

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**IZABELE COLUSSO**

**FORÇAS REGIONAIS, FORMAS URBANAS E**

**ESTRUTURA INTERNA DA CIDADE:**

**UM ESTUDO DE RELAÇÕES**

**Porto Alegre**

**2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE ARQUITETURA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL**

**DOUTORADO**

**FORÇAS REGIONAIS, FORMAS URBANAS E  
ESTRUTURA INTERNA DA CIDADE:  
UM ESTUDO DE RELAÇÕES**

**IZABELE COLUSSO**

Tese de Doutorado apresentada como requisito  
parcial para obtenção do título de Doutora em  
Planejamento Urbano e Regional

**Orientador: Romulo Krafta, Ph. D.**

**Porto Alegre**

**2015**

CIP - Catalogação na Publicação

Colusso, Izabele  
FORÇAS REGIONAIS, FORMAS URBANAS E ESTRUTURA  
INTERNA DA CIDADE: UM ESTUDO DE RELAÇÕES / Izabele  
Colusso. -- 2015.  
192 f.

Orientador: Romulo Krafta.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa de  
Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto  
Alegre, BR-RS, 2015.

1. forma urbana. 2. estrutura interna da cidade.  
3. forças regionais. 4. interação espacial. 5. tensão  
regional. I. Krafta, Romulo, orient. II. Título.

*“São precisamente as perguntas para as quais  
não há resposta, que marcam os limites das  
possibilidades humanas e que traçam as fronteiras  
de nossa existência.”*

*Milan Kundera*



## **AGRADECIMENTOS**

A materialização desta tese contou com a colaboração, consciente ou inconsciente, de um conjunto amplo de familiares, colegas, amigos e instituições, com os quais convivi ao longo dos últimos anos.

Aos meus pais, Paulo e Iza, que me ensinaram através de seus exemplos que o conhecimento é o maior bem que uma pessoa pode ter.

Ao Christopher, companheiro, conselheiro e motivador, pela compreensão, dedicação e amor que manifestou ao longo deste processo.

Aos amigos e colegas, em especial, Décio, Janaína, Elisa, Geisa, Marcelo e Tiago, pelo suporte e apoio constantes.

Aos amigos Marcelo Ruas e Henrique Evers, pelo auxílio prestado ao longo do processo de elaboração.

A Unisinos, em especial ao colega Adalberto Heck, que sempre compreendeu os momentos difíceis e onde sempre encontrei um conforto e uma palavra amiga.

A Ufrgs, por ter me proporcionado através da Missão Internacional, um estágio de curta duração no CASA UCL, onde tive a oportunidade de conhecer os professores Alan Wilson e Adam Dennett, aos quais muito devo para a materialização desta investigação.

E, por fim, ao professor Romulo Krafta, por ser o orientador no sentido mais literal que a palavra pode ter, me fazendo percorrer caminhos de descobertas e realizações essenciais para que esta tese fosse finalizada.

## RESUMO

A busca pelo entendimento das transformações espaciais que são 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 as formas urbanas que as cidades tendem a assumir. 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 do paradoxo da estocástica dos modelos: que contradigam evidências empíricas porque sugerem que as cidades podem se desenvolver de forma independente. Colocada esta conjuntura que apresenta a maneira como hoje se aborda forma urbana, cidade e região, verifica-se que os estudos carecem de uma maior conexão e avaliação das influências entre as diferentes escalas e impactos. O encaminhamento desta pesquisa se dá através da proposta de um roteiro metodológico que envolve a medida de tensão regional, e verificações estatísticas e espaciais. 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 do 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 de que sugerem 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 permite assim relacionar escalas regionais, municipais e intraurbanas, e constata-se que existe grande influência da escala regional sobre as alterações da estrutura interna da cidade.

**Palavras-chave:** forma urbana, estrutura interna da cidade, forças regionais, interação espacial, tensão regional.

## **ABSTRACT**

The search for understanding the spatial transformations that are generated by the increase in the number of people living in cities, the resulting increase in urbanized space, impacts on the issue of space consumption, and thus, new urban forms, is a subject pursued by several researches. In this investigation, we discuss the possible influence that the regional system can have on urban forms that cities tend to assume. The difference of scale involved in this vision, ranging from regional, passes through the municipal scale, and comes to the intra-urban scale, brings a new light on the paradox of understanding the stochastic models: that they contradict empirical evidence, because they suggest that cities can develop independently from each other and from the region where they are inserted. Placed this scenario that shows how today are addressed urban form, cities and regions, it appears that is required further studies and evaluation of connection between the different scales influences and impacts. The forwarding of this research is through the proposal of a methodological plan that involves regional tension measurement, and statistics and spatial verification. To check this, we used the case of the central region of the state of Rio Grande do Sul, a regional system composed by 27 cities in three periods of time, making it possible to compare the urban forms and their respective growth and influence in the internal structure of the cities. 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 much they can contribute in several ways to substantial achievements in spatial econometric studies, and suggest that statistical tools to infer the value, intensity and probable hierarchy of average flows at certain levels of aggregation of real variables available and estimated. The display options and comparison of the impact of different spatial scales makes it possible to relate regional, municipal and intra-urban scale, and it appears that there is a great influence on regional scale changes in the internal structure of the city.

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

## **SUMÁRIO**

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>23</b>
1.2 Objetivos	26
1.2.1 Objetivo Geral	26
1.2.2 Objetivos Específicos	26
1.3 Hipóteses e Problemática	27
1.4. Justificativa e Relevância da Investigação	27
1.5 Estrutura da Investigação	28
<b>2. A INFLUÊNCIA DO SISTEMA REGIONAL NA FORMA URBANA</b>	<b>30</b>
2.1 Sistemas urbanos como sistemas complexos	30
2.2 Sistema regional, sua estrutura e dinâmica de formação	34
2.3 Lugar Central e Hierarquização de Cidades	39
2.4 Influência da interação espacial na hierarquização do sistema regional	43
2.5 Forma urbana e as forças da cidade	46
2.6 Diferenciação Espacial e Centralidade	51
2.7 Conclusões acerca do referencial teórico	53
<b>3. MODELOS GRAVITACIONAIS, DE INTERAÇÃO ESPACIAL E DE CENTRALIDADE</b>	<b>56</b>
3.1 Modelos Gravitacionais e de Interação Espacial	56
3.2 Modelos Gravitacionais e Modelos de Centralidade	61
3.3 Conclusões acerca dos modelos abordados	64
<b>4. MODELO DE TENSÃO REGIONAL BASEADO EM MODELOS DE INTERAÇÃO ESPACIAL E ROTEIRO METODOLÓGICO PROPOSTO</b>	<b>66</b>
4.1 Roteiro Metodológico Proposto	70
4.2 Conclusões acerca do roteiro metodológico	74
<b>5. APLICAÇÃO DO MODELO DE TENSÃO REGIONAL</b>	<b>76</b>
5.1 O Sistema Regional e sua Espacialização	78
5.2 Coleta de Dados e suas Fontes	79

<b>5.3 Estimativa de Fluxos no Sistema Regional</b>	<b>83</b>
<b>5.3.1 Esquema de Estimativas de Fluxos</b>	<b>83</b>
<b>5.4 Detalhando o Modelo de Tensão Regional</b>	<b>87</b>
<b>5.5 Resultados Preliminares</b>	<b>104</b>
<b>6. VERIFICAÇÃO ESTATÍSTICA E DIFERENCIAÇÃO ESPACIAL</b>	<b>106</b>
<b>6.1 Diferenciação Espacial</b>	<b>106</b>
<b>6.2 Verificação Estatística</b>	<b>126</b>
<b>6.2.1 Tensão Regional e Aumento de Área Urbanizada</b>	<b>127</b>
<b>6.2.2 Tensão Regional e Deformação Geométrica Por Direção</b>	<b>133</b>
<b>6.2.3 Tensão Regional e Centralidade</b>	<b>139</b>
<b>6.3 Verificação Espacial</b>	<b>153</b>
<b>6.3.1 Verificação Espacial na Escala Regional</b>	<b>154</b>
<b>6.3.2 Verificação Espacial na Escala Municipal</b>	<b>160</b>
<b>6.3.3 Verificação Espacial na Escala Intraurbana</b>	<b>164</b>
<b>6.4 Conclusões Acerca da Verificação</b>	<b>175</b>
<b>7. CONCLUSÕES</b>	<b>179</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>184</b>
<b>9. ANEXOS</b>	<b>190</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Diagrama ilustrativo da Teoria do Lugar Central, de Christaller.

Figura 02 - Região de Influência de Porto Alegre, RS, nos estudos REGIC para 1987 e 2007, respectivamente.

Figura 03 - Padrões de interações espaciais e sua variabilidade espaço-temporal.

Figura 04 - Padrões de formas urbanas.

Figura 05 - Representação de padrões de viagem em formas urbanas.

Figura 06 - Ponto de quebra na relação entre duas cidades separadas pelas mesmas distâncias geométricas, mas de iguais atratividades (i) e diferentes atratividades (ii).

Figura 07 - 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.

Figura 08 - Distribuição relativa do potencial de centralidade de células em um dado sistema.

Figura 09 - Representação esquemática de um grafo com interações entre as zonas de origem e destino, de acordo com a sua atratividade.

Figura 10 - 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.

Figura 11 – Passo a passo do roteiro metodológico.

Figura 12 – Verificação espacial. Em (i), aumento da área urbanizada; em (ii), deslocamento da centralidade na escala intraurbana.

Figura 13 - Região de Influência das Cidades 2007 –Santa Maria.

Figura 14 – Passo a passo do modelo de tensão regional aplicado à região de Santa Maria, RS.

Figura 15 – Mapa das 27 cidades com sua divisão municipal e sistema de rodovias.

Figura 16 - Gráficos tipo histograma ilustrando a distribuição de valores encontrados para a medida de Tensão Regional e a frequência encontrada, em 2010, 1990 e 1970.

Figura 17 – Gráfico de distribuição dos valores de Tensão Regional por ano.

Figura 18 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 1970.

Figura 19 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 1990.

Figura 20 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 2010.

Figura 13 - Região de Influência das Cidades 2007 –Santa Maria.

Figura 14 – Passo a passo do modelo de tensão regional aplicado à região de Santa Maria, RS.

Figura 15 – Mapa das 27 cidades com sua divisão municipal e sistema de rodovias.

Figura 16 - Gráficos tipo histograma ilustrando a distribuição de valores encontrados para a medida de Tensão Regional e a frequência encontrada, em 2010, 1990 e 1970.

Figura 17 – Gráfico de distribuição dos valores de Tensão Regional por ano.

Figura 18 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 1970.

Figura 19 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 1990.

Figura 20 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 2010.

Figura 21 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 1970.

Figura 22 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 1990.

Figura 23 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 2010.

Figura 24 – Imagem utilizada como base para Numerópolis.

Figura 25 – Exemplo de medida de área, para as cidades de São Francisco de Assis e Jaguari: em cor mais forte, área urbanizada em 1970  
Figura 13 - Região de Influência das Cidades 2007 –Santa Maria.

Figura 14 – Passo a passo do modelo de tensão regional aplicado à região de Santa Maria, RS.

Figura 15 – Mapa das 27 cidades com sua divisão municipal e sistema de rodovias.

Figura 16 - Gráficos tipo histograma ilustrando a distribuição de valores encontrados para a medida de Tensão Regional e a frequência encontrada, em 2010, 1990 e 1970.

Figura 17 – Gráfico de distribuição dos valores de Tensão Regional por ano.

Figura 18 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 1970.

Figura 19 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 1990.

Figura 20 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 2010.

Figura 21 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 1970.

Figura 22 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 1990.

Figura 23 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 2010.

Figura 24 – Imagem utilizada como base para Numerópolis.

Figura 25 – Exemplo de medida de área, para as cidades de São Francisco de Assis e Jaguari: em cor mais forte, área urbanizada em 1970; em cor mais fraca, área urbanizada em 2010.

Figura 26 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 2010 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ).

Figura 27 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1990 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ).

Figura 28 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1970 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ).

Figura 29 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 2010 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ), exceto Santa Maria.

Figura 30 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1990 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ), exceto Santa Maria.

Figura 31 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1970 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ), exceto Santa Maria.



0; em cor mais fraca, área urbanizada em 2010.

Figura 13 - Região de Influência das Cidades 2007 –Santa Maria.

Figura 14 – Passo a passo do modelo de tensão regional aplicado à região de Santa Maria, RS.

Figura 15 – Mapa das 27 cidades com sua divisão municipal e sistema de rodovias.

Figura 16 - Gráficos tipo histograma ilustrando a distribuição de valores encontrados para a medida de Tensão Regional e a frequência encontrada, em 2010, 1990 e 1970.

Figura 17 – Gráfico de distribuição dos valores de Tensão Regional por ano.

Figura 18 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 1970.

Figura 19 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 1990.

Figura 20 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 2010.

Figura 21 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 1970.

Figura 22 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 1990.

Figura 23 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 2010.

Figura 24 – Imagem utilizada como base para Numerópolis.

Figura 25 – Exemplo de medida de área, para as cidades de São Francisco de Assis e Jaguari: em cor mais forte, área urbanizada em 1970; em cor mais fraca, área urbanizada em 2010.

Figura 26 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 2010 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ).

Figura 27 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1990 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ).

Figura 28 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1970 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ).

Figura 29 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 2010 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ), exceto Santa Maria.

Figura 30 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1990 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ), exceto Santa Maria.

Figura 31 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1970 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ), exceto Santa Maria.

Figura 32 – Gráficos Normal Q-Q da estimativa entre tensão regional e área urbanizada nas cidades de origem, em 1970, 1990 e 2010.

Figura 33 – Gráficos Normal Q-Q da estimativa entre tensão regional e área urbanizada nas cidades de destino, em 1970, 1990 e 2010.

Figura 34 – Exemplo de medida de deformação geométrica, para a cidade de São Francisco de Assis: em cor mais fraca, área urbanizada em 1970, calculada em direção aos vértices de forma; em cor mais forte, área urbanizada em 2010, igualmente calculada em direção aos vértices de forma.

Figura 35 – Relação entre medida de tensão regional por ano e área urbanizada por direção.

Figura 36 – Mapa de calor relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por

Figura 37 – Matriz de dispersão relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por direção para origem e destino, para 1970.

Figura 38 – Mapa de calor relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por direção para origem e destino, para 1990.

Figura 39 – Matriz de dispersão relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por direção para origem e destino, para 1990.

Figura 40 – Mapa de calor relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por direção para origem e destino, para 2010.

Figura 41 – Matriz de dispersão relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por direção para origem e destino, para 2010.

Figura 42 – Sistema regional contendo identificação das cidades, e ligação entre seus centróides a partir dos caminhos mínimos identificados.

Figura 43 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 2010, considerando a cidade de origem (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 44 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 1990 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 1990, considerando a cidade de origem (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 45 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1990 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1990 e 2010, considerando a cidade de origem (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 46 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 2010, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 47 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 1990 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 1990, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 48 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1990 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1990 e 2010, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 49 – Relação entre diferença de tensão regional e deformação geométrica por direção.

Figura 42 – Sistema regional contendo identificação das cidades, e ligação entre seus centróides a partir dos caminhos mínimos identificados.

Figura 43 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 2010, considerando a cidade de origem (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 44 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 1990 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 1990, considerando a cidade de origem (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 45 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1990 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1990 e 2010, considerando a cidade de origem (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 46 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 2010, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 47 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 1990 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 1990, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 48 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1990 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1990 e 2010, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 49 – Relação entre diferença de tensão regional e deformação geométrica por direção.

Figura 50 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1970-2010.

Figura 51 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1970-1990.

Figura 52 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1990-2010.

Figura 53 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 54 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 55 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 56 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 57 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 58 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 59 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de origem (em X), para tempos 1, 2 e 3.

Figura 60 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de destino (em X), para tempos 1, 2 e 3.

Figura 42 – Sistema regional contendo identificação das cidades, e ligação entre seus centróides a partir dos caminhos mínimos identificados.

Figura 43 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 2010, considerando a cidade de origem (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 44 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 1990 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 1990, considerando a cidade de origem (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 45 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1990 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1990 e 2010, considerando a cidade de origem (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 46 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 2010, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 47 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 1990 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 1990, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 48 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1990 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1990 e 2010, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 49 – Relação entre diferença de tensão regional e deformação geométrica por direção.

Figura 50 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1970-2010.

Figura 51 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1970-1990.

Figura 52 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1990-2010.

Figura 53 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 54 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 55 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 56 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 57 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 58 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 59 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de origem (em X), para tempos 1, 2 e 3.

Figura 60 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de destino (em X), para tempos 1, 2 e 3.

Figura 61 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de origem (em X), exceto Santa Maria, para tempos 1, 2 e 3.

Figura 62 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de destino (em X), exceto Santa Maria, para tempos 1, 2 e 3.

Figura 63 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade multiplicada pela população das cidades de origem (em X), para tempos 1, 2 e 3.

Figura 42 – Sistema regional contendo identificação das cidades, e ligação entre seus centróides a partir dos caminhos mínimos identificados.

Figura 43 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 2010, considerando a cidade de origem ( $U_i$ ) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 44 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 1990 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 1990, considerando a cidade de origem (U<sub>i</sub>) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 45 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1990 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1990 e 2010, considerando a cidade de origem (U<sub>i</sub>) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 46 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 2010, considerando a cidade de destino (U<sub>i</sub>) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 47 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 1990 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 1990, considerando a cidade de destino (U<sub>i</sub>) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 48 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1990 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1990 e 2010, considerando a cidade de destino (U<sub>i</sub>) (X), e exceto Santa Maria.

Figura 49 – Relação entre diferença de tensão regional e deformação geométrica por direção.

Figura 50 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1970-2010.

Figura 51 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1970-1990.

Figura 52 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1990-2010.

Figura 53 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 54 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 55 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 56 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 57 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 58 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

Figura 59 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de origem (em X), para tempos 1, 2 e 3.

Figura 60 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de destino (em X), para tempos 1, 2 e 3.

Figura 61 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de origem (em X), exceto Santa Maria, para tempos 1, 2 e 3.

Figura 62 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de destino (em X), exceto Santa Maria, para tempos 1, 2 e 3.

Figura 63 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade multiplicada pela população das cidades de origem (em X), para tempos 1, 2 e 3.

Figura 64 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade multiplicada pela população das cidades de destino (em X), para tempos 1, 2 e 3.

Figura 65 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade multiplicada pela população das cidades de origem (em X), exceto Santa Maria, para tempos 1, 2 e 3.

Figura 66 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade multiplicada pela população das cidades de destino (em X), exceto Santa Maria, para tempos 1, 2 e 3.

Figura 67 – Gráfico da distribuição da medida de centralidade intraurbana e medida de tensão regional para 5 cidades por período de tempo.

Figura 68 – Mapa da medida de tensão regional em 1970.

Figura 69 – Mapa da medida de tensão regional em 1990.

Figura 70 – Mapa da medida de tensão regional em 2010.



Figura 71 – Mapa da medida de centralidade regional, em cor mais forte, as cidades com maior centralidade.

Figura 72 – Aumento de área urbanizada e medida de tensão regional para Santa Maria, entre 1970 e 2010.

Figura 73 – Mapas da medida de tensão regional para 5 cidades de destino na interação espacial.

Figura 74 – Cálculo de centralidade intraurbana para Formigueiro em 1970, 1990 e 2010.

Figura 75 – Cálculo de centralidade intraurbana para Dilermando de Aguiar em 1970, 1990 e 2010.

Figura 76 – Cálculo de centralidade intraurbana para São Martinho da Serra em 1970, 1990 e 2010.

Figura 77 – Cálculo de centralidade intraurbana para Vila Nova do Sul em 1970, 1990 e 2010.

Figura 78 – Cálculo de centralidade intraurbana para Santa Maria em 1970, 1990 e 2010.

Figura 79 – Série temporal de centralidade intraurbana e vetores de medida de tensão regional para 5 cidades do sistema regional.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Estrutura geral da investigação.

Tabela 02 – Exemplo de matriz de origens e destinos do sistema.

Tabela 03 – Exemplo de tabela de dados das cidades componentes do sistema.

Tabela 04 – Exemplo de matriz de variáveis das cidades de origem e destino componentes do sistema.

Tabela 05 – Exemplo de matriz de variáveis das cidades de origem e destino componentes do sistema, por ano considerado.

Tabela 06 – Variáveis utilizadas e suas respectivas descrições.

Tabela 07 – Cidades, variáveis e anos considerados.

Tabela 08 – Exemplo de matriz de origem-destino, para a variável Transporte Coletivo Tij, no ano de 2010.

Tabela 09 – Segmento de tabela de origens e destinos entre as cidades, mostrando os valores de Tensão Regional para cada ano.

Tabela 10 – Peso dos coeficientes das variáveis estimadas na medida de tensão regional.

Tabela 11 – Ajuste ótimo na composição, indicado através da variável residual Res1.

Tabela 12 – Valores de centralidade para as cidades do sistema regional.

Tabela 13 – Correlações entre medida de tensão regional e centralidade.

Tabela 14 – Correlações entre medida de tensão regional e centralidade multiplicada pela população.

Tabela 15 – Exemplo de tabela Tensão Regional por Ano e Área Urbanizada por Ano.

Tabela 16 – Correlação entre medida de tensão regional e área urbanizada.

Tabela 17 – Exemplo de tabela Tensão Regional por Ano e Área Urbanizada por Direção por Ano.

Tabela 18 – Valores de centralidade e deslocamento de centralidade para 5 cidades.

Tabela 19 – Ranking das correlações entre medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para cada período de tempo.

Tabela 20 – Valores de diferença de centralidade intraurbana e diferença de tensão regional para 5 cidades por período de tempo.

Tabela 21 – Correlação entre diferença da medida de tensão regional e diferença da medida de centralidade intraurbana por período de tempo.

Tabela 22 – Valores de deslocamento de centralidade intraurbana e diferença de tensão regional para 5 cidades.

Tabela 23 – Correlação entre diferença da medida de tensão regional e deslocamento da medida de centralidade intraurbana por período de tempo.

Tabela 24 – Valores de deslocamento de centralidade e deformação geométrica por direção para 5 cidades.

Tabela 24 – Correlação entre deformação geométrica por direção e deslocamento da medida de centralidade intraurbana por período de tempo.

Tabela 25 – Correlação entre diferença de tensão regional e diferença de área urbanizada.

## **FORÇAS REGIONAIS, FORMAS URBANAS E ESTRUTURA INTERNA DA CIDADE: UM ESTUDO DE RELAÇÕES**

### **1. INTRODUÇÃO**

Estamos observando a transição de um mundo rural para um mundo urbano. Segundo estimativas da ONU, a partir de 2007 mais de 50% da população mundial vive em áreas urbanas, e se tratarmos da realidade brasileira, temos que mais de 80% da população (IBGE, 2010) vive em áreas urbanas. Sendo assim, no caso brasileiro existe uma superação destes percentuais já desde a década de 1960, quando as estimativas mundiais foram ultrapassadas. O país atravessou 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 mais relevante para o tema desta investigação, 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, segundo nossa hipótese básica, 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.

Neste sentido, a busca pelo estabelecimento das transformações espaciais que foram geradas neste novo cenário começa a ganhar força. Se o espaço urbanizado está sendo gradativamente ampliado, significa que temos aí uma série de impactos na questão de consumo de espaço, e assim, novas formas urbanas e ocupações espaciais são assumidas. Este percentual de pessoas que vivem em cidades deve crescer de forma acelerada até 2050 (ONU, 2007), o que mostra que a tendência é de que o espaço urbanizado cresça igualmente, ampliando e muito as cidades já existentes, e transformando assim as formas urbanas atuais em, talvez, grandes aglomerações urbanas, gerando um crescimento desordenado do espaço urbanizado.

Segundo Ojima (2007), existem dois fatores que devem ser considerados no processo de crescimento urbano: o populacional e o padrão de expansão física das ocupações urbanas. O fator populacional seria um desafio por exercer um importante peso na expansão da infraestrutura urbana, e o padrão de ocupação pode e deve ser entendido como essencial para que esse crescimento urbano possa se dar com maior ou menor impacto sobre as formas de expansão das áreas urbanas para comportar esse contingente populacional

dentro das cidades, assim como as formas urbanas que acabam por serem moldadas justamente pelas tensões entre crescimento populacional e expansão urbana.

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, em uma determinada região, temos cidades que crescem segundo critérios próprios e se apresentam com formas urbanas diferentes, algumas mais dispersas e outras mais compactas. Existem diversas razões para estas formas urbanas apresentarem-se de maneira diferente. A complexidade dos sistemas urbanos faz emergir a ideia de como os sistemas podem ser usados para entender o surgimento e a evolução de um padrão espacial e estrutura do sistema estabelecido. 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).

Existem muitos estudos tratando de formas urbanas compactas e dispersas, alguns enfatizando que a forma compacta seria a melhor maneira de organizar o crescimento urbano, pois envolveria menor custo com sistemas de infraestrutura, deslocamentos, e segregação espacial (Rogers, 1999; e Rogers & Power, 2000), e outros investigando a forma dispersa (Rauber, 2011). Yeh (2002) afirma ainda que a forma urbana seria um fator de influência sobre o desenvolvimento de uma cidade, e que a forma compacta poderia reduzir custos de desenvolvimento, podendo ser um meio de guiar o crescimento urbano, especialmente na redução de efeitos negativos do desenvolvimento disperso encontrado atualmente.

Em uma mesma região, cidades de similares características de estruturação urbana e econômica, acabam por apresentar distintas formas urbanas, algumas mais compactas, outras mais dispersas.

A discussão da influência que o sistema regional tem sobre as formas urbanas que as cidades tendem a assumir 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 do paradoxo da estocástica 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.

Gersmehl (1970) relata que existiria um problema de escala na identificação dos fatores que afetam a interação entre duas cidades, pois barreiras à ocorrência dos fluxos devem ser consideradas, e existe uma grande influência dos vizinhos e das rotas existentes entre estas cidades. Isto decore do fato de que a interação entre duas cidades pode ocorrer em vários níveis e escalas diferentes.

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 desta pesquisa se dá através da proposta de um roteiro metodológico que envolve a medida de tensão regional, e verificações estatísticas e espaciais. 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.

Isto traz uma questão já abordada em estudos anteriores (Arbia & Petrarca, 2013), referente à dependência espacial positiva. A metodologia da medida de tensão regional, baseada em modelos de interação espacial, permite ilustrar que na presença de dependência espacial positiva tanto nas variáveis de origem quanto nas de destino, o aumento do fluxo médio é moderado. Ao contrário, é exacerbada quando observar uma correlação espacial negativa, tanto nas variáveis das cidades de origem, quanto de destino.

Além disso, a verificação da repercussão das medidas na espacialização dos fluxos derivados nas interações entre as cidades da região em questão foi levado em consideração.

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.

As possibilidades de visualização e comparação da repercussão entre diferentes escalas espaciais pode ser vista como uma abordagem inovadora, diante da falta de pesquisas (Pumain, 2008) que relacionem escalas regionais, municipais e intraurbanas.

Esta questão de escala pode refletir os efeitos do crescimento urbano desenfreado, pois a forma urbana se relaciona de forma muito próxima às mudanças de padrões na vida cotidiana e com as representações do risco social inerentes a essas mudanças (Ojima, 2007). Assim, esta investigação trata do encontro de instrumental metodológico que consiga abordar a questão inter-escalas que consiga refletir o quanto alterações em uma determinada escala alteram de forma significativa os padrões em todas as dimensões estruturais referentes à questão espacial, sejam regionais, municipais ou intra-urbanas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Investigar o processo da dinâmica regional e sua influência sobre as formas urbanas e a estrutura interna das cidades.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar o desenvolvimento do sistema regional e as transformações decorrentes da evolução do sistema regional na consolidação e qualificação das formas urbanas.
- Aferir em que medida a estrutura interna da cidade se altera mediante as forças externas e regionais.

### 1.3 Hipóteses e Problemática

Diante das discussões colocadas, identifica-se o problema de pesquisa:

Qual a influência do sistema regional na evolução da estrutura interna da cidade e na forma uma cidade?

As hipóteses derivadas deste problema de pesquisa são as seguintes afirmações:

- A forma que a cidade tende a assumir na escala regional é influenciada pela posição relativa que uma cidade assume em relação às demais.
- A interação entre a localização de cidades provocaria diferentes forças no sistema regional que se reflete na forma que as cidades irão assumir;
- A maneira como a dinâmica do sistema regional se comporta ao longo do tempo determinaria alterações fundamentais na estrutura inicial do sistema regional - e estas alterações se refletem nas formas urbanas que compõem o sistema;
- O sistema regional influencia a estrutura interna das cidades;
- O sistema regional influencia as formas urbanas;
- O sistema regional influencia a deformação geométrica das formas urbanas.

### 1.4 Justificativa e Relevância da Investigação

O trabalho contribui na busca pelo reconhecimento dos processos que promovem a dinâmica regional e que originam diferentes formas urbanas. A rápida urbanização das cidades brasileiras demanda a identificação destes processos, e qual o nível de interação dos elementos geradores do crescimento urbano que gera novas formas urbanas, e qual a sua consequência na escala intraurbana.

Como pesquisa científica, o trabalho intenciona gerar conhecimento teórico, metodológico e empírico sobre as esferas do conhecimento intraurbano e regional.

No campo do conhecimento teórico, a referência a outras pesquisas relacionadas à dinâmica regional e à forma urbana são consideradas, ilustrando o estado da arte atual dos temas que tangenciam esta pesquisa, e delineando a lacuna que se insere e que visa ser preenchida, que se refere a uma maneira de gravar no território os reflexos que a tensão entre duas ou mais cidades apresentam. A bibliografia mostra que a maioria dos estudos trata da polarização entre as cidades, e como os pólos atuam, convivem e competem, e assim a dinâmica urbana se desenrola; carece, portanto, de uma maior atenção não apenas aos pólos, mas também na tensão existente entre as cidades de uma região. Por exemplo, quando um novo equipamento de ensino se instala, este equipamento atua como pólo de certa quantidade de pessoas que serão por ele atraídas; esta atração tem determinado alcance, que depende do porte do equipamento em questão, e esta atratividade já foi



suficientemente debatida por diversos autores (Krafta, 1994, Palma, 2011). O que se deseja alcançar com o presente trabalho é o reconhecimento do quanto o alcance e a atratividade deste novo equipamento tensiona as cidades envolvidas, e o reflexo que esta tensão teria em sua forma 'gravada' no território, a produção do espaço urbanizado, sua forma urbana.

No campo do conhecimento empírico, a identificação da dinâmica regional, os atratores e a contribuição para a evolução temporal da maneira que uma cidade cresce, e o reflexo que este crescimento tem na forma urbana que a cidade assumirá podem auxiliar em diversos aspectos da ciência do planejamento regional, pois podem ser previstas as localizações de atratores e facilitar a distribuição de infraestrutura em determinada região. Estas previsões podem auxiliar nas intervenções dos agentes públicos no controle dos processos de crescimento, na acessibilidade, na geração de novos núcleos urbanos isolados, bem como facilitar a distribuição de infraestruturas e equipamentos em relação à localização da população.

No campo do conhecimento metodológico, são consideradas as relações das localizações de atratores e infraestruturas com a alteração de padrões de formas urbanas, através da escolha e aplicação de medida de tensão regional. A medida de tensão regional pode ser vista como a principal inovação desta pesquisa, pois tem a intenção de ser uma ferramenta de simulação da dinâmica regional ao longo de um dado período de tempo, podendo determinar os limiares existentes entre a localização de determinados atratores em cidades e a tensão que se criará na região a partir destas novas localizações.

### 1.5 Estrutura da Investigação

A tese é estruturada em 7 capítulos, que seguem a distribuição explicitada na Tabela 01.

Tabela 01 – Estrutura geral da investigação.

<b>Capítulo I</b>	<p>Introdução ao tema.</p> <p>Delimitação do tema, definição dos objetivos e do problema de pesquisa, definindo as principais hipóteses investigativas para nortear as questões.</p> <p>Justificativa, e relevância da investigação.</p> <p>Estrutura proposta para a investigação.</p>
<b>Capítulo II</b>	<p>Apresenta a revisão teórica e sua fundamentação acerca dos principais temas que permeiam e amparam a investigação.</p> <p>O capítulo divide-se em 6 seções: a introdução acerca dos sistemas complexos e os sistemas regionais, a dinâmica da formação regional,</p>

a formação de hierquização de cidades na região, a interação espacial, as formas urbanas, e por fim, a diferenciação espacial e a centralidade.

**Capítulo III** Apresenta a revisão teórica acerca dos modelos utilizados como amparo metodológico para esta investigação: modelos gravitacionais, modelos de interação espacial, e modelos de centralidade.

**Capítulo IV** Apresentação do modelo de tensão regional, baseado em modelos de interação espacial, e roteiro metodológico proposto das etapas de trabalho investigativo: medida de tensão regional, verificação estatística e espacial, e diferenciação espacial.

**Capítulo V** Aplicação do modelo de tensão regional para o estudo de caso: região central do estado do Rio Grande do Sul, área de influência da cidade de Santa Maria. É descrito o sistema regional e sua espacialização, como foi feita a coleta de dados, e detalhado o modelo de tensão regional, através das estimativas de fluxos e de suas etapas.

**Capítulo VI** Verificação estatística e diferenciação espacial, testada na escala municipal, com o aumento de área urbanizada e a deformação geométrica, e na escala intraurbana.

**Capítulo VII** Conclusões, considerações finais e investigações futuras.

---

Fonte: da autora.

## 2. A INFLUÊNCIA DO SISTEMA REGIONAL NA FORMA URBANA

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.

### 2.1 Sistemas urbanos como sistemas complexos

Segundo Krafta (2014b), sistema é um conjunto de elementos relacionados entre si por ligações físicas e/ou funcionais, de maneira tal que o conjunto depende de cada elemento. Qualquer modificação em qualquer componente afeta todo o conjunto.

Em termos fundamentalmente básicos, sistemas são compostos por partes interconectadas que, quando vistas como um todo, exibem uma ou mais propriedades das partes individuais que a formam. *"Um sistema complexo é uma entidade, coerente de uma forma reconhecível, mas cujos elementos, interações e dinâmicas geram estruturas e admitem surpresas e novidades que não podem ser definidas em separado"* (Batty and Torrens, 2005).

Historicamente, existem diversas definições de complexidade, desde mais realistas (*“complexidade é uma ordem cujo código é desconhecido”* Atlan, 1979), até mais construtivista (*“complexidade é o sistema”* Livet, 1983), mas foi ao longo dos últimos anos que os estudos acerca da complexidade tomaram mais forma, com as publicações de Batty (2005, 2010, 2013): a melhor definição de complexidade é que seriam *“sistemas que têm o potencial de se reconfigurarem de formas que podem ser surpreendentes”* (Batty, 2011).

Durante os últimos trinta anos, novos desenvolvimentos na teoria de auto-organização em física (Prigogine, 1977; Haken, 1983), a evolução da vida espécies em biologia (Alberti & Waddell, 2000) e sistemas cognitivos adaptativos em economia ou redes sociais (Arthur, 1994; Anderson et al., 1988; e inúmeros estudos de Batty) mudaram nossas representações da dinâmica do sistema, especialmente enfatizando as condições de surgimento de novas estruturas de interações locais entre a adaptação de indivíduos. As principais questões epistemológicas têm deslocado da autonomia dos sistemas relativos ao seu ambiente, no sentido de a identificação de atratores que regem a sua dinâmica e, finalmente, à sua capacidade de inovação dentro de um contexto de regras incertas e mutáveis de interações (Pumain, 2003).

Sistemas complexos são mais do que a soma de suas partes, sendo caracterizados por terem extrema sensibilidade às condições iniciais assim como ao comportamento emergente que não é preditível ou determinado (Meyers, 2009). Uma abordagem de sistema complexo pode melhorar a nossa compreensão da evolução dos sistemas das cidades. A principal característica distintiva dos sistemas complexos é sua capacidade de exibir propriedades emergentes que não são previsíveis e nem mesmo determinísticas. Batty e Torrens (2005) tratam estas propriedades como padrões emergentes que podem ser conhecidos através de modelos de crescimento da cidade de baixo pra cima (bottom-up).

Cidades são frequentemente tratadas como sistemas complexos, e são os maiores exemplares destes. Um sistema urbano é a cidade representada como um arranjo de subsistemas e seus elementos em interação (Meyers, 2009).

Sistemas de cidades podem ser significativamente descritos, pelo menos, a dois níveis de observação, que são produzidos principalmente pelas interações que ocorrem ao nível imediatamente inferior, sendo que cada um deles é caracterizado por propriedades emergentes: na verdade uma cidade pode ser descrita como uma organização produzida pelas interações na escala intraurbana, enquanto que para os sistemas de nível superior, as cidades são moldadas pelas interações entre as cidades (Pumain, 2003).

Estes sistemas de cidades emergentes têm propriedades que permanecem relativamente estáveis ao longo do tempo e do espaço. A primeira é a sua organização espacial bastante

regular (resumido pela teoria lugar central de Christaller, 1966), a segunda é o sistema hierárquico de diferenciação dos seus tamanhos (como previsto pela lei de Zipf, 1949), e a terceira propriedade é a sua diferenciação funcional (por meio de especialização econômica, por exemplo na produção, administração, turismo...).

A Lei de Zipf (1949) é uma das leis empíricas mais marcantes dos estudos econômicos, e descreve uma regularidade estável, mantida na distribuição das cidades por tamanhos ( $m \gg M$ ) e frequência por tamanho (muitas cidades pequenas, poucas cidades grandes) (Krugman, 1996). Outra conclusão importante deste trabalho é que a Lei de Gibrat surge para explicar os casos quando o crescimento urbano não é escalar, atuando em subconjuntos de cidades, e não apenas de forma agregada (Gabaix, 1999). No modelo de Gibrat, taxas de crescimento das cidades são distribuídas de forma aleatória entre as cidades, então a probabilidade de uma cidade nova entrar no sistema é constante ao longo do tempo; isto explicaria os resultados encontrados da existência de um impedimento de pequenas cidade tornarem-se muito pequenas (Gabaix 1999). Na Lei de Gibrat, existem três associações frequentes que podem ser identificadas: (1) uma tendência de correlação positiva entre o tamanho da cidade e do crescimento urbano; (2) correlação positiva ou negativa entre as taxas de crescimento sucessivas em determinados períodos de tempo, ao longo de várias décadas, indicando uma persistência dos impulsos de crescimento nos mesmos locais ou uma inversão nos padrões de localização de crescimento; e (3) heterogeneidade das taxas de crescimento: as grandes cidades têm desvio menor da taxa de crescimento padrão do que cidades menores (Favaro & Pumain, 2011).

O que é mais interessante sobre estes estudos é que, enquanto produzem evidências sobre a veracidade da Lei de Zipf, fazem crer que o crescimento das cidades é aleatório com média e variância comuns, independente do tamanho da cidade (Fujita, Krugman & Venables, 1999).

A posição relativa das cidades no sistema onde se inserem (hierarquia urbana), assim como o seu perfil específico econômico (especialização funcional), pode persistir por períodos muito mais longos de tempo do que as características correspondentes dos indivíduos que as compõem, e portanto seriam uma descrição mais permanente do sistema regional (Pumain, 2003).

A compreensão da dinâmica de formação de um sistema regional parece ser, desta forma, significativa para conectar o conhecimento da complexidade do fenômeno de crescimento das cidades, com a maneira como a região se estrutura ao longo do tempo.

## **2.2 Sistema regional, sua estrutura e dinâmica de formação**

A estrutura regional refere-se basicamente à localização, organização e interações entre as diferentes cidades que compõem a região, e à sua dinâmica evolutiva.

Fujita & Thissé (2008) referem que existem certas localizações que se beneficiam das vantagens de locais centrais onde estabelecem relação de proximidade com seus consumidores, a demanda, ocasionando que a diferenciação da oferta é uma força para aglomeração.

Por muito tempo, a questão regional foi tratada de forma secundária, em função da dificuldade das teorias econômicas lidarem com o tema (Fujita & Thissé, 2008), pois os estudos regionais pareciam se limitar à modelagem espacial do comportamento do espaço econômico, deixando o geográfico em segundo plano (Fujita & Krugman, 2004).

Krugman (1991) e Allen (1997) tentam alterar este cenário, introduzindo modelos que buscam a compreensão dos fenômenos regionais.

Krugman (1991) introduz o modelo centro-periferia, e o utilizou também para entender questões de crescimento da estrutura regional, considerando a complexidade de possíveis interações entre decisões espaciais e temporais que a escala regional demanda (Fujita & Thissé, 2002). O modelo centro-periferia assume dois conjuntos de regras: (i) define como os consumidores alocam a renda (curva de demanda), e (ii) especifica como as atratividades determinam o nível de produção e preços (curva de oferta). Centro e periferia constituem-se historicamente como resultado da forma pela qual o progresso propaga-se na estrutura econômica, fazendo com que surjam daí, especialização e heterogeneidade (Fujita, Krugman & Venables, 1999).

O segmento que estuda a economia regional contempla um mundo de fatores imobilizados, que fornecem uma fonte dispersa de demanda e fatores mutáveis, conforme relatado por Fujita, Krugman & Venables (1999). Fica claro que as respostas para os fenômenos estudados dependem de poucos fatores, que realmente influenciam a economia regional.

Muitos estudos questionam se o crescimento regional tende a divergir ou convergir para uma cidade ou gama de cidades polarizadoras do sistema, e tentam estabelecer uma relação entre crescimento regional e aglomeração. Alguns resultados obtidos por Fujita & Thissé (2009) mostram que existe uma troca entre crescimento regional e equidade espacial, apesar de sugerir, reforçando a Lei de Zipf (1949), que ocorra em pares superiores, especialmente quando a economia transita entre dispersão e aglomeração.

As diferenças de crescimento da estrutura regional refletem, assim, a distribuição espacial de atratividades entre as cidades que formam a região (Fujita & Thissé, 2009).

O entendimento de como as diferenças espaciais em padrões reais emergem é um desafio fundamental para economistas e cientistas atualmente. Por muito tempo a produção de pesquisa neste campo foi ignorada por economistas espaciais (Thissé, 2011), mas apesar deste fato, grande parte das contribuições em ciências regionais partiram do desenvolvimento de modelos regionais, que vão desde modelos de *entropia* (vide Anexo A) (Wilson, 1967), modelos gravitacionais (Anas, 1983) e das razões microeconômicas para a existência de cidades (Fujita, Krugman & Venables, 1999).

Questões sobre a maneira como desequilíbrios regionais poderiam surgir dentro das discussões econômicas, e as incapacidades do paradigma dominante da teoria econômica para lidar com a "questão regional" até o momento, são algumas das especulações que ainda persistem e vêm sendo exploradas.

