espacial. Para isto, foram elaborados mapas que demonstram a série temporal da evolução da medida de centralidade para cada ano, e comparados com os vetores da medida de tensão regional. As setas representam a série temporal da centralidade e seu encaminhamento, para os anos de 1970 e 2010. Os vetores de tensão regional passaram por filtragem para representarem apenas os maiores valores, e sobrepostos para cada ano da série temporal (Figura 09).

*Figura 09 – Estrutura urbana de Santa Maria, com a distribuição da variação da centralidade em 1970 e 2010. Fonte: dos autores.*

A amostragem avaliada é ilustrativa da comparação realizada, pois parece existir uma relação entre o deslocamento da medida de centralidade intraurbana e os vetores de medida de tensão regional, mostrando que a medida de tensão regional pode estar causando alterações na estrutura interna da cidade.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na escala intraurbana, está em avaliação o quanto a tensão regional está alterando de alguma forma a hierarquia interna da cidade, representada neste trabalho pela centralidade ponderada. Para verificar os efeitos do que ocorre dentro da cidade (diferenciação espacial) a partir da tensão regional foi necessário utilizar uma medida de forma, a centralidade ponderada. A ideia seria a tentativa de investigar em que medida a estrutura interna da cidade se altera mediante as forças externas e regionais?

As respostas a estes questionamentos tiveram um direcionamento surpreendente, ao obtermos dados que levam a concluir que a medida de tensão regional e a medida de centralidade ponderada variam juntas. Isto comprova que a estrutura interna da cidade reconhece as forças regionais e se rearranja, alterando sua hierarquia.

Podemos afirmar, em um primeiro momento, que as teorias existentes carecem de abordagens que tratem da influência de fatores externos à cidade e sua estrutura interna, no que se refere à questão inter-escalar. As pesquisas consultadas tratam de forma exclusiva, ou sobre a escala regional, ou sobre a escala municipal, ou sobre a escala intraurbana, e apenas relegam às conclusões ou insinuam pesquisas posteriores, o

tratamento de outras escalas; quer dizer, há a percepção de que influência entre as escalas, mas ainda assim, acaba sendo deixada de lado esta investigação.

Poucos foram os autores encontrados que apresentam pesquisas que tratam desta questão interescalar, tais como Pumain (2008), ou Yeh (2002), representando ainda um campo vasto com possibilidades de contribuição.

Os resultados obtidos sugerem que o objetivo inicial de aferir o quanto o sistema regional influencia a forma urbana e a estrutura interna das cidades foi alcançado, de modo especial no que tange à relação entre a tensão regional e a variação da centralidade Freeman-Krafta, evidenciando que a estrutura interna da cidade varia de acordo com a tensão existente no sistema regional.

Na escala intraurbana, as atividades internas e a distribuição de localizações de população e atividades de comércio e serviço apresentam relação importante com as tensões oriundas do sistema regional, levando a crer que quanto mais discriminada forem estas distribuições na escala intraurbana, mais forte poderia ser a correlação.

Podemos concluir, então, que a investigação sugere que o sistema regional influencia as formas urbanas e a estrutura interna das cidades.

Na perspectiva de continuidade desta investigação, o modelo apresentado poderia ser um modelo dinâmico, que tratasse de se realimentar baseado nas informações de séries anteriores, deixando de ser estático e verificado de tempo a tempo, com cortes temporais, e sim que fosse tratado como um conjunto de informações iterativas.

Seria possível, dadas as condições de série temporal fixadas a partir de cenários anteriores, visualizar quais seriam as tensões regionais em anos posteriores aos considerados, projetando tensões futuras geradas, caso a situação não apresente alteração. Partindo do princípio que a correlação entre a tensão regional e estrutura interna da cidade existe, poderiam ser antecipados de certa maneira os crescimentos urbanos, tomando como base a realidade configurada até o momento.

A premente necessidade atual de crescimento urbano fornece uma oportunidade para reconfiguração dos sistemas regionais e distribuição das atividades entre as cidades, fornecendo ferramentas de planejamento urbano e regional que podem fazer com que as cidades se desenvolvam de maneira mais harmônica em uma região, sem disparidades e dependências espaciais.