Neste sentido, Allen (1997) considera que devem ser identificados quais os componentes de um sistema regional e suas interações que podem ilustrar esta questão. Uma das identificações possíveis foi realizada por Fujita & Thissé (2009), quando discorrem que o espaço econômico pode ser visto como o resultado do processo envolvendo dois tipos de forças opostas: aglomeração – ou centrípeta e dispersão – ou centrífuga; a distribuição espacial resultante das atividades econômicas seria portanto um balanço complexo entre estas forças que agem em demanda e oferta (Fujita & Thissé, 2009).

Cidades, regiões e áreas metropolitanas constituem assim a forma mais extrema de aglomeração, misturando uma alta concentração de atividades econômicas em um pequeno espaço geográfico.

A partir daí, podem-se tecer comentários sobre as diferentes escalas que este espaço geográfico pode assumir, desde cidades até regiões metropolitanas, fazendo variar assim as suas formas de aglomeração.

Pode-se dizer, então, que as economias monocêntricas são um equilíbrio especial provido pelo fato de a população não exceder alguns valores de parâmetros estruturais da economia; em particular, se a população continua a crescer, mais cidades deverão emergir para formar um sistema urbano, mas tal afirmação não reconheceria o fato de que cidades têm tamanhos e assumem formas diferentes.

Se não há forças econômicas que levem a atividades de diferentes tipos para se alocarem, será difícil perceber por que um sistema regional mais enredado de cidades teria mais chance de emergir do que qualquer outra configuração.

Em cada cidade, existe, assim, a tensão entre duas forças – de um lado, economias externas associadas com a aglomeração de ofertas da cidade; no outro, deseconomias geradas pela necessidade de especialização e heterogeneidade. Em equilíbrio, cada cidade

tem um tamanho bem definido que depende do tipo de ofertas e atratores que acomoda. Como as cidades variam em seus aportes de atividades e atratores, têm diferentes tamanhos porque diferem em economia externa que são capazes de criar e atrair. Mas nesta visão, as cidades são como ilhas flutuantes porque nada é dito sobre a localização das mesmas.

Estas hierarquias são mais complexas do que o modelo de Christaller (1966), que será melhor explanado em item posterior, pois combinam hierarquia de vários centros com a existência de redes de cidades trocando bens especializados e oferta de serviços.

Podemos partir daí para a questão de discrepâncias regionais que aumentam ou diminuem no tempo (Allen, 1997); o tema de interações entre decisões de espaço e tempo é intrincado, uma vez que tanto as aglomerações quanto crescimentos são fenômenos complexos, e é preciso superar muitos obstáculos analíticos para resolver.

Fujita & Thissé (2002) tentaram preencher esta lacuna desenvolvendo uma dinâmica do modelo centro-periferia de Krugman (1995), propondo um novo e simples modelo de crescimento endógeno para uma economia de duas regiões.

Parte-se do pressuposto que o crescimento da economia global depende da distribuição espacial dos setores de inovação através da região. Então, se o efeito de crescimento desencadeado pela aglomeração é forte o bastante, mesmo aqueles que permanecem na periferia estarão melhores.

A comunidade deve almejar a redução de disparidades entre os níveis de desenvolvimento das várias regiões e o atraso das regiões menos favorecidas, incluindo áreas rurais. Sugere que coesão social e crescimento econômico podem estar conflitando com diversos níveis de distribuição espacial.

Estes efeitos de redistribuição são significativamente mais complexos do que podem parecer. Estas descobertas ajudam a ilustrar que o modelo centro-periferia (Krugman, 1995) pode trazer luz em assuntos que são fundamentais para o entendimento da dinâmica regional, onde a diferenciação regional seria conduzida pela interação entre economias de escala e custos de transporte, ou seja, envolve as atratividades e distâncias entre as cidades.

Até certo ponto, segundo Krugman (1995), se atinge um nível de integração regional, quando as forças que causam a diferenciação entre centro e periferia emergem, a integração passa a dar lugar à diferenciação, gradualmente ampliando as vantagens do centro às custas da periferia, ou vice-versa.



Sendo assim, teríamos como consequência que a urbanização e o desigual desenvolvimento regional estariam relacionados, o que envolve uma tensão entre forças centrípetas que tendem a atrair a população e a produção para as aglomerações e as forças centrífugas que tendem a fragmentar as aglomerações (Krugman, 1995).

Outra chave que pode derivar em uma economia sistêmica regional é que qualquer mudança em propriedades do sistema regional tem impactos gerais complexos que variam de maneiras não-triviais com as demais propriedades do mesmo. Quando são apenas duas cidades, qualquer mudança estrutural de parâmetros afeta necessariamente qualquer uma das duas cidades, ou as duas. Do contrário, quando existem mais cidades no sistema, qualquer mudança de parâmetros gera efeitos diferentes.

A diferenciação das cidades por funções pode ser entendida como uma abordagem complementar à teoria de Christaller (1966), visto que baseia-se em funções recorrentes dos serviços destinados à população residente na área de influência de determinado centro urbano.

O estudo realizado por Espínola (2002) mostra que, se é a valorização de algumas inovações que cria especialidades, então a especialização de determinada cidade exige a aptidão de agentes em valorizar constantemente suas vantagens naturais produzidas.

Importante considerar, ainda, as adjacências de cada cidade, que pode ser de extrema importância em razão causa do forte componente gravitacional já demonstrado do sistema regional. Cidades e regiões de todos os tamanhos e formas irão emergir, e reside a questão da existência de algum padrão regular que possa ser identificado.

A emergência de cidades e regiões de formas e tamanhos diferentes que apresenta uma dinâmica ao longo do tempo leva a crer que existe que estamos tratando de um sistema auto-organizável, que seria, de acordo com Allen (1997):

*"estrutura coletiva que emerge da interação entre o comportamento da média, e desvios em torno desta média, que dirige o sistema através de sucessivas instabilidades (...). O sistema é, portanto, tanto a 'estrutura' que se observa em algum nível agregado quanto os desvios em torno desta estrutura que pode mudar a própria estrutura observada"* (tradução livre de ALLEN, 1997, p. 18).

Esta opção pela observância dos elementos constituintes e suas interações no intuito de entender o sistema como um todo possibilitou que Allen (1997) propusesse a transição da utilização de sistemas complexos da física e da química para o estudo regional.

Allen (1997) sugere que a análise de estruturas emergentes é mais capaz de apreender o fenômeno na sua totalidade e que a estrutura superior que governaria a interação entre as

partes – a tradicional visão *top-down* – não seria adequada para descrever mudanças, instabilidades e rupturas.

Nota-se que o reconhecimento dos padrões em estruturas emergentes é fundamental para o reconhecimento do comportamento do sistema; portanto, pode-se afirmar que existe certa regularidade em tamanhos relativos de centros urbanos em relação a interação entre eles em uma região (Allen, 1997).

Um ponto chave é a questão de situações ‘não-equilíbrio’, e as mudanças são resultado de forças nos parâmetros envolvendo a interação, que é um fator exógeno, ou que existe nas diferenças entre potencial e comportamento praticado, fator endógeno.

Outros fatores que devem ser considerados para a instabilidade do sistema que acaba dirigindo as mudanças e rupturas são, segundo Batty (2005): (i) o efeito de retroalimentação positiva, que está relacionado ao potencial existente da estrutura primária do sistema; (ii) o efeito da interação espacial com vizinhos próximos; e (iii) o efeito de inovação (que é modelado como perturbação).

Interação espacial, de acordo com a ideia de que as cidades têm um efeito de retroalimentação positiva, já havia sido perseguida por Wilson (1981), que em grande parte de suas proposições tratava de um quadro de crescimento logístico não-linear, levando ao entendimento de alterações aceleradas que ocorrem quando fenômenos urbanos ocorrem e alteram de forma significativa o crescimento das cidades. Como contraponto, Allen (1997) desenvolveu ideia baseada em Prigogine (1996) associando sistemas termodinâmicos irreversíveis que mostrou que mudanças na estrutura interna da cidade, a nível local, poderiam desviar o caminho de crescimento da cidade para diferentes trajetórias, trazendo a ideia de que o crescimento de uma cidade é resultado da combinação de diversas possibilidades de decisões tomadas em diversas escalas.

Detalhando esta questão, Allen (1997) mostra que os sistemas são estruturas coletivas que emergem da interação entre o comportamento médio do sistema e seus desvios, e o que conduz o sistema através de instabilidades sucessivas, mostrando que, se por um lado uma estrutura é estável, poderia ser descrita pelo movimento de suas partes conectadas, por outro lado, quando ocorre a instabilidade, a mesma poderia ter alterada sua estrutura espontaneamente, como uma forma de *positive feedback*.

Transpondo para a estrutura regional, a mesma seria resultado da interação entre reações positivas, devido à sucessão de sistemas urbanos, economias de escala e externalidades, e negativas, em função da competição por espaço geográfico e concorrências decorrentes das diferentes atratividades (Allen, 1997).

A diferença entre interações positivas e negativas pode refletir, assim, as mudanças de padrão entre possíveis situações de oferta e demanda em que as cidades se colocam dentro de uma região, afetando-se entre si em um processo de dinâmica espacial.

Além disso, a consideração de efeitos diversos deve ser considerada para a tentativa de explicar a dependência da trajetória anterior (*path-dependence*). Deve existir dependência quando o processo histórico é importante na descrição do fenômeno; e eventos recentes geram *feedbacks* positivos e negativos que, em conjunto, reforçam efeitos iniciais (positivos ou negativos) (Batty, 2005).

O crescimento urbano seria, portanto, ditado por condições iniciais que estariam relacionadas, e a imprevisibilidade dos sistemas complexos deve ser enfrentada: a sensibilidade às condições iniciais se torna extremamente relevante (Batty, 2005).

No entanto, Pumain (2008) relata que a abordagem de sistemas urbanos a nível da cidade não é suficiente para captar a essência da dinâmica desta cidade, justamente porque o desenvolvimento de qualquer cidade não poderia ser visto de forma isolada de suas interações com outras cidades. Isto ocorre, de acordo com Pumain (2008), especialmente quando é considerado um processo de longo prazo, que estaria intrinsecamente limitado pelas interdependências e decisões tomadas por outras cidades do sistema (Pumain, 2004). Estas interações entre cidades de um sistema seriam de natureza diferente das `causas externas`<sup>1</sup>, porque podem interferir diretamente na dinâmica da própria cidade, e são definidas de acordo com a posição relativa da cidade no sistema regional. Esta abordagem parece ser uma contribuição bastante específica que a geografia traz para a modelagem urbana (Pumain, 2008).

Ao serem avaliados os períodos de tempo, curto a longo, pode-se concluir após o final de cada transição, se a cidade irá seguir certo padrão já identificado no período anterior.

Aqui, deve-se reconhecer as tentativas de se relacionar escalas diferentes com o projeto SIMPOP<sup>2</sup> (Bretagnolle & Pumain, 2010), que gera distribuição rank-size de acordo com Zipf (1949), de um sistema de simulação multiagentes de um crescimento urbano espacialmente competitivo. Foram incluídos os efeitos de centro-periferia, e ignorou-se a distribuição intraurbana da população, porque julgou-se que as distribuições intraurbanas e interurbanas teriam diferentes formas, que podem ser explicadas por diferentes processos morfogenéticos. Como observado no caso de distribuições espaciais da população ou de

---

<sup>1</sup> Causas externas geralmente são consideradas como um pano de fundo para as condições de uma descrição de sistema ou modelo (Pumain, 2008).

<sup>2</sup> O projeto Simpop é uma colaboração conjunta entre cientistas das áreas de geografia e ciências da computação. Foi a primeira aplicação de sistemas multiagentes em geografia, e relaciona diferentes escalas do território, além de inserir um sistema dinâmico de multi-agentes (Bretagnolle & Pumain, 2010).

áreas construídas, o projeto SIMPOP considera que há pelo menos dois gradientes diferentes, um intraurbano, mais agregado e outro interurbano, mais difuso. O projeto agrega, então, um modelo que concentra as duas escalas de tratamento (Pumain, 2004, (Bretagnolle & Pumain, 2010).

As simulações resultantes do projeto SIMPOP ajudam a identificar algumas propriedades dinâmicas que são compartilhados por ambos os sistemas, intraurbanos e interurbanos: (i) uma tendência de crescimento geral e expansão espacial (produzido através da concorrência interurbana que gera emulação para a inovação, o que explica a persistência da configuração hierárquica); (ii) um aumento dramático de contrastes em tamanhos de formas urbanas desde os primeiros tempos considerados no modelo; (iii) uma diferenciação de especializações econômicas urbanas gerada por interações entre as cidades e os ciclos de inovação (Bretagnolle & Pumain, 2010).

Em um curto período de tempo, um melhor conhecimento da dinâmica do sistema urbano pode ajudar na previsão dos efeitos que as interações entre cidades têm para o sistema como um todo, sendo que a questão central seria a identificação de como as cidades vão redefinir suas posições relativas dentro do sistema regional e sua hierarquia (Taylor, 1997): se o sistema seria reorganizado e as hierarquias se alteram, ou se cada cidade integra as inovações anteriores em seu sistema, pouco alterando o sistema regional.

Em um longo período de tempo, um sistema teria sucesso em sua simulação caso sua transformação, capacidade de reação e adaptação às alterações de condições iniciais às quais foi submetido, permitissem a limitação de sua interação com as cidades vizinhas; desta forma, seria uma maneira de compreender como as cidades evoluíram em períodos de tempo anteriores (Pumain, 1997).

A interação com os vizinhos leva a pensar que a estrutura primária da cidade pode originar uma outra estrutura derivada desta primária, refletindo a alteração da hierarquia na região (Christaller, 1966), e por consequência, a dinâmica do sistema regional.

### **2.3 Lugar Central e Hierarquização de Cidades**

A teoria do lugar central, desenvolvida sob nuances diferentes por Christaller (1966) e Losch (1944) tem como objetivo explicar a localização de atividades onde o padrão de oferta segue um padrão de demanda que é disperso por natureza, aplicando a organização especial das cidades e das suas áreas de influência em particular a sua localização relativa e dimensão. Atividades que se orientam prioritariamente sob a dependência de algum tipo de fonte nodal (por exemplo, uma fonte de matéria-prima ou mesmo a existência de algum tipo de fonte de energia) não se encaixam no perfil da teoria do lugar central.

A principal característica da teoria do lugar central é agregar o sistema urbano à análise, desenvolvendo um modelo hierárquico para explicar a localização de atividades de acordo com as características inerentes a cada lugar central de maior ou menor hierarquia.

Como já visto, em estudos anteriores (Buzai, 1993), era comumente imaginado que as maiores concentrações urbanas eram dependentes de alguma característica local. Lösch (1944) vai procurar desenvolver esse argumento, afirmando que forças adicionais e mais importantes, atuam no processo de concentração urbana, propiciando a conformação de áreas de demanda e conjuntamente apresentando uma hierarquia conforme a oferta e a abrangência desta demanda. Nesse ponto se estabelece naturalmente uma hierarquia de regiões centrais e seus entornos, com centros de maior e menor influência dentro do território.

Os trabalhos de Christaller (1966) e Lösch (1944) são, em certa medida, complementares. O modelo christalleriano pode ser interpretado como: funções (entendidas como atratores, serviços ou manufatura de bens) que são orientadas pelo mercado, ou seja, são ofertadas tanto para consumidores quanto para provedores de outras funções, além do fato de serem distribuídas a partir de um ponto concentrador. Esta orientação mercadológica das funções de oferta traz uma clara correspondência entre a distribuição espacial da oferta e da demanda, assim também como a variação da força dessa correspondência, que em última instância vai depender para Christaller (assim como em Lösch) dos custos de transporte e das economias de escala.

O estabelecimento de uma teoria interurbana baseada na ideia de que os sistemas de cidades também apresentam uma organização espacial de sobreposição de diversos níveis de hierarquia demonstra a preocupação de Christaller (1966) com a forma urbana que constituem os sistemas regionais.

O modelo de sistema urbano de Christaller (1966) exige mais senso comum do que análises propriamente econômicas para seu entendimento. É baseado em dois pressupostos: 1) a necessidade de que se uma função com uma área de mercado dada for abastecida por um centro particular, este centro também abastecerá todas as funções que tenham áreas de mercado iguais ou menores; 2) e a existência de um fator constante 'k' de crescimento do tamanho da área de mercado (pressuposto este que pode ser facilmente flexibilizado). Com esses pressupostos, Christaller constrói seu sistema de lugares centrais hierárquicos.

Além disso, parte do princípio de que os custos do transporte são proporcionais à distância e há um único tipo de transporte, que a população está igualmente distribuída por toda a área, que o consumidor desloca-se ao lugar central mais próximo que fornece a função (bens ou serviços) que é buscada, minimizando a distância a percorrerem, gerando

conclusões acerca da localização dos lugares centrais: (1) os lugares centrais estão localizados nessa superfície porque fornecerem bens, serviços e funções administrativas a sua área de influência; (2) os fornecedores desses bens tem como objetivo maximizar o lucro localizando de forma a obter mais mercado; (3) existe um centro de ordem superior (que reúne muitas funções) e centros de ordem inferior (que reúnem menos funções); e (4) os centros de ordem superior fornecem funções de ordem superior que não são oferecidas pelos centros de ordem inferior.

O surgimento e crescimento de densidades urbanas permitem o aparecimento de economias externas derivadas dessas aglomerações, reforçadas pelo desenvolvimento de uma série de atividades ligadas ao setor de serviços, direta e indiretamente complementares à atividade econômica principal da aglomeração. A análise desta possibilidade, segundo a conclusão de que existe uma hierarquia entre os centros, requer o entendimento de que a urbanização possa ser caracterizada por dois movimentos simultâneos: concentração e centralização. A concentração está relacionada ao processo de urbanização das cidades; centralização, por sua vez, de acordo com Christaller (1966), consiste no desenvolvimento desigual dos centros urbanos, com um grande centro urbano se sustentando no fornecimento de serviços especializados – centrais – cuja produtividade é superior à encontrada em centros urbanos menores.

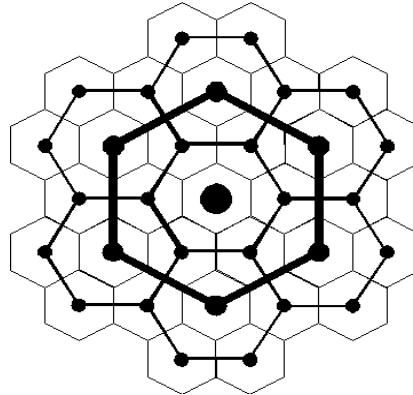
A teoria de Christaller (1966) tem como principal foco a formação de uma rede de centros urbanos, assim como o estudo das razões por trás da existência de distintos tamanhos de cidades e a sua distribuição irregular sobre o espaço. Para que esses fatores sejam entendidos, o autor passa necessariamente pela conceituação de bens e serviços centrais e a rede de lugares centrais. A centralidade característica de um lugar central é um atributo ligado diretamente à densidade de população e as atividades econômicas existentes em uma determinada região, permitindo a atratividade através do fornecimento de bens e serviços centrais tais como, comércio atacadista e varejista, serviços bancários, organizações de negócios, serviços administrativos, facilidades de educação e diversão, etc. O lugar central atua como um centro de serviços para si mesmo e para áreas imediatamente próximas (região complementar).

A partir desta definição, Christaller (1966) admite a existência de uma hierarquia de lugares centrais de acordo com a menor ou maior disponibilidade de bens e serviços oferecidos por uma localização (bens e funções centrais). A ordem de um bem ou função central é tão maior quanto mais sofisticado for este bem e maior for sua área de mercado.

O sistema urbano se organiza a partir da especificação de lugares centrais que ofertam maior número de bens, tanto de ordem maior (mais específicos) quanto de ordem menor

(bens mais simples) e outros lugares que possuem pior posição na hierarquia do sistema por não ofertarem bens de ordem maior em razão da pré-existência de uma localidade próxima e sobre sua influência (Figura 01).

Figura 01 - Diagrama ilustrativo da Teoria do Lugar Central, de Christaller.



Fonte: adaptado de Christaller, 1966.

O modelo de Christaller (1966), tanto o original como o modificado para incorporar diferentes estruturas espaciais urbanas de diferentes naturezas, consegue explicar sistemas urbanos governados por fatores centrais, tal qual uma estrutura regional.

A discussão da diversificação e desenvolvimento da estrutura regional é importante, pois é através dela que são obtidas as externalidades derivadas de uma centralidade espacial definida. Segundo Krugman (1995), tais externalidades seriam derivadas de três fontes: as “economias de localização” ou locais onde se pode aproveitar a existência de fatores produtivos de alta qualidade como mão-de-obra especializada, serviços de informação etc.; as “economias de urbanização”, que se aproveitam de infraestrutura consolidada e de qualidade (vias de transporte, serviços municipais e de utilidade pública, serviços técnicos) para obter ganhos em seus custos; e as “economias de atividades complexas”, onde empresas aparentemente não relacionadas conjugam fatores comuns em seus serviços ou produção que ao fim reduzem seus custos individuais (armazenamento, transporte e distribuição de produtos especiais em alguma região).

Assim, uma região se tornaria mais central enquanto outras regiões veriam sua centralidade diminuir. Este é um processo que, deixado a seu curso, provocaria um aumento das disparidades regionais.

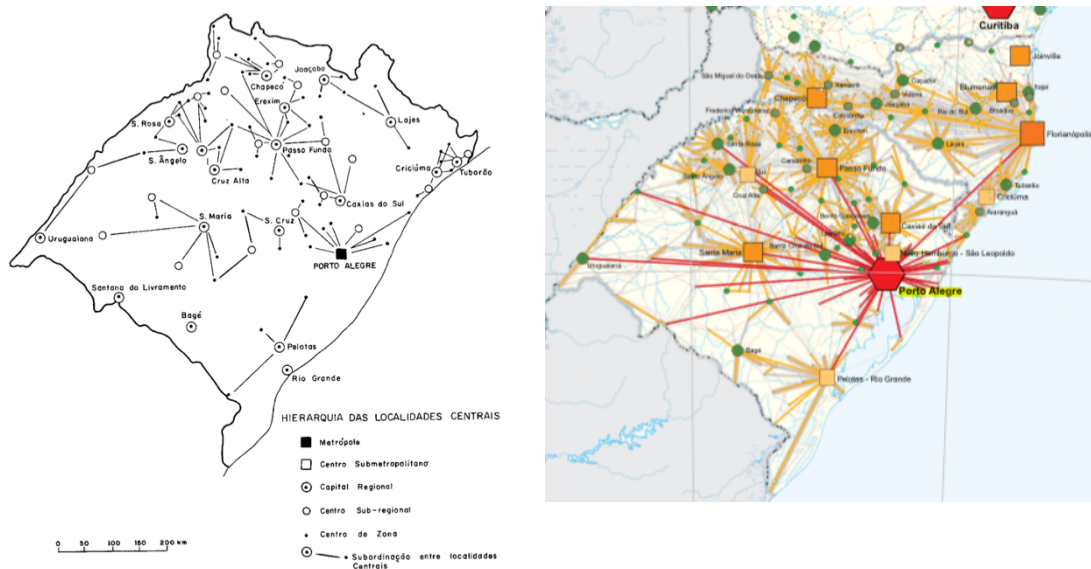
A teoria do lugar central inspirou estudos<sup>3</sup> realizados pelo IBGE<sup>4</sup> que objetivaram ilustrar a rede hierarquizada de cidades, delineando a 'centralidade' de cada município com base nos

<sup>3</sup> Regiões de Influência das Cidades: Revisão Atualizada do Estudo "Divisão do Brasil em Regiões Funcionais Urbanas". Rio de Janeiro, IBGE, 1987, 520pp. Um novo estudo foi realizado em 2007.

<sup>4</sup> IBGE = Instituto Brasileiro de Economia e Estatística.

bens e serviços nele ofertados e na área onde a distribuição se realiza (Figura 02), compreendendo um amplo conjunto de variáveis para a realização de levantamentos das interações espaciais, e constitui um exemplo de pesquisa que considera um amplo conjunto de variáveis para a compreensão das interações que se configuram entre diferentes cidades na rede urbana brasileira.

Figura 02 - Região de Influência de Porto Alegre, RS, nos estudos REGIC para 1987 e 2007, respectivamente.



Fonte: IBGE (1987, 2007).

A aplicação da teoria do lugar central de Christaller (1966) insinua que os lugares centrais variam em importância, e que as relações espaciais e hierárquicas entre centros urbanos refletem o jogo de forças econômicas (Allen, 1997). A dimensão da hierarquia entre os centros urbanos e os reflexos de um modelo que considere um sistema regional dinâmico podem ter sobre a forma urbana que as cidades podem assumir, insinua que uma região também tem forma, dinâmica e distribuição relativa.

#### 2.4 Influência da interação espacial na hierarquização do sistema regional

As cidades são formadas por elementos distintos, que estão distribuídos e se movimentam pelo espaço, se comunicam entre si, se atraem e se repelem mutuamente (Wilson, 1970), trazendo a analogia com os modelos gravitacionais. Modelos gravitacionais tradicionalmente expressam interação entre duas localizações a partir de uma função que relaciona o tamanho dos dois locais e a distância entre eles.

A interação espacial analisa e descreve as relações que são criadas entre as diferentes atividades de uma determinada área. Cada atividade desenvolve com o sistema um tipo de

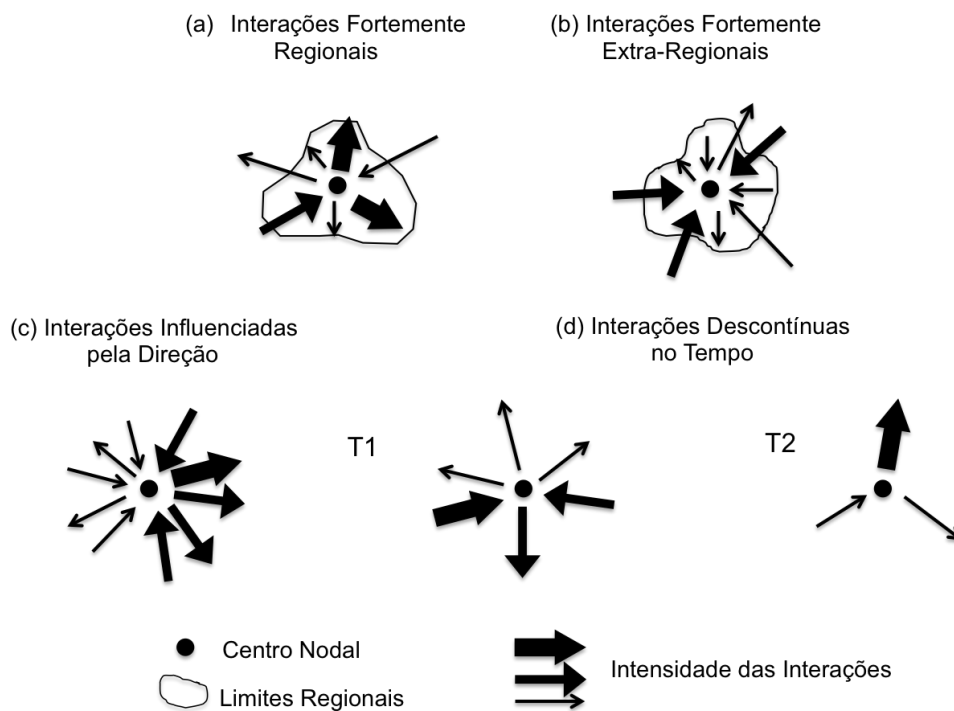


relação que afeta todos os demais integrantes deste sistema, e por isso esta relação parece ser regida de acordo com uma espécie de "campo gravitacional" sensível à proporção da relação existente, dependendo da localização no território e de sua distância relativa. Podemos tratar da interação espacial em dois níveis: (i) fluxos, quando entre cada par de atividade se mede a intensidade da interação, e (ii) potencial, quando se mede a influência do espaço em cada ponto do sistema.

A interação entre duas ou mais localizações pode ainda ser caracterizada em função do movimento de bens diversos, passageiros, migrantes, dinheiro, informação, idéias, etc (Johnston et al, 1981), ou o movimento de atividades entre diferentes localizações desde distribuições de tráfego até padrões de migração (Meyers, 2009).

Entre as décadas de 1970 e 1980, os estudos de interações espaciais passaram a ser orientados por análises quantitativas, ilustradas pelo uso enfático de Modelos Gravitacionais (Johnston et al, 1981). As interações espaciais são caracterizadas por especificidades e desigualdades. Em cada situação estudada, um conjunto específico de variáveis influenciará na configuração e na dinâmica das interações espaciais existentes. As interações espaciais podem variar no espaço e no tempo e, dessa forma, apresentar padrões espaciais (Corrêa, 1997) que se articulam e se complementam (Figura 03).

Figura 03 - Padrões de interações espaciais e sua variabilidade espaço-temporal.



Fonte: adaptado de Corrêa (1997)

O que mais diferencia a interação espacial é o efeito das características dos componentes e dos fluxos envolvidos na interação; um dos problemas que podem ocorrer se refere às

diferenças de escala ou das condições em que as interações são observadas (Gersmehl, 1970).

As interações espaciais podem ocorrer em níveis diferentes, sendo a escala que uma determinada interação é estudada determinada em grande parte pela natureza da interação observada.

Quando a escala não é considerada, se torna um problema em um estudo de interações espaciais, quando em geral, o número e a força das interconexões espaciais diminui com maior distância, ou seja, uma cidade pode ser mais fortemente afetada por uma outra cidade próxima do que por outra mais distante, e vice-versa (Gersmehl, 1970).

Um dos mais conhecidos modelos de interação espacial supõe que a relação entre demanda e oferta é análoga ao centro de gravidade, e que a suposta 'atração' entre a demanda e oferta deve ser diretamente proporcional ao quadrado da distância entre elas (Wilson, 1970). Supõe-se que a oferta está em uma cidade e a demanda é a população. Portanto, se existem duas cidades de mesmo tamanho, espera-se que a demanda se dirija à oferta mais próxima, supondo que é menos dispendioso para chegar à cidade mais próxima. Se duas cidades são igualmente distantes, é esperado que a demanda procure a maior cidade. Acredita-se, assim, que uma cidade maior tem uma maior variedade de ofertas, mostrando que as interações ocorrem em diferentes níveis, escalas e complexidades.

Segundo Flowerdew & Aitkin (1982), a interação é tratada como o resultado de um discreto processo de probabilidade, em função das variáveis de tamanho da cidade e distância entre elas, sendo aplicável para atributos e características das unidades que interagem, incluindo a escala.

Esta diferenciação de escala pode ser agrupada de modo a gerar os subsistemas do sistema considerado, levando em consideração o componente interdependências, o que gerará relações causais dentro e entre subsistemas.

Segundo Wilson (1970), uma interação dentro de um subsistema determina o efeito que uma alteração de qualquer componente terá sobre os outros dentro do grupo e a interação entre subsistemas realiza-se através da ocorrência comum de componentes dentro de diferentes subsistemas. A forma mais comum e frequente de interação espacial ocorre através da atividade das populações e a interação é visível através dos fluxos de pessoas, bens e dinheiro, por exemplo.

Sendo assim, podemos considerar duas bases para o quadro descritivo de um sistema: setorial, que considera os subsistemas e seus componentes, e espacial, que considera os subsistemas e seus componentes de forma isolada. A compreensão da interação, segundo

Wilson (1970), fornece a base para a compreensão das causas que produzem, mantêm ou efetuam as mudanças do sistema envolvido.

Assim, em uma região, existem forças diferentes que moldam as formas urbanas e emergem no sistema regional, e talvez uma destas forças se sobressaia sobre as demais.

## **2.5 Forma urbana e as forças da cidade**

O termo 'forma urbana' é associado a diversas situações, desde intra-urbanas até questões regionais. Neste trabalho, o termo será empregado para tratar da forma geral da cidade, ou seja, o estado macroscópico, o resultado do processo de adaptação e transformação do ambiente num determinado momento.

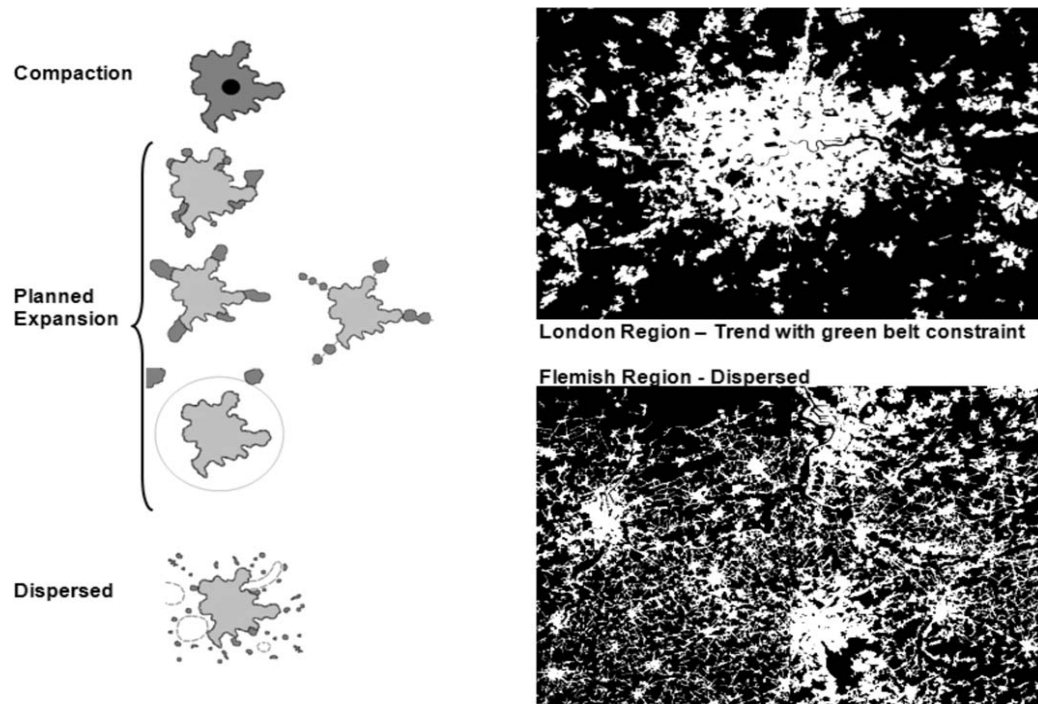
Ainda, serão abordados estudos da estrutura interna da cidade, que buscam reconhecer padrões, ou regularidades na forma urbana assumida por muitas cidades, mas ainda assim carece de uma interpretação genérica o suficiente para abranger a totalidade do fenômeno urbano, ou seja, o reconhecimento da forma urbana (Pumain, 2008).

Echenique et al (2012) compilou os padrões possíveis de forma urbana em três: compactidade, dispersão e expansão planejada em um estudo robusto intitulado SOLUTIONS (2012)<sup>5</sup>. Neste estudo, são apresentados cada um dos padrões, onde define-se que a compactidade aumenta a intensidade de áreas urbanas ao reduzir viagens de veículos e aumenta diversidade social e vitalidade urbana, a dispersão diminui a intensidade de uso do solo urbano para reduzir custos de moradia e produção e reflete a demanda por espaço acessível e menos lotado, e a expansão pelo desenvolvimento periférico planejado e novos assentamentos tenta entregar as vantagens de opções precedentes e minimiza suas desvantagens pelo desenvolvimento de comunidades que não são abarrotadas e protegem o espaço aberto (Figura 04).

---

<sup>5</sup> O projeto de pesquisa SOLUTIONS (2012) objetivou testar o desempenho da urbanização compacta e opções espaciais alternativas comparadas com a tendência ao longo de 30 anos para regiões inglesas.

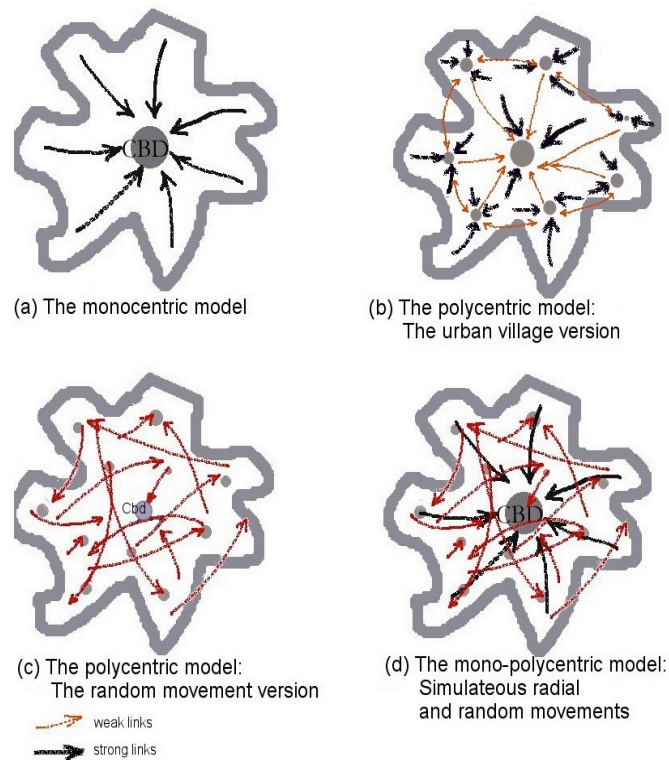
Figura 04 - Padrões de formas urbanas.



Fonte: Echenique et al (2012)

Outros estudos realizados por Bertaud & Malpezzi (1999) tratam do reconhecimento de padrões de forma urbana - monocêntrica e policêntrica - através da representação esquemática de padrões de viagem municipais (Figura 05). Partindo da densidade da estrutura interna da cidade, os autores apresentam avaliação do desempenho urbano e regional através de indicadores de eficiência, equidade, qualidade e sustentabilidade.

Figura 05 - Representação de padrões de viagem em formas urbanas.



Fonte: Bertaud & Malpezzi (1999).

Estas diferentes maneiras de se urbanizar o espaço e os diferentes padrões reconhecidos conduzem a diferentes impactos econômicos, sociais e ambientais, e portanto, pode-se afirmar que a forma urbana possui um papel central das discussões sobre o desempenho urbano<sup>6</sup>.

Uma forma urbana concentrada, compacta ou monocêntrica, tende a aglomerar atividades; uma forma dispersa, policêntrica tende a distribuir atividades. Esta relação entre forma urbana e localização de atividades é de extrema importância, pois confere a existência de forças locacionais, que impulsionam o desenvolvimento de determinadas e diferentes maneiras.

Tsai (2005) avaliou as formas urbanas e as analisou a partir de dimensões distintas, como tamanho, densidade, grau de distribuição e grau de agrupamento, na tentativa de reconhecer padrões quantitativos que pudessem agrupar tipologias de acordo com os conceitos de compactidade e dispersão. Uma de suas descobertas, a partir da utilização do Coeficiente Gini<sup>7</sup>, tratou da capacidade do sistema regional capturar diferenças entre formas

<sup>6</sup> Este estudo foi aprofundado por Rauber (2011), em sua Dissertação de Mestrado.

<sup>7</sup> Coeficiente Gini alia as variáveis de população e emprego e sua concentração em cidades de uma região.

urbanas, além de estabelecer um critério de distância entre cidades para caracterizar diferentes formas urbanas.

Existem, portanto, forças centrípetas, que levam à aglomeração das atividades em uma determinada região; e forças centrífugas, que levam a uma dispersão das atividades entre as regiões. Estas forças responsáveis pela aglomeração das atividades podem ser observadas na localização de atividades.

Algumas forças centrípetas aproximam as ofertas e os atratores, porque estas desejam compartilhar uma base de demanda e outras, centrífugas, os dispersam, porque as ofertas competem pela mesma mão-de-obra, localização, e, obviamente, pela mesma demanda (Krugman, 1991).

Colby (1933) identifica as forças centrípetas e centrífugas que atuam dentro das cidades e que têm efeitos de concentração sobre umas atividades e de dispersão sobre outras, respectivamente.

Ao afirmar que um grande corpo atrai um corpo de dimensões menores, pois um objeto em movimento tende a permanecer em seu movimento em velocidade constante, a não ser que uma força externa atue sobre ele, estamos seguindo a Primeira Lei do Movimento de Newton. Quando um corpo possui grandes dimensões, e, portanto, grande força gravitacional, o padrão deste corpo é alterado pelo desequilíbrio da força da gravidade. Quando uma força em desequilíbrio age em um corpo, este acelera em direção a esta força. É este desequilíbrio que gera a aceleração que chamamos de força centrípeta.

A força centrípeta é uma força verdadeira, que faz o corpo se mover em um padrão de curva. A força centrífuga é uma força virtual que emerge quando um corpo está sob a ação da aceleração centrípeta. Estes conceitos podem ser adaptados para o tratamento e a abordagem nas questões de análise urbana.

Johnson (2003) apresenta alguns autores, economistas e sociólogos, que publicaram trabalhos onde relacionam as cidades aos conceitos de forças centrífugas e centrípetas. O trabalho do economista Paul Krugman (1996), tem um destaque relevante nos estudos de Johnson (2003), e a explicação da analogia que consta diz respeito justamente à aproximação, ou não, da demanda em relação à oferta, onde:

*“Deve haver uma tensão entre as forças centrífugas e centrípetas, sem que uma delas seja forte demais. (E) o alcance das forças centrípetas deve ser menor que o das centrífugas: a oferta deve ‘gostar’ de ter outras ofertas por perto, e ‘não gostar’ de que estas ofertas estejam mais distantes. (uma loja especializada gosta quando outras lojas se instalam no mesmo shopping, porque trazem clientes em potencial; mas não gostam quando elas se*

*localizam em um shopping concorrente, alguns quilômetros adiante)".*  
(Krugman, 1996)

Portanto, o trabalho de Krugman (1996) afirma que algumas forças centrípetas aproximam as ofertas, e os atratores, porque estas desejam compartilhar uma base de demanda e outras, centrífugas, os dispersam, porque as ofertas competem pela mesma mão-de-obra, localização, e, obviamente, pela mesma demanda.

As forças centrífugas que impulsionam a dispersão seriam o desejo de localização fora da forma urbana compacta e concentrada, além da ampliação de acessibilidade; e as forças centrípetas seriam representadas pelas vantagens locacionais de vários bens localizados conjuntamente.

Assim, a concentração gerada pela força centrípeta depende da procura por externalidades, uma vez que alguns bens procurariam localizações de maior alcance, e a localização melhora onde as atratividades se aglomeram.

Deste modo, a estrutura urbana está em constante evolução e desenvolvimento (Palma, 2011), sendo os processos cumulativos e dinâmicos.

O modelo centro-periferia de Krugman (1996) trata da localização de oferta e demanda por bens no espaço, e o reflexo que os mesmos têm sobre a estrutura urbana. Fujita & Thissé (1996) também auxiliam no entendimento desta questão, pois tratam do equilíbrio da configuração especial das atividades econômicas, que pode ser visto como o resultado de um processo que envolve dois tipos de forças de oposição: força de aglomeração (centrípeta) ou força de dispersão (centrífuga).

A urbanização – e o desigual desenvolvimento regional, que é um processo intimamente relacionado – claramente envolve uma tensão entre forças centrípetas que tendem a atrair a população e a produção para as aglomerações e as forças centrífugas que tendem a dissolver as aglomerações (Krugman, 1996).

Relacionando as repercussões das forças centrípetas e centrífugas com a forma urbana e o seu desempenho, podemos afirmar que as forças centrípetas trazem vantagens naturais das localizações, e que as forças centrífugas trazem mais custos de transporte e desigualdade de valores da terra (medida através do mercado). Estas repercussões no desempenho parecem por vezes limitadas ou pouco perceptíveis, mas por vezes aparece entre as forças que expulsam as atividades em uma grande cidade, como o valor do solo urbano, e aquelas que atraem as atividades para o campo, como a existência de uma zona rural dispersa.

Sendo assim, tanto as forças centrífugas quanto as forças centrípetas apresentam grande influência nas formas urbanas, existindo diversas abordagens analíticas da tensão entre a aglomeração e a dispersão que gera cidades e regiões.

## **2.6 Diferenciação Espacial e Centralidade**

O conceito de diferenciação espacial é de fácil apreensão e seria um componente geográfico, ou a sua diferença, expressa no espaço. Conforme Corrêa (1997), é a diferença, condição essencial, imanente, expressa no espaço, uma vez que é visível tanto nas condições naturais (solo, vegetação, clima) quanto nos aspectos sociais (economia, política, cultura). Dessa maneira, à medida que estes aspectos diferenciam-se no espaço, tem-se como resultado a diferenciação espacial, isto é, o resultado é uma organização distinta do espaço. Para a morfologia urbana, este conceito é empregado de forma a ressaltar que o contrário da existência de padrão é a diferenciação, ou seja, a existência de uma hierarquia na qual alguns espaços se destacam pela sua posição relativa ou pelo número de conexões com os demais espaços adjacentes (Krafta, 1994).

Cabe acrescentar ainda que é um conceito e também uma possibilidade analítica, que será útil nesta investigação, entendida como uma categoria de entendimento da realidade expressa no espaço (Corrêa, 1997).

Krafta (1994) propõe a diferenciação do espaço pela propriedade espacial da centralidade, que viria a ser uma medida de hierarquia espacial que busca identificar o papel que cada elemento do sistema espacial desempenha na conexão possível entre todos os pares de elementos deste sistema.

Centralidade é uma medida de posição relativa, pois se refere à virtude de uma *célula* (vide Anexo A) estar no caminho entre duas outras ou mais em um dado sistema espacial. Dessa forma, num primeiro momento podemos assumir que a medida de centralidade independe da distância, pois apenas envolve posição que as células ocupam em relação a outras; seria, assim, uma medida eminentemente topológica (Krafta, 1994).

Desta forma, o conceito de centralidade parte do princípio de que todo espaço é acessível a partir de qualquer outro espaço, através de um sistema de espaços conectados entre si, e que a distribuição desigual destes espaços, combinada com as características da configuração do mesmo, gera diferenciação espacial. Estes espaços que detêm maior poder de atratividade são os espaços para os quais o modelo todo converge, da mesma forma como ocorre nos modelos gravitacionais anteriormente explanados. Centralidade pode ser definida, assim sendo, como níveis de diferenciação espacial na estrutura considerada, relacionado com a intensidade e atratividade das atividades.



É justamente esta atratividade que faz o sistema convergir, que vem a ser o potencial que os espaços têm de gerar e atrair fluxos. As tensões seriam geradas por uma concentração desigual de atratividades através das células de um sistema. Estas características são novamente referidas por Krafta (2014a), que trata da existência de uma tensão entre cada par de unidades espaciais que corresponde a magnitude de interação entre as atratividades contidas nestas mesmas unidades espaciais.

Podemos considerar então que a centralidade é

*"uma medida morfológica de diferenciação espacial, gerada por tensões entre unidades (...) alocadas em parcelas espaciais discretas e conectadas pelo tecido urbano, sendo considerada mais central a parcela que participa com maior intensidade da rota de ligação mais eficaz entre cada um dos espaços com todos os outros, considerando caminhos preferenciais e atritos de percurso (Krafta, 1994)"*

, seria possível transpor este conceito do espaço intra-urbano para o espaço regional, como realizado em estudos anteriores<sup>8</sup>.

Sendo igualmente uma medida gravitacional, a interação espacial tem princípios muito conhecidos (Wilson, 1970), que envolvem o efeito de atratividade entre atividades interdependentes, de intensidade proporcional ao tamanho das atividades. No entanto, a interação espacial fornece meios para representar o fenômeno quando a diferenciação já está processo de desenvolvimento; a centralidade espera desenvolver-se a partir de um sistema, resultando em um processo de diferenciação espacial, funcional e morfológica.

Ao existir uma tensão entre qualquer par de espaços, ou seja, uma probabilidade de ocorrência de interação, proporcional aos atributos de ambos e ao número de espaços existentes no caminho mínimo, as tensões podem ser atribuídas a todos os espaços intersticiais. Estes espaços intersticiais têm um valor atribuído, que é a soma de todas as tensões intermediárias após todos os pares de caminhos mínimos do sistema serem calculados. A centralidade é, assim, a posição de cada cidade em um ranking dos espaços intersticiais.

Fica claro que a centralidade é um padrão de especialização funcional do sistema, resultante da interação de forças de atratividade que fazem o sistema cooperar e concorrer, fazendo com que aglomeração e multipolarização sejam duas faces de um mesmo processo.

---

<sup>8</sup> Espínola (2002), tratou deste assunto na Dissertação de Mestrado intitulada "Configuração Espacial e Hierarquia Urbana - Rede de cidades no Paraná".

Esta especialização funcional do sistema pode ser descrita como uma diferenciação morfológica, resultante de um processo de interação espacial, potencializada pela configuração do sistema.

Desta forma, o espaço regional poderia ser representado e diferenciado de maneira sintética e operacional, de suas conectividades e da medida de centralidade.

## **2.7 Conclusões acerca do referencial teórico**

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.

Esta forma urbana que a cidade pode assumir está condicionada às forças existentes na cidade, que podem tanto impulsionar o seu crescimento para fora de seu espaço urbanizado atual (força centrípeta), quanto podem promover uma maior concentração (força centrífuga). A repercussão que tais forças têm sobre a forma de uma cidade está relacionada com as localizações de atratores dentro da cidade, que podem promover um crescimento em uma determinada direção, dispersando ou concentrando.

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

Em um sistema espacial urbano, portanto, as forças centrípetas e centrífugas geram diferenciação e hierarquia espaciais internas, fato este já explorado anteriormente (Krafta, 1994). Mas ainda residem lacunas na questão do quanto estas forças podem ser influenciadas por vetores externos à questão intraurbana, ou seja, o quanto o sistema regional pode estar influenciando a existência destas forças intraurbanas.

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.

Temos então uma região onde as cidades crescem e assumem formas distintas, e estas formas são tanto impulsionadas por forças internas existentes nas cidades e dependentes de fatores locais, quanto pela sua própria localização nesta região.

O desafio do entendimento de quais forças se sobressaem neste jogo que molda as formas urbanas em uma região é a alavanca desta pesquisa.

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.

Diversos geógrafos vêem a cidade como “*sistemas dentro de sistemas de cidades* (Buzai, 1993), demonstrando que o desenvolvimento de qualquer cidade não poderia ser separado de suas interações com outras áreas urbanas, mesmo se as cidades, entendidas como sistemas complexos, possam ser modelados como a emergência de interações entre entidades urbanas que são geralmente consideradas como *background* de um modelo, justamente porque as interações interurbanas podem interferir diretamente na dinâmica da própria cidade, e é definida de acordo com a posição relativa da cidade em um sistema regional (Pumain, 2008).

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 urbanização – e o desigual desenvolvimento regional, que é um processo intimamente relacionado – claramente envolve uma tensão entre forças centrípetas que tendem a atrair a população e a produção para as aglomerações e as forças centrífugas que tendem a dissolver as aglomerações (Krugman, 1996).

Relacionando as repercussões das forças centrípetas e centrífugas com a forma urbana e o seu desempenho, podemos afirmar que as forças centrípetas trazem vantagens naturais das localizações, e que as forças centrífugas trazem mais custos de transporte e desigualdade de valores da terra (medida através do mercado). Estas repercussões no desempenho parecem por vezes limitadas ou pouco perceptíveis, mas por vezes aparece entre as forças que expulsam as atividades em uma grande cidade, como o valor do solo urbano, e aquelas que atraem as atividades para o campo, como a existência de uma zona rural dispersa.

Sendo assim, tanto as forças centrífugas quanto as forças centrípetas apresentam grande influência nas formas urbanas, existindo diversas abordagens analíticas da tensão entre a aglomeração e a dispersão que gera cidades e regiões.

Esta forma urbana que a cidade pode assumir está condicionada às forças existentes na cidade, que podem tanto impulsionar o seu crescimento para fora de seu espaço urbanizado atual (força centrípeta), quanto podem promover uma maior concentração (força centrífuga). A repercussão que tais forças têm sobre a forma de uma cidade está relacionada com as localizações de atratores dentro da cidade, que podem promover um crescimento em uma determinada direção, dispersando ou concentrando.

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.

Temos então uma região onde as cidades crescem e assumem formas distintas, e estas formas são tanto impulsionadas por forças internas existentes nas cidades e dependentes de fatores locacionais, quanto pela sua própria localização nesta região.

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.

### 3. MODELOS GRAVITACIONAIS, DE INTERAÇÃO ESPACIAL E DE CENTRALIDADE

O propósito aqui é discutir a classe de modelos que fazem referência particular ao sistema regional, como forma de embasamento para o modelo de tensão regional.

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.

Prosseguindo, são discutidos os modelos de centralidade, que servem como embasamento para a questão da posição relativa que as cidades assumem no sistema regional.

Por fim, são considerados os modelos de tensão regional e sua concepção e calibragem.

#### 3.1 Modelos Gravitacionais e de Interação Espacial

As ideias de Christaller (1966) e Losch (1944), são essenciais para estudar as teorias locais até os dias atuais, mas Reilly (1931) também contribuiu com o tema, inspirado pelas *leis gravitacionais* (vide Anexo A), para criar uma aplicação do modelo gravitacional que medisse trocas entre duas cidades.

Modelos gravitacionais são o tipo mais utilizado de modelos de interação, utilizados para analisar padrões de interação espacial, e tornam operacional a ideia de localização relativa e não apenas absoluta (Haining, 1982). Expressam interação entre dois lugares a partir de uma função que relaciona a população dos dois locais e a distância entre eles:

$$S_{ij} = k \frac{P_i P_j}{D_{ij}}$$

onde  $S_{ij}$  = interação espacial entre  $i$  e  $j$ ;  $k$  é constante;  $P_i$  é população em  $i$ ;  $P_j$  é população em  $j$ ;  $d_{ij}$  é distância entre  $i$  e  $j$

Baseados no conceito de interação espacial, os modelos de interação espacial podem descrever os fluxos de pessoas ou bens de origens  $i$  para destinos  $j$ , para um sistema sócio-espacial com  $n$  entidades espaciais. Em geral, a distribuição de fluxos ocorre baseado no potencial de cada origem de gerar viagens com vistas à atratividade de diferentes destinos e na medida de *impedância* (vide Anexo A) que alterna cada par  $(i,j)$  origem-destino. A impedância é caracterizada como uma medida que manifesta os efeitos contrários ao alcance do destino ou da extensão da viagem do fluxo. Esta descrição é consistente com a ideia de representar vetores relacionais entre pares de cidades, proporcionais à hierarquia das mesmas no que diz respeito a trocas e influência mútuas.

Uma expressão geral para um modelo de interação espacial é dada por:

$$T_{ij} = f(\text{variáveis em } i \text{ e } j; \text{separação espacial entre } i \text{ e } j)$$

onde a variável dependente  $T_{ij}$  representa o fluxo entre as zonas  $i$  e  $j$  no intervalo de tempo considerado.

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.

Wilson (1970) estende a segunda lei da termodinâmica<sup>9</sup> para a análise dos fenômenos de interação espacial. Ao maximizar a atratividade de um sistema de espaço, é obtido um conjunto de padrões de interação, onde a gravidade é uma formulação particular, e onde existiriam interdependências mútuas, resolvido de forma iterativa.

Considera-se um sistema espacial representado por uma matriz de interações  $n \times m$  entre  $T_{ij}$ , uma série de origens  $i$  ( $i = 1 \dots n$ ) e uma série de locais de  $j$  ( $j = 1 \dots m$ ). A matriz poderia representar, por exemplo, as localizações de emprego e moradia. O fator desconhecido é a população de cada localização, que busca o emprego diariamente na localização  $j$  (ou seja, o  $T_{ij}$ ). O princípio da entropia é utilizada para determinar a configuração mais provável de viagens  $t_{ij}$ . O número de maneiras em que os indivíduos podem ser distribuídos ao  $T_{ij}$  é:

$$S(T_{ij})^n = \frac{T!}{P!P_j!I_{ij}!}$$

onde  $S$  é a entropia do sistema, e  $T = P$ .

Existem três conceituações diferentes de entropia, e que ampliam sua aplicabilidade nos modelos de interação espacial: entropia relacionada à probabilidade e incerteza, entropia de uma distribuição de probabilidade, e entropia de estatística subjetivista (Dennett & Wilson, 2013). A mais amplamente utilizada, e que será levada à aplicação nesta pesquisa, é a entropia relacionada à probabilidade e incerteza.

Wilson contribuiu grandemente para os estudos de modelos de interação espacial, e relata que para termos modelos "ótimos" de interação espacial, a formulação seria mais complexa e se torna difícil a apreensão correta e o manejo de todas as variáveis envolvidas. Sugere que sejam trabalhados modelos "bons" de interação espacial, que exigiriam simplificações, sempre procurando racionalizar as variáveis utilizadas. Podem ser simplificadas as variáveis

---

<sup>9</sup> A segunda lei da termodinâmica ou segundo princípio da termodinâmica expressa, de uma forma concisa, que "a quantidade de entropia de qualquer sistema isolado termodinamicamente tende a incrementar-se com o tempo, até alcançar um valor máximo". Mais sensivelmente, quando uma parte de um sistema fechado interage com outra parte, a energia tende a dividir-se por igual, até que o sistema alcance um equilíbrio térmico (Prigogine, 1977).

de origem, ou as variáveis de destino. alterando sua influência no modelo, se necessário (Wilson, 2002).

Sendo assim, podem ser trabalhadas diferentes variáveis como função geradora dos fluxos envolvidos na interação espacial. As variáveis mais utilizadas são as populações nas cidades de origem e destino, mas qualquer variável que envolva atratividade pode ser utilizada. É sabido que a atratividade se torna menos importante e a localização, mais importante, quanto mais os fluxos forem condicionados (Wilson, 2002).

Haining (1982) diz que o problema dos modelos de interação espacial é gerar modelos probabilísticos que descrevam uma larga classe de realidades, ou configurações que reflitam algum grau de conexão com interações existentes.

Sendo assim, o condicionamento do modelo é importante para aproximar o modelo da realidade, trabalhando com um sistema de variáveis mais fechado e coeso. Podem ser trabalhadas situações, como por exemplo: a origem condiciona o fluxo, ou o destino condiciona o fluxo, dentre outras (Dennett, 2012).

Para isto, calibra-se o modelo com o cálculo de valores constantes nas equações, bem como os *fatores de balanceamento* (vide Anexo A); para este cálculo, existe certa dificuldade em um modelo condicionado, pois um fator (A) depende do outro (B), solucionada com rotinas iterativas, que convergem na correção de seus próprios valores durante a *iteração* (vide Anexo A).

$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j D_{ij} f(d_{ij})}$$

$$B_j = \frac{1}{\sum_i A_i O_{ij} f(d_{ij})}$$

Testes e calibragem do modelo podem ser considerados ensaios sobre a interação espacial que se materializa, quando se tem um sistema existente a comparar, e podem ser utilizados como parâmetros, reduzindo a necessidade de testes isolados da estrutura espacial (Haining, 1982). Duas situações são as mais utilizadas: quando a estrutura de um modelo estático pode ser relacionada com os atributos da situação geográfica para que ele possa ser utilizado para fins de cálculo e de previsão, ou onde a geratriz do processo espacial e temporal do modelo parece compatível com os processos que geram os dados geográficos.

Em se tratando de sistemas urbanos ou sistemas regionais, podemos dizer que as interações são formadas por elementos distintos, que estão distribuídos e se movimentam pelo espaço, se comunicam entre si, se atraem e se repelem mutuamente (Wilson, 1970).

São muitas as variações encontradas para os modelos de interação espacial. Podemos generalizar entre modelos sem condicionantes e modelo condicionado (Dennett, 2012).

O modelo sem condicionante (“unconstrained”) não apresenta restrições e fornece uma multiplicação simples das variáveis envolvidas. Utilizado especialmente quando temos variáveis finitas de origens e destinos:

$$S_{ij} = k O_i D_j d_{ij}^{-\beta}$$

O modelo condicionado (“doubly constrained”), assim chamado pois as variáveis estimadas são forçadas a somar com as demais variáveis, chegando assim a duas constantes. Utilizado quando temos sistemas de variáveis de origens e destinos:

$$S_{ij} = A_i B_j O_i D_j e^{-\beta c_{ij}}$$

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).

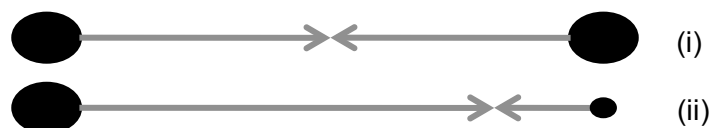
Haggett (1979) explicita que pode-se definir a localização de uma borda entre dois centros utilizando o modelo gravitacional, ao assumir que entre duas cidades exista uma dada separação física, estimando o chamado ponto de quebra.

$$B_{ij} = \frac{D_{ij}}{1 + \sqrt{\frac{M_i}{M_j}}}$$

onde  $B_{ij}$  = ponto de quebra,  $D_{ij}$  é a distância entre as duas cidades e  $M_i$  e  $M_j$  é o potencial de atratividade de cada cidade.

A equação mostra que o ponto de quebra ocorreria na metade da distância geométrica quando a atratividade que cada cidade oferecer for igual (i), mas quando temos uma diferença no que cada cidade tem a oferecer, o ponto de quebra se desloca (ii) (Figura 06).

Figura 06 - Ponto de quebra na relação entre duas cidades separadas pelas mesmas distâncias geométricas, mas de iguais atratividades (i) e diferentes atratividades (ii).



Fonte: da autora.



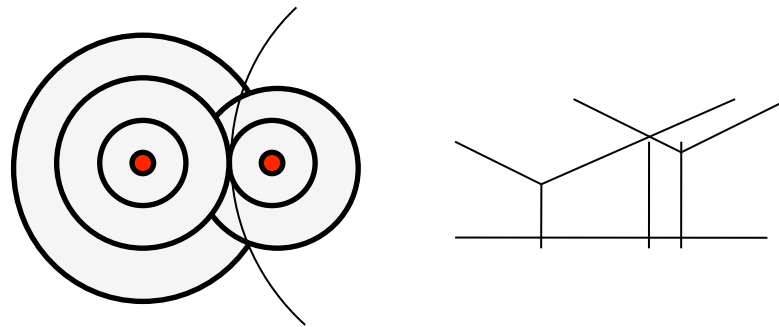
O ponto de quebra atesta se um equilíbrio simétrico tende a ser estável ou não. Fujita, Krugman e Venables (1999) o definem como crítico no espaço que separa casos onde o equilíbrio simétrico entre duas cidades não está definido como estável ou instável. Uma outra situação abordada pelos autores dá conta 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 07).

Figura 07 - 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: da autora.

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, e cada uma contendo sua bagagem de população e atratividade, gerando equilíbrios múltiplos distintos em simetria e inconstantes no tempo.

### 3.2 Modelos Gravitacionais e Modelos de Centralidade

O modelo de centralidade se torna relevante para fins desta discussão, pois é derivado do modelo de Freeman (1977) (intermediação ou *betweenness*)<sup>10</sup>, e considera efeitos de distância e de carregamento das entidades, a partir de modelos gravitacionais, e é essencialmente (I) exploratório, pois busca entender aspectos relevantes do sistema urbano ou regional; e (II) determinístico, pois a partir de um determinado conjunto de dados ele apresenta um único resultado. Entretanto, o modelo pode ser usado em análises preditivas, para avaliar impactos. Assim, ao alterar os dados de entrada do modelo, relativos às características de cada componente do sistema, é possível observar alterações nos resultados.

O modelo genérico de centralidade está expresso como, em primeiro lugar, a centralidade de uma célula em relação a duas outras como sendo a soma das vezes em que ela aparece no, ou nos, caminho(s) mínimo(s) existente(s) entre elas, ponderado pela extensão deste(s) caminho(s). O cálculo assume uma tensão convencionada no valor 1 entre cada par,

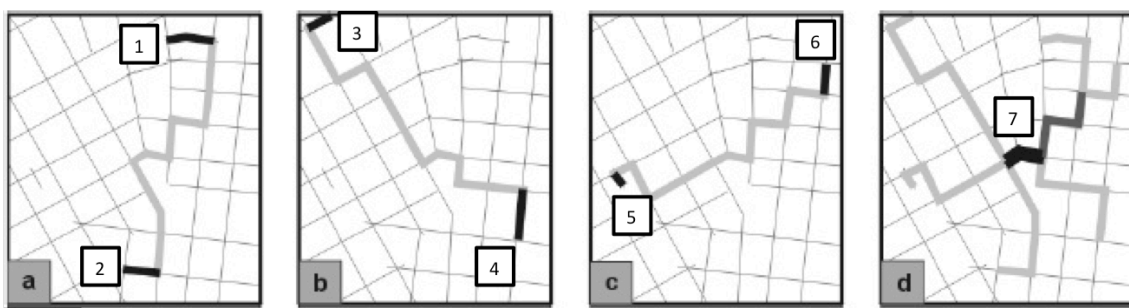
<sup>10</sup> Desenvolvida por Linton Freeman, a intermediação pode ser entendida como uma medida de centralidade de um nó em um sistema, sendo igual aos caminhos mínimos de todos os vértices para quaisquer outros vértices que passam por aquele nó (Freeman, 1977), uma medida popular para tratar de sistemas complexos.

distribuída em frações iguais a todos as células que aparecem no caminho mínimo. Em segundo lugar, a centralidade integral assume um somatório de todas as frações de tensão atribuídas à célula, relativas a todos os pares de células do sistema (Krafta, 1994).

A medida de centralidade é calculada através da soma de duas “tensões”: A tensão interna ( $t^i$ ) (*inner tension*) é aquela originada das tensões entre células intermediárias localizadas no mesmo espaço. A segunda é a tensão criada por células localizadas em espaços diferentes, o que cria o conceito de “*betweenness*”. Assim, para cada par de células (na verdade, para cada par de espaços intermediários, com a quantidade de células como atributos) é (são) calculado(s) o(s) caminho(s) mínimo(s). O produto dos atributos das células é então distribuído de forma igualitária por todos os segmentos que compõem o(s) caminho(s) mínimo(s). Cada espaço, portanto, tem seu índice de centralidade calculado pela soma da sua própria tensão interna com o somatório das porções de tensão atribuídas por todos os caminhos mínimos do qual ele faz parte (Krafta, 1994).

O resultado entre essas tensões existentes em cada par é distribuído igualmente a todas as células pertencentes aos caminhos mínimos que forem centrais a estes dois pontos que estão sendo submetidos a esta tensão (Saboya, 2001). A Figura 08 ilustra esta situação, quando apresenta um sistema espacial e situações diferentes de origens e destinos. Em (a), temos o caminho mínimo entre os pontos 1 e 2; em (b), o caminho mínimo entre 3 e 4 e em (c), entre os pontos 5 e 6; em (d), temos a sobreposição de todos os caminhos mínimos, e estão demarcados em 7 os trechos que se sobrepuseram a todos os caminhos mínimos, ou seja, são os mais centrais do sistema espacial apresentado.

Figura 08 - Distribuição relativa do potencial de centralidade de células em um dado sistema.



Fonte: adaptado de Saboya (2001).

O modelo de centralidade assume, portanto, que cada célula pode conter atratores (cidades que abrigam funções ou atividades que exerçam atração), que influenciariam a centralidade. Considerando um par qualquer de células, assume-se que a tensão entre elas pode ser um valor qualquer, maior do que o ‘um’ previamente convencionalizado, resultado de suas atratividades. Nessas condições o valor de ‘t’ deixa de ser ‘um’ e passa a ser o produto dos atributos das células. A fórmula geral desse modelo é a que segue, onde se lê ‘*centralidade*

de  $k$  igual ao somatório das frações de tensão  $T$  entre todos os pares atribuídas a  $k$ , sendo essas tensões o produto das atratividades  $A$  dos pares, dividido pelo número  $m$  de células do caminho mínimo' (Krafta, 1994).

$$C_k = \sum_{1 \gg n} T_{ij}^k$$

$$T_{ij}^k = \frac{A_i A_j}{m_{ij}}$$

Podemos relacionar o modelo de centralidade com os modelos gravitacionais. Partimos do princípio que o modelo de centralidade é um modelo de diferenciação espacial baseado em conectividades, distâncias e interações entre espaços urbanos, e que gravidade é uma força de atração que será tanto maior quanto maior for a distância.

A centralidade considera a distribuição desigual de localizações, orientando-se pelas diferenças entre oferta e demanda típicas de cada localização e quantidade de atratividade que oferece.

Segundo Krafta (1994), a medida de centralidade demonstra espaços com características de maior acessibilidade e de atividades com melhor poder de atratividade aos usuários.

Estes espaços com maior poder de atratividade são os espaços para os quais o modelo todo converge, da mesma forma como ocorre na gravidade, que é justamente a força de atratividade para a qual tudo afluí.

Ambos são convergentes no sentido de que são propriedades globais que dependem das posições relativas, e tratam da atratividade que determinados espaços exercem sob um sistema.

O modelo genérico de centralidade pode evoluir para uma situação em que os conteúdos, ou atratividade das células sejam considerados (Krafta, 2014a). Estas evoluções consistem na proposição dos modelos de centralidade ponderada, do modelo de oportunidade espacial, do modelo de *convergência* (vide Anexo A), e do modelo de potencialidade.

Existe uma certa lógica que demonstra as razões de alguns espaços serem mais atrativos do que outros.

Cada atividade existente no espaço urbano apresenta um poder de captura de certo fluxo, ou seja, cada oferta apresenta um raio de abrangência de demanda diferente, determinando assim a lógica de localização das atividades no espaço.

O modelo de potencialidade permite avaliar a distribuição relativa provável da demanda, em relação a oferta existente, através de centralidade. Assume que aqueles espaços públicos adjacentes aos pontos de oferta mais bem localizados tenderão a capturar um potencial

virtual de também sediar algum tipo de oferta, pois também capta um valor relativamente alto de demanda.

Assume que alguns espaços públicos são frequentemente localizados entre o par de oferta e demanda dentro de um dado sistema. A localização de atividades atratoras é um grande influenciador deste par, já que quanto mais atratora de oferta, maior quantidade de demanda atrairá.

Desta maneira, a aglomeração e a polarização de atividades no espaço urbano se beneficiam de tal fato, pois esta lógica possibilita maior proximidade dos clientes e de outros serviços, tornando a acessibilidade geral mais facilitada.

O modelo de centralidade vem sendo testado com relação a variáveis do sistema urbano e oferece boas correlações com as que indicam graus de intensidade de interação espacial urbana (fluxo, uso do solo, etc.).

Desta forma, o espaço regional poderia ser representado e diferenciado de maneira sintética e operacional, de suas conectividades e da medida de centralidade.

### **3.3 Conclusões acerca dos modelos abordados**

Neste capítulo foram tratados sobre os modelos gravitacionais, de interação espacial e de centralidade, com o objetivo de avaliar as ferramentas existentes e que podem embasar a modelagem de fluxos e tensões no território.

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) (Gershmel, 1970).

Esta análise acerca dos modelos existentes se mostra essencial para avaliar quais os modelos 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), com destaque para os modelos com maximização de

entropia, enquanto os modelos de centralidade são interessantes pela possibilidade de avaliar a hierarquização e diferenciação em escalas diferentes, tratando-se da atratividade exercida pelos sistemas espaciais considerados.

#### **4. MODELO DE TENSÃO REGIONAL BASEADO EM MODELOS DE INTERAÇÃO ESPACIAL E ROTEIRO METODOLÓGICO PROPOSTO**

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 predizer fluxos, enquanto a tensão visa predizer 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 (vide Anexo A) que representam cada cidade do sistema regional.

A medida em questão difere das demais medidas que vêm sendo utilizadas por Krafta (2001, 2014a), por se tratar de uma medida de tensão, não de polarização.

As regras são definidas de acordo com modelos anteriores, conceitos e concepções teóricas que definem quais são os elementos e variáveis centrais para o sistema que se busca modelar.

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.

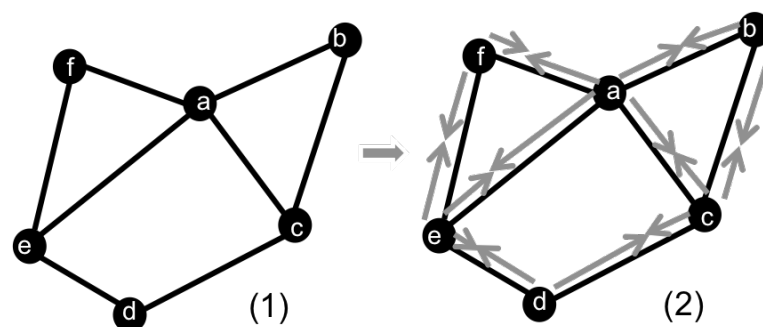
Ou seja, não basta hierarquizar o sistema tratado, deve ser extraída uma medida de tensão, derivada da interação, a qual constitui uma força que interfere na estrutura interna das cidades na forma urbana ao longo de um dado período de tempo.

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 a quantidade de atratividade existente em  $j$  e inversamente proporcional a 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.

Nos modelos de interação espacial, o fluxo entre as zonas de origem e destino é uma função explícita da distância. A impedância entre as zonas é caracterizada pela separação espacial entre elas (quanto maior a distância, maior a impedância, embora esta não seja considerada apenas como distância propriamente dita, podendo ser tempo de viagem ou qualidade da modalidade de transporte), ainda assim as oportunidades intervenientes entre o par  $(i, j)$  de origem-destino não são levadas explicitamente em consideração. A impedância foi, assim, considerada na distância geométrica entre as duas cidades de cada par de interação, e varia com a outra, embora não de forma proporcional, pois existem parâmetros de calibragem (considerados como o tempo de viagem e a qualidade da ligação entre o par de cidades) que atenuam ou incentivam a variação.

No modelo de tensão regional, o entendimento básico é de que a tensão entre as cidades é determinada pela potencialidade das atividades 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 09 ilustra um *grafo* (vide Anexo A) 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 09 - Representação esquemática de um grafo com interações entre as zonas de origem e destino, de acordo com a sua atratividade.



Fonte: da autora.

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:

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j e^{-(V_{ij}-b C_{ij})}, i, j = 1, 2, \dots, n$$

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  $j$ ;

$O_{ij}$  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.

$l, b$  são parâmetros a calibrar;

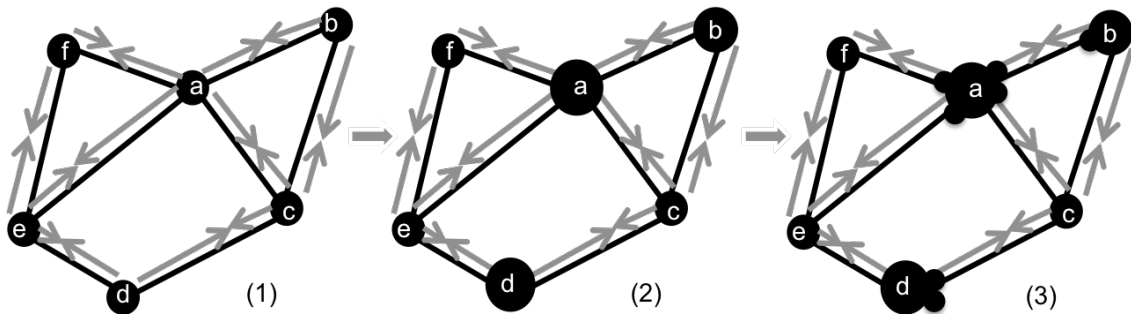
$$A_i = \left[ \sum_j B_j D_j e^{-(W_{ij}-b C_{ij})} \right]^{-1}$$

$$B_j = \left[ \sum_i A_i O_i e^{-(W_{ij}-b C_{ij})} \right]^{-1}$$

$W_{ij}$  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 10, 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 10 - 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: da autora.

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  $j$ .

Considera-se um sistema espacial representado por uma matriz  $T_{ij}$  entre interações  $n \times m$  como número de origens ( $i = 1 \dots n$ ) e um número de localizações  $j$  ( $j = 1 \dots m$ ). A matriz poderia representar, por exemplo, as localizações de emprego e residências. O fator desconhecido é a localização de cada população que procura as localizações  $j$  diariamente ( $T_{ij}$ ). O princípio da entropia é usado para determinar a configuração mais desejada de tráfego  $t_{ij}$ . O número de maneiras nas quais os fluxos podem ser determinados é  $S$ , que seria a entropia do sistema (Dennett, 2012) (Tabela 02).

Tabela 02 – Exemplo de matriz de origens e destinos do sistema.

Origem i	Destino j	Atratividade	Distância dij	Impedância Cij
Cidade 1	Cidade 2	3	32,1	2
Cidade 1	Cidade 3	2	12,7	1
Cidade 1	Cidade 4	4	44,8	1,5
Cidade 1	Cidade 5	6	43,3	1,25
Cidade 1	Cidade 6	1	25,1	1
...	...	...	...	...

Fonte: da autora.

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.

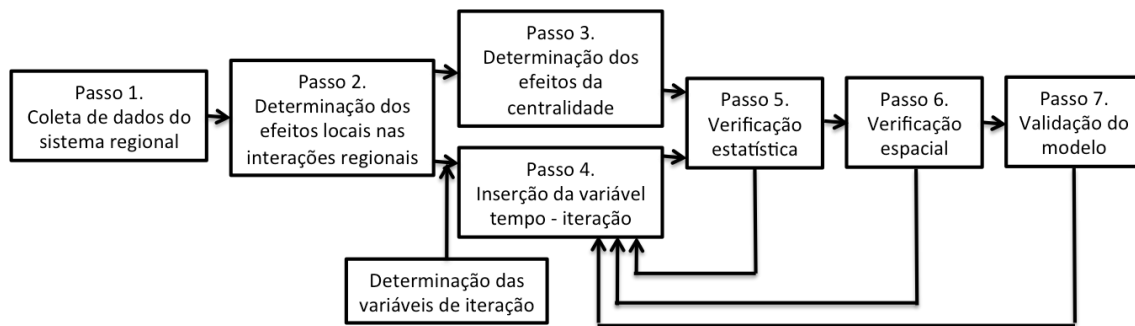
As cidades devem ser relacionadas de alguma maneira, porque pertencem à mesma distribuição estatística, envolvendo uma determinada taxa de crescimento médio e desvio padrão, a qual gera uma implícita dependência entre elas (Pumain, 2003).

#### 4.1 Roteiro Metodológico Proposto

O modelo de tensão regional se constitui em uma das etapas para verificação da influência do sistema regional sobre as cidades. O procedimento analítico envolve os seguintes passos: (1) cálculo da medida de tensão regional para os tempos  $t_0$ ,  $t_1$  etc; (2) cálculo das medidas configuracionais espaciais regionais e intraurbanas; (3) verificação da congruência entre as evoluções das medidas de tensão regional e medidas configuracionais, que podem validar o procedimento analítico.

Sendo assim, o roteiro metodológico atende a 7 passos, seriados, que podem exigir a realimentação de algumas informações. O Passo 1 é a coleta de dados do sistema regional considerado, seguido pelo Passo 2, que seria a determinação dos efeitos locais nas interações. O Passo 3 e o Passo 4 envolvem a determinação das variáveis de iteração  $\alpha$  e  $\beta$ . Os passos seguintes são os de verificação: Passo 5, verificação estatística, Passo 6, verificação espacial, e Passo 7, validação do modelo (Figura 11).

Figura 11 – Passo a passo do roteiro metodológico.



Fonte: da autora.

O Passo 1 tem início com a determinação do sistema regional a ser trabalhado, qual a sua dimensão, quantas cidades compõem o sistema, qual o período de tempo a ser considerado, quais as variáveis a serem utilizadas (por exemplo: população, educação, saúde etc.) e quais as fontes de dados disponíveis. Este passo tem como objetivo tratar do recorte espacial, o que comumente gera imperfeições no modelo por estarmos tratando de espaço contínuo. O ideal é estabelecer uma metodologia para que o recorte seja efetuado, como por exemplo, a área de influência de uma cidade sobre as outras, uma aglomeração urbana ou região metropolitana, etc.

Após, inicia-se a coleta de dados do sistema regional, que envolve a pesquisa em fontes secundárias de dados sobre as cidades envolvidas (Tabela 03).

Tabela 03 – Exemplo de tabela de dados das cidades componentes do sistema.

	t0				t1
Cidade	População	Educação	Saúde	...	...
Cidade 1	10.000	500	100	...	...
Cidade 2	20.000	700	150	...	...
Cidade 3	15.000	550	110	...	...
...	...	...	...	...	...

Fonte: da autora.

O ideal é que sejam coletados todos os dados possíveis que podem estabelecer uma relação de hierarquia ou atratividade de uma cidade sobre as demais cidades envolvidas.

De posse de uma tabela completa contendo os dados do sistema regional, tem início o Passo 2, que representa o início do cálculo da medida de tensão regional, e significa a determinação dos efeitos locais nas interações regionais.

Esta determinação de efeitos locais trata da transformação de dados estáticos, ou que se referem às cidades de origem e destino, em dados que podem ilustrar o fluxo existente entre as duas cidades.

A interação espacial se destaca em importância nas ciências da geografia justamente pela estimativa de fluxos entre localidades, ou cidades, desde que estes fluxos, conhecidos como interações espaciais, permitam avaliar a demanda (real ou estimada) para certas ocorrências (Gershmel, 1970). Fluxos aqui serão tratados como um movimento de pessoas estimado e baseado em dados reais, de uma cidade de origem para uma cidade de destino, sendo a relação de oferta e demanda expressa em um espaço geográfico.

As estimativas de fluxos devem ser realizadas com a ponderação de dados reais para a calibragem e veracidade das informações estimadas.

Nesta etapa, calcula-se a interação espacial considerando a impedância, onde são transformados dados de uma cidade de origem, para uma cidade destino, em formato de origem-destino. Neste caso, o importante é ter como resultado final uma matriz contendo a informação do fluxo gerado por cada variável (por exemplo: o fluxo gerado da Cidade 1 para a Cidade 2 em busca de educação é 8) (Tabela 04).

Tabela 04 – Exemplo de matriz de variáveis das cidades de origem e destino componentes do sistema.

	t0				t1
Educação	Cidade 1	Cidade 2	Cidade 3	...	...
Cidade 1	0	8	5	...	...
Cidade 2	12	0	1	...	...
Cidade 3	10	7	0	...	...
...	...	...	...	...	...

Fonte: da autora.

Neste momento, é importante proceder o cálculo de determinação das variáveis de iteração, que seriam as constantes  $\alpha$  e  $\beta$ , importantes para os passos seguintes do modelo. Variáveis de iteração devem existir para tornar o modelo mais confiável, justamente por envolver a estimativa de dados.

O Passo 3 envolve a determinação dos efeitos que a centralidade tem sobre o sistema regional, ou seja, o quanto a centralidade ajuda a explicar a tensão regional do sistema. Este procedimento é realizado em duas escalas: regional e intraurbana.

O conceito de centralidade utilizado na escala regional é o da Centralidade Freeman, ou seja, utiliza somente a ideia mais direta de centralidade: posição relativa do *vértice* (vide

Anexo A). Um vértice é central na medida em que este fica entre muitos outros vértices, no sentido de que este é perpassado por muitos dos menores caminhos entre pares de vértices. A centralidade de um vértice é definida pela constância com que o mesmo serve de intermediário para as relações entre os demais vértices da rede. Isto equivale a dizer que o vértice não é importante por si só, mas pelo papel que desempenha para os outros (Faria, 2010).

Como resultado, obtém-se uma tabela contendo o dado da Centralidade Freeman para cada cidade origem e destino do sistema regional.

Na escala intraurbana, foi utilizado o conceito de centralidade Freeman-Krafta, que agrega ao conceito estabelecido por Freeman a ideia de tensão e distância. Por tensão, entende-se a relação entre um par de vértices e é expressa pelo produto dessa relação, onde cada vértice tem um carregamento de informações. Por distância entende-se a extensão do caminho mínimo entre esse par de vértices, considerando que, quanto maior o caminho mínimo, menor a centralidade de cada vértice perpassado, já que o valor dessa tensão é dividido pelo número de vértices perpassados. O valor agregado da tensão pelo número de vértices determina a centralidade de cada vértice (Faria, 2010).

A partir daí, é gerada uma tabela com os valores de Centralidade Freeman-Krafta para cada sistema intraurbano, e o deslocamento da centralidade por período de tempo considerado.

O Passo 4 dá andamento ao cálculo da medida de tensão regional, e procede o cálculo de determinação dos efeitos locais nas interações regionais para todos os períodos de tempo considerados, ou seja, são calculadas as diferenças por período de tempo  $t_0$ ,  $t_1$  (por exemplo,  $t_1 - t_2$ ), cujo objetivo é verificar a lacuna que pertence ao período de tempo considerado.

A seguir, temos a verificação estatística, que no Passo 5, busca compreender o quanto a medida de tensão regional é explicativa das interações espaciais existentes no sistema considerado. Como resultado deste passo, temos uma matriz obtida contendo os dados de medida de tensão regional para cada par de cidades considerado (Tabela 05).

Tabela 05 – Exemplo de matriz de variáveis das cidades de origem e destino componentes do sistema, por ano considerado.

	Ano 1				Ano 2
Tensão regional	Cidade 1	Cidade 2	Cidade 3	...	...
Cidade 1	0	4,3	5,2	...	...
Cidade 2	20,8	0	1,4	...	...
Cidade 3	13,6	9.7	0	...	...