## REFERÊNCIAS

- Allen, P. M. (1997). *Cities and Regions As Self-Organizing Systems: Model of Complexity*. Routledge.
- Batty, M. (2004). *A new theory of space syntax*. CASA Working Papers. Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL): London, UK.
- \_\_\_\_\_. (2005). *Cities and complexity: understanding cities with cellular automata, agent-based*

- Bertaud, A. (2003). *Metropolitan Structures Around the World*. Marikina. acessado em 18 de Agosto de 2012, disponível em <<http://alain-bertaud.com>>
- Christaller, W. (1966). *Central Places in Southern Germany*. Prentice Hall.
- Corrêa, R. L. (1997) Interações espaciais. In: Castro, I. E.; Gomes, P. C.; Corrêa, R. L. (Org.). *Explorações geográficas*. 3ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 279-318.
- Dennett, A. (2012) Estimating flows between geographical locations: 'get me started in' spatial interaction modelling. Working Paper 181. UCL, Centre for Advanced Spatial Analysis .
- Favaro J. M., Pumain D. (2011), Gibrat Revisited: An Urban Growth Model including Spatial Interaction and Innovation Cycles. *Geographical Analysis*, 43, pp 261-286.
- Flowerdew, R., Aitkin, M. (1982). A Method Of Fitting The Gravity Model Based On The Poisson Distribution. *Journal of Regional Science*, Vol 22 (2), pp. 191-202.
- Fujita, M.; Thisse, J.F. (2009) New Economic Geography: An appraisal on the occasion of Paul Krugman's 2008 Nobel Prize, *Regional Science and Urban Economics*, n. 39, pp 109–119.
- Fujita, M.; Krugman, P. (2004). *The new economic geography: Past, present and the future*. *Regional Science*.
- Fujita, M., Krugman, P., Venables, A. J. (1999). *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gersmehl, P. J. (1970). Spatial Interaction, *Journal of Geography*, 69:9, pp. 522-530. Haggett, P. (1979). *Geography: a modern synthesis*. New York, Harper & Row.
- Hoyt, H. (1939) *The Pattern of Movement of Residential Rental Neighborhood*. In *Readings in Urban Geography*. Org. H.M. Mayer e C.F. Kohn (1958), Chicago: The University of Chicago Press.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), *Censo Demográfico 2010*.
- Krafta, R. (1994). Modelling Intraurban configurational development. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 21. London: Pion. pp. 67-82.
- \_\_\_\_\_ (2001). Urban Centrality A fully configurational model of a self-organizing process. *Proceedings. 3rd International Space Syntax Symposium Atlanta*.
- \_\_\_\_\_ (2014a). A new Definition (and Assessment) of Urbanity. In: *2nd Future of Places International Conference on Public Space and Place Making, 2014, Buenos Aires. Streets as Public Spaces and Drivers of Urban Prosperity*. Estocolmo: Ax:son Johnson Foundation, 2014. v. 2. pp. 259-258.
- \_\_\_\_\_ (2014b). *Notas de aula de morfologia urbana*. Editora Ufrgs.
- Krugman, P. (1991). History versus Expectations. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 106, No. 2, pp. 651-667. Acessado em 20 de

janeiro de 2013, disponível em  
<<http://www1.fee.uva.nl/cendef/upload/76/Krugman1991.pdf>>

\_\_\_\_\_ (1996). *The Self-Organizing Economy*. Oxford, UK. Blackwell Publishers.

\_\_\_\_\_ (2010). *The new economic geography, now middle-aged*. Prepared for presentation to the Association of American Geographers.

Losch, A. (1944). *The Nature of Economic Regions*, *Southern Economic Journal*, Vol. 5, No. 1, pp. 71–78.

Pumain, D. (2003), *Urban Sprawl: Is there a French Case?* In: Richardson, H.W.; BAE, C.C. (Eds.): *Urban Sprawl in Western Europe and the United States*. London: Ashgate, pp 137–157.

\_\_\_\_\_ (2004). *Scaling laws in urban systems*, Santa Fe Institute, Working Papers, n°4, pp. 26-52.

(2008). *The Socio-Spatial Dynamics of Systems of Cities and Innovation Processes: a Multi-Level Model*, in : Albeverio S., Andrey D., Giordano P., Vancheri A. (ed), *The Dynamics of Complex Urban Systems. An Interdisciplinary Approach*, Heidelberg, Physica Verlag, pp 373-389.

Yeh, A. (2002). *Urban Form and Density in Sustainable Development*. Centre of Urban Planning and Environmental Management The University of Hong Kong, Hong Kong SAR.

Thissé, J. F. (2011). *Geographical economics: A historical perspective*, CORE Discussion Papers 2011012, Université catholique de Louvain, Center for Operations Research and Econometrics (CORE).

Wilson, A. G. (1967). *A statistical theory of spatial distribution models*. *Transon Res Vol 1*. Pergamon Press, Great Britain, pp 253-269.

\_\_\_\_\_ (1970). *Entropy in urban and regional modelling*. London: Pion.

\_\_\_\_\_ (2002). *Complex spatial systems: challenges for modellers*. *Mathematical and Computational Modelling*, 36 (3), pp. 379-387.