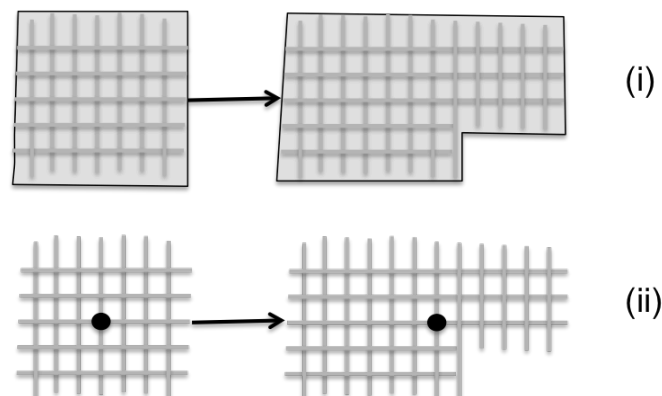


Fonte: da autora.

Este é o passo mais árduo do modelo de interação regional, e onde podem ocorrer problemas na aplicação do modelo, especialmente em função das variáveis consideradas. Caso ocorra algum problema nos cálculos considerados, devem ser reavaliados os efeitos locais, retornando ao passo anterior.

O Passo 6 ilustra graficamente os resultados obtidos, e tenta traçar uma relação com o território do sistema espacial considerado. Neste passo também tenta-se estabelecer uma relação entre a medida de tensão e as medias configuracionais. Existem duas informações importantes a serem extraídas deste passo: o aumento da área urbanizada por período de tempo por cidade, e o deslocamento da centralidade por período de tempo na escala intraurbana (Figura 12). Além disso, são realizadas as espacializações das medidas já calculadas, possibilitando a visualização dos vetores que tensionam o sistema regional. Caso ocorra algum problema nos mapas, devem ser reavaliados os efeitos locais, retornando aos Passos 3 e 4.

Figura 12 – Verificação espacial. Em (i), aumento da área urbanizada; em (ii), deslocamento da centralidade na escala intraurbana.



Fonte: da autora.

A validação final do modelo ocorre no Passo 7, quando são realizadas correlações que buscam verificar o quanto a medida de tensão regional é explicativa em duas escalas: (I) regional - do aumento de área urbanizada por período de tempo, e (II) intraurbana - do deslocamento da centralidade Freeman-Krafta por período de tempo. O resultado da validação são as correlações obtidas e comparativas entre as medidas.

#### 4.2 Conclusões acerca do roteiro metodológico

Conforme já mencionado, o modelo de tensão regional é um modelo condicionado de interação espacial (Wilson, 1970), a fim de facilitar o processo iterativo dos períodos de

tempo considerados, necessários para se fazer perceptíveis as alterações nas formas urbanas e nos aumentos de áreas urbanizadas das cidades componentes do sistema regional considerado. Também compõem o modelo de tensão regional as variáveis impedância e entropia (Wilson, 1970), o que possibilita a melhor avaliação das dificuldades que o sistema impõe à concretização das interações espaciais.

Uma das potencialidades da modelagem estatística é justamente o fato de que variáveis explanatórias possam ser facilmente incorporadas no modelo. Por exemplo, Dennett (2012) incorpora variáveis de contiguidade “*dummy*” em um modelo de migração baseado em interação espacial para melhorar o ajuste em razão da maior facilidade de migração para zonas contíguas, possibilitando testar uma gama de diferentes variáveis de previsibilidade.

Como qualquer modelo, é extremamente importante avaliar a dependência do mesmo da veracidade e confiabilidade dos dados obtidos, e também da comparação com o sistema considerado, tal qual é proposto na etapa de verificação estatística e espacial do modelo, e neste sentido, as matrizes de fluxos podem ser analisadas de forma a possibilitar o retrato de estruturas maiores e mais robustas.

O cálculo dos parâmetros por cada período de tempo considerado permite a comparação entre os períodos e sua evolução, e especialmente a comparação desta evolução com a realidade do crescimento das cidades.

Como possibilidades, podem ser reavaliadas as ponderações realizadas com as variáveis, verificando se as correlações podem melhorar caso seja ponderado algum fator com maior peso do que os demais. Este fato pode ilustrar quais são as variáveis que realmente impactam uma região no que diz respeito aos fluxos realizados no território.

A validação do roteiro metodológico ocorre de acordo com a comparação obtida entre a medida de tensão regional e as medidas configuracionais (centralidade Freeman e centralidade Freeman-Krafta). Esta verificação pode ser visualizada no território e assim, facilitar a validação do roteiro.



## 5. 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 estudo, são identificadas hierarquias dos centros urbanos, para a qual foram considerados elementos importantes: a classificação dos centros de gestão do território, a intensidade de relacionamentos, e a dimensão da região de influência de cada centro. Nesta hierarquização, as cidades foram classificadas pelo estudo em metrópoles, capitais regionais, centros sub-regionais, centros de zona e centros locais. Santa Maria, na região central do estado do Rio Grande do Sul, foi classificada pelo estudo como Capital regional:

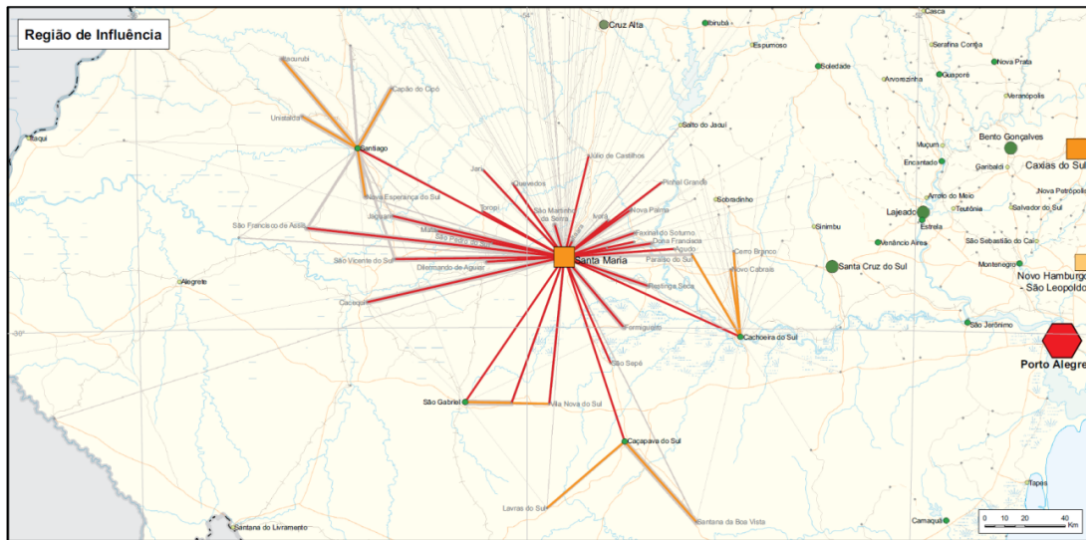
Integram este nível 70 centros que, como as metrópoles, também se relacionam com o estrato superior da rede urbana. Com capacidade de gestão no nível imediatamente inferior ao das metrópoles, têm área de influência de âmbito regional, sendo referidas como destino, para um conjunto de atividades, por grande número de municípios. (...) (E)ste nível (...) tem três subdivisões. O primeiro grupo inclui as capitais estaduais não classificadas no nível metropolitano e Campinas. O segundo e o terceiro, além da diferenciação de porte, têm padrão de localização regionalizado, com o segundo mais presente no Centro-Sul, e o terceiro nas demais regiões do País (REGIC, 2007, pág. 11).

Neste contexto, Santa Maria foi considerada Capital regional B<sup>11</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).

---

<sup>11</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 13 - Região de Influência das Cidades 2007 –Santa Maria.



Fonte: REGIC, IBGE (2007).

Sendo assim, compõem o sistema regional a ser estudado as seguintes cidades: Agudo, Cacequi, Dilermando de Aguiar, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Formigueiro, Itaara, Ivorá, Jaguari, Jari, Júlio de Castilhos, Mata, Nova Palma, Pinhal Grande, Quevedos, Restinga Seca, Santa Margarida do Sul, São Francisco de Assis, São João do Polêsine, São Martinho da Serra, São Pedro do Sul, São Sepé, São Vicente do Sul, Silveira Martins, Toropi e Vila Nova do Sul. Serão chamadas “cidades” as representações de suas respectivas áreas e territórios municipais, que compreendem zonas urbanas e rurais.

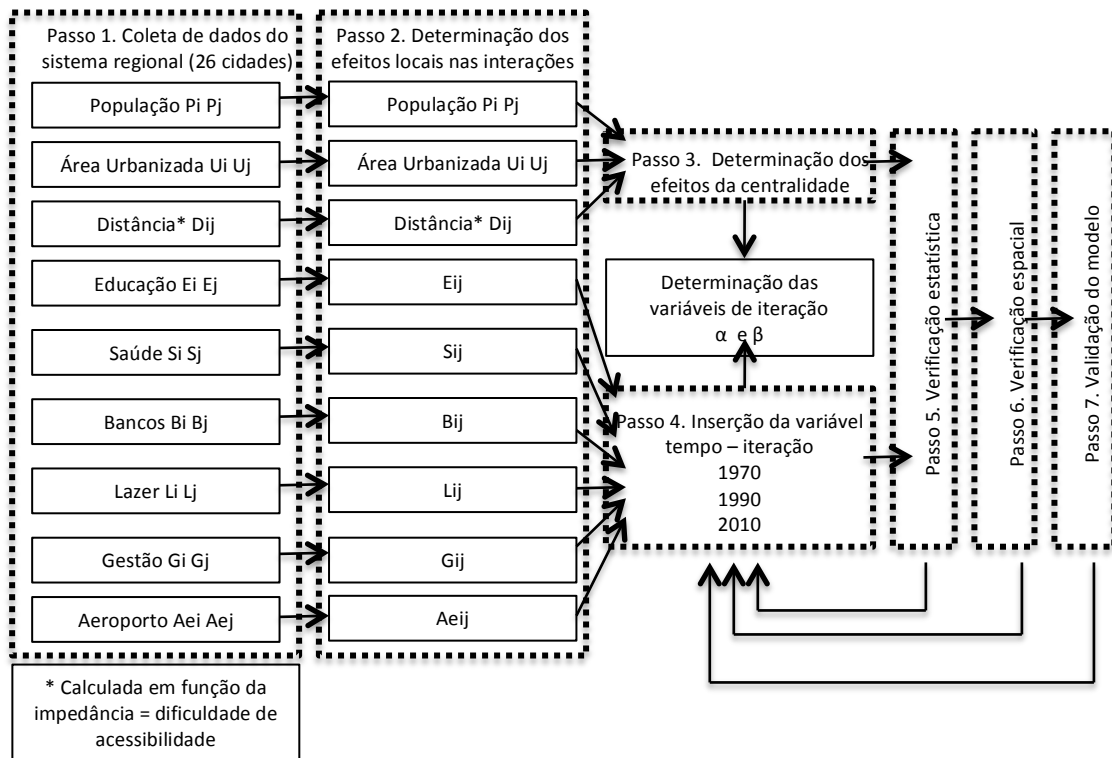
As cidades referidas apresentam áreas municipais bastante diversas, bem como suas áreas urbanizadas e populações. A questão de *acessibilidade* (vide Anexo A) também é bastante diferenciada, estando algumas em locais de difícil acesso por meio de estradas ou rodovias não pavimentadas.

Os estudos de Região de Influência de Cidades (REGIC) existem para os anos de 1987 e 2007. Antes disso, estudos similares eram intitulados Divisão Regional do Brasil. Ambos os estudos utilizam como base as teorias de Lugar Central de Christaller (1966).

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.

O modelo de tensão regional, aplicado ao caso estudado, com os dados disponíveis, e em seus 7 passos, pode ser reformulado e será detalhado a seguir (Figura 14):

Figura 14 – Passo a passo do modelo de tensão regional aplicado à região de Santa Maria, RS.



Fonte: da autora.

Este capítulo detalha a estimativa e coleta dos dados utilizados e a espacialização do sistema regional considerado. Além disso, a aplicação do modelo de tensão regional e a obtenção da medida de tensão regional como explicativa dos fluxos ocorridos no território, para servir como base à etapa de Verificação, em capítulo posterior.

### 5.1 O Sistema Regional e sua Espacialização

O sistema regional escolhido para este estudo é a região central de Santa Maria, mais um conjunto de 26 cidades do seu entorno, totalizando 27 cidades.

A região em questão fica localizada no centro do estado do Rio Grande do Sul, a oeste da capital Porto Alegre, e na divisa entre Metade Sul e Metade Norte do estado, conhecida por ser um entroncamento rodoviário e ferroviário importante para a questão logística e modal do estado.

O mapa foi elaborado utilizando ferramentas de geoprocessamento (software QuantumGIS<sup>12</sup>), com base nos dados disponíveis pelo IBGE (Censo Demográfico 2010<sup>13</sup>) e

<sup>12</sup> QuantumGIS Versão 2.6.1, Software Livre.

<sup>13</sup> IBGE, Geociências, Mapeamento das Unidades Territoriais, Malha Municipal Digital.

DAER (2010)<sup>14</sup>, que ilustram a divisão municipal, localização de áreas urbanas, e sistema principal de rodovias estaduais e federais (Figura 15).

Figura 15 – Mapa das 27 cidades com sua divisão municipal e sistema de rodovias.



Fonte: da autora.

Foi necessário obter dados espaciais de cada ano avaliado (1970, 1990 e 2010), gerando camadas ao longo do tempo que possibilitam a comparação da evolução do sistema regional e suas formas urbanas.

## 5.2 Coleta de Dados e suas Fontes

Foram elencados dados para processar a atratividade de cada cidade em relação às demais do sistema regional. Estes dados devem ser disponíveis para o período de tempo estabelecido de 40 anos, e conta com 3 coletas anuais com intervalos regulares de 20 anos: 1970, 1990 e 2010.

A coleta de dados é facilitada para os anos de 2010 e 1990, em função da existência de maior número de fontes de dados disponíveis.

Para os anos de 2010 e 1990, por exemplo, existe, além do já citado IBGE e seus estudos REGIC e Censo Demográfico, fontes de dados secundários bastante confiáveis, como

<sup>14</sup> DAER (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem), Geolive, Banco Espacial.

FEEDADOS<sup>15</sup>. Para 1970, foram utilizados dados disponíveis em estudos preliminares do IBGE, como Divisão Regional Brasileira, bem como dados das Prefeituras Municipais.

Consideraram-se as seguintes variáveis, coletadas para cada um dos municípios do sistema regional: população, domicílios, gestão, insumos, aeroportos, bancos, lazer, saúde, educação, e distância.

Cada variável nomeia um item considerado relevante à esta pesquisa, mas o entendimento de sua representatividade é de extrema importância (Tabela 06).

Tabela 06 – Variáveis utilizadas e suas respectivas descrições.

<b>Variável</b>	<b>Descrição</b>
<b>População</b>	Quantidade total de habitantes no ano considerado, fonte FEEDADOS e Divisão Regional Brasileira.
<b>Domicílios</b>	Quantidade total de domicílios no ano considerado, fonte FEEDADOS e Prefeituras Municipais.
<b>Gestão</b>	Quantidade total de instalações de apoio - funções públicas de âmbito regional ou federal no ano considerado, fonte FEEDADOS.
<b>Insumos</b>	Quantidade total de estabelecimentos públicos ou privados que forneçam sementes, adubos, fertilizantes, pesticidas, vacinas, equipamentos diversos, etc, , fonte FEEDADOS.
<b>Aeroportos</b>	Quantidade total de instalações de apoio a operações de embarque e desembarque de aeronaves no ano considerado, fonte FEEDADOS.
<b>Bancos</b>	Quantidade total de estabelecimentos bancários públicos ou privados no ano considerado, fonte FEEDADOS.
<b>Lazer</b>	Quantidade total de estabelecimentos de lazer tipo clube de recreação, fonte FEEDADOS e REGIC
<b>Saúde</b>	Quantidade total de leitos hospitalares em estabelecimentos de saúde públicos ou privados no ano considerado, fonte FEEDADOS.
<b>Educação</b>	Quantidade total de vagas escolares em estabelecimentos públicos ou privados no ano considerado, excetuando ensino superior, no ano considerado, fonte FEEDADOS.
<b>Área Urbanizada</b>	Área ocupada pela forma urbana no ano considerado, fonte medição QuantumGIS.

Fonte: da autora.

<sup>15</sup> O FEEDADOS reúne informações de natureza socioeconômica relativas ao Rio Grande do Sul e a seus municípios. As informações apresentadas no FEEDADOS cobrem o período de 1990 em diante e são apresentadas por município, dentre outras unidades da federação. Parte desses dados é produzida pela própria FEE, e parte é oriunda de diversas fontes oficiais, como IBGE, Secretarias de Estado e Ministérios, dentre outros (FEE/Centro de Informações Estatísticas/Núcleo de Dados).

A escolha das variáveis se deu pela procura de indicadores que possam produzir fluxos no território de origem e destino, fazendo com que haja demanda em algumas cidades por oferta de serviços e atividades atratoras que se localizam em outras cidades.

Sendo assim, após a eleição das variáveis a serem trabalhadas, foi produzida uma tabela geral que contém todos os municípios envolvidos, todas as variáveis, e os anos considerados (Tabela 07).

Tabela 07 – Cidades, variáveis e anos considerados.

	2010							1990							1970						
	População	Bancos	Aerportos	Saúde	Educação	Residência	Área Urbana	População	Bancos	Aerportos	Saúde	Educação	Residência	Área Urbana	População	Bancos	Aerportos	Saúde	Educação	Residência	
Agudo	16722	7	0	58	894	2	4,08	16718	4	0	66	495	1	0,77	14186	2	0	30	186	0	
Cacequi	13676	5	0	0	746	1	21,17	15834	3	0	0	646	1	3,86	18676	1	0	0	378	1	
Dilermando de Aguiar	3064	0	0	93	167	0	2,65	2236	0	0	41	0	0	0,5	0	0	0	16	0	0	
Dona Francisca	3401	3	0	0	242	0	4,27	3586	2	0	30	109	0	0,29	3473	1	0	12	64	0	
Faxinal do Soturno	6672	7	0	40	357	2	3,32	9084	3	0	32	433	1	0,87	9058	1	0	14	211	0	
Formigueiro	7014	4	0	0	448	0	1,73	7696	2	0	9	146	0	0,15	9706	1	0	5	56	0	
Itaara	5010	0	0	0	316	0	16,24	3698	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	
Ivorá	2156	1	0	0	150	0	1,09	2563	0	0	21	78	0	0,28	0	0	0	9	32	0	
Jaguari	11473	2	0	48	648	1	9	12749	4	0	44	526	0	0,65	17825	2	0	21	245	0	
Jari	3575	0	0	0	137	0	1,58	1898	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	
Júlio de Castilhos	19579	8	0	67	1674	2	19,89	1898	5	0	84	912	1	3,45	24539	2	0	40	456	1	
Mata	5111	2	0	39	260	0	2,98	5578	1	0	36	106	0	0,81	7347	1	0	13	34	0	
Nova Palma	6342	6	0	50	278	0	3,46	7656	3	0	18	246	0	0,39	7995	1	0	7	87	0	
Pinhal Grande	4471	2	0	24	255	0	5,89	3978	0	0	36	0	0	0,2	0	0	0	12	0	0	
Quevedos	2710	0	0	0	129	0	2,1	2326	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	
Restinga Seca	15849	5	0	51	790	2	4,49	15242	3	0	28	398	1	1,50	15795	1	0	14	234	1	
Santa Margarida do Sul	2352	0	0	0	71	0	8,46	1985	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	
Santa Maria	261031	45	2	98	1906	21	136,12	217592	19	1	47	1164	14	25,004	156609	5	1	18	7698	10	
São Francisco de Assis	19254	6	0	60	1173	0	1,07	26667	4	0	72	614	0	0,25	27422	2	0	45	245	0	
São João do Polésine	2635	1	0	0	170	0	9,21	2221	0	0	25	0	0	5,29	0	0	0	13	0	0	
São Martinho da Serra	3201	0	0	0	128	0	2,56	2789	0	0	0	0	0	0,34	0	0	0	0	0	0	
São Pedro do Sul	16368	4	0	54	810	2	1,63	20381	2	0	90	680	1	0,3	21815	1	0	61	345	1	
São Sepé	23798	9	0	65	1226	1	19,67	27968	5	0	46	956	1	2,67	26674	2	0	21	324	1	
São Vicente do Sul	8440	4	0	35	1230	1	20,56	7576	2	0	32	680	0	2,80	7976	1	0	13	213	0	
Silveira Martins	2449	2	0	0	135	0	8,06	2380	1	0	16	88	0	0,16	0	0	0	8	28	0	
Toropi	2952	0	0	0	154	0	2,02	2965	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	
Vila Nova do Sul	4221	1	0	0	210	0	3,71	3698	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	

Fonte: dados obtidos em fontes secundárias diversas, citadas na fonte da Tabela 06.

### **5.3 Estimativa de Fluxos no Sistema Regional**

Conceitualmente, a produção de novas estimativas de fluxos gerados a partir do modelo de tensão regional é relativamente simples. É uma questão de utilizar variáveis completas, conhecidas e confiáveis de dados, para produzir estimativas que aderem aos valores conhecidos. O conceito de fluxo a ser utilizado foi explicado no Capítulo 4.

Na prática, esta questão pode ser mais desafiadora de se implementar, especialmente quando a disponibilidade de variáveis e dados varia e quando o método necessita de ajustes de acordo com esta disponibilidade. Por exemplo: os dados obtidos para os anos de 2010 e 1990 são mais confiáveis do que os dados obtidos para o ano de 1970, em função dos avanços em pesquisa geográfica e do aumento e disponibilização de fontes de dados. Por isto, se fez necessário ajustar os dados de 1970 com estimativas para que tivessem correlação com os demais anos analisados.

Isto significa que, se os dados são diferentes e estão disponíveis para diferentes períodos de tempo e áreas geográficas, a metodologia de estimação é alterada.

O processo de estimativa é executado em uma série de etapas - os resultados da etapa anterior fornecem ou parametrizam os dados para a fase subsequente. Foi realizado, por exemplo, um comparativo entre os dados de 1970 e 1990, e por ser considerada uma evolução e crescimento urbano e de atratividade, os dados de 1970 não poderiam se sobrepor aos dados de 1990, e assim por diante.

#### **5.3.1 Esquema de Estimativas de Fluxos**

A determinação dos efeitos locais nas interações existentes ocorre em função do esquema de estimativas de fluxos que efetivamente ocorreram no território em decorrência das variáveis levantadas. Em outras palavras, significa estimar e dimensionar o tamanho da influência que a variável tem na ocorrência de interação espacial, considerada através de fluxos efetivos no território, através de matriz de origem e destino. Por exemplo, a Cidade 1 tem um dado de educação de 567 (total de vagas escolares), mas isto significa que a Cidade 1 é destino de educação para 4 cidades de origem, o que gera, de cada cidade origem, um determinado valor de interação que ocorre em decorrência da variável Educação.

Este processo foi realizado para todas as cidades envolvidas no sistema, considerando todas as possibilidades de interação, gerando uma matriz extremamente extensa de possibilidades de fluxos.

Sendo assim, a partir da Tabela 07, onde os dados existem por cidade (por exemplo, Bi ou Ej), a partir de agora, aplicando o modelo de interação espacial, os dados passam a ser



entendidos a partir de uma matriz (Tabela 08), e evidenciam o resultado da estimativa de fluxos gerados pela interação entre origem-destino (por exemplo,  $B_{ij}$  ou  $E_{ij}$ ). O exemplo abaixo mostra como foi realizada esta operação, relacionando dados de cada cidade para obtenção dos dados da interação:

$$B_{ij} = \frac{(B_i * B_j) + (P_i * P_j) * \alpha * \beta}{d_{ij}^2}$$

onde  $B_{ij}$  é a interação gerada pela existência de equipamentos bancários,  $B_i$  é a quantidade de equipamentos bancários na cidade de origem,  $B_j$  é a quantidade de equipamentos bancários na cidade de destino,  $P_i$  é a população da cidade de origem,  $P_j$  é a população da cidade de destino,  $\alpha$  é a constante calculada em função das origens,  $\beta$  é a constante calculada em relação aos destinos, e  $d_{ij}$  é a distância geométrica entre as duas cidades.

As constantes  $\alpha$  e  $\beta$  foram calculadas considerando estimativas de grandezas mínimas e máximas de cada variável, comparando-as com grandezas estimadas. Este procedimento foi realizado para cada variável.

Este procedimento foi realizado para todas as variáveis do sistema, como forma de estimar o quanto as variáveis estáticas geram de interação. Foi utilizada a ponderação da população como forma de ponderar o fator de atratividade entre origem e destino.

Às variáveis selecionadas anteriormente, foi adicionada uma variável chamada real, que já reflete fluxos de origem e destino no território, que seria a variável de Transporte Coletivo ( $T_{ij}$ ), ou seja, foram listadas as rotas existentes entre as cidades, e o tempo de viagem (já considerando a impedância, ou seja, a dificuldade de se alcançar determinados destinos).

Tabela 08 – Exemplo de matriz de origem-destino, para a variável Transporte Coletivo Tij, no ano de 2010.

	Agudo	Cacequi	Dilermando de Aguiar	Dona Francisca	Faxinal do Soturno	Formigueiro	...	Santa Maria
Agudo	0	0	0	0	0	0	...	0
Cacequi	0	0	0	0	0	0	...	5
Dilermando de Aguiar	0	0	0	0	0	0	...	7
Dona Francisca	3	0	0	0	3	0	...	2
Faxinal do Soturno	7	0	0	0	0	0	...	11
Formigueiro	0	0	0	0	0	0	...	0
Itaara	0	0	0	0	0	0	...	2
Ivorá	0	0	0	0	1	0	...	13
Jaguari	0	0	0	0	0	0	...	10
Jari	0	1	0	0	0	0	...	3
Julio de Castilhos	0	0	0	0	0	0	...	2
Mata	0	0	0	0	0	0	...	3
Nova Palma	0	1	0	0	0	0	...	7
Pinhal Grande	0	0	0	0	0	0	...	2
Quevedos	0	0	0	0	0	0	...	0
Restinga Seca	0	0	0	0	0	0	...	7
Santa Maria	6	3	4	1	4	8	...	0
Santa Margarida do Sul	0	0	0	0	1	0	...	0
São Francisco de Assis	0	0	0	0	0	0	...	4
São João do Polêsine	0	0	0	0	0	0	...	5
São Martinho da Serra	0	0	0	0	0	0	...	5
São Pedro do Sul	0	0	0	0	0	0	...	26
São Sepé	0	0	0	0	0	0	...	0
São Vicente do Sul	0	0	0	0	0	0	...	0
Silveira Martins	0	0	0	0	0	0	...	16
Toropi	0	0	0	0	0	0	...	5
Vila Nova do Sul	0	0	0	0	0	0	...	1

Fonte: da autora.

Existem poucas contribuições na definição do quanto a estimativa de variáveis, realizada em caráter prévio ao modelo de interação espacial, pode de fato influenciar o resultado final do modelo proposto (Raymer, Abel & Rogers, 2012).

A utilização de dados em série temporal, como proposto no modelo de tensão regional, tem a finalidade de capturar correlações através de períodos de tempo, e entre cidades diferentes, o que aumenta a necessidade da estimativa, pois muitos dados coletados são de formatos, unidades e fontes diferentes. Assim sendo, é reforçada a noção de que a especificação é importante para grandes escalas, e especialmente se o modelo propõe alguma possibilidade preditiva, por exemplo, a partir de dados existente, o que poderia ocorrer em seguida no sistema espacial considerado; neste caso, a incerteza é ainda maior,

e a estimativa e especificação são fundamentais (Raymer, Abel & Rogers, 2012). Para isto, é necessário instituir uma constante que não varie, que normalmente é estabelecida como a variável distância.

A estimativa de variáveis a partir da determinação dos efeitos locais das interações tem como objetivo realizar os efeitos a longo prazo da interação espacial, através da comparação da relação entre as origens e destinos que não se alteram na série temporal determinada. Novas relações são permitidas, e podem causar alguma espécie de ruído nos dados. No modelo considerado, existe esta situação, pois algumas das cidades presentes nas origens e destinos não existiam nos anos anteriores (por exemplo: Dilermando de Aguiar, Itaara e São Martinho da Serra emanciparam-se na década de 90), e por isso a obtenção de informação torna-se mais complexa. Considera-se que haviam assentamentos urbanos anteriores à própria emancipação, e os dados foram obtidos *in loco* nas Prefeituras Municipais, para que fosse padronizada a etapa de estimativa.

Existe ainda o problema da indeterminância de medidas estatísticas no que diz respeito às mudanças na forma de agregação dos dados, que seria um problema de critério em uma dada escala espacial, conforme relatado por Arbia & Petracca (2013). Este problema foi atenuado pelo fato de que as fontes de dados foram praticamente padronizadas, e para o ano mais difícil de se obter os dados (1970), tentou-se parametrizar os mesmos utilizando os anos posteriores como balizamento.

#### **5.4 Detalhando o Modelo de Tensão Regional**

##### **Passo 1. O modelo de tensão regional**

De posse das variáveis estimadas de origem-destino, e reconhecendo a matriz com os efeitos locais das interações existentes entre as cidades, por variável e por ano componente da série temporal, chega-se à aplicação, de fato, do modelo de tensão regional, buscando mostrar a importância das características das cidades que dirigem os fluxos que existem no sistema.

Sendo assim, cada variável escolhida foi dimensionada e calibrada de acordo com a atratividade que pode exercer no sistema regional. De acordo com Wilson (1970), a descoberta da dimensão da atratividade das interações no sistema significa que quanto menor o número de cidades do sistema, maior a probabilidade de fluxo de se dirigir de uma origem para um destino.

A atratividade que cada variável tende a gerar nas interações pode ser ponderada com uma função, definida em termos das atividades, através da introdução de condicionantes adicionais para representar a interdependência de diferentes atividades (Wilson, 1967).

Busca-se também que o modelo consiga simular situações onde a interação ocorre entre e no sistema regional, sendo que a estrutura em camadas inclui certo número de níveis de agregação de variáveis (Wilson, 1970), com o objetivo de se verificar o efeito de cada cidade sobre os efeitos totais das tensões existentes.

Neste sentido, é introduzido um peso para cada variável, além de carregamentos de impedância que significam barreiras naturais existentes, dificuldade de acessibilidade, tempo e custo de deslocamento. Com este carregamento, temos a construção do parâmetro '*distance decay*', que significa decadência da distância (Dennett, 2012), ilustrando estas dificuldades de alcance da interação e da tensão regional.

Procedeu-se, então, o cálculo da medida de tensão regional, que vem a ser portanto uma medida de interação espacial baseada na ponderação das variáveis:

$$Tr_{ij} = 0,1 * G_{ij} + 0,05 * I_{ij} + 0,05 * A_{ij} + 0,05 * L_{ij} + 0,2 * S_{ij} + 0,2 * T_{ij} + 0,2 * E_{ij} + 0,15 * B_{ij}$$

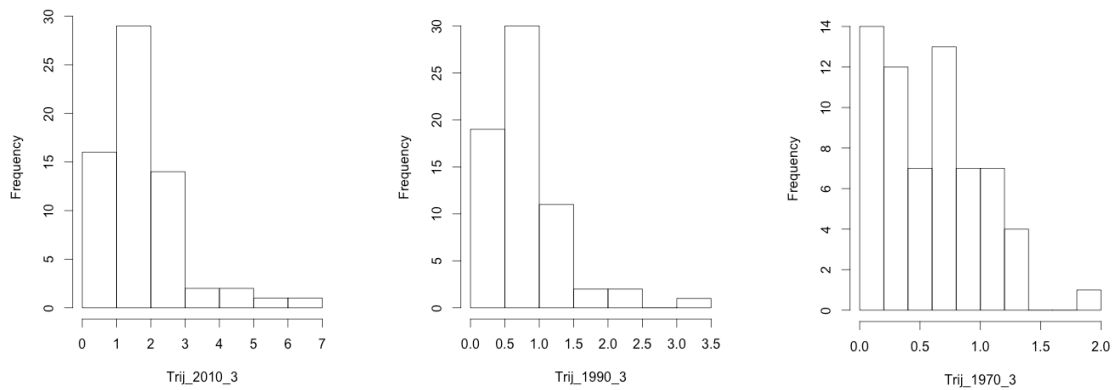
em que

- $Tr_{ij}$  : Tensão regional
- $T_{ij}$  : Quantidade de fluxos gerados por transporte coletivo
- $G_{ij}$  : Quantidade de fluxos gerados por equipamentos de gestão pública
- $I_{ij}$  : Quantidade de fluxos gerados por troca de insumos
- $A_{ij}$  : Quantidade de fluxos gerados por aeroporto
- $L_{ij}$  : Quantidade de fluxos gerados por lazer
- $S_{ij}$  : Quantidade de fluxos gerados por equipamentos de saúde
- $E_{ij}$  : Quantidade de fluxos gerados por equipamentos de ensino
- $B_{ij}$  : Quantidade de fluxos gerados por equipamentos bancários

Os primeiros resultados encontrados passaram por calibrações das variáveis, a fim de que uma variável não tivesse um peso relativo incompatível com os fluxos de interação entre origem e destino.

A medida de tensão regional foi calculada para 3 períodos de tempo: 1970, 1990, e 2010, possibilitando uma lacuna temporal que torna possível visualizar alterações significativas no território (Figura 16).

Figura 16 - Gráficos tipo histograma ilustrando a distribuição de valores encontrados para a medida de Tensão Regional e a frequência encontrada, em 2010, 1990 e 1970.



Fonte: da autora.

Podemos observar a partir dos histogramas que a distribuição dos valores encontrados em 2010, 1990 e 1970 é respectivamente maior de acordo com os anos. Para 1970, a variação de valores ocorre entre 0 e 2, em 1990, o intervalo fica entre 0 e 3,5, e para 2010, encontramos variação entre 0 e 7. Considera-se que em 1970, com as cidades de origem e destino apresentando ainda uma estrutura básica de oferta de serviços e atratividade em geral, os valores de tensão entre as interações eram baixos e com maior frequência de ocorrência, e à medida que as cidades foram assumindo uma estrutura mais atrativa, aumenta-se a tensão entre os pares de interação, como ocorre em 1990, e pode ser melhor comprovado que em 2010, a tensão entre as interações duplica em valor máximo, mas a frequência diminui, ou seja, algumas interações se mostram mais frequentes do que outras (Tabela 09).

Tabela 09 – Segmento de tabela de origens e destinos entre as cidades, mostrando os valores de Tensão Regional para cada ano.

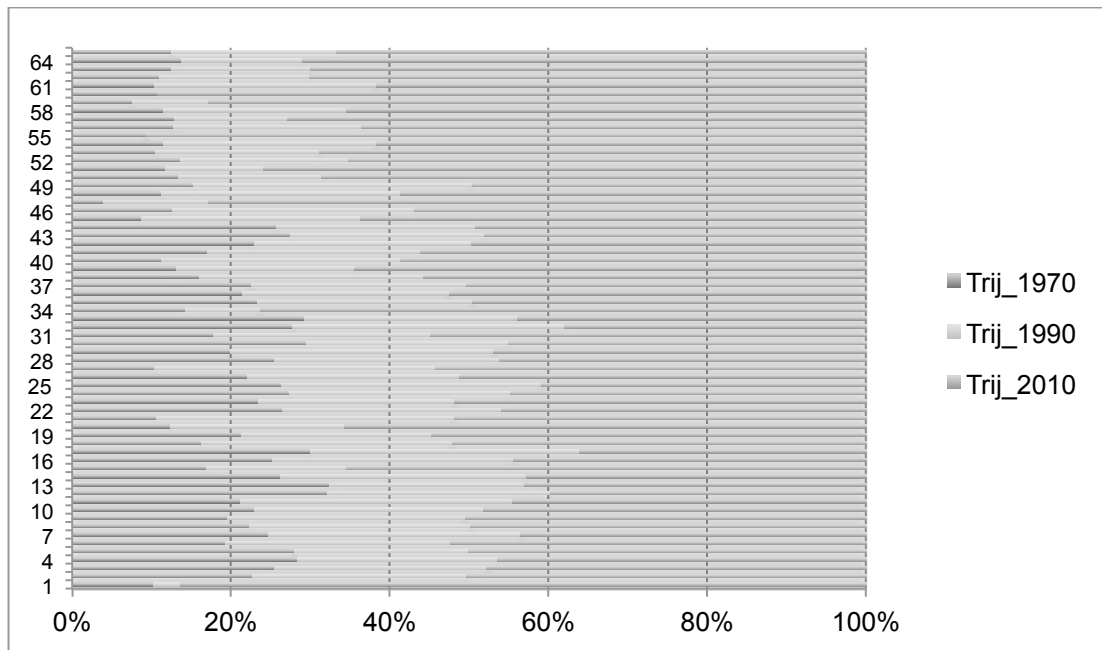
Origem	Destino	Trij_2010	Trij_1990	Trij_1970
Agudo	São Sepé	0,535241238	0,020979306	0,063482529
Agudo	Santa Maria	1,807172996	0,971986458	0,815683822
Cacequi	Santa Maria	1,74721519	0,980054133	0,930106399
Dilermando de Aguiar	Santa Maria	1,566060127	0,85	0,96
Dilermando de Aguiar	São Pedro do Sul	1,253090756	0,55	0,7
Dona Francisca	Agudo	1,114881191	0,605097136	0,410066529
Dona Francisca	Faxinal do Soturno	1,178341818	0,858952431	0,670788727
Dona Francisca	Santa Maria	1,682911392	0,940129801	0,752049479
Faxinal do Soturno	Santa Maria	3,027373418	1,795567236	1,175965861
Faxinal do Soturno	Agudo	2,171506824	1,299296523	1,037200855
Faxinal do Soturno	Nova Palma	1,644288983	1,262874059	0,780090587
Faxinal do Soturno	Júlio de Castilhos	0,720435783	0,510600976	0,58199194
Faxinal do Soturno	São Sepé	0,717595447	0,409515815	0,54142211
Formigueiro	Santa Maria	1,17721519	0,85646917	0,721734596
Itaara	Santa Maria	5,35	1,45	1,38

Ivorá	Santa Maria	1,464398734	0,998229302	0,833084405
Ivorá	Faxinal do Soturno	0,867777291	0,811212142	0,722241499
Ivorá	Júlio de Castilhos	0,420839765	0,255903853	0,131211047
Jaguari	Santa Maria	2,702531646	1,183891993	1,055328145
Jaguari	São Vicente do Sul	1,777097795	0,590169587	0,335181287
Jaguari	Cacequi	0,35261991	0,254986706	0,07215035
Jari	Santa Maria	1,334683544	0,8	0,77
Jari	Toropi	1,151751005	0,55	0,52
Mata	Santa Maria	1,502848101	0,936205173	0,918220718
Mata	Cacequi	0,578597495	0,462379518	0,37329878
Nova Palma	Santa Maria	2,357999297	1,224678035	1,017163946
Nova Palma	Júlio de Castilhos	0,317607178	0,206889519	0,061025695
Pinhal Grande	Santa Maria	1,157331224	0,7125	0,6375
Pinhal Grande	Júlio de Castilhos	0,5657456	0,4	0,24
Quevedos	São Pedro do Sul	1,151387525	0,65	0,7525
Restinga Seca	Santa Maria	4,014486863	1,992854726	1,303212747
Restinga Seca	Faxinal do Soturno	0,923406766	0,834391954	0,676329883
Santa Margarida do Sul	Santa Maria	1,96485511	1,2	1,31
Santa Margarida do Sul	Vila Nova do Sul	0,802756603	0,1	0,15
São Francisco de Assis	Santa Maria	1,709462025	0,93455565	0,806115797
São João do Polêsine	Santa Maria	1,931487342	0,9625	0,7875
São Martinho da Serra	Santa Maria	2,356492808	1,2625	1,0575
São Pedro do Sul	Santa Maria	6,34414557	3,204291089	1,819076713
São Pedro do Sul	São Vicente do Sul	2,995186811	1,047304945	0,608330949
São Pedro do Sul	Júlio de Castilhos	0,625003859	0,320698991	0,119446765
São Vicente do Sul	Santa Maria	4,547838765	2,165979809	1,382796312
Silveira Martins	Santa Maria	2,313607595	1,277430317	1,067888835
Toropi	Santa Maria	1,306170886	0,6625	0,7475
Vila Nova do Sul	Santa Maria	2,09556962	1,0625	1,0975
Santa Maria	Agudo	2,064556962	0,897878125	0,281154402
Santa Maria	Cacequi	1,095094937	0,58783833	0,243164996
Santa Maria	Dilermando de Aguiar	1,256962025	0,2	0,06
Santa Maria	Dona Francisca	1,530731364	0,788008535	0,292532408
Santa Maria	Faxinal do Soturno	2,854219409	2,019897308	0,879494864
Santa Maria	Formigueiro	0,97721519	0,25646917	0,191734596
Santa Maria	Ivorá	0,601898734	0,098229302	0,093084405
Santa Maria	Jaguari	1,564050633	0,508452514	0,328615797
Santa Maria	Mata	0,882841069	0,264364751	0,134614609

Fonte: da autora.

A avaliação do quanto a tensão regional aumenta por par e por ano da série temporal também pode ser interessante, pois retrata o quanto a interação se tornou mais atrativa ao longo dos anos (Figura 17).

Figura 17 – Gráfico de distribuição dos valores de Tensão Regional por ano.



Fonte: da autora.

Assim ilustra-se o quanto os valores de tensão aumentam entre os pares, e o quanto as tensões para o ano de 2010 são significativas se comparados os mesmos pares para os anos anteriores da série temporal.

## Passo 2. O modelo estatístico de tensão regional

O modelo de tensão regional, baseado em modelos de interação espacial, pode ser enquadrado como um modelo de regressão linear multivariado, que ocorre quando o comportamento de uma variável (neste caso, a variável Tensão Regional - Trij) é explicado por mais de uma variável independente, buscando simular relacionamentos entre as variáveis. Por exemplo: o quanto a variável tensão regional é explicada pela ponderação das variáveis listadas.

Os modelos de regressão linear multivariados são escolhidos quando se deseja simular os efeitos sobre uma variável em decorrência de alterações introduzidas nos valores de uma outra variável, tal qual é sugerido no modelo de tensão regional.

Regressão é o processo matemático pelo qual são derivadas variáveis “a” e “b” de uma função  $f(x)$ . Estes parâmetros determinam as características da função que relaciona ‘Y’ com ‘X’, que no caso do modelo linear se representa por uma reta chamada de reta de regressão.

O modelo estatístico de tensão regional foi testado de duas maneiras: o quanto é explicado pelas variáveis estimadas que compõem sua ponderação, e o quanto se relaciona e é explicado pelas variáveis observadas ou reais.

As variáveis estimadas apresentam uma composição similar à ponderação realizada na composição da medida de tensão regional, que foram calibradas e passaram por diversos ajustes ao longo da concepção do modelo (Tabela 10).

Tabela 10 – Peso dos coeficientes das variáveis estimadas na medida de tensão regional.

Variável	Peso 2010	Peso 1990	Peso 1970
Tij	2.000e-01	9.554763e-02	1.047923e-01
Aij	5.000e-02	4.295038e-02	6.092543e-02
Iij	5.000e-02	3.769936e-02	5.973454e-02
Gij	1.000e-01	1.013496e-01	1.881054e-01
Lij	5.000e-02	7.998505e-02	5.591992e-02
Bij	5.815e-14	2.053177e-03	8.525037e-04
Eij	8.299e-08	1.026860e-07	6.007651e-08
Sij	2.000e-01	2.107304e-01	2.384486e-01

Fonte: da autora.

Os pesos das variáveis se relacionam com a distribuição das ponderações atribuídas ao modelo de tensão regional. Ainda assim, em função dos dados das variáveis, que são numéricos, os coeficientes podem variar na melhor ou pior relação com a medida em si. A tabela acima mostra que, à medida que a série temporal se aproxima de 2010, a ponderação fica mais evidente. Podemos perceber também que a variável estimada Saúde Sij é sempre a que detém maior peso, que a variável referente aos Trajetos de Transporte Coletivo Tij também apresenta uma relação positiva forte, e que algumas variáveis têm sempre um peso pequeno, como por exemplo Aeroporto Aij e Insumos Iij. Alguns pesos mostram-se surpreendentes, como a variável Educação Eij, da qual esperava-se uma relação maior com a tensão regional.

As variáveis observadas ou reais foram testadas para verificar qual a relação que existe entre dados que se concretizam no território, e qual o que poderia estar melhor relacionado à medida de tensão regional.



Estas relações serão exemplificadas através dos gráficos de calor (*heatmaps*), pois nem sempre o modelo linear pode ser melhor exemplificado através de uma reta, de diagramas de dispersão, e da técnica Lasso, para cada ano da série temporal.

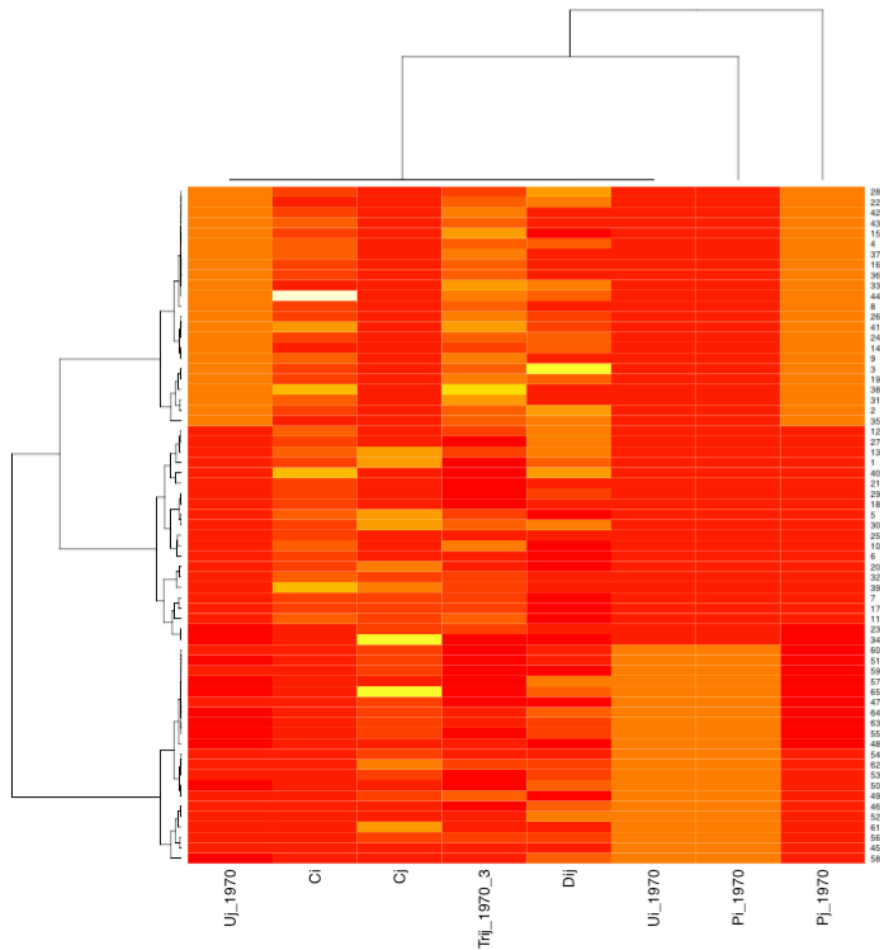
Gráficos de calor são uma forma gráfica que exibe uma tabela de números utilizando cores falsas para representar valores numéricos. Os grupos que contém valores numéricos similares formam clusters por semelhança ou proximidade. A maneira mais fácil de entender um gráfico de calor é pensar em uma tabela ou planilha que contém cores em vez de números. O gradiente de cor padrão (variável de interesse) define a cor predominante, com uma transição gradiente entre os dois extremos da tabela. Mapas de calor são adequados para a visualização de grandes quantidades de dados multi-dimensionais e podem ser usados para identificar agrupamentos de linhas com valores semelhantes, uma vez que estas são apresentadas como áreas de cor semelhante (Tibshirani, 1996).

Muitas vezes, pode ser útil combinar mapas de calor com um agrupamento hierárquico, que é uma maneira de organizar os itens em uma hierarquia com base na distância ou semelhança entre eles. O resultado de um cálculo de agrupamento hierárquico é apresentado em um mapa de calor como um dendrograma, que é uma árvore - estrutura da hierarquia. Dendrogramas em linha mostram a semelhança entre linhas e em quais nós cada linha pertence, como resultado do cálculo de agrupamento. Dendrogramas em coluna mostram a semelhança entre as variáveis (as colunas de acordo com a variável de interesse). Quaisquer padrões no mapa de calor podem indicar uma associação entre as linhas e as colunas, ou pode tornar possível modificar o cluster (ou agrupamento) para criar padrões (Tibshirani, 1996).

O gráfico de calor mostra a variável de interesse 'tensão regional', relacionada às seguintes variáveis reais: área urbanizada, população, centralidade-Freeman e distância. Os esquemas de cores mostram as maiores relações entre a variável de interesse e as demais variáveis, assim como fica evidente a formação de clusters por afinidade, agrupados por grandezas. Em todos os gráficos de calor que serão ilustrados, no eixo X temos as siglas representam as variáveis  $Tr_{ij}$ ,  $L_{ij}$ ,  $C_i$ ,  $C_j$ ,  $D_{ij}$ ,  $l_{ij}$ ,  $P_i$  e  $P_j$ ; em Y, os números representam os pares de tensão (número 1 representa tensão entre cidade 1 e cidade 2) do sistema regional considerado.

O primeiro gráfico de calor representa as variáveis acima relacionadas para o ano de 1970 (Figura 18).

Figura 18 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 1970.

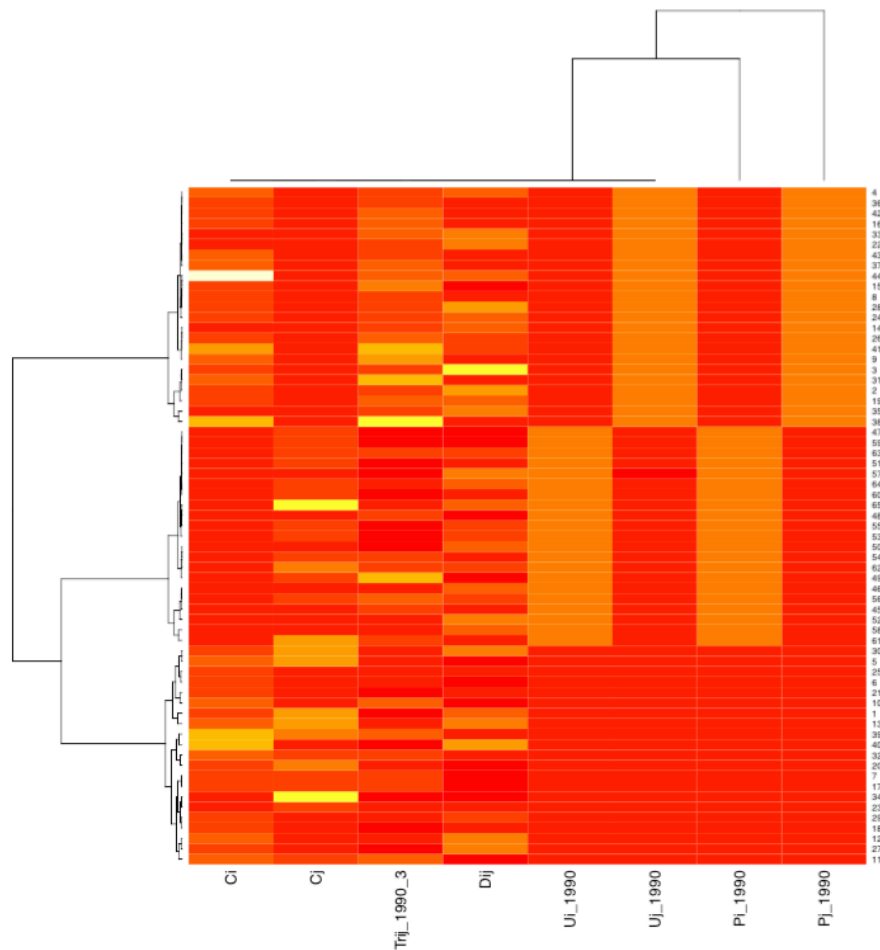


Fonte: da autora.

As cores observadas no gráfico de calor mostram afinidade entre os dados de área urbanizada da cidade de origem e população da cidade de origem, assim como as mesmas variáveis para as cidades de destino. Estas variáveis são esperadas que apresentem grande afinidade, pois quanto maior a área urbanizada, maior a população. Ainda, existe relação importante entre a variável de interesse e as medidas de centralidade-Freeman.

Foram analisadas também as variáveis relacionadas para o ano de 1990 (Figura 19).

Figura 19 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 1990.

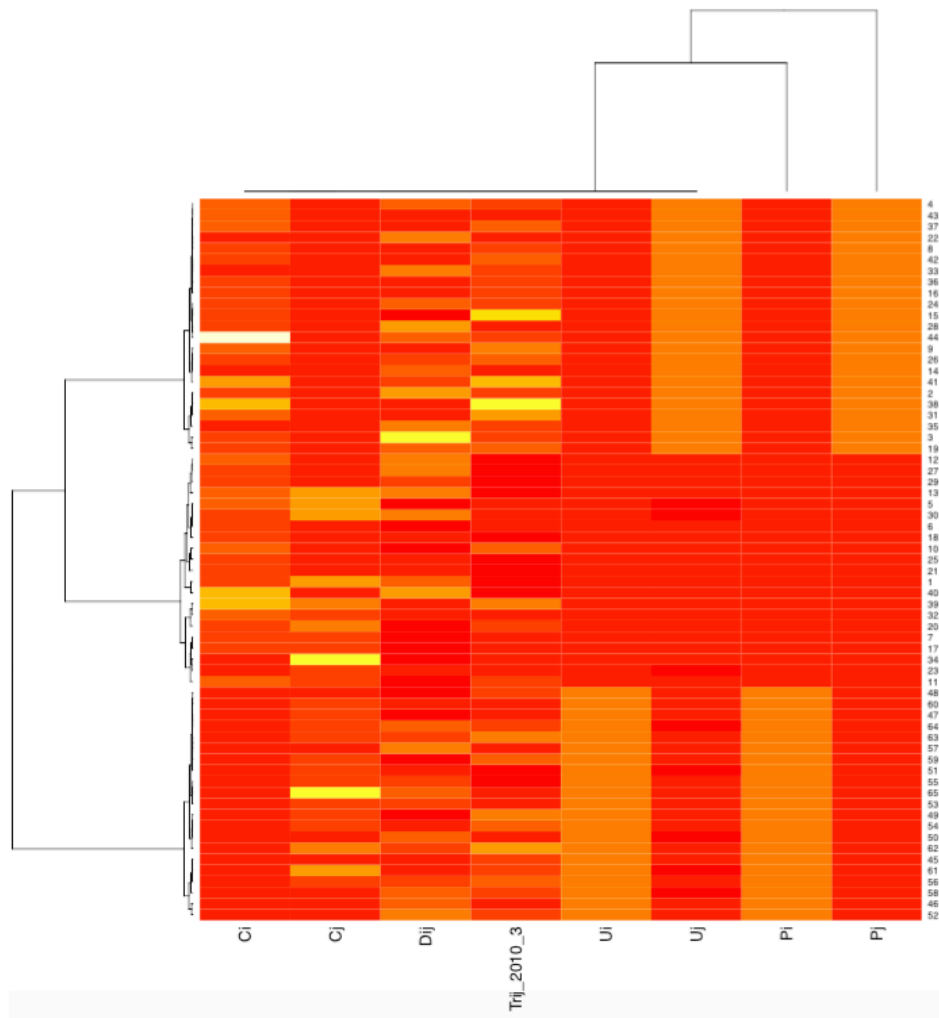


Fonte: da autora.

No ano de 1990, fica ainda mais forte a relação entre área urbanizada e população, formando clusters de afinidade, assim como a medida de tensão regional parece se isolar e se relacionar melhor com as variáveis de centralidade-Freeman.

O mesmo procedimento foi realizado para o ano de 2010 (Figura 20).

Figura 20 – Gráfico de calor para a medida de tensão regional e variáveis reais, em 2010.



Fonte: da autora.

Percebe-se que em 2010 o agrupamento fica ainda melhor organizado por variáveis, a relação entre população e área urbanizada se mantém, e a variável de interesse fica mais centralizada no modelo, mostrando maior equilíbrio entre as variáveis reais.

Para a estimativa dos efeitos que cada variável tem no modelo de tensão regional, foi utilizado o método Lasso (Tibshirani, 1996), que minimiza a soma dos quadrados dos resíduos, opondo-se à soma do valor absoluto dos coeficientes menores do que as constantes. O método Lasso tende a funcionar melhor quando temos um modelo com número médio de efeitos, e quando estes efeitos na dependência entre as variáveis é moderado.

Cabe destacar que, por causa da natureza dos condicionantes, o Lasso tende a produzir alguns coeficientes que são de valor 0 e, por conseguinte, gera modelos passíveis de interpretação. Foi utilizado para as estimativas do modelo de tensão regional pois possui

uma interessante relação com o trabalho recente na estimativa de funções adaptadas, e pode ser aplicado em uma variedade de modelos estatísticos (Tibshirani, 1996).

A técnica representa a busca pela melhor penalização, além de mostrar quais seriam os coeficientes de ajuste ótimo na composição das variáveis de interesse, exemplificado através dos lambdas. O melhor lambda é indicado pela variável residual Res1 (Tabela 11).

Tabela 11 – Ajuste ótimo na composição, indicado através da variável residual Res1.

Variáveis	Res1 2010	Res1 1990	Res1 1970
Trij	1.095277e+00	5.868851e-01	3.335965e-01
Dij	-2.968845e-01	-1.054109e-01	-6.143883e-02
Pi	-	-	-1.388838e-07
Pj	4.601962e-06	2.634593e-06	3.901799e-06
Ui	4.693288e-03	-	-
Uj	-	-	-
Ci	5.509611e+00	2.132374e+00	1.650898e+00
Cj	-	-	-

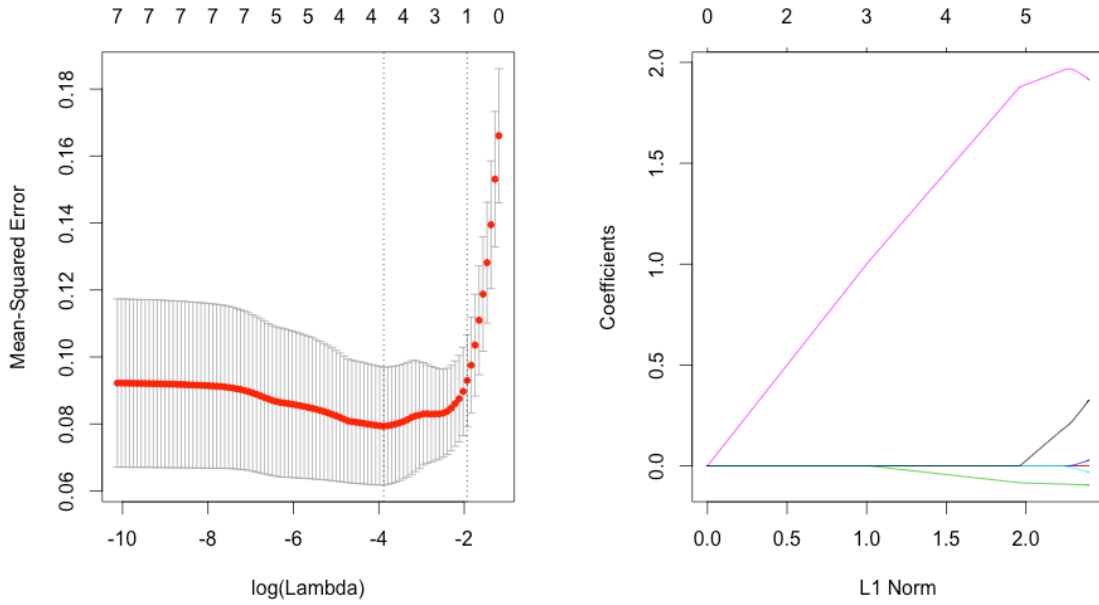
Fonte: da autora.

A tabela mostra que a variável real Centralidade Freeman da cidade de origem Ci (que trata exclusivamente da posição relativa da cidade, de acordo com Freeman, 1977) é a que melhor se relaciona com a medida de tensão regional, e ao forçar que os erros apareçam, se destaca bastante no conjunto de variáveis reais testadas. A variável Distância Dij, conforme esperado, tem relação negativa, e a população da cidade de destino mostra-se sempre uma variável de peso importante.

O gráfico lambda representa o tamanho da penalização em função do erro quadrático médio, e o coeficiente de ajuste ótimo é correspondente ao lambda encontrado. A matriz com todos os lambdas mostra a evolução dos coeficientes em função do relaxamento da restrição de tamanho dos coeficientes res2, e é exemplificada através do Gráfico L1.

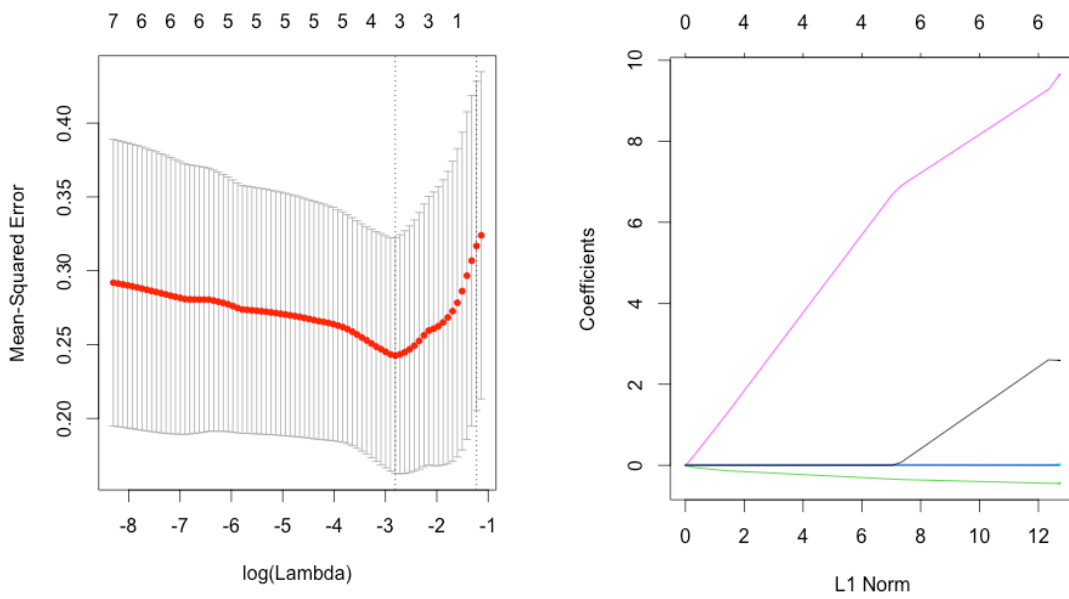
Foi ilustrada a série de gráficos Lambda e L1 para os anos de 1970, 1990 e 2010 (Figuras 21 a 23).

Figura 21 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 1970.



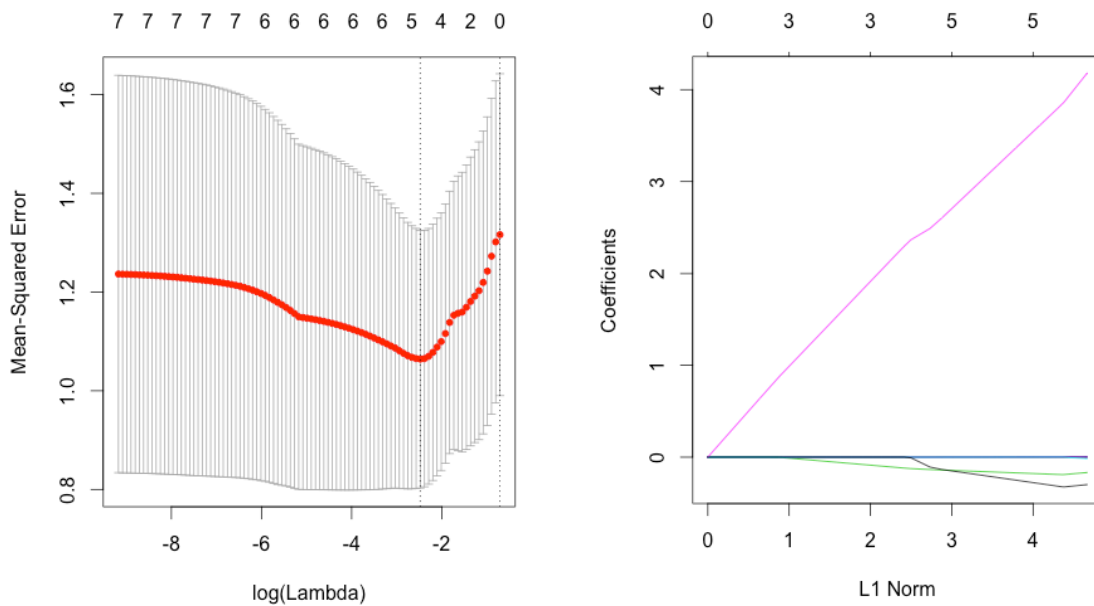
Fonte: da autora.

Figura 22 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 1990.



Fonte: da autora.

Figura 23 – Coeficientes residuais das variáveis reais da medida de tensão regional em 2010.



Fonte: da autora.

Os gráficos de coeficientes residuais Res1 mostram que a medida de tensão regional tem melhor relação com 4 variáveis em 1970, 3 variáveis em 1990 e 5 variáveis em 2010, com o enquadramento mostrado pelo lambda.

Os gráficos L1 mostram sempre a variável Centralidade Freeman da cidade de origem  $C_i$  (posição relativa) que já nasce explicativa na origem, e em todos os anos observamos: o crescimento da variável Centralidade da cidade de destino e a variável Distância com relação negativa que aumenta e cresce no modelo.

Com isso, podemos perceber que com a presença de dependência espacial positiva tanto nas variáveis de origem quanto de destino, o aumento no fluxo agregado é moderado. Isto é evidenciado quando se observa uma correlação espacial negativa tanto nas variáveis de origem quanto de destino.

### Passo 3. Determinação dos efeitos da centralidade

Considerando que centralidade trata da posição relativa de uma entidade pertencente a um sistema, tratou-se de avaliar a influência da centralidade, enquanto tensão geradora que poderá irradiar para outras cidades vizinhas do sistema.

Os efeitos da centralidade podem ajudar na compreensão da diferenciação espacial no sistema regional, e assim, foi calculado em duas escalas: regional e intraurbana. Os efeitos

da centralidade regional serão apresentados a seguir, enquanto que os efeitos da centralidade intraurbana serão apresentados no próximo capítulo, por se relacionarem com a questão de verificação espacial.

Considerando que as cidades de origem e destino podem ser tratadas como sendo um destino para as tensões que são geradas por outras cidades do sistema, ou como sendo parte de caminhos mínimos que conectam outros pares de tensão de origem e destino, são realizados procedimentos baseados na multicolinearidade.

Seja  $c_i$  uma medida da centralização da cidade de origem  $i$  dentro do sistema regional, pode-se testar a sua influência como variável explicativa da quantidade de interações, assim como uma variável  $c_j$  seria uma medida de centralização da cidade destino  $j$ .

Para este cálculo, foi utilizado o software Numerópolis<sup>16</sup>, uma plataforma para análise urbana, possuindo procedimentos padronizados para captura, registro e manipulação de dados socioespaciais; bem como para visualização, e um número indeterminado de *plugins*, cada um deles implementando uma ou mais rotinas analíticas (Lima, 2013).

De posse de um mapa base importado diretamente do QuantumGIS, contendo o sistema espacial considerado, procedeu-se a montagem de um *layer* de pontos, utilizado para gerar representações espaciais baseadas em nós. Cada ponto, portanto, corresponde a uma cidade do sistema regional (Figura 24).

---

<sup>16</sup> Numerópolis é um software de análise espacial urbana, produzido pelo Grupo Sistemas Configuracionais Urbanos do PROPUR da UFRGS.



Figura 24 – Imagem utilizada como base para Numerópolis.



Fonte: da autora.

Não foi utilizado nenhum tipo de carregamento de atributos nas cidades, pois o objetivo aqui é relacionar apenas a posição relativa da cidade em relação às interações existentes, com o dado de tensão regional por ano.

A medida utilizada corresponde a uma propriedade do vértice chamada Centralidade-Freeman, ou seja, descreve a importância de um vértice em função da sua capacidade de interferir positivamente na eficiência da conectividade da rede. O grau de interferência de um vértice na conectividade da rede é medido pela queda da eficiência na rede causada pela remoção das conexões incidentes nele (Lima, 2013).

Considera-se que a centralidade não se alterou ao longo dos anos, pois as cidades não mudaram de posição no território, ou seja, é um dado fixo que será comparado com os dados variáveis de tensão regional (Tabela 12).

Tabela 12 – Valores de centralidade para as cidades do sistema regional.

<b>Cidade</b>	<b>Centralidade</b>
Agudo	0.0679128
Cacequi	0.0685004
Dilermando de Aguiar	0.0900021
Dona Francisca	0.0649754
Faxinal do Soturno	0.0907071
Formigueiro	0.0642704
Itaara	0.0816599
Ivora	0.0761376
Jaguari	0.0660329
Jari	0.0642705
Julio de Castilhos	0.100476
Mata	0.0723777
Nova Palma	0.077195
Pinhal Grande	0.0739052
Quevedos	0.0700278
Restinga Seca	0.0959608
Santa Margarida do Sul	0.0471162
Santa Maria	0.289888
São Francisco de Assis	0.0572207
São João do Polêsine	0.0861248
São Martinho da Serra	0.094702
São Pedro do Sul	0.162371
São Sepé	0.164494
São Vicente do Sul	0.146148
Silveira Martins	0.0858899
Toropi	0.0930906
Vila Nova do Sul	0.101634

Fonte: da autora.

Foram realizadas correlações entre os valores obtidos da medida de tensão regional e os valores de centralidade para as cidades de origem e destino do par da interação.

Assim, é possível comprovar se existe alguma relação entre tensão regional e cidade de origem, cidade de destino, e se as variações entre os valores ocorrem de acordo com algum padrão específico (Tabela 13).

Tabela 13 – Correlações entre medida de tensão regional e centralidade.

<b>Ano</b>	<b>Tr ~ Ci</b>	<b>Tr ~ Cj</b>	<b>Tr ~ Ci + Cj</b>
<b>1970</b>	0,454014795	-0,364570454	-0,014980351
<b>1990</b>	0,391433602	-0,317179694	-0,015403264
<b>2010</b>	0,292212218	-0,176885052	0,040574979

Fonte: da autora.

Pode-se observar que existe uma correlação positiva entre os valores da medida de tensão regional e a centralidade-Freeman das cidades de origem, o que pode significar que é importante a posição relativa das cidades de origem para que a interação de fato tome lugar no sistema regional. A correlação entre a medida de tensão regional e a centralidade-Freeman da cidade de destino é negativa, o que mostra que a interação ocorrerá, independente da localização da cidade no sistema. Estes dados serão melhor exemplificados na verificação estatística.

Como o dado da população das cidades é extremamente importante, e não foi utilizado para o cálculo da medida de centralidade-Freeman, utilizou-se a multiplicação da população das cidades de origem com a centralidade-Freeman das mesmas, e a população das cidades de destino e suas medidas de centralidade-Freeman, e os resultados foram correlacionados com a medida de tensão regional (Tabela 14).

Tabela 14 – Correlações entre medida de tensão regional e centralidade multiplicada pela população.

<b>Ano</b>	<b>Tr ~ Ci*Pi</b>	<b>Tr ~ Cj*Pj</b>
<b>1970</b>	-0,492511677	0,752297166
<b>1990</b>	-0,242923562	0,560356786
<b>2010</b>	0,010283232	0,427160933

Fonte: da autora.

A correlação existente entre a medida de tensão regional e multiplicação entre a centralidade-Freeman da cidade de destino e sua respectiva população é surpreendentemente alta, mostrando que a centralidade-Freeman, aliada à população, ou ao tamanho da cidade, tende a influenciar muito a medida de tensão regional.

#### **Passo 4. Modelando tensões utilizando R**

O sistema R<sup>17</sup> é uma plataforma livre para estatísticas computacionais, que implementa linguagem 'S' para computação gráfica. Pode ser muito eficiente para análise de dados (Dennett, 2012), e especialmente de fácil manuseio para aqueles sem experiência com linguagem de programação.

O RStudio<sup>18</sup> é uma plataforma derivada do R, com uma interface gráfica interessante, sendo um ambiente de desenvolvimento integrado que permite importar códigos de programação existentes, facilitando e padronizando linguagens e tornando-a acessível.

Escolheu-se utilizar esta plataforma pelo fato de fornecer muitos métodos de análise de estatística padrão inovadora e recente. Além disso, o fato de que muitos pesquisadores estão utilizando a plataforma especificamente para análises espaciais a torna testada e aprovada pela comunidade científica, validando como método (Bivand, Pebesma & Gómez-Rubio, 2013, Chesire & Uberti, 2014).

Segundo Bivand, Pebesma & Gómez-Rubio (2013), muitos métodos de análise de dados espaciais são usados com menos frequência do que as técnicas estatísticas mais comuns, e isso parece ser benéfico mais pela proximidade dos dados e dos métodos que o RStudio permite. Além disso, a possibilidade de se ter métodos para espacializar tornou acessíveis algumas tarefas árduas em tempos passados, como por exemplo a visualização de séries temporais, que serão abordadas neste trabalho.

Podemos elencar algumas outras facilidades introduzidas pela plataforma RStudio (Bivand, Pebesma & Gómez-Rubio, 2013, Chesire & Uberti, 2014), tais como: (i) facilidade para mover dados através de pacotes de estatística espacial; (ii) o fato de que os códigos já foram testados anteriormente, por serem existentes, e permitem funções de combinação, plotagem, sobreposição, dentre outros, de todos os objetos espaciais; (iii) a interface com os sistemas de informação geográficas (SIG), que também será abordada neste trabalho.

A linguagem utilizada é de programação, que permite visualizar de forma concomitante resultados, gráficos e tabelas das variáveis utilizadas como dados de entrada (Anexo B).

#### **Próximos Passos. Verificação, diferenciação espacial e tensão regional por direção**

De acordo com os passos do modelo de tensão regional, é necessário verificar em que medida a tensão regional está relacionada com a forma das cidades. Para esta relação ser estabelecida, é necessário estabelecer análises espaciais, que serão tratadas no próximo capítulo.

---

<sup>17</sup> O Pacote R pode ser acessado através do site <http://www.r-project.org/>.

<sup>18</sup> A plataforma RStudio pode ser acessada através do site <http://www.rstudio.com/>.

Foi ainda calculada a medida de tensão regional por direção (norte, sul, leste e oeste), para permitir a comparação com o aumento de área urbanizada das formas urbanas de cada cidade componente do sistema regional, igualmente por direção.

Sendo assim, dispõe-se dos seguintes dados para todos os pares de cidades que compõem o sistema regional: tensão regional por direção em 1970, tensão regional por direção em 1990, tensão regional por direção em 2010, área urbanizada por direção em 1970, área urbanizada por direção em 1990 e área urbanizada por direção em 2010.

Estes dados compõem as análises na escala regional, e serão complementados, ainda, pelos dados referentes à escala intraurbana. O próximo capítulo, que tratará sobre a verificação espacial, trará estes dados à tona, e permitirá estabelecer correlações entre as escalas e entre as medidas.

### **5.5 Resultados Preliminares**

Os resultados preliminares obtidos, ainda que somente na escala regional, e sem qualquer correlação com a questão espacial, mostram que o modelo de tensão regional fornece uma ferramenta útil para o estudo da influência dos efeitos espaciais de agregação em modelos gravitacionais, e como podem contribuir de várias maneiras para conquistas substanciais em estudos espaciais lineares.

Uma primeira contribuição importante é a identificação de que quando os dados são agregados e a quantidade de dependência espacial no menor nível de agregação é desconhecida, temos uma perspectiva de baixas correlações, justamente nos casos onde a dependência dos parâmetros espaciais mostra-se negativa ou descendente.

Neste sentido, podemos aferir ainda que quanto maior número de variáveis reais ou observadas, maiores as chances de aumentarmos os pesos de correlações na perspectiva de identificar as que melhor se relacionam com a variável de interesse.

Também reside o modelo como sugestão de ferramenta estatística para inferir o valor desejável para fluxos médios num nível rebuscado de agregação, onde somente dados a um nível mais abrangente de agregação encontram-se disponíveis. Uma estratégia possível seria explorar expressões formais derivadas dos fluxos médios, parametrizando o modelo para derivar os fluxos médios desagregados, diferente do que foi feito no modelo de tensão regional, onde foram obtidas as constantes de fluxos estimados baseados nos fluxos reais.

A obtenção de variáveis pode ser vista como uma etapa importante do modelo, pois, dependendo do formato do dado, pode acarretar tarefa difícil de normalização e parametrização posterior dos mesmos, em função de que, sendo o modelo uma compilação de estimativas, baseadas em dados de variáveis reais, deve apresentar certa relatividade

numérica, para não fazer com que uma variável se destaque mais do que outra simplesmente porque seu dado absoluto é maior.

O manuseio dos dados, portanto, exige sensibilidade no sentido de calibragem, mas a operacionalidade do modelo de tensão regional mostra-se simples e fácil de ser conduzida.

A utilização da ferramenta RStudio possibilita rodar o modelo de forma operacional, facilitando o manejo e alteração dos dados de variáveis e calibragem do mesmo, contribuindo para análises estatísticas e interagindo com ferramentas de visualização e verificação espacial, a serem tratadas no próximo capítulo.

O modelo de tensão regional proposto mostra-se uma ferramenta usual e de contribuição importante para o estudo das interações espaciais aliado à centralidade na escala regional.

Aliando a tensão regional com a centralidade-Freeman na escala regional, podemos concluir que as interações espaciais ocorrerão independente da posição relativa das cidades de origem, mas a posição relativa das cidades de destino é importante. Interessante destacar o uso da técnica Lasso, que contribuiu no apontamento da medida de centralidade-Freeman regional da cidade de origem como a variável real que melhor explica a medida de tensão regional.

Além disso, fica evidente que o fluxo ocorre baseado no par de interação, sendo importantes as variáveis de posição relativa da cidade de origem (centralidade), e população da cidade de destino, mostrando que a atratividade dos destinos e a oferta de serviço são extremamente relevantes.

## **6. VERIFICAÇÃO ESTATÍSTICA E DIFERENCIAÇÃO ESPACIAL**

Os passos do modelo de tensão regional mostram que é fundamental a análise espacial dos dados obtidos, uma vez que o objetivo principal deste trabalho é verificar a repercussão que a medida de tensão regional tem sobre a forma e o crescimento das cidades.

É de extrema importância a compreensão da diferenciação espacial pela qual passam as cidades quando crescem, a fim de dimensionar as medidas existentes e selecionar as que serão utilizadas.

Sendo assim, no passo de verificação, foram adotadas duas etapas: a verificação estatística e a verificação espacial.

Na verificação estatística, foram obtidos dados de área urbanizada por período de tempo considerado, e comparado com as medidas obtidas de tensão regional.

Na verificação espacial, foram tratados os dados de diferença de crescimento por período de tempo, e comparada com a medida de tensão regional, para duas escalas: regional e intraurbana.

Foram selecionadas, de forma aleatória, 5 cidades componentes do sistema regional para serem verificadas na escala intraurbana, permitindo estabelecer uma correlação com as alterações da estrutura interna das cidades e a medida de tensão regional.

### **6.1 Diferenciação Espacial**

A segunda parte dos estudos aqui relatados depende da verificação do quanto se transformou a estrutura interna das cidades do sistema examinado e sua possível relação com as forças externas anteriormente descritas.

A alteração das propriedades da configuração espacial e das estruturas internas da cidade, que podem ocorrer por diversos fatores, incluindo o crescimento das cidades, acaba gerando diferenciações espaciais.

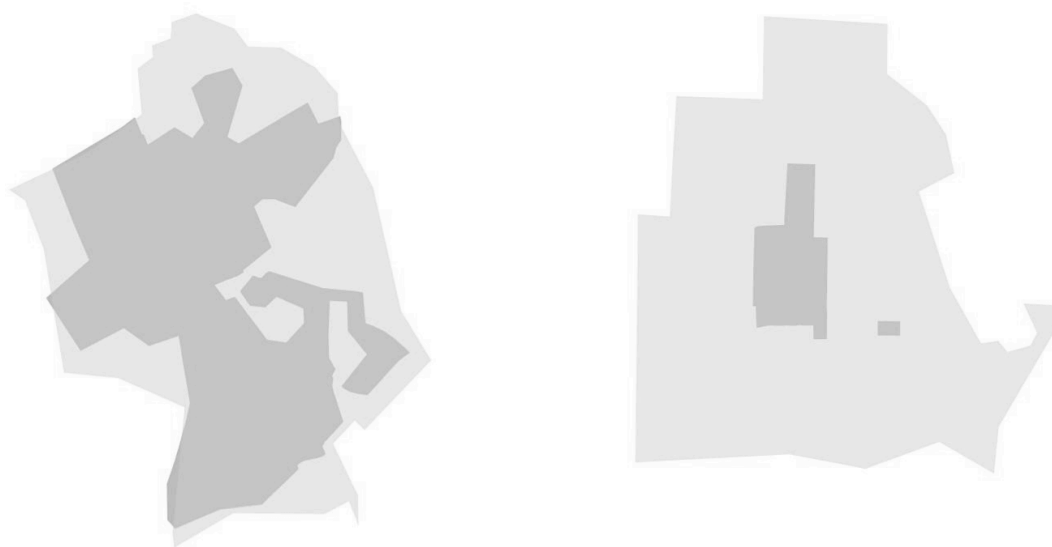
A diferenciação espacial pode provir simplesmente da própria estrutura urbana e regional, criando diferentes níveis de interação, em função das características que as relações e interações podem assumir (Colusso, 2007).

Pode ser em função da alcançabilidade de um espaço em relação a outro, ou da própria acessibilidade. Também pode se referir especificamente à concentração de atividades de determinado tipo, ou sua atratividade (Krafta, 1994).

Essas medidas de diferenciação espacial podem, entre outras possibilidades, abranger alguns desdobramentos, como medidas de área, medidas de deformação geométrica e medidas de estruturação interna.

As medidas de área referem-se às diferenças verificadas na área urbanizada, supondo que os volumes totais de trocas entre as cidades, expressas na medida de tensão regional, se reflitam na expansão das áreas urbanizadas dessas cidades segundo algum grau de proporcionalidade (proporções aritméticas, geométricas, mais provavelmente segundo uma lei de potência) (Figura 25).

Figura 25 – Exemplo de medida de área, para as cidades de São Francisco de Assis e Jaguari: em cor mais forte, área urbanizada em 1970; em cor mais fraca, área urbanizada em 2010.



Fonte: da autora.

Foram calculadas as medidas de área urbanizada por período de tempo, o que possibilita estabelecer lacunas entre as séries temporais, e definir as medidas de crescimento absoluto em área urbanizada, por exemplo, de 1970 para 1990, de 1990 para 2010 e 1970 para 2010.

Temos, portanto, disponíveis os seguintes resultados: Tensão Regional em 2010, Tensão Regional em 1990, Tensão Regional em 1970, Área Urbanizada em 1970, Área Urbanizada em 1990 e Área Urbanizada em 2010 (Tabela 15).

Tabela 15 – Exemplo de tabela Tensão Regional por Ano e Área Urbanizada por Ano.

Origem	Destino	Tr 1970	Ui 1970	Uj 1970	Tr 1990	Ui 1990	Uj 1990	Tr 2010	Ui 2010	Uj 2010
Agudo	São Sepé	0,063	0,780	2,671	0,021	3,880	18,748	0,535	4,080	19,670
Agudo	Santa Maria	0,816	0,780	25,004	0,972	3,880	128,28	1,807	4,080	136,12
Cacequi	Santa Maria	0,930	3,865	25,004	0,980	11,120	128,28	1,747	21,170	136,12
Dilermando de Aguiar	Santa Maria	0,960	0,500	25,004	0,850	2,528	128,28	1,566	2,650	136,12
Dilermando de Aguiar	São Pedro do Sul	0,700	0,500	3,000	0,550	2,528	17,017	1,253	2,650	1,630
Dona Francisca	Agudo	0,410	0,291	0,780	0,605	3,798	3,880	1,115	4,270	4,080
Dona Francisca	Faxinal do Soturno	0,671	0,291	0,873	0,859	3,798	2,965	1,178	4,270	3,320
Dona	Santa Maria	0,752	0,291	25,004	0,940	3,798	128,28	1,683	4,270	136,12



Francisca										
Faxinal do Soturno	Santa Maria	1,176	0,873	25,004	1,796	2,965	128,28	3,027	3,320	136,12
Faxinal do Soturno	Agudo	1,037	0,873	0,780	1,299	2,965	3,880	2,172	3,320	4,080
Faxinal do Soturno	Nova Palma	0,780	0,873	0,393	1,263	2,965	2,691	1,644	3,320	3,460
Faxinal do Soturno	Júlio de Castilhos	0,582	0,873	3,454	0,511	2,965	14,053	0,720	3,320	19,890
Faxinal do Soturno	São Sepé	0,541	0,873	2,671	0,410	2,965	18,748	0,718	3,320	19,670
Formigueiro	Santa Maria	0,722	0,152	25,004	0,856	1,638	128,28	1,177	1,730	136,12
Itaara	Santa Maria	1,380	0,200	25,004	1,450	1,433	128,28	5,350	16,240	136,12
Ivorá	Santa Maria	0,833	0,284	25,004	0,998	1,187	128,28	1,464	1,090	136,12
Ivorá	Faxinal do Soturno	0,722	0,284	0,873	0,811	1,187	2,965	0,868	1,090	3,320
Ivorá	Júlio de Castilhos	0,131	0,284	3,454	0,256	1,187	14,053	0,421	1,090	19,890
Jaguari	Santa Maria	1,055	0,657	25,004	1,184	8,616	128,28	2,703	9,000	136,12
Jaguari	São Vicente do Sul	0,335	0,657	2,806	0,590	8,616	7,080	1,777	9,000	20,560
Jaguari	Cacequi	0,072	0,657	3,865	0,255	8,616	11,120	0,353	9,000	21,170
Jari	Santa Maria	0,770	0,500	25,004	0,800	1,813	128,28	1,335	1,580	136,12
Jari	Toropi	0,520	0,500	0,200	0,550	1,813	1,531	1,152	1,580	2,020
Mata	Santa Maria	0,918	0,813	25,004	0,936	1,930	128,28	1,503	2,980	136,12
Mata	Cacequi	0,373	0,813	3,865	0,462	1,930	11,120	0,579	2,980	21,170
Nova Palma	Santa Maria	1,017	0,393	25,004	1,225	2,691	128,28	2,358	3,460	136,12
Nova Palma	Júlio de Castilhos	0,061	0,393	3,454	0,207	2,691	14,053	0,318	3,460	19,890
Pinhal Grande	Santa Maria	0,638	0,200	25,004	0,713	5,256	128,28	1,157	5,890	136,12
Pinhal Grande	Júlio de Castilhos	0,240	0,200	3,454	0,400	5,256	14,053	0,566	5,890	19,890
Quevedos	São Pedro do Sul	0,753	0,151	3,000	0,650	0,740	17,017	1,151	2,100	1,630
Restinga Seca	Santa Maria	1,303	1,503	25,004	1,993	2,664	128,28	4,014	4,490	136,12
Restinga Seca	Faxinal do Soturno	0,676	1,503	0,873	0,834	2,664	2,965	0,923	4,490	3,320
Santa Margarida do Sul	Santa Maria	1,310	0,200	25,004	1,200	0,400	128,28	1,965	8,460	136,12
Santa Margarida do Sul	Vila Nova do Sul	0,150	0,200	0,300	0,100	0,400	3,979	0,803	8,460	3,710
São Francisco de Assis	Santa Maria	0,806	0,251	25,004	0,935	9,063	128,28	1,709	1,070	136,12
São João do Polêsine	Santa Maria	0,788	0,530	25,004	0,963	0,839	128,28	1,931	9,210	136,120
São Martinho da Serra	Santa Maria	1,058	0,348	25,004	1,263	1,307	128,28	2,356	2,560	136,20
São Pedro do Sul	Santa Maria	1,819	3,000	25,004	3,204	17,017	128,28	6,344	1,630	136,12
São Pedro do Sul	São Vicente do Sul	0,608	3,000	2,806	1,047	17,017	7,080	2,995	1,630	20,560

Fonte: da autora.

Podemos avaliar se existe correlação direta entre o aumento da medida de tensão regional e a área urbanizada em períodos coincidentes. É avaliado se existe correlação entre a medida de tensão regional e a área urbanizada (Tabela 16) e se a medida de tensão regional em 2010 é explicativa da área urbanizada em 2010 para cidades de origem e para cidades de destino (Figura 26), e este processo é repetido para os anos de 1990 (Figura 27) e 1970 (Figura 28).

Tabela 16 – Correlação entre medida de tensão regional e área urbanizada.

	T_Ui	T_Uj
<b>1970</b>	-0,510853276	0,75532139
<b>1990</b>	-0,276629093	0,554752472
<b>2010</b>	-0,00741419	0,426537503

Fonte: da autora.

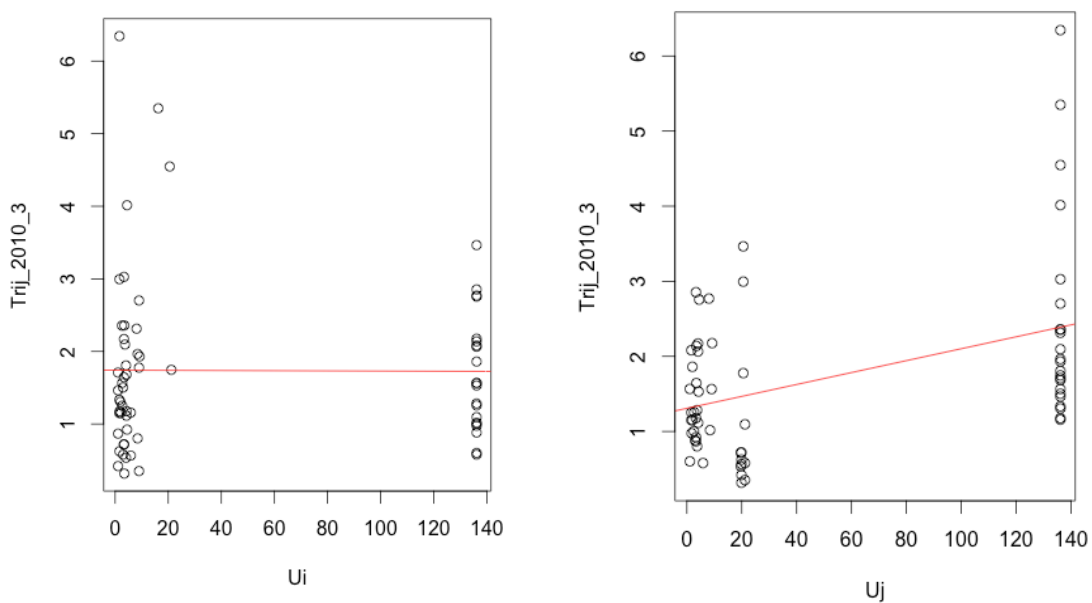
Fica evidente as altas correlações encontradas entre a medida de tensão regional e a área urbanizada da cidade de destino, mostrando que quanto maior a cidade, maior a chance de a interação entre origem e destino de fato ocorrer.

As comparações entre a medida de tensão regional e área urbanizada foram realizadas utilizando gráficos de dispersão.

Os gráficos ou diagramas de dispersão são ilustrativos dos modelos de regressão linear, e mostram uma relação direta ou positiva entre as variáveis quando os valores de Y aumentarem em decorrência da elevação dos valores de X. Será inversa ou negativa quando os valores de Y variarem inversamente em relação aos de X. A reta do gráfico explica de forma geral e teoricamente a relação entre as variáveis dispostas em X e Y. Isto significa que os valores observados de X e Y nem sempre serão iguais aos valores de X' e Y' estimados pela reta de regressão. Haverá sempre alguma diferença, e essa diferença pode significar (i) que as variações de Y não são perfeitamente explicadas pelas variações de X; (ii) que existem outras variáveis das quais Y depende; (3) que os valores de X e Y são obtidos de uma amostra específica que apresenta distorções em relação a realidade. Esta diferença em estatística é chamada de erro ou desvio (Tishiraini, 2006).

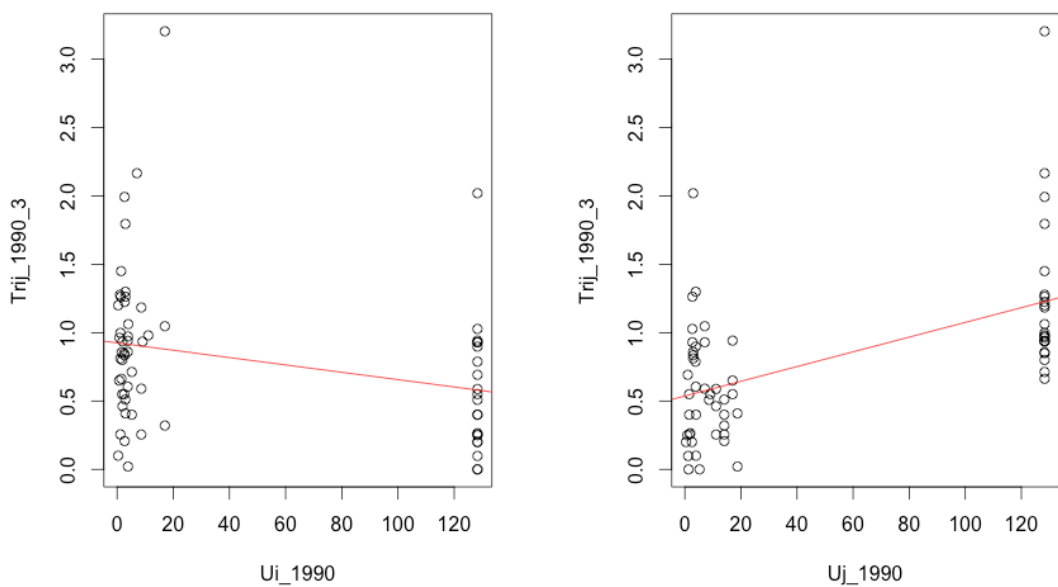
De acordo com Tibshiraini (1996), o processo de regressão significa que os pontos plotados no gráfico são definidos, modelados ou regredidos, a uma reta que corresponde à menor distância possível entre cada ponto plotado e a reta. Em outras palavras, busca-se reduzir ao mínimo possível os somatórios dos desvios entre Y e Y'.

Figura 26 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 2010 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ).



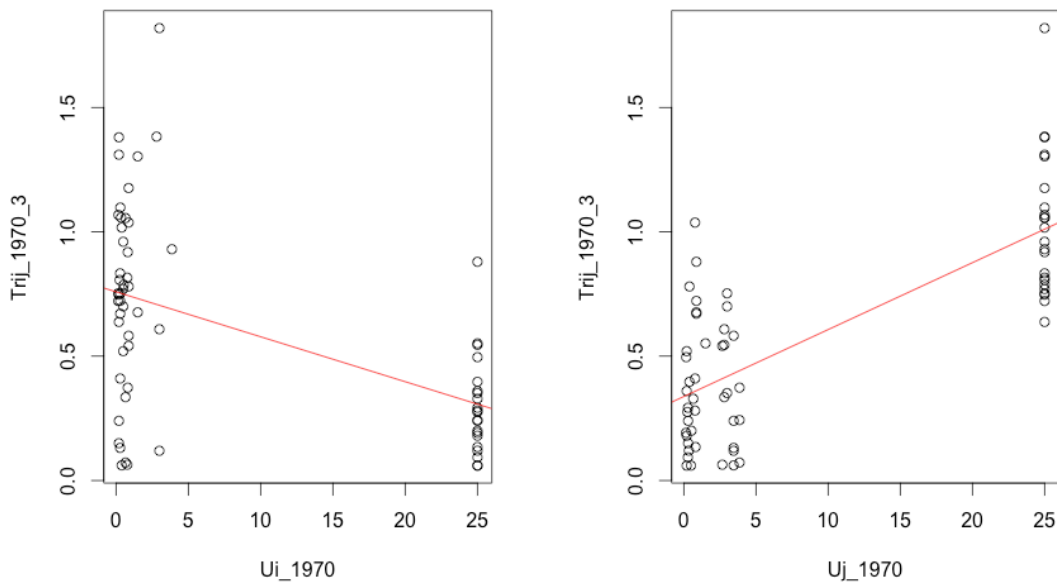
Fonte: da autora.

Figura 27 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1990 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ).



Fonte: da autora.

Figura 28 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1970 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ).

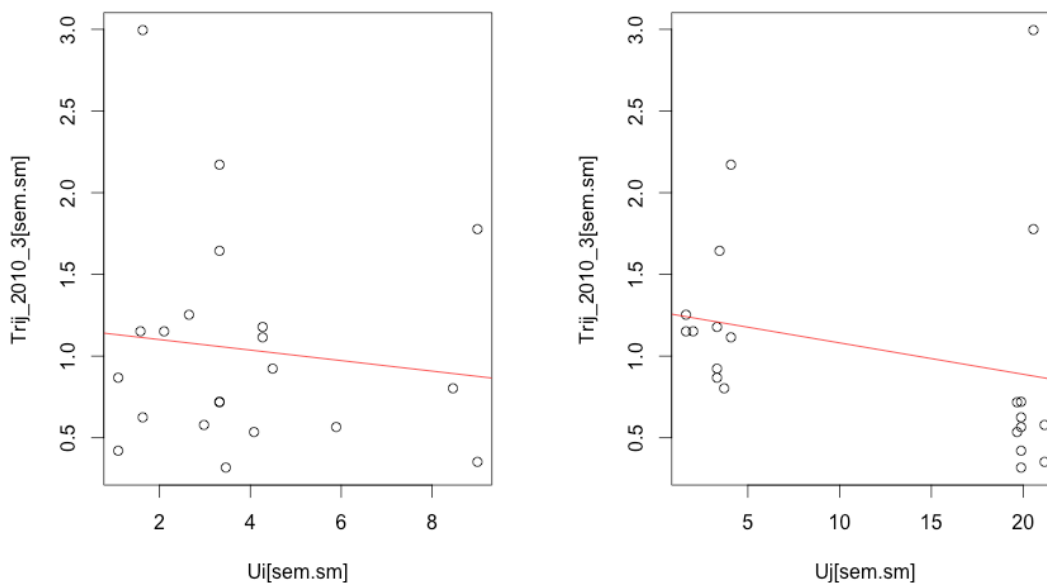


Fonte: da autora.

Existe relação positiva entre a medida de tensão regional e a área urbanizada da cidade de destino em todos os anos, fazendo crer que, tanto maior é a área urbanizada da cidade de destino, mais se relaciona com a medida de tensão regional.

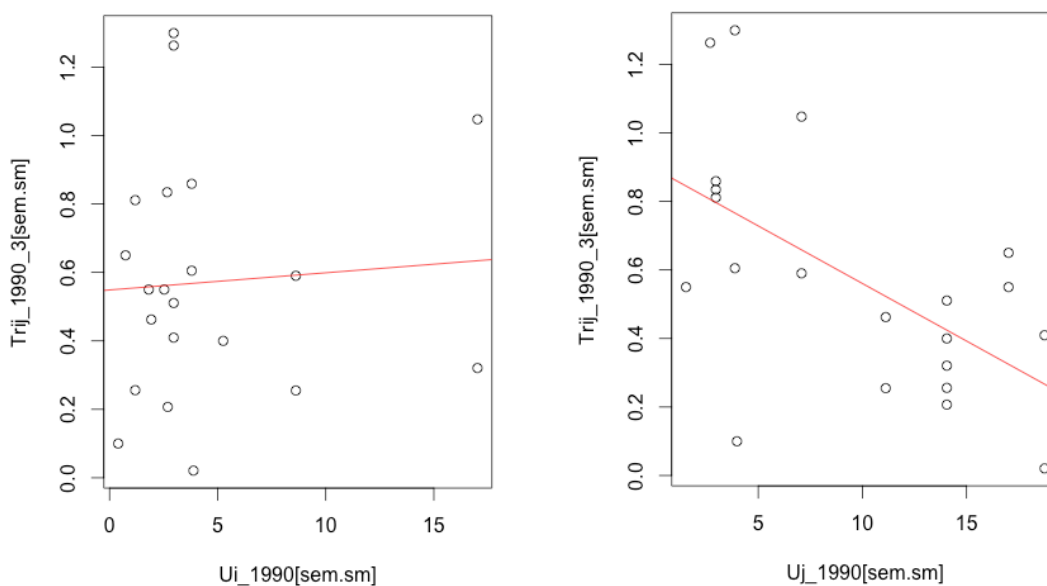
Pode-se observar que existe grande concentração de pontos no início e no fim dos gráficos, o que representa todas as interações envolvendo Santa Maria. Em função disto, foi testada a correlação, excluindo Santa Maria das interações, tanto de origem quanto de destino, em 2010 (Figura 29), 1990 (Figura 30) e em 1970 (Figura 31).

Figura 29 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 2010 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ), exceto Santa Maria.



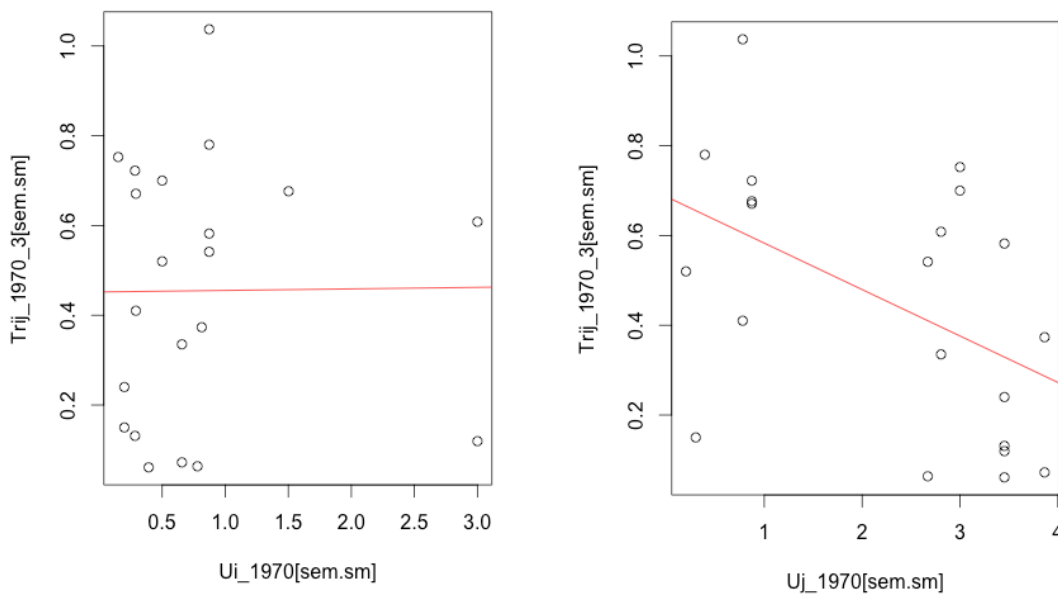
Fonte: da autora.

Figura 30 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1990 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ), exceto Santa Maria.



Fonte: da autora.

Figura 31 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional em 1970 e Área urbanizada na cidade de origem ( $U_i$ ) e cidade de destino ( $U_j$ ), exceto Santa Maria.



Fonte: da autora.

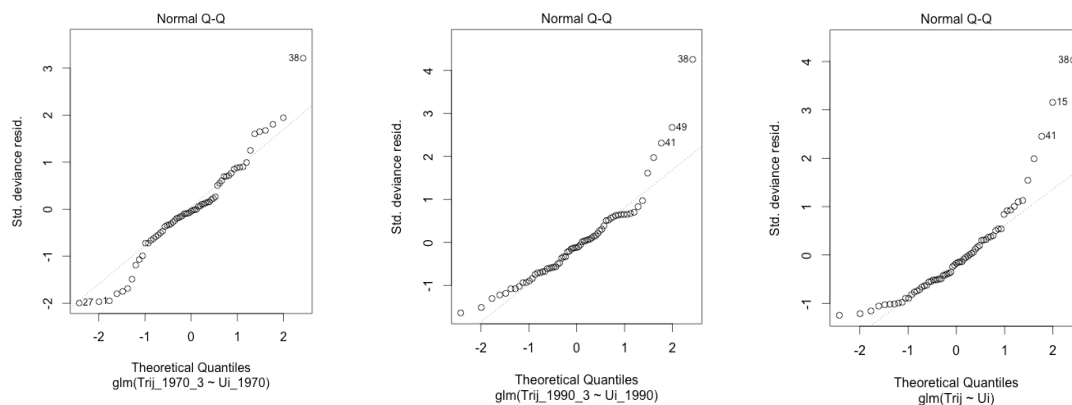
A eliminação de Santa Maria das interações mostra uma queda brusca na relação entre medida de tensão regional e área urbanizada da cidade de destino, gerando a ideia de que Santa Maria atua muito fortemente como destino em todos os anos considerados.

A validação do modelo pode ser interpretada de acordo com os gráficos residuais. Existem diversas maneiras de se testar os resíduos do modelo, e sua avaliação é importante para entender o quão bem o modelo encaixa as variáveis e se as variáveis estão de acordo com as estimativas propostas (Tibshirani, 1996).

Os gráficos gerados auxiliam na visualização dos dados, e foi escolhido o tipo de gráfico *Normal Quantile-Quantile* para diagnosticar o quão bem a distribuição teórica especificada se encaixa em um conjunto de medidas. A grande diferença de um gráfico Normal Q-Q dos demais gráficos lineares é que a estimativa dos parâmetros de localização e escala é dimensionada de forma linear (Tibshirani, 1996).

Foram estimados os erros e resíduos entre tensão regional e área urbanizada, para cada ano, para cidades de origem (Figura xx) e cidades de destino (Figura 32).

Figura 32 – Gráficos Normal Q-Q da estimativa entre tensão regional e área urbanizada nas cidades de origem, em 1970, 1990 e 2010.

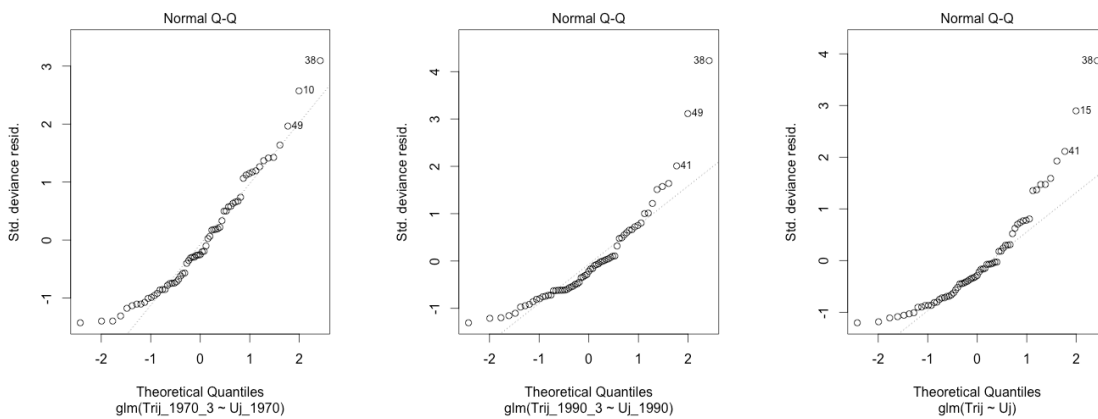


Fonte: da autora.

Quando a maioria dos pontos pode ser inserida em uma linha, e alguns pontos se encontram fora desta linha, significa que existem dados fora de um padrão, e quando existe uma regularidade de que a parte esquerda dos dados está abaixo da linha, e parte superior está acima da linha, significa que existem longas caudas nas extremidades da distribuição dos dados, como se alguns dados se destacassem como fora do padrão, tanto no limite inferior quanto superior (Tibshirani, 1996).

Estas duas situações são encontradas, especialmente nos limites superiores. Como é possível identificar no gráfico quais são os dados da interação que se encontram fora da curva (os pontos são numerados), podemos afirmar que, sempre que a estimativa está sendo realizada para um par onde uma das cidades é muito pequena (área urbanizada de baixo valor) e a outra cidade é Santa Maria (maior valor de área urbanizada), o ponto sai fora da linha reta.

Figura 33 – Gráficos Normal Q-Q da estimativa entre tensão regional e área urbanizada nas cidades de destino, em 1970, 1990 e 2010.



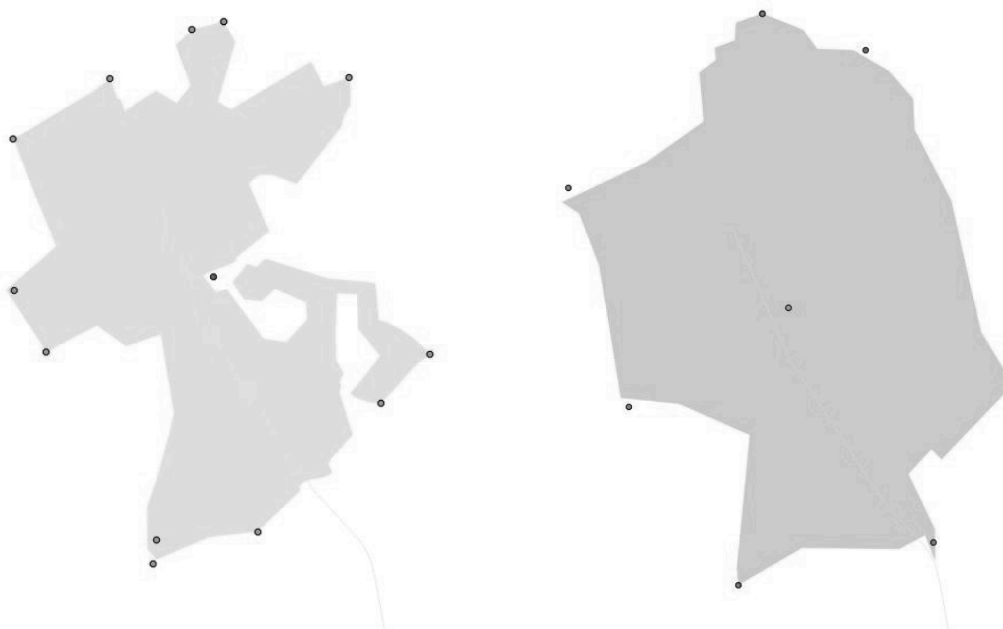
Fonte: da autora.

Esta situação se torna ainda mais regular quando se trata das cidades de origem, quando os mesmos pontos estão sempre localizados acima da reta ao final da linha, significando novamente as interações entre cidades de tamanhos muito diferentes, e sempre com Santa Maria fazendo parte da interação.

As medidas de deformação geométrica referem-se à forma geral dos assentamentos urbanos, cuja evolução estaria supostamente afetada pelas tensões regionais do sistema. Nesse sentido, esta deformação privilegiaria determinadas direções, ou eixos de interação espacial, estendendo a área urbana consistentemente nessas direções. Estas deformações poderiam ser descritas por medidas geométricas propriamente ditas, como variação do perímetro urbano, aumento bruto de área urbanizada, deformação proporcional, deformação por direção, dentre outras medidas (Figura 34).



Figura 34 – Exemplo de medida de deformação geométrica, para a cidade de São Francisco de Assis: em cor mais fraca, área urbanizada em 1970, calculada em direção aos vértices de forma; em cor mais forte, área urbanizada em 2010, igualmente calculada em direção aos vértices de forma.



Fonte: da autora.

Foi utilizada a deformação geométrica proporcional, calculada por direção norte, sul, leste e oeste, calculada para cada ano da série temporal considerada. Sendo assim, temos disponíveis os dados de Tensão Regional por direção em 2010, Tensão Regional por direção em 1990, Tensão Regional por direção em 1970, Área Urbanizada por Direção em 2010, Área Urbanizada por Direção em 1990 e Área Urbanizada por Direção em 1970 (Tabela 17).

Tabela 17 – Exemplo de tabela Tensão Regional por Ano e Área Urbanizada por Direção por Ano.

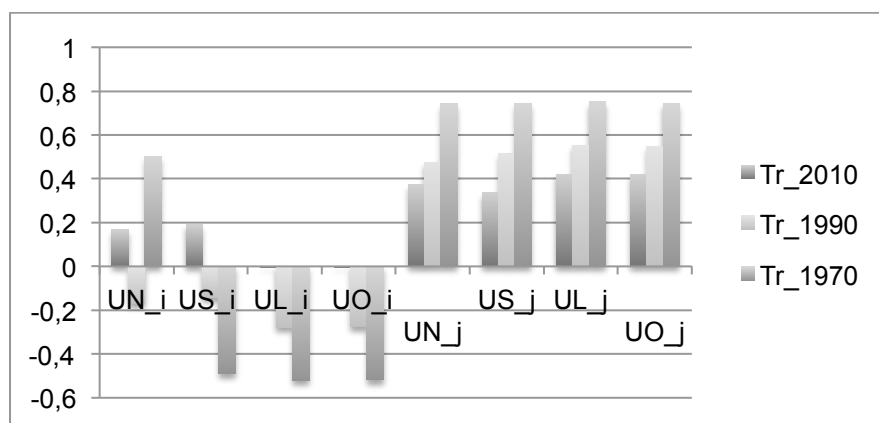
Origem	Destino	Tr	UN	US	UL	UO	UN	US	UL	UO
		1970	1970	1970	1970	1970	1970	1970	1970	1970
			i	i	i	i	j	j	j	j
Agudo	São Sepé	0,063	0,5	0,5	0,9	0,7	1,1	0,9	1,2	1,4
Agudo	Santa Maria	0,816	0,5	0,5	0,9	0,7	4,5	4,5	9,1	7,6
Cacequi	Santa Maria	0,930	1,4	1,7	1,5	1,7	4,5	4,5	9,1	7,6
Dilermando de Aguiar	Santa Maria	0,960	0,3	0,3	0,3	0,3	4,5	4,5	9,1	7,6
Dilermando de Aguiar	São Pedro do Sul	0,700	0,3	0,3	0,3	0,3	1,4	1,6	1,1	1
Dona Francisca	Agudo	0,410	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,9	0,7
Dona Francisca	Faxinal do Soturno	0,671	0,3	0,3	0,4	0,4	0,7	0,7	0,5	0,6
Dona Francisca	Santa Maria	0,752	0,3	0,3	0,4	0,4	4,5	4,5	9,1	7,6

Faxinal do Soturno	Santa Maria	1,176	0,7	0,7	0,5	0,6	4,5	4,5	9,1	7,6
Faxinal do Soturno	Agudo	1,037	0,7	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,9	0,7
Faxinal do Soturno	Nova Palma	0,780	0,7	0,7	0,5	0,6	0,3	0,3	0,4	0,2
Faxinal do Soturno	Júlio de Castilhos	0,582	0,7	0,7	0,5	0,6	1,4	1,2	1,7	1,6
Faxinal do Soturno	São Sepé	0,541	0,7	0,7	0,5	0,6	1,1	0,9	1,2	1,4
Formigueiro	Santa Maria	0,722	0,2	0,2	0,15	0,4	4,5	4,5	9,1	7,6

Fonte: da autora.

A relação direta entre a medida de tensão regional calculada por ano e a área urbanizada por direção mostra o crescimento das cidades diante da tensão exercida por um par de cidades (Figura 35).

Figura 35 – Relação entre medida de tensão regional por ano e área urbanizada por direção.



Fonte: da autora.

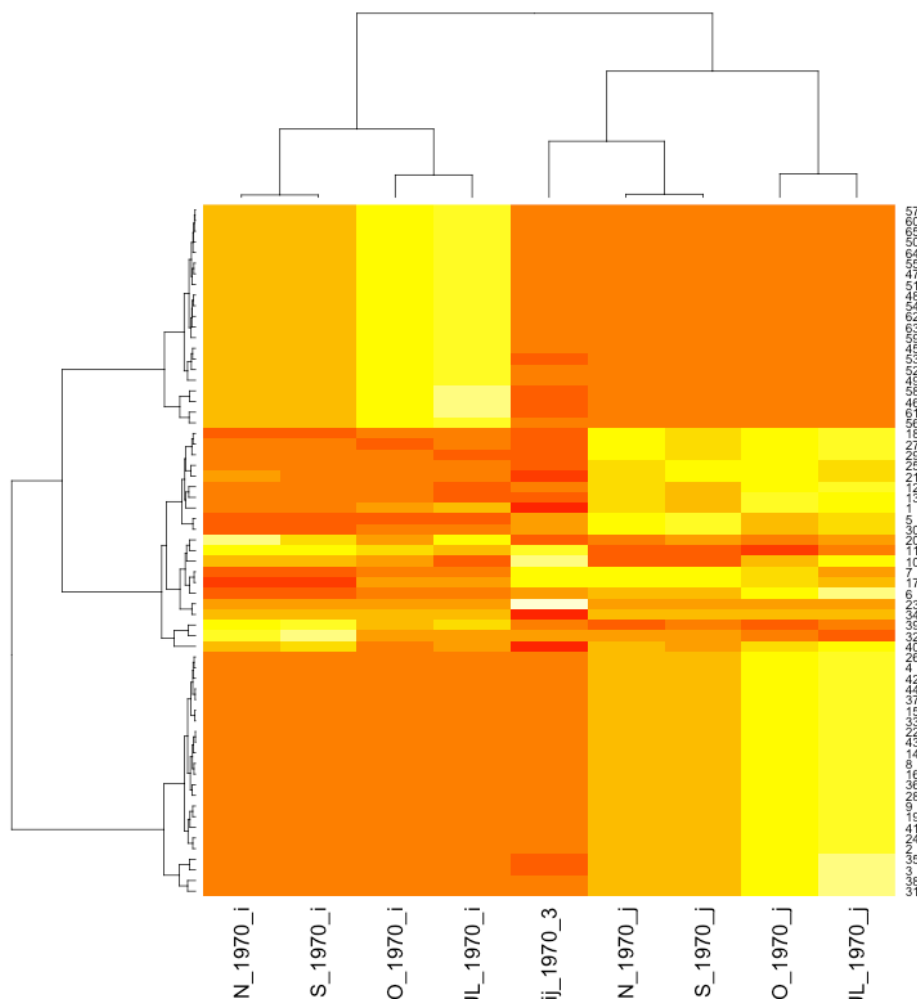
Podemos perceber que existe relação muito mais direta entre o tamanho das cidades de destino e a medida de tensão regional do que com as cidades de origem.

Para melhor percepção da relação entre a medida de tensão regional e a área urbanizada, montaram-se mapas de calor (*heatmaps*), que intensificam as relações entre as medidas, e esboçam de forma pormenorizada e hierarquizada quais as relações aparecem mais ou menos fortes.

Foram elaboradas também matrizes de relação entre a medida de tensão regional por ano e a área urbanizada por direção, onde, através da combinação entre pares, podem ser visualizadas as sobreposições de curvas de origem e destino.

Para o ano de 1970, montou-se o mapa de calor, compondo a medida de tensão regional  $Tr_{ij}$ , e comparou-se a medida com os valores de área urbanizada por direção para cidades de origem e de destino (Figura 36).

Figura 36 – Mapa de calor relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por direção para origem e destino, para 1970.

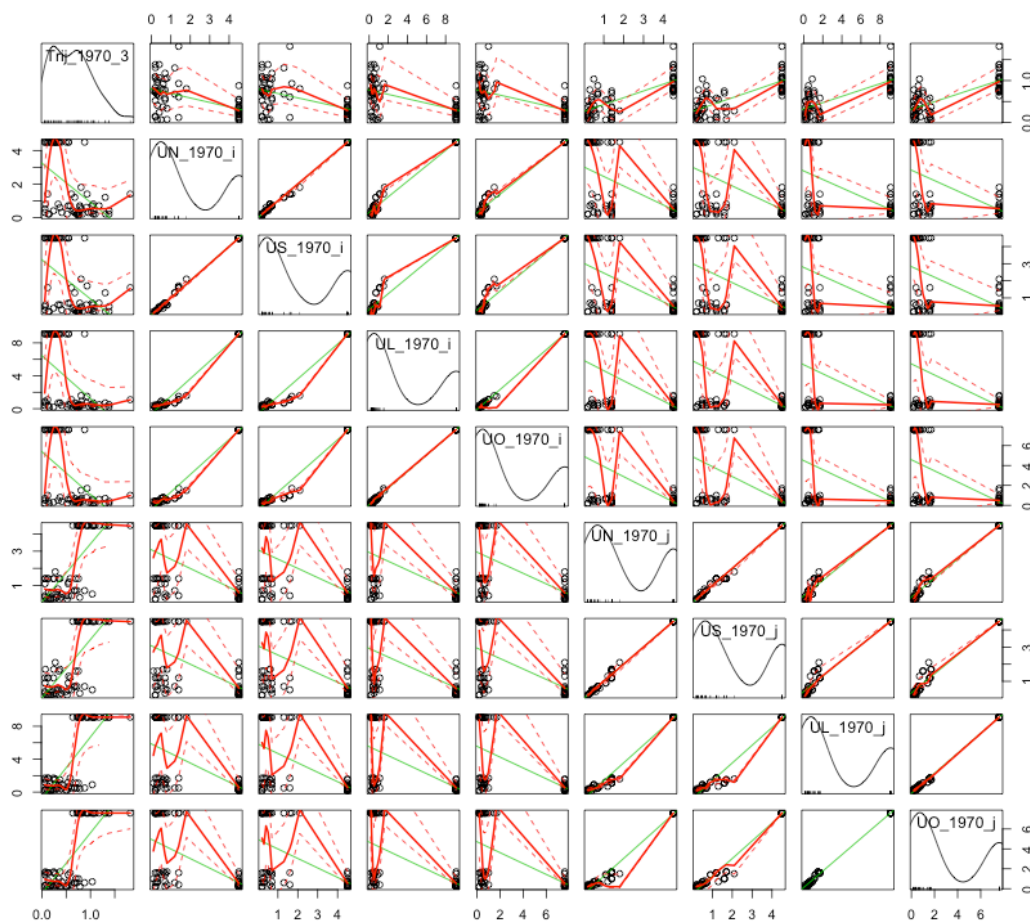


Fonte: da autora.

Podemos perceber que em 1970, a medida de tensão regional, tida como referência para a comparação com as áreas urbanizadas por direção para origem e destino, se relaciona de forma bastante próxima com cerca de 1/3 das interações entre pares, tanto de origem quanto de destino, mostrando que existe um padrão de regularidade na hierarquia entre os pares de interação e a tensão regional.

Foi realizada também uma matriz de dispersão na comparação das duas medidas, de maneira a determinar se existe uma correlação linear entre múltiplas variáveis, dado útil para identificar variáveis específicas que podem ter correlações semelhantes ao dado de referência, que neste caso, é a medida de tensão regional (Figura 37).

Figura 37 – Matriz de dispersão relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por direção para origem e destino, para 1970.

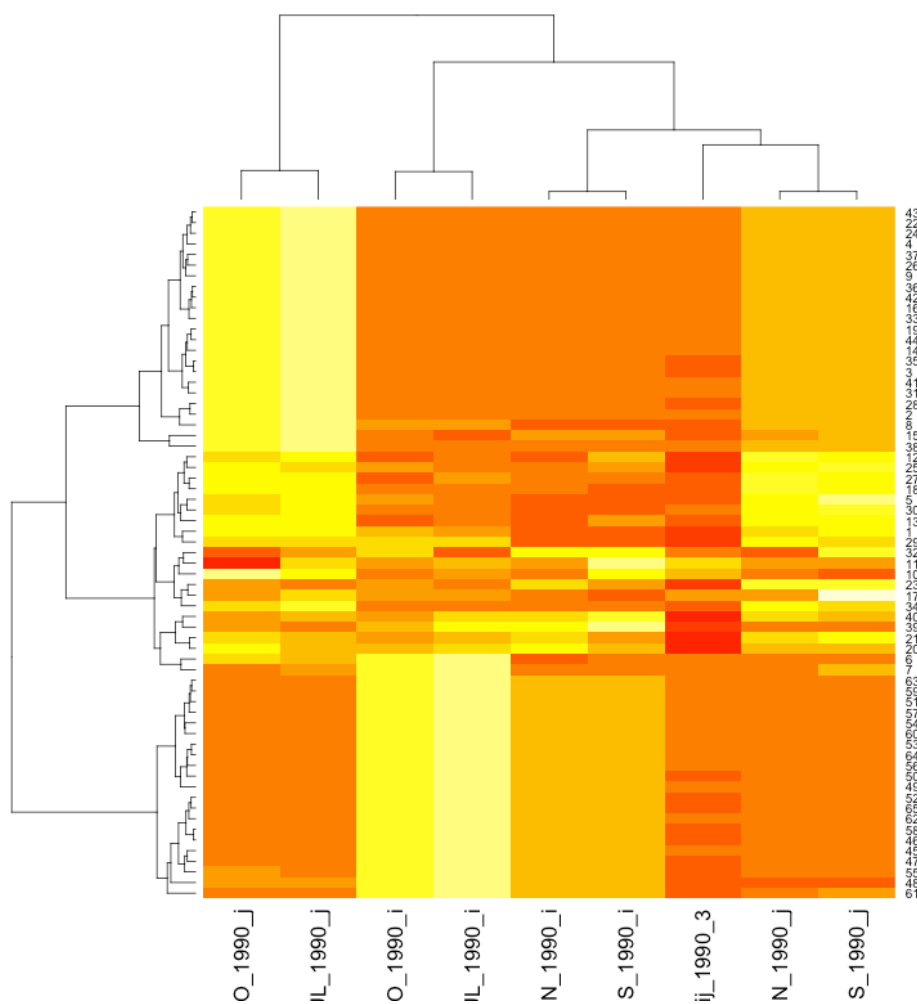


Fonte: da autora.

Pela matriz de dispersão podemos observar a regularidade que existe na comparação dos dados similares, pois quando comparada a tensão regional em 1970 com as áreas urbanizadas nas cidades de origem, por direção, os gráficos mostram-se sempre lineares, e assim por diante.

Também montou-se o mapa de calor para o ano de 1990, compondo a medida de tensão regional  $T_{rij}$ , e comparou-se a medida com os valores de área urbanizada por direção para cidades de origem e de destino (Figura 38).

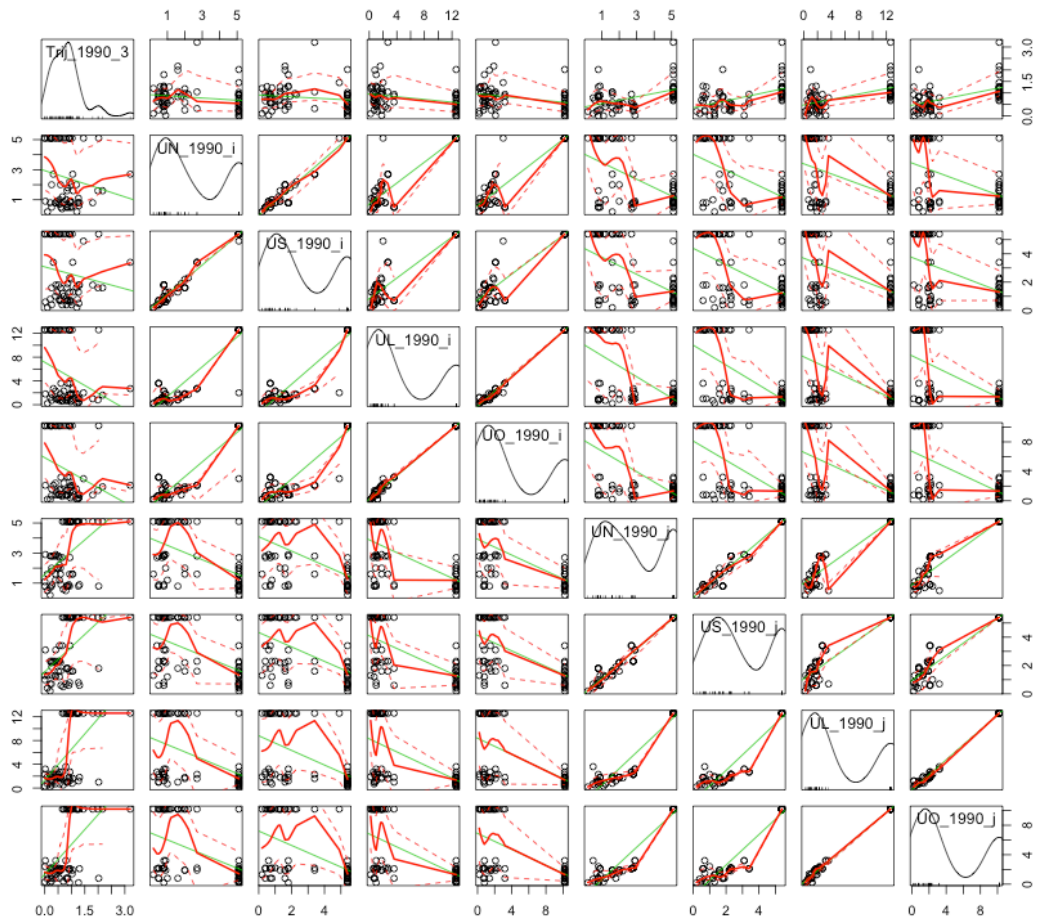
Figura 38 – Mapa de calor relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por direção para origem e destino, para 1990.



Fonte: da autora.

Tanto o gráfico de calor quanto a matriz de dispersão para o ano de 1990 mostram menor regularidade nas correlações, e a identificação das variações pode ser percebida no gráfico de calor, pela dificuldade de encontrar um padrão de regularidade, ou seja, maior quantidade de agrupamentos dos pares de interação. A matriz de interação para 1990 (Figura 39) também mostra variações bruscas nas correlações lineares que contém as variáveis contínuas.

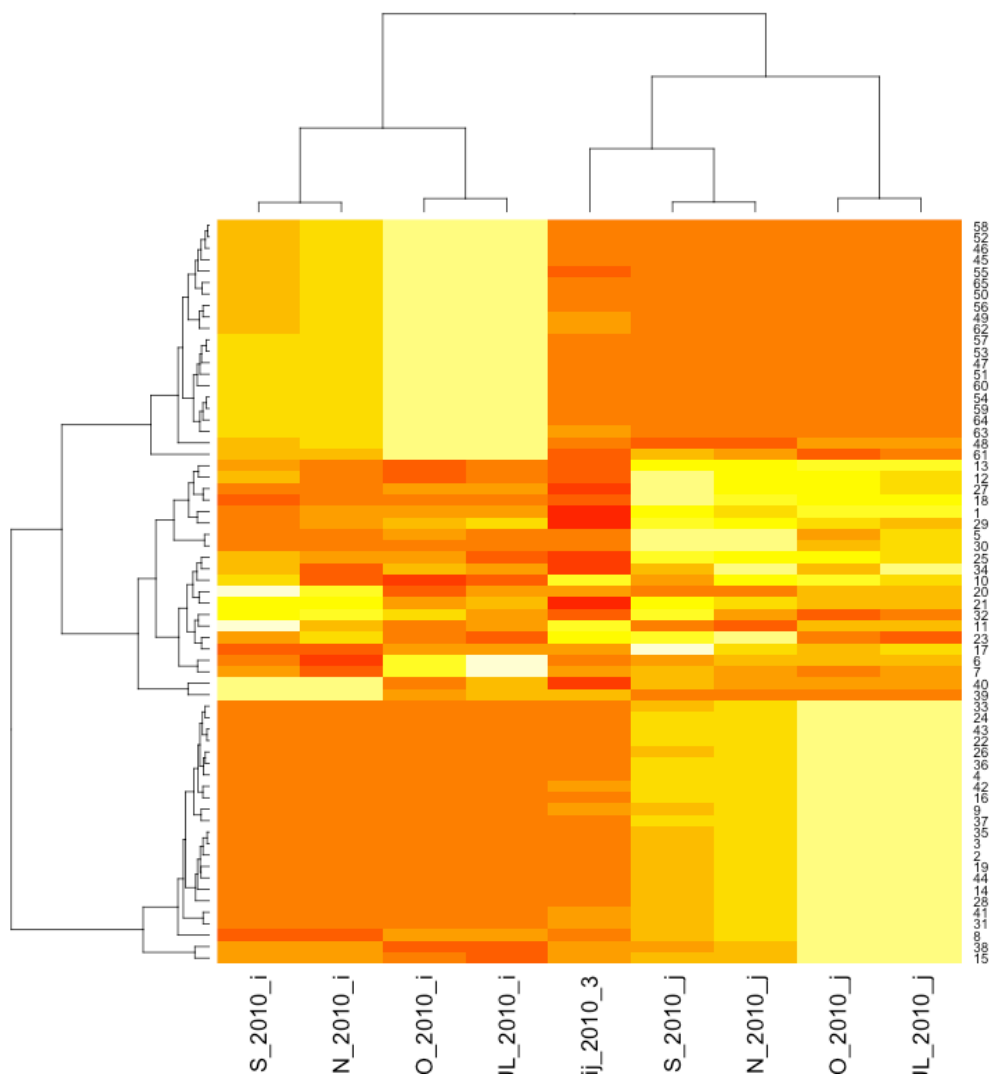
Figura 39 – Matriz de dispersão relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por direção para origem e destino, para 1990.



Fonte: da autora.

No ano de 2010, a exemplo do que ocorreu com 1970, podem ser verificadas regularidades no mapa de calor, na identificação de regularidade entre as variações, onde grandes manchas de cores similares representam valores de área urbanizada que se relacionam com o valor de referência da medida de tensão regional (Figura 40).

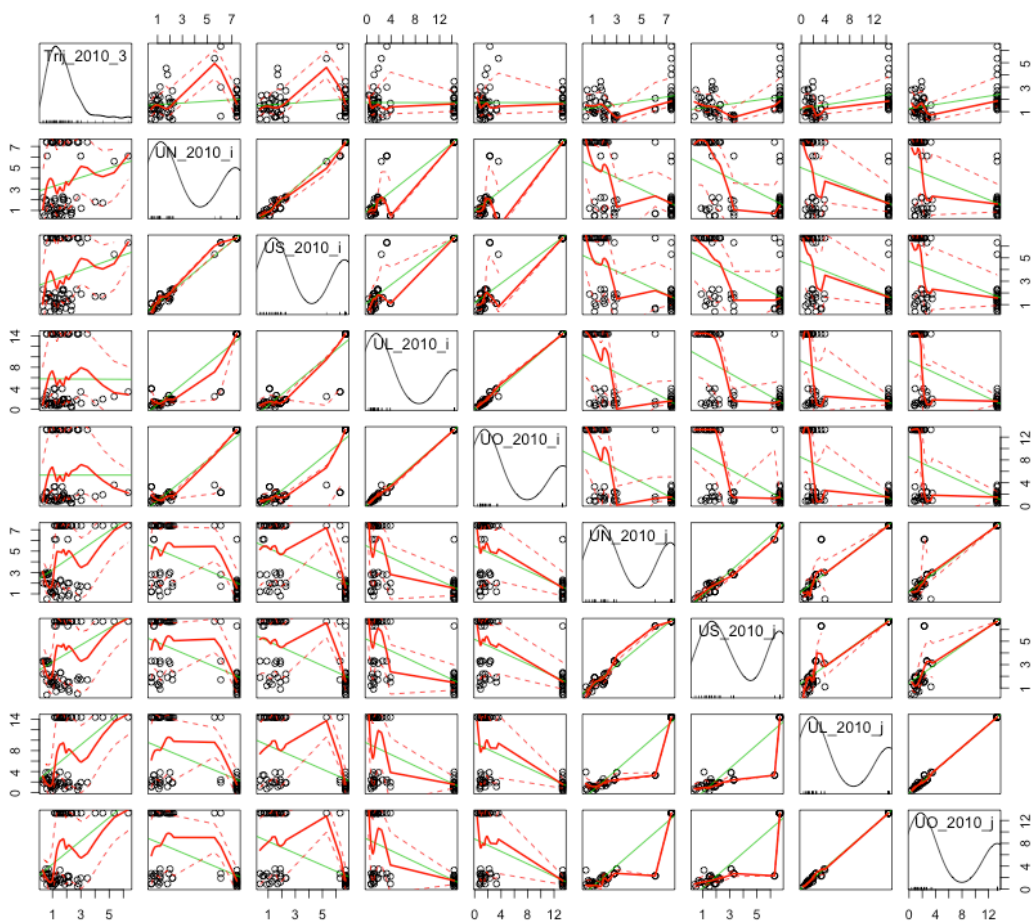
Figura 40 – Mapa de calor relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por direção para origem e destino, para 2010.



Fonte: da autora.

A matriz de dispersão para 2010, também pode ser comparada à de 1970, onde é possível determinar as correlações lineares de variáveis contínuas, havendo um padrão entre variáveis que contém dados similares (Figura 41).

Figura 41 – Matriz de dispersão relacionando medida de tensão regional (centro) e área urbanizada por direção para origem e destino, para 2010.



Fonte: da autora.

A partir das análises das correlações, gráficos de calor e matrizes de dispersão, podemos dizer que ocorrem variações regulares entre a medida de tensão regional, especialmente para os anos de 1970 e 2010, enquanto esta relação não fica tão clara para o ano de 1990.

A medida da área urbanizada diz respeito à ocupação que toda a estrutura urbana tem sobre o território, ou seja, seria uma mancha da forma urbana e por isso é considerada uma medida da escala municipal. Em outra escala, as medidas de estruturação interna referem-se à diferenciação espacial interna das cidades, tais como evolução de centralidade, polarização e densidade.

Centralidade é um atributo relativo à distribuição hierárquica da forma construída e consequentemente de atividades, segundo posições relativas dadas pelo sistema de espaços (Krafta, 1994).



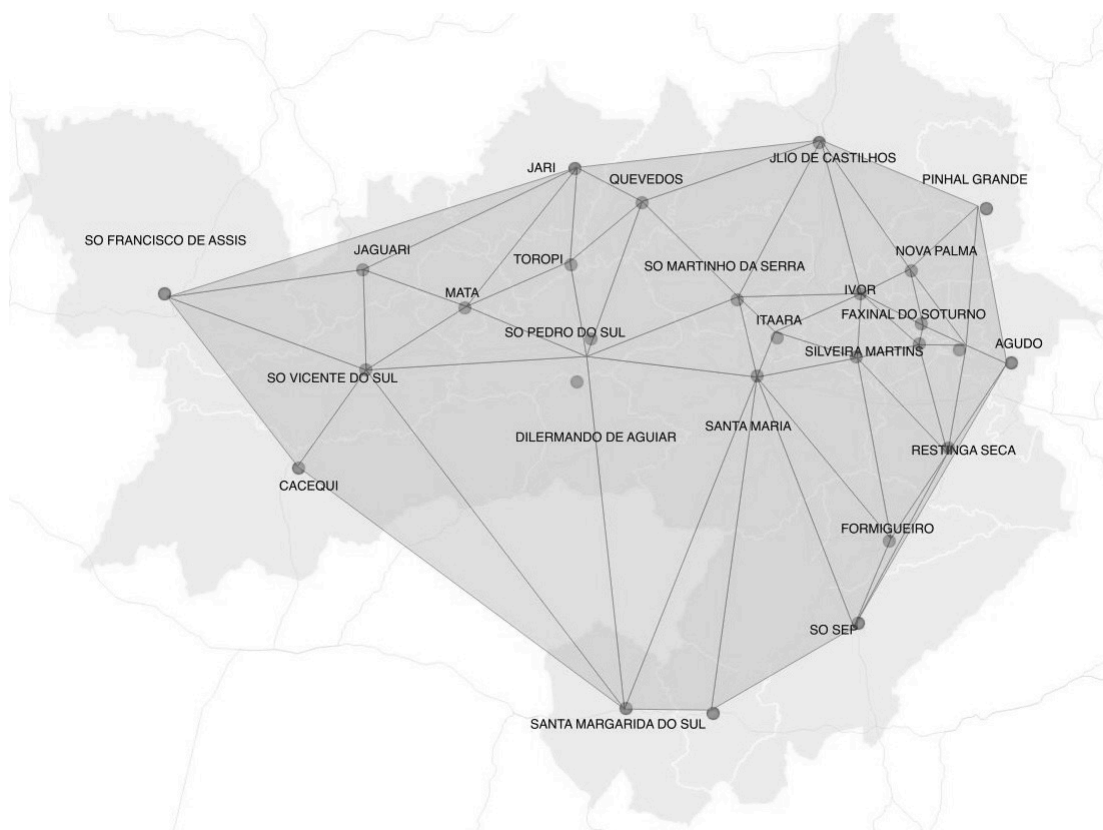
A medida de centralidade de Krafft (1994) alimenta a idéia de que para identificar e medir a centralidade dos sistemas urbanos é indispensável a relação entre pontos no espaço, tratados aqui como cada cidade do sistema regional, articulados aos demais pontos do sistema. Ou seja, um ponto é central para um par de outros pontos se estiver no caminho mínimo entre eles (Espínola, 2002). Desta forma, um sistema de pontos interconectados representa caminhos nas relações entre quaisquer dois pontos que são, portanto alcançáveis entre si.

A centralidade do sistema é obtida, portanto, através do somatório de todos os caminhos mínimos entre os pares de pontos (cidades). Assim, a analogia entre os diversos pares que geram tensões, representam a possibilidade em potencial de cada cidade gerar e atrair fluxos, criadas nas proporções da importância desses componentes conectados através das ligações rodoviárias e que, portanto, demonstram que nenhuma tensão pode ser gerada sem os pontos que representam as cidades, ou distribuída sem as ligações rodoviárias.

É um atributo eminentemente estrutural, caracteriza-se como um campo de forças de atratividade e, assim, responderia à tensão regional.

No sistema regional considerado, por se tratar de um recorte discreto de um sistema contínuo, temos algumas cidades atuando como periféricas (por exemplo: São Francisco de Assis, Cacequi, Jari, Julio de Castilhos, Pinhal Grande, Agudo, Restinga Seca Formigueiro, dentre outras), e outras bastante centrais (Santa Maria, São Pedro do Sul, Dilermando de Aguiar) (Figura 42).

Figura 42 – Sistema regional contendo identificação das cidades, e ligação entre seus centróides a partir dos caminhos mínimos identificados.



Fonte: da autora.

Foi utilizada a estrutura da malha urbana de 5 cidades do sistema regional considerado, e calculado o valor da centralidade em cada período de tempo considerado, e também o deslocamento da medida (Tabela 18).

Tabela 18 – Valores de centralidade e deslocamento de centralidade para 5 cidades.

Cidade	Centralidade			Deslocamento (m)		
	1970	1990	2010	1970-1990	1990-2010	1970-2010
<b>Dilermando de Aguiar</b>	1.030	6.950	16.650	698,35	524,52	789,90
<b>Formigueiro</b>	520	23.125	40.262	815,97	274,29	476,47
<b>Santa Maria</b>	866.906	125.566.963	2.126.124.530	1054,06	75,86	1073,32
<b>São Martinho da Serra</b>	790	17.600	31.300	368,35	736,69	1575,38
<b>Vila Nova do Sul</b>	2.090	8.100	9.000	68,89	189,44	270,45

Fonte: da autora.

Densidade e *polaridade* (vide Anexo A) também poderiam responder às tensões regionais, e isso poderia ocorrer tanto diretamente proporcional às tensões regionais (áreas de crescente valorização locacional) quanto em oposição a ela, como decorrência da valorização imobiliária e busca de terras mais acessíveis para uso com finalidade

residencial, mas não foram abordadas por esta investigação por se tratarem de medidas mais intraurbanas.

Todas essas medidas de diferenciação interna urbana são quantitativas e permitem comparação estatística com as medidas de tensão regional.

Foram utilizadas as medidas de estruturação interna de centralidade ponderada, que permite que, com dados da cidade a nível macro, sejam realizadas correlações significativas com a tensão regional.

Temos, portanto, disponíveis os seguintes resultados na escala intraurbana: Tensão Regional por direção em 2010, Tensão Regional por direção em 1990, Tensão Regional por direção em 1970, Centralidade Intraurbana em 2010, Centralidade Intraurbana em 1990, Centralidade Intraurbana em 1970, e deslocamentos das medidas de Centralidade Intraurbana de 2010 para 1970, de 1990 para 1970 e de 2010 para 1990.

## **6.2 Verificação Estatística**

Para fins de verificação estatística, conforme já mencionado no capítulo anterior, foi montado o modelo de tensão regional baseado em modelos de interação espacial, que por sua vez vem a ser um modelo de regressão linear, e para tal, utilizado o software RStudio.

Anselin (1988) relata que na prática das ciências regionais, procura-se abordar as questões e os problemas enfrentados pelas cidades e regiões inspirando-se em uma grande variedade de formulações teóricas sobre o comportamento espacial. Para se obter um contexto operacional, as formulações teóricas precisam ser traduzidas e transformadas a partir de formulações abstratas para modelos implementáveis.

Isto implica que o conceito e as relações devem ser traduzidos na especificação da matemática formal, que as variáveis têm de ser dados significativos no contexto de dados disponíveis e medições, e que a estimativa e os testes de hipóteses precisam ser realizados. Isto se mostra uma situação típica baseada em um modelo estatístico ou econométrico (Anselin, 1988).

A verificação estatística leva em conta os ensinamentos de econometria espacial para a análise dos dados obtidos, que lida com estimativas e testa problemas encontrados na implementação de modelos regionais. Quando os modelos trabalham com interdependência espacial, assimetria nas relações espaciais, variáveis explicativas, diferenciação entre as interações de origem e destino, relacionam-se com a econometria espacial (Anselin, 1988).

A econometria espacial tem prestado pouca atenção à modelagem linear generalizada, mas é a abordagem mais comum para tratar dependência espacial e heterogeneidade, pois lida

em grande parte com dados transversais, embora o quadro metodológico de dados em painel espacial seja disponível (Bivand, Pebesma & Gómez-Rubio, 2013).

Sendo assim, na etapa de verificação estatística, será procedida a análise dos dados obtidos com o modelo de tensão regional e o quanto o mesmo é explicativo das medidas de diferenciação espacial obtidas. Todas as medidas, correlações e gráficos foram obtidos a partir da verificação no software RStudio.

### **6.2.1 Tensão Regional e Aumento de Área Urbanizada**

A primeira correlação a ser verificada é entre a medida de tensão regional e a área urbanizada. A medida de tensão regional foi calculada para cada período de tempo, e considerada aqui a diferença entre eles, ou seja,  $\Delta Tr$  em  $\Delta t$ . O aumento de área urbanizada foi calculado considerando a diferença entre os períodos de tempo, ou seja,  $\Delta U$  em  $\Delta t$ .

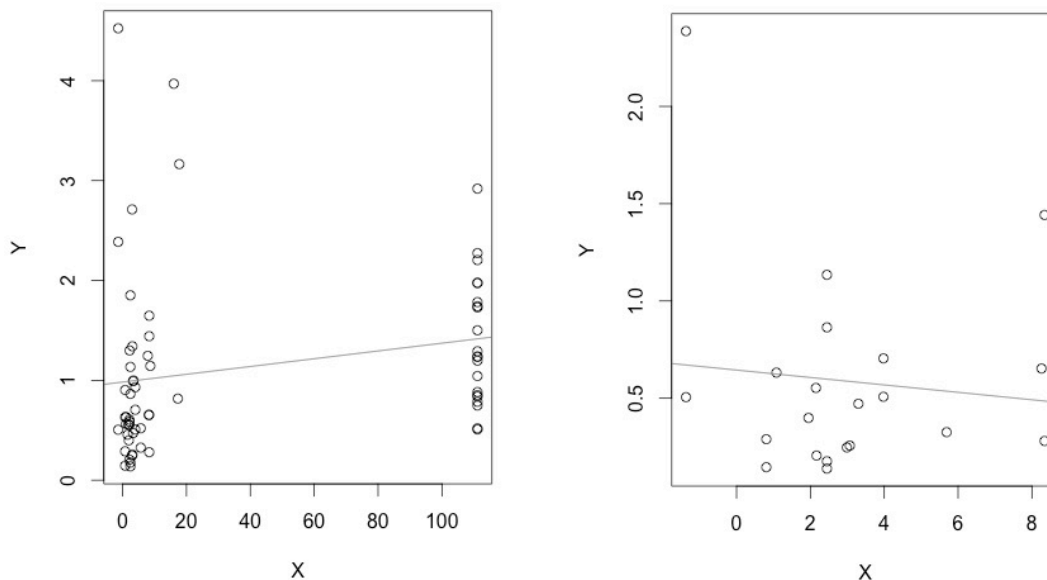
Supõe-se que as cidades cresçam a uma taxa de crescimento  $x$ , expressa em um aumento de Área Urbanizada  $\Delta U$ , em um dado período de tempo  $\Delta t$ . A partir desta consideração, seria possível modelar as prováveis distribuições deste crescimento, considerando as forças regionais, caracterizadas pela medida de tensão regional.

$$\Delta Tr \sim \Delta U$$

onde  $Tr$  é a Tensão Regional e  $\Delta U$  é a diferença de Área Urbanizada.

Primeiramente, foram testadas as relações da medida de tensão regional com as cidades de origem, com e sem Santa Maria como origem, para cada intervalo da série temporal: 1970-2010 (Figura 43), 1970-1990 (Figura 44) e 1990-2010 (Figura 45).

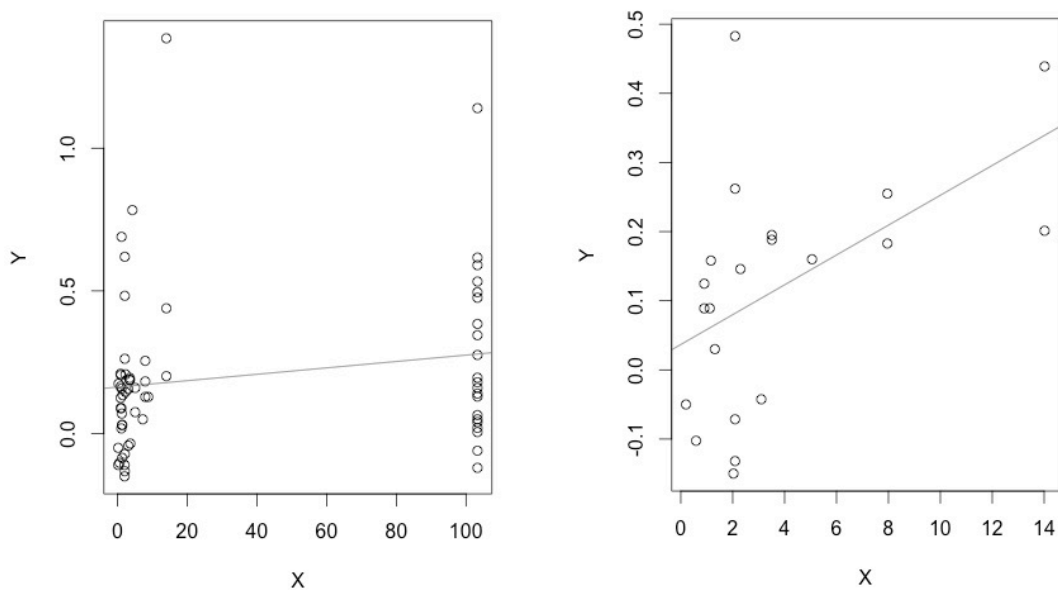
Figura 43 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 2010, considerando a cidade de origem (Ui) (X), e exceto Santa Maria.



Fonte: da autora.

O aumento da área urbanizada na cidade de origem da interação tem certa importância para o aumento da medida de tensão regional, mas se a cidade de Santa Maria é eliminada, pode-se perceber que o aumento de área na cidade de origem passa a ser pouco importante para a interação de fato ocorrer no período de tempo de 40 anos, entre 1970 e 2010.

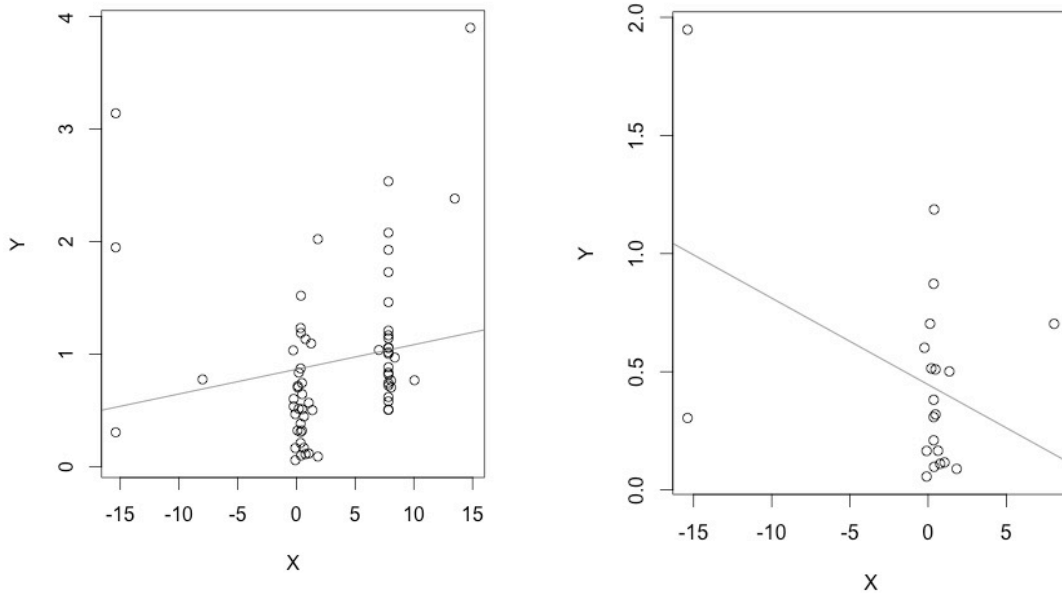
Figura 44 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 1990 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 1990, considerando a cidade de origem ( $U_i$ ) (X), e exceto Santa Maria.



Fonte: da autora.

No período de tempo de 20 anos, entre 1970 e 1990, quando as cidades de origem tiveram pequeno aumento de área urbanizada, exceto Santa Maria, se esta é eliminada, parece ter uma relação maior entre o aumento de área urbanizada e a diferença de tensão regional para o período.

Figura 45 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1990 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1990 e 2010, considerando a cidade de origem ( $U_i$ ) (X), e exceto Santa Maria.

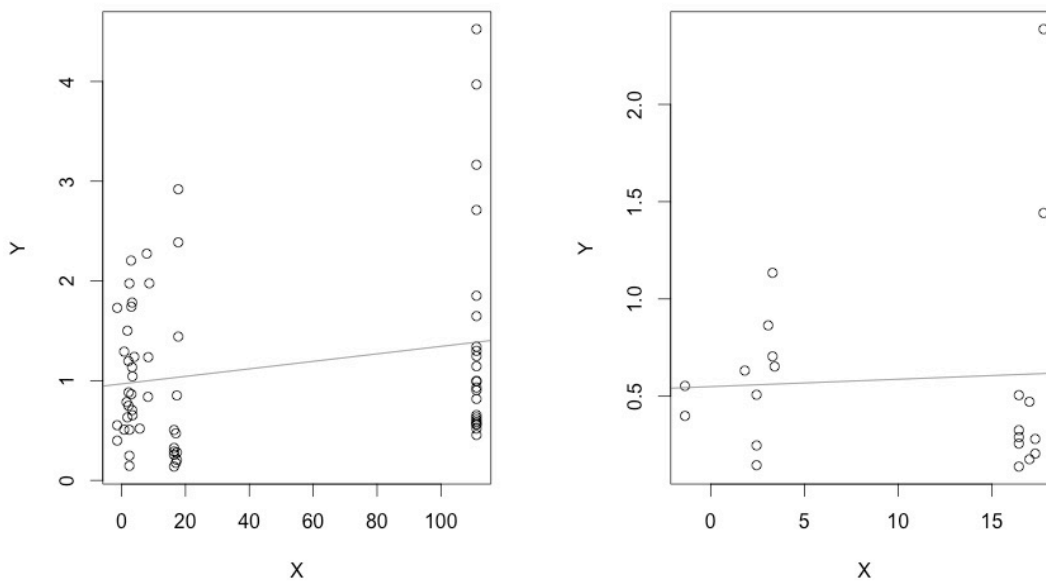


Fonte: da autora.

No período de 20 anos compreendido entre 1990 e 2010, quando todas as cidades vivenciaram um aumento de área urbanizada um pouco maior, podemos perceber que Santa Maria tem muita influência na relação com a diferença de área urbanizada.

Também foram testadas as relações da medida de tensão regional com as cidades de destino, com e sem Santa Maria como destino, para cada intervalo da série temporal: 1970-2010 (Figura 46), 1970-1990 (Figura 47) e 1990-2010 (Figura 48). As comparações entre a diferença de área urbanizada das cidades de destino e a diferença de tensão regional tendem a explicar as razões pelas quais as interações espaciais ocorrem de fato no território, uma vez que é a cidade de destino que oferece maior atratividade na busca por oferta.

Figura 46 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 2010, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.

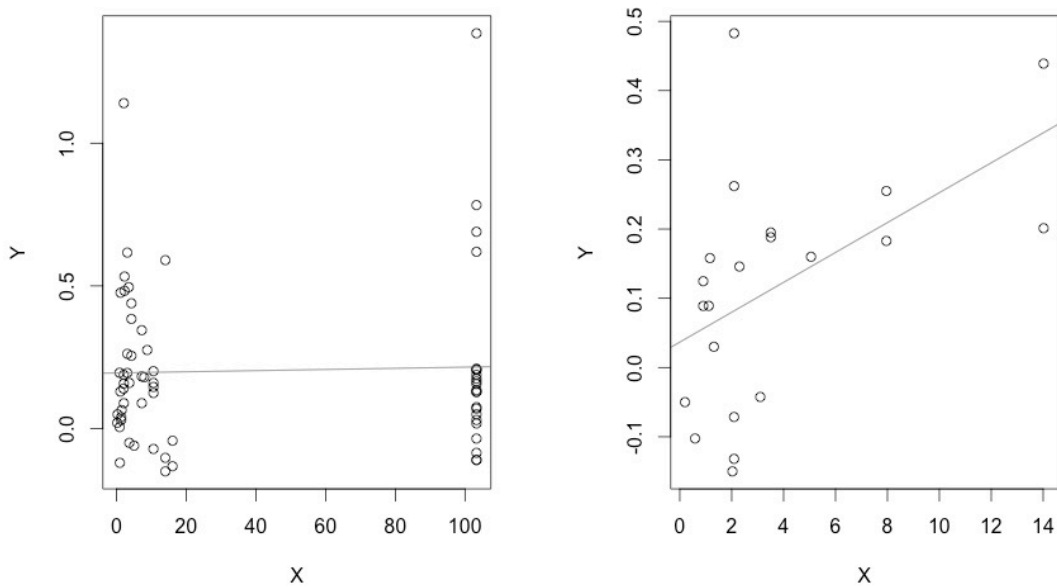


Fonte: da autora.

Para o intervalo de tempo de 40 anos, compreendido entre 1970 e 2010, podemos perceber que existe certa relação entre o quanto a cidade de destino cresceu, e o quanto a tensão entre o par de interação aumentou, mesmo quando a cidade de Santa Maria é eliminada dos pares possíveis.



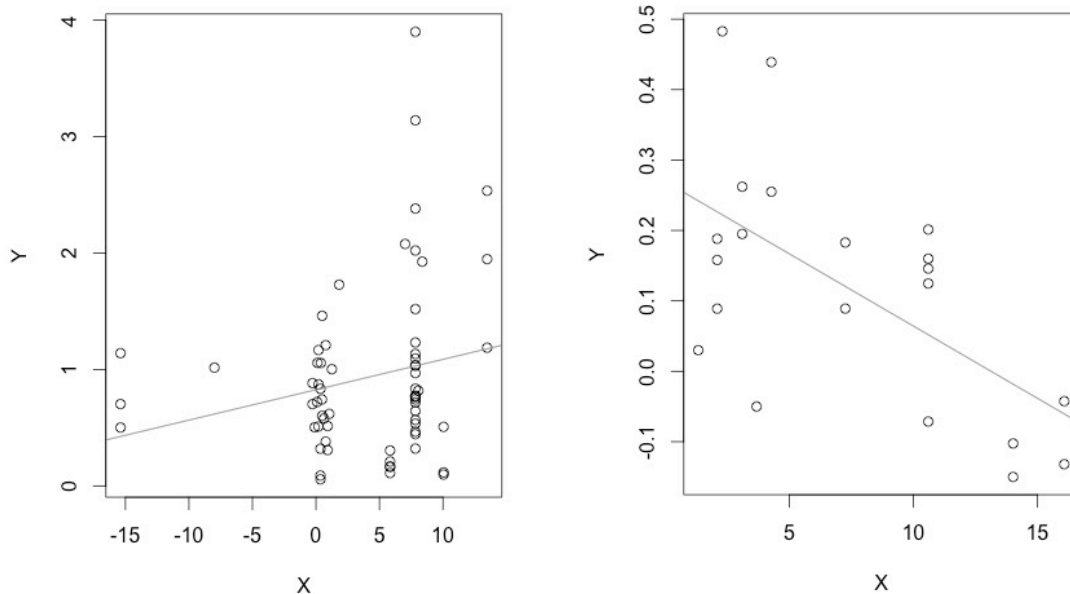
Figura 47 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1970 e 1990 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1970 e 1990, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.



Fonte: da autora.

Já entre 1970 e 1990, parece interferir fortemente a cidade de Santa Maria como cidade de destino, uma vez que esta apresentou grande aumento de área urbanizada no período de tempo considerado.

Figura 48 – Gráficos comparativos entre valores de medida de Tensão Regional entre 1990 e 2010 (Y) e Diferença de área urbanizada entre 1990 e 2010, considerando a cidade de destino (Ui) (X), e exceto Santa Maria.



Fonte: da autora.

Entre 1990 e 2010, quando Santa Maria não apresentou grande aumento de área urbanizada, parece que a relação entre o aumento da mesma como cidade de destino é influenciado por esta, chegando a ser nulo quando esta cidade não compõe os pares de interação.

### 6.2.2 Tensão Regional e Deformação Geométrica Por Direção

A segunda correlação a ser verificada é entre a medida de tensão regional e a deformação geométrica pela qual a cidade passa quando cresce, considerando a direção de crescimento.

A taxa de crescimento das cidades ao longo do período considerado será avaliada através de uma medida de suporte, intitulada neste trabalho de medida de deformação geométrica.

Deformação é uma mudança na forma e tamanho de um corpo quando uma determinada força é aplicada no mesmo. Se considerarmos que existe uma força 'puxando' uma cidade em determinada direção, poderíamos correlacionar este princípio com a Lei de Hooke, que prevê que as deformações são alongamentos ou contrações de um segmento por unidade de comprimento.

Sendo assim, a força de deformação pode ser relacionada com a tensão regional, pois o vetor de deformação gerado por cada unidade de célula componente do sistema regional pode ser sobreposto aos vetores de cada par de cidades.

Supõe-se que as cidades cresçam a uma taxa de crescimento  $x$ , expressa em um aumento de Área Urbanizada  $\Delta U$ , causando uma deformação geométrica  $D$  em uma direção principal, em um dado período de tempo  $\Delta t$ . A partir desta consideração, seria possível modelar as prováveis distribuições deste crescimento, considerando as forças internas polarizadoras e atratoras de fluxos, e como as mesmas se alteraram ao longo do período considerado.

O comportamento linear da deformação expressa que a tensão imposta é proporcional à deformação. Logo, existe uma constante de proporcionabilidade entre essas duas grandezas. Sendo,

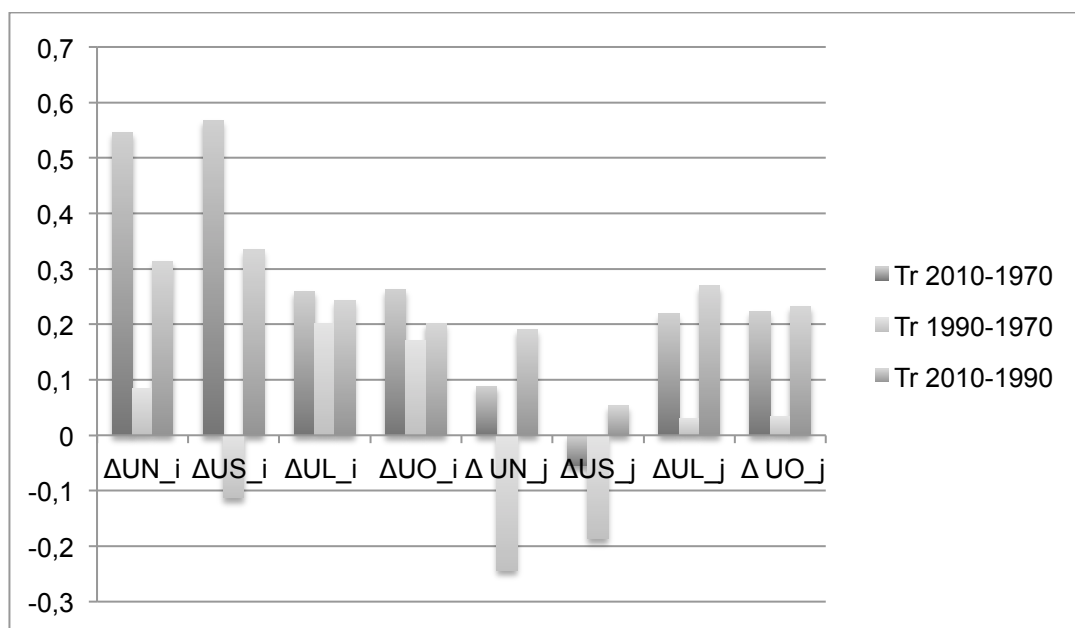
$$\Delta Tr \sim \Delta D$$

onde  $Tr$  é a Tensão Regional e  $D$  é a Força de Deformação Geométrica.

A medição da deformação geométrica espacial possivelmente irá contemplar a diferenciação espacial, conforme sugerido por Batty, Longley & Fotheringham (1989). Devemos considerar que as forças de deformação são cumulativas e portanto devem ser recalculadas em cada novo período de tempo.

A relação entre a medida de tensão regional e o aumento da área urbanizada por direção, ou deformação geométrica por direção, pode ser verificado na Figura 49.

Figura 49 – Relação entre diferença de tensão regional e deformação geométrica por direção.



Fonte: da autora.

Observa-se que existe uma correlação positiva entre a deformação geométrica e a medida de tensão regional, tanto nas cidades de origem quanto nas de destino, à exceção do período entre 1990 e 1970, quando algumas cidades pouco ou nada cresceram, e a tensão regional mostra-se alta para estas cidades. Importante ressaltar também a relação entre a diferença de tensão e a deformação geométrica nas cidades de origem, especialmente nas direções norte e sul.

Foram realizados rankings de hierarquia das correlações e gráficos ilustrativos das correlações entre medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para cada período de tempo considerado (Tabela 19).

Tabela 19 – Ranking das correlações entre medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para cada período de tempo.

Cidade	1970-2010
[1,] Dona Francisca	0.796669678458888
[2,] São Martinho da Serra	0.784340406595071
[3,] Vila Nova do Sul	0.577350269189626
[4,] Itaara	0.477159637893314
[5,] Formigueiro	0.462307493319523
[6,] Toropi	0.452910813657838
[7,] Santa Maria	0.376579269735228
[8,] Faxinal do Soturno	0.342087915947443
Cidade	1990-1970
[1,] Santa Maria	0.97243382878373
[2,] Agudo	0.968137883154642
[3,] Mata	0.892252436888777
[4,] São João do Polêsine	0.890870806374748

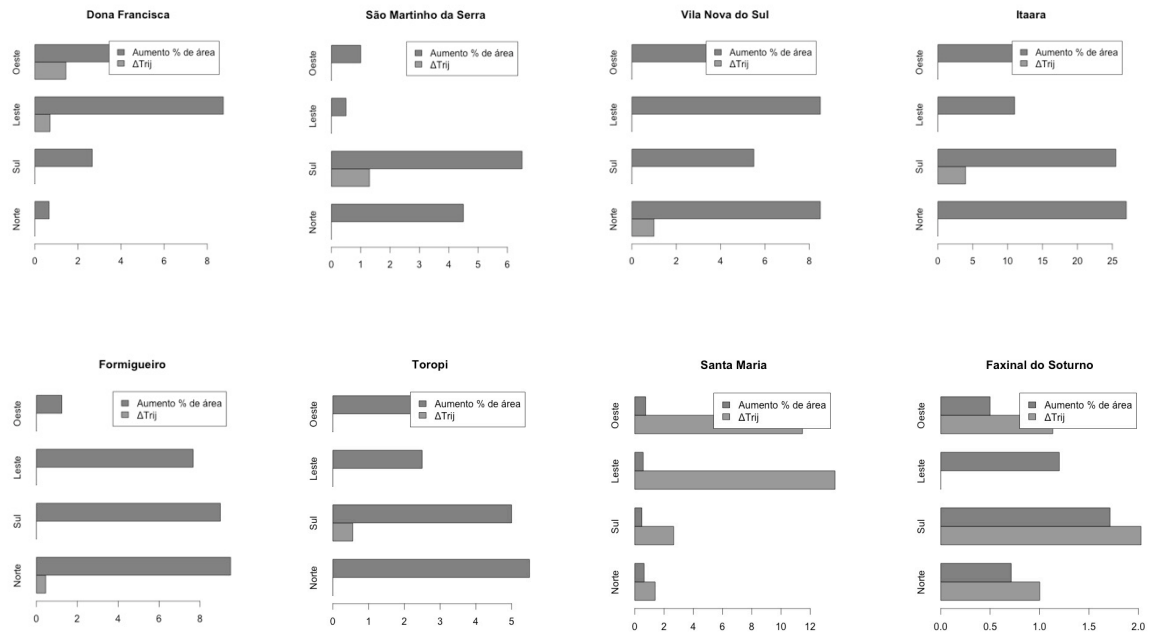
[5,] São Pedro do Sul	0.8694373088533
[6,] Dona Francisca	0.860548250432428
[7,] São Martinho da Serra	0.697096675576926
[8,] Ivorá	0.537175879172037
<b>Cidade</b>	<b>2010-1990</b>
[1,] Vila Nova do Sul	1
[2,] São Vicente do Sul	0.927172649945531
[3,] Santa Maria	0.889284747654923
[4,] Formigueiro	0.802143081302287
[5,] São Francisco de Assis	0.713752036089465
[6,] Dilermando de Aguiar	0.587853780572456
[7,] Jaguari	0.365327988905323
[8,] Jari	0.173937639851565

Fonte: da autora.

Pela tabela demonstrativa do ranking das melhores correlações obtidas entre a medida de tensão regional e a deformação geométrica por direção, pode-se observar que algumas cidades apresentam uma correlação bastante alta entre as duas medidas, algumas chegando a serem 100% explicativas. Interessante observar que a cidade que teve maior crescimento e deformação geométrica, Santa Maria, encontra-se em todos os rankings de períodos de tempo como uma das melhores correlações, mostrando que a tensão regional, quando comprovada, se relaciona com os aumentos de área urbanizada.

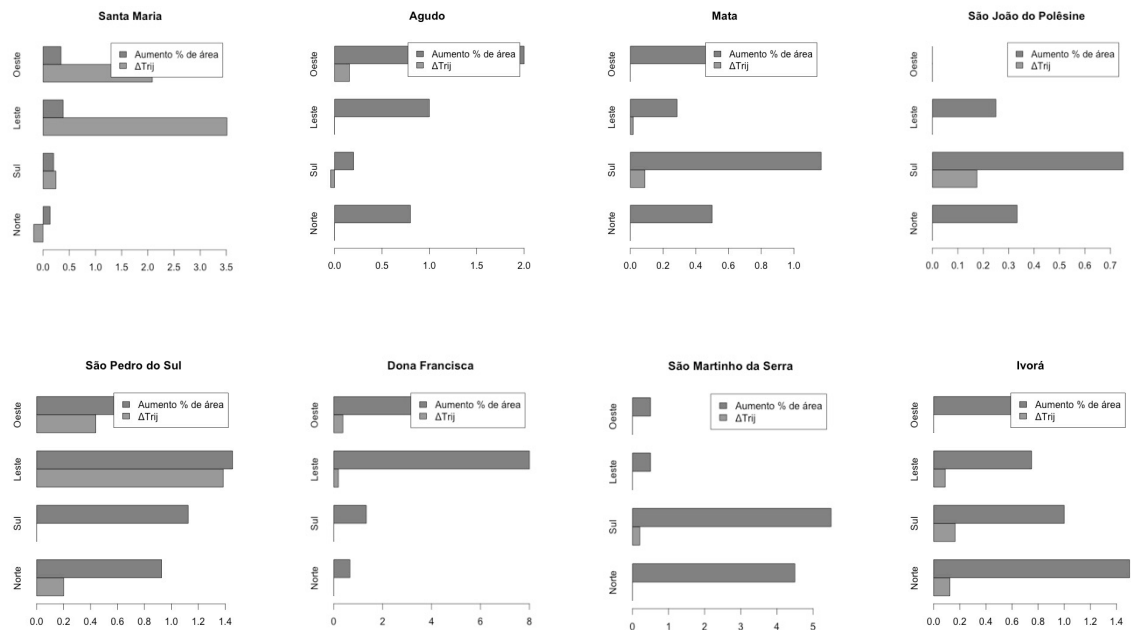
A comprovação desta medida fica melhor compreendida através dos gráficos que distribuem a medida de tensão regional e a deformação geométrica por direção, conforme segue nas Figuras 50 a 52.

Figura 50 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1970-2010.



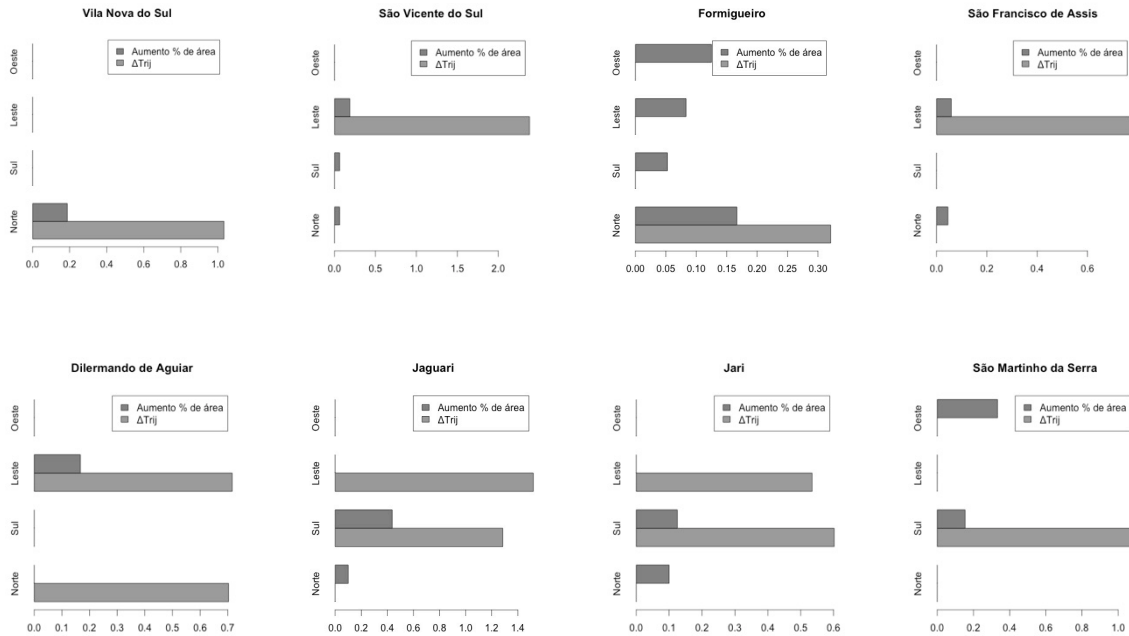
Fonte: da autora.

Figura 51 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1970-1990.



Fonte: da autora.

Figura 52 – Gráficos de distribuição da medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, para 1990-2010.



Fonte: da autora.

Assim como algumas cidades apresentam correlações positivas, outras apresentam correlações negativas. São as cidades que não tiveram aumento de área urbanizada, ou seja, a deformação geométrica não acompanhou a tendência da tensão regional que existia naquela determinada direção.

A distribuição das medidas auxilia no entendimento do quanto as medidas se relacionam ou não, por direção, e assim, permite visualizar que, enquanto algumas cidades tiveram deformação geométrica em todas as direções, a medida de tensão regional existe apenas para uma ou outra direção, ou a medida de tensão regional existe e a deformação ocorreu em outra direção qualquer.

Pode ter influência a maneira como foi obtida a informação referente à deformação geométrica, pois muitas vezes o crescimento ocorreu em uma direção intermediária às estimadas (nordeste, sudeste, noroeste ou sudoeste), e assim não foi apreendida de forma correta pela medição. Ainda, este mesmo ruído pode ter afetado a distribuição em direções da medida de tensão regional, que foi estimada a ter distribuição conforme as direções pré-determinadas (norte, sul, leste e oeste), mas pode estar ocorrendo igualmente em uma direção intermediária.

### 6.2.3 Tensão Regional e Centralidade

Outra correlação testada foi entre a medida de tensão regional e uma medida de centralidade, calculada em duas escalas: regional e intraurbana. A expectativa é de que a medida de tensão regional se relacione com uma medida de centralidade regional, que estaria relacionada à posição relativa que a cidade assume na hierarquia do sistema regional.

Denota que as forças de tensão que estariam atuando se relacionam de alguma maneira com as cidades mais centrais e / ou periféricas do sistema.

O algoritmo para medir a centralidade envolve a identificação e definição da tensão interna que é gerada por pares de cidades, e assim calcula-se a tensão que afeta mais do que uma cidade do sistema regional, que deve ser processado de forma a identificar todos os caminhos mais curtos ligando pares de pontos.

Serão analisadas todas as cidades constantes no sistema regional.

$$\Delta Tr \sim C_{ij}$$

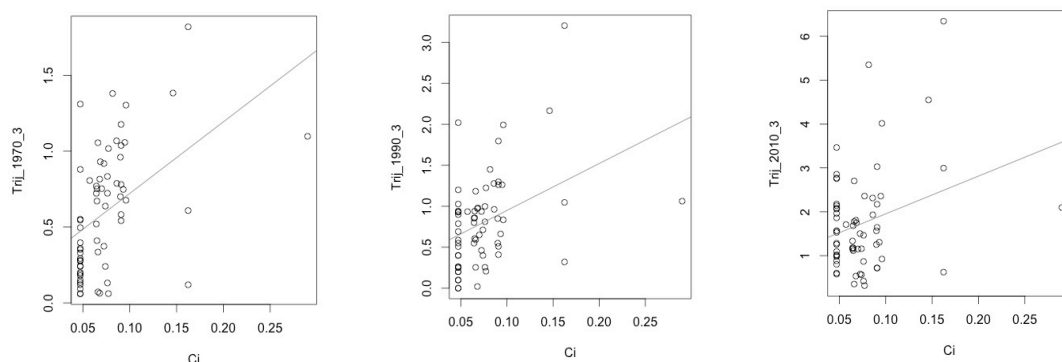
onde  $Tr$  é a Tensão Regional e  $C$  é a Centralidade na escala regional.

A ideia é verificar o quanto a centralidade é significativa no modelo de tensão regional.

Inicialmente, foram testados dados relativos à medida de tensão regional por ano, e comparado à centralidade das cidades de origem e destino, de 6 maneiras diferentes:

1. Apenas o efeito do local de origem (Figura 53):

Figura 53 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, para 1970, 1990 e 2010.



Fonte: da autora.

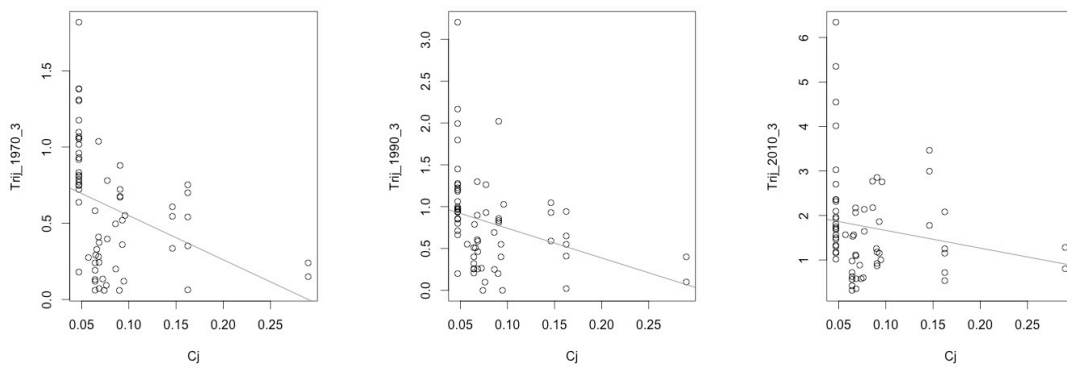
Quando relacionadas a centralidade da cidade de origem à tensão regional por ano, pode-se considerar que, num determinado momento da história, a cidade de origem tem algum



impacto na tensão gerada por pares de cidades, uma vez que as curvas mostram-se ascendentes. Isto pode significar que, para uma tensão entre duas cidades ocorrer de fato, é muito importante a posição da cidade de origem dentro do sistema regional. Pode-se observar também a grande concentração de pequenas cidades, ou cidades geradoras de baixa tensão regional, enquanto poucas cidades geram muitas tensões.

2. Apenas o efeito do local de destino (Figura 54):

Figura 54 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, para 1970, 1990 e 2010.

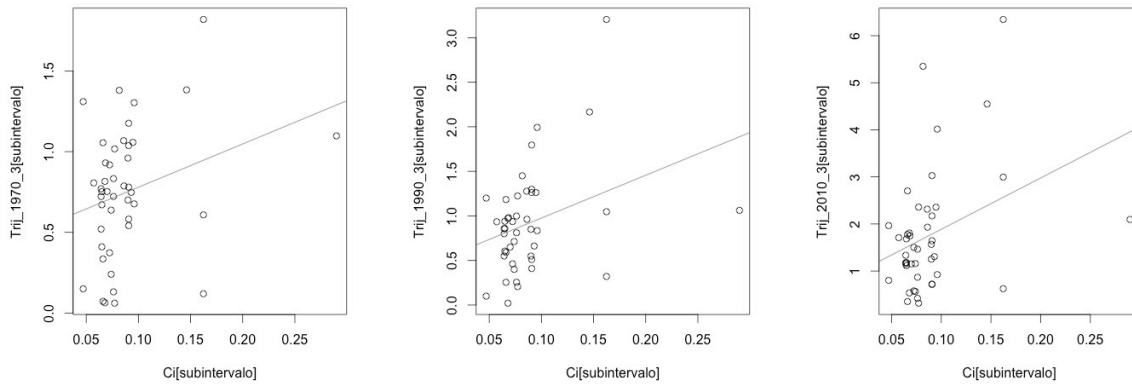


Fonte: da autora.

Relacionando a centralidade da cidade de destino à tensão regional por ano, pode-se considerar que, num determinado momento da história, a cidade de destino não tem impacto na tensão gerada por pares de cidades, uma vez que as curvas mostram-se descendentes. Isto pode significar que, para uma tensão entre duas cidades ocorrer de fato, pouco importa a posição da cidade de destino dentro do sistema regional. Pode-se observar também a grande concentração de pequenas cidades, ou cidades geradoras de baixa tensão regional, enquanto poucas cidades geram muitas tensões.

### 3. Apenas o efeito do local de origem, exceto origem Santa Maria (Figura 55):

Figura 55 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

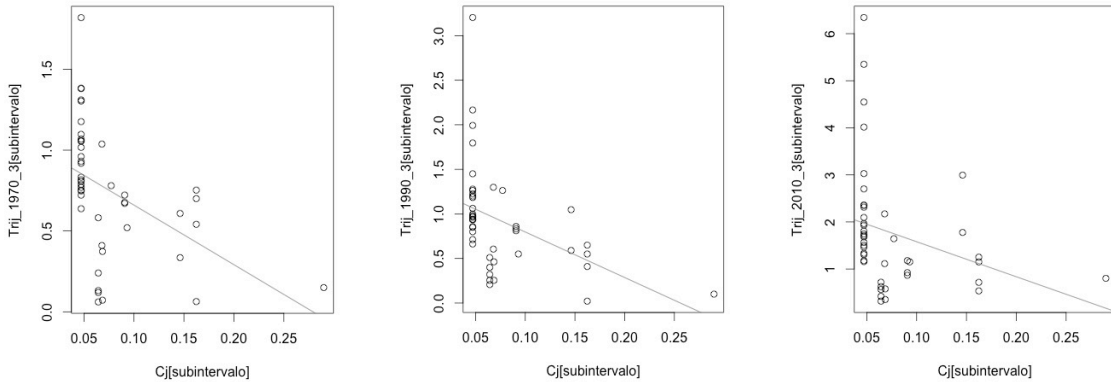


Fonte: da autora.

Foram realizadas algumas análises excluindo a cidade de Santa Maria como cidade de origem, possibilitando analisar se a cidade mais central do sistema impacta nos resultados. Sendo assim, quando relacionadas a centralidade da cidade de origem, sem que a origem seja Santa Maria, à tensão regional por ano, pode-se considerar que, num determinado momento da história, a cidade de origem tem algum impacto na tensão gerada por pares de cidades, uma vez que as curvas mostram-se ascendentes, apesar de que, para o ano de 1970, a influência da eliminação de Santa Maria como origem teve um significado maior do que para os anos de 1990 e 2010. Isto pode significar que, além de que em uma tensão entre duas cidades, é muito importante a posição da cidade de origem dentro do sistema regional, como também que à medida em que os anos foram passando, Santa Maria se tornou menos importante como cidade de origem nas tensões regionais, possivelmente pelo surgimento de outras pequenas centralidades.

4. Apenas o efeito do local de destino, exceto destino Santa Maria (Figura 56):

Figura 56 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

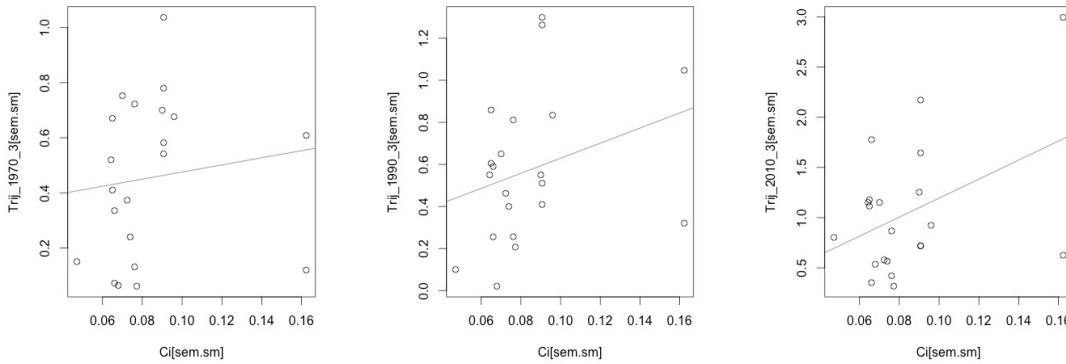


Fonte: da autora.

Excluiu-se também a cidade de Santa Maria como cidade de destino, possibilitando analisar se a cidade mais central do sistema impacta nos resultados. Sendo assim, quando relacionadas a centralidade da cidade de destino, sem que o destino seja Santa Maria, à tensão regional por ano, pode-se considerar que, num determinado momento da história, a cidade de destino segue tendo pouco impacto na tensão gerada por pares de cidades, uma vez que as curvas mostram-se descendentes, apesar de que, para os anos de 1990 e 2010, a influência da eliminação de Santa Maria como origem teve um significado maior do que para o ano de 1970. Podemos observar que a eliminação da cidade de Santa Maria como destino leva o gráfico a zerar em determinado momento da tensão, ou seja, pouca relação existe na busca da cidade de destino para a tensão ocorrer.

5. Apenas o efeito do local de origem, excluindo Santa Maria das interações (Figura 57):

Figura 57 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de origem, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.

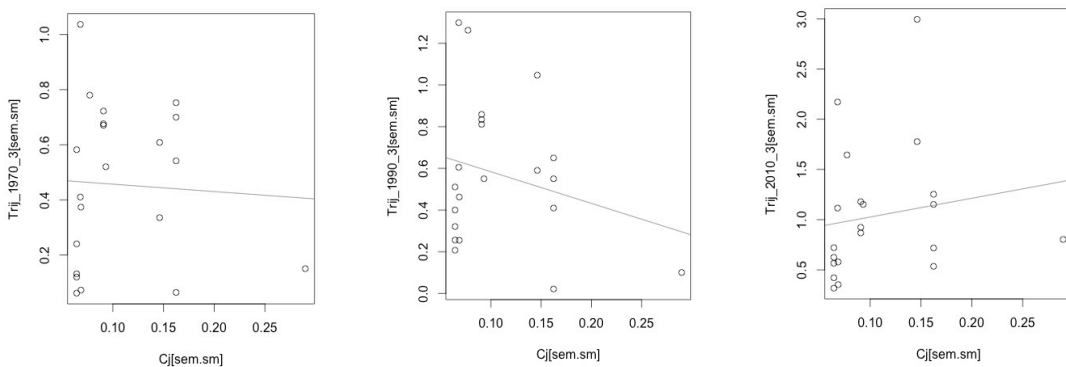


Fonte: da autora.

Para uma nova análise, foi excluída a cidade de Santa Maria como possibilidade de interação, seja como cidade de origem quanto destino. Assim, esta relação entre a tensão regional em um dado ano pela centralidade das cidades de origem, exceto Santa Maria como participante de qualquer tensão ou centralidade. Assim, verifica-se que seguem ascendentes as curvas, ou seja, existe uma veracidade na relação, e que a eliminação de Santa Maria mais uma vez impacta mais o ano de 1970.

6. Apenas o efeito do local de destino, excluindo Santa Maria das interações (Figura 58):

Figura 58 - Gráficos relativos de tensão regional e centralidade das cidades de destino, exceto Santa Maria, para 1970, 1990 e 2010.



Fonte: da autora.

Excluída a cidade de Santa Maria como possibilidade de interação, seja como cidade de origem quanto destino, esta relação entre a tensão regional em um dado ano pela

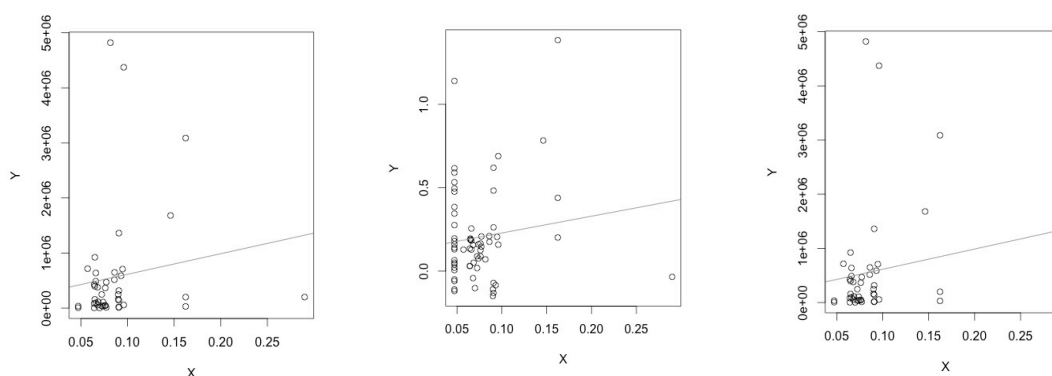
centralidade das cidades de destino, exceto Santa Maria como participante de qualquer tensão ou centralidade. Assim, verifica-se que o impacto gerado pela eliminação de Santa Maria como possibilidade de par é significativo. Isto pode significar que a interação entre as cidades irá ocorrer, independente da posição relativa do destino que se escolhe, mas quando Santa Maria é excluída, o destino se torna mais importante, especialmente para o ano de 2010.

As análises anteriores mostram as correlações das tensões regionais por pares de interação de origem e destino de um ano da série temporal com a centralidade da cidade neste mesmo ano.

Foi realizada também uma verificação da diferença de tensão por período de tempo considerado, e se existe correlação positiva com a centralidade da cidade pertencente ao par de origem e destino. Para esta finalidade, considera-se que o intervalo de tempo entre 1970 e 2010 será o tempo 1, entre 1970 e 1990 será o tempo 2, e entre 1990 e 2010 será o tempo 3. Esta comparação trata de verificar se a centralidade, uma medida de posição relativa, apenas, pode ser explicativa da diferença das medidas de tensão regional.

Primeiramente, foram observados os efeitos das centralidades das cidades de origem e relacionados com os tempos 1, 2 e 3 (Figura 59).

Figura 59 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de origem (em X), para tempos 1, 2 e 3.

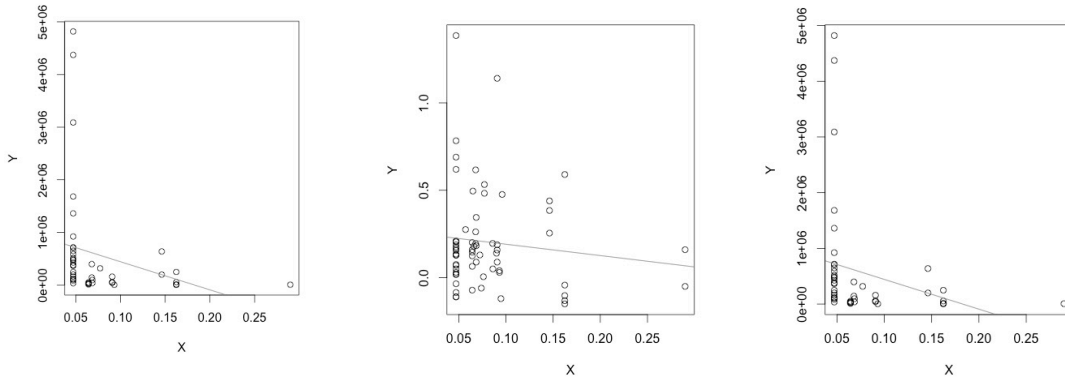


Fonte: da autora.

De acordo com os gráficos acima, as verificações mostram-se positivas, mas com baixa correlação entre a centralidade e as cidades de origem, por período de tempo observado.

Na sequência, foram observados os efeitos das centralidades das cidades de destino e relacionados com os tempos 1, 2 e 3 (Figura 60).

Figura 60 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de destino (em X), para tempos 1, 2 e 3.



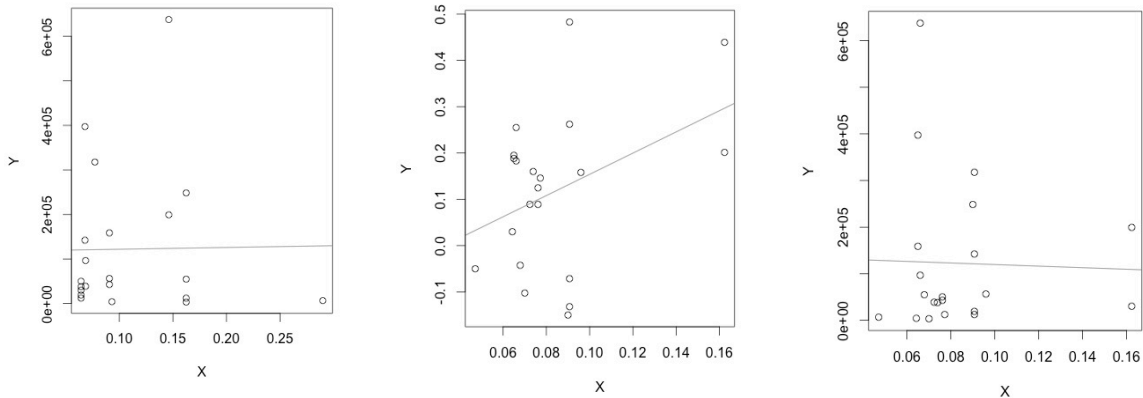
Fonte: da autora.

Os gráficos mostram, a exemplo do que ocorreu com os gráficos anteriores de correlação com o destino em tempo determinado, que o efeito dos destinos é baixo comparado à centralidade, ou seja, a interação segue ocorrendo por período de tempo, independente da posição das cidades de destino.

A eliminação da cidade de Santa Maria, que faz parte de grande número de interações e ainda, uma cidade de valor alto de centralidade, pode representar alterações nas correlações.

Primeiramente, foram observados os efeitos das centralidades das cidades de origem e relacionados com os tempos 1, 2 e 3, excluindo a cidade de Santa Maria (Figura 61).

Figura 61 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de origem (em X), exceto Santa Maria, para tempos 1, 2 e 3.

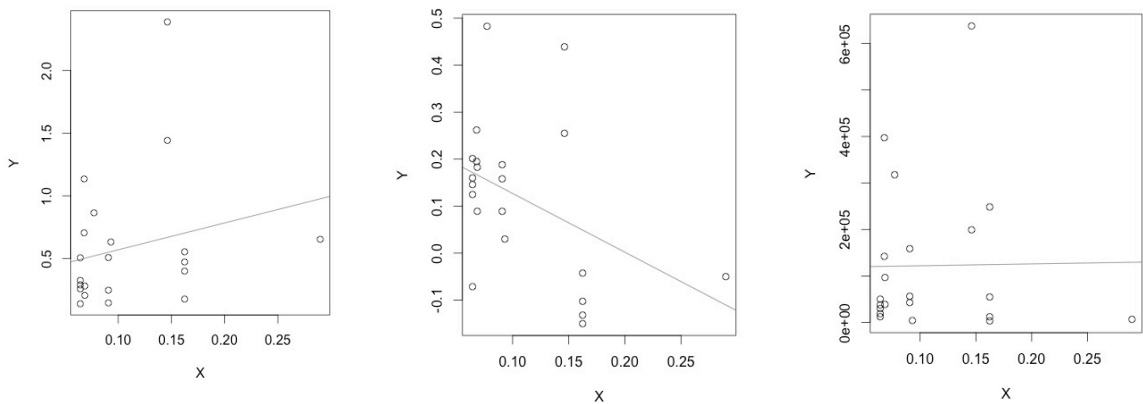


Fonte: da autora.

Quanto excluimos Santa Maria das cidades de origem, parece decair a correlação entre a tensão e a centralidade por período de tempo.

Foram observados também os efeitos das centralidades das cidades de destino e relacionados com os tempos 1, 2 e 3, excluindo a cidade de Santa Maria (Figura 62).

Figura 62 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade das cidades de destino (em X), exceto Santa Maria, para tempos 1, 2 e 3.



Fonte: da autora.

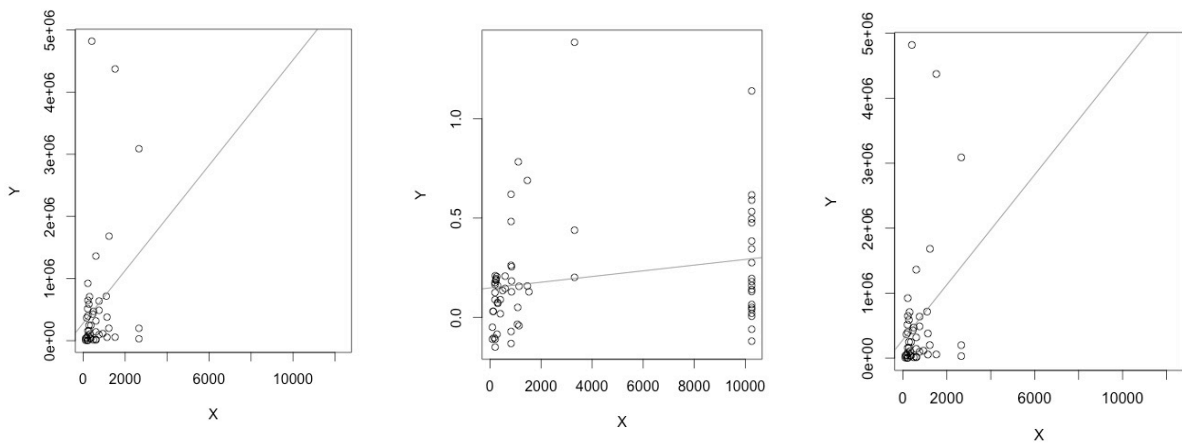
Desconsiderando Santa Maria como destino por período de tempo, vemos que a posição relativa das cidades passa a importar mais entre tensão e centralidade, o que mostra a força de Santa Maria como destino no sistema regional.

Ainda pode ser analisado o quanto a variável de centralidade consegue explicar algo que anteriormente fora incorporado em algum dos valores de  $Tr_{ij}$  dentro dos modelos anteriores: o quanto ela explica o efeito principal dos fluxos de determinada cidade Origem  $i$ , ponderada pela sua população:

$$\Delta Tr \sim C_{ij} * P_{ij}$$

em que  $P_{ij}$  se refere a população de  $i$  ou de  $j$ . A tendência é de que a população seja um efeito de atratividade para que as interações ocorram, dando maior peso à centralidade das cidades de origem e destino.

Figura 63 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade multiplicada pela população das cidades de origem (em X), para tempos 1, 2 e 3.

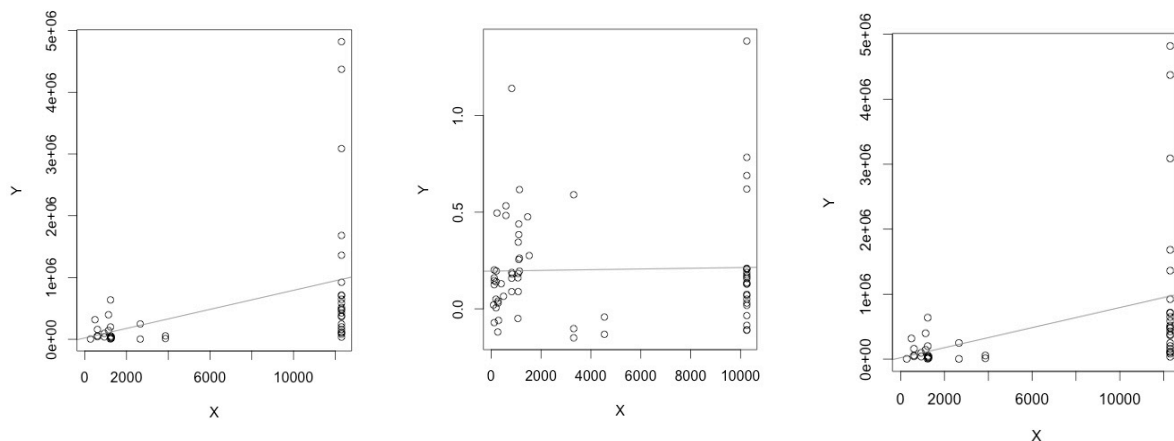


Fonte: da autora.

Para os períodos de tempo 1 e 3, a população parece ter um peso muito grande para a relação com a tensão regional, e já para o período 2, mais moderado, onde Santa Maria como origem se destaca fortemente ao final do gráfico.



Figura 64 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade multiplicada pela população das cidades de destino (em X), para tempos 1, 2 e 3.

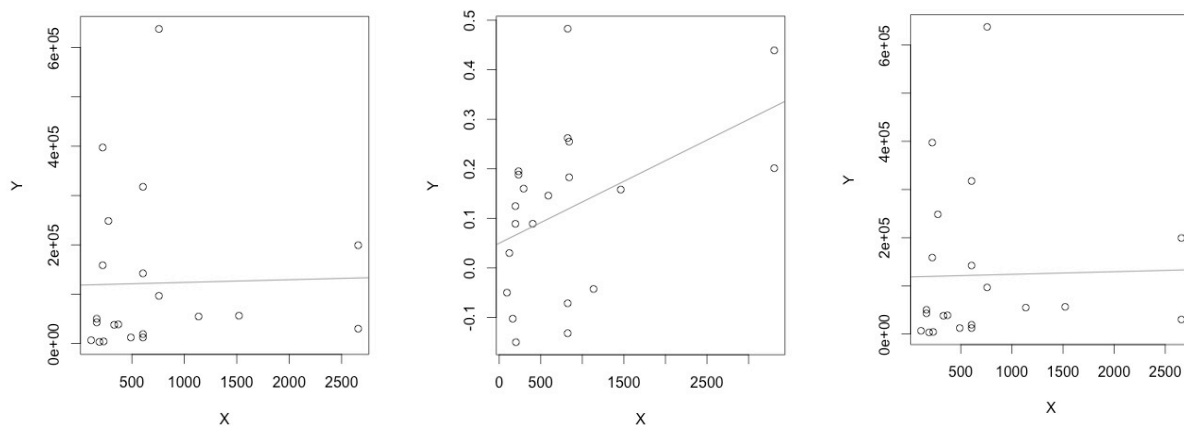


Fonte: da autora.

Quando carregamos a população, parece que as cidades de destino passam a ter maior importância, o que mostra que é possível tornar as interações mais atrativas.

A eliminação de Santa Maria dos pares de interação pode, neste caso, mostrar mais diferenças em função da proporção de população que a cidade tem em comparação às demais cidades do sistema.

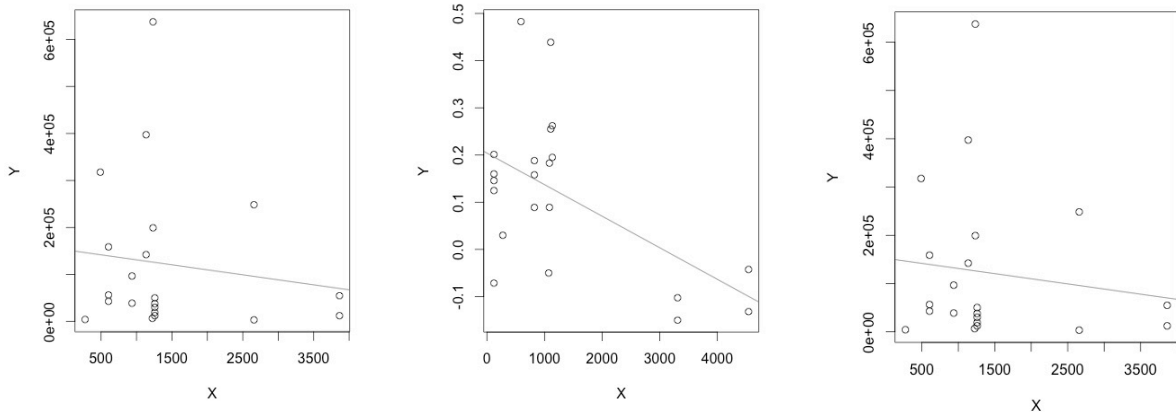
Figura 65 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade multiplicada pela população das cidades de origem (em X), exceto Santa Maria, para tempos 1, 2 e 3.



Fonte: da autora.

Podemos perceber que com a eliminação de Santa Maria, as cidades de origem voltam a ter pouca relação na centralidade e tensão, pois as demais cidades apresentam população pequena ou média.

Figura 66 - Gráficos relativos de diferença de tensão regional (em Y) e centralidade multiplicada pela população das cidades de destino (em X), exceto Santa Maria, para tempos 1, 2 e 3.



Fonte: da autora.

A eliminação de Santa Maria como cidade de destino faz os gráficos se parecerem muito com os anteriores, por tempo determinado, fazendo com que o destino pouco importe para que a centralidade e a tensão estejam relacionados.

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, que não são captadas pela medida de deformação espacial, 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) (Tabela 20).

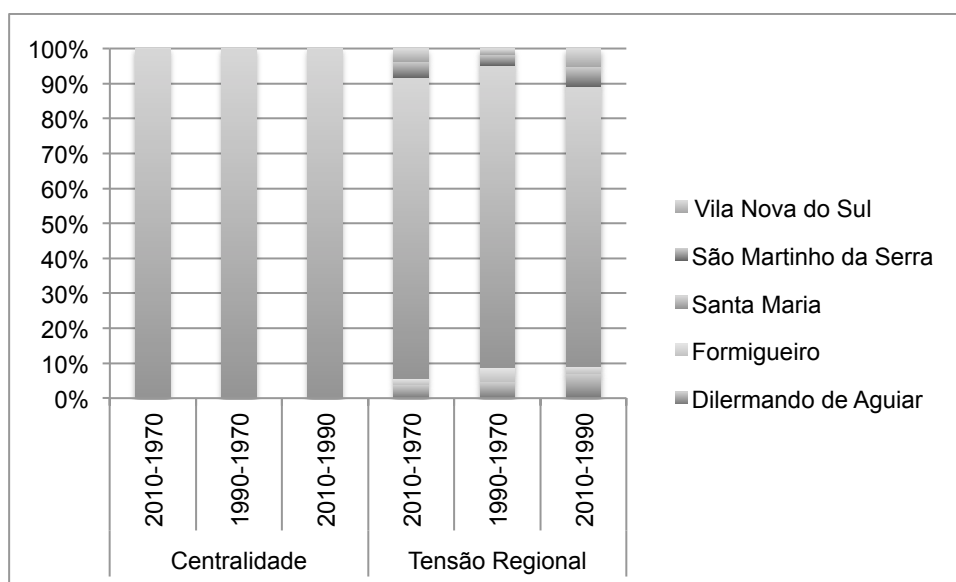
Tabela 20 – Valores de diferença de centralidade intraurbana e diferença de tensão regional para 5 cidades por período de tempo.

Cidade	Centralidade			Tensão Regional			
	Período de Tempo	2010-1970	1990-1970	2010-1990	2010-1970	1990-1970	2010-1990
Dilermando de Aguiar		15.620	5.920	9.700	1,1	0,3	1,5
Formigueiro		39.742	22.605	17.137	0,45	0,25	0,45
Santa Maria		2.125.527.624	124.700.057	2.000.557.567	24	5,5	17
São Martinho da Serra		30.510	16.810	13.700	1,3	0,2	1,2
Vila Nova do Sul		6.910	6.010	900	1	0,1	1,1

Fonte: da autora.

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 67).

Figura 67 – Gráfico da distribuição da medida de centralidade intraurbana e medida de tensão regional para 5 cidades por período de tempo.



Fonte: da autora.

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 21).

Tabela 21 – Correlação entre diferença da medida de tensão regional e diferença da medida de centralidade intraurbana por período de tempo.

<b>Período de Tempo</b>	<b>Correlação</b>
<b>2010-1970</b>	0,998559
<b>1990-1970</b>	0,999512
<b>2010-1990</b>	0,999533
<b>geral</b>	0,977306

Fonte: da autora.

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.

Foi realizada ainda uma segunda comparação, entre o deslocamento da medida de centralidade intraurbana por período de tempo, e a diferença da medida de tensão regional. Como a medida de tensão regional pode ser vista como um vetor, pode ser que o deslocamento da centralidade seja explicado por este vetor de força que tensiona a diferenciação espacial a ocorrer em determinada direção.

$$\Delta Tr \sim \Delta d$$

onde  $\Delta Tr$  é a diferença de Tensão Regional e  $\Delta d$  é o deslocamento da centralidade na escala intraurbana.

Para a medida de tensão regional, foi utilizado o mesmo valor da comparação com a medida de centralidade.

Tabela 22 – Valores de deslocamento de centralidade intraurbana e diferença de tensão regional para 5 cidades.

<b>Cidade</b>	<b>Deslocamento (m)</b>			<b>Tensão Regional</b>		
	<b>2010-1970</b>	<b>1990-1970</b>	<b>2010-1990</b>	<b>2010-1970</b>	<b>1990-1970</b>	<b>2010-1990</b>
<b>Dilermando de Aguiar</b>	524,52	698,35	789,9	1,1	0,3	1,5
<b>Formigueiro</b>	274,29	815,97	476,47	0,45	0,25	0,45
<b>Santa Maria</b>	1073,32	1054,06	75,86	24	5,5	17
<b>São Martinho da Serra</b>	736,69	368,35	1575,38	1,3	0,2	1,2
<b>Vila Nova do Sul</b>	189,44	68,89	270,45	1	0,1	1,1

Fonte: da autora.

Tabela 23 – Correlação entre diferença da medida de tensão regional e deslocamento da medida de centralidade intraurbana por período de tempo.

<b>Período de Tempo</b>	<b>Correlação</b>
<b>2010-1970</b>	0,812614
<b>1990-1970</b>	0,676091
<b>2010-1990</b>	-0,517340
<b>geral</b>	0,132155

Fonte: da autora.

A correlação entre as duas medidas parece ter uma explicação alta para os dois primeiros períodos de tempo. O que ocorre é que a centralidade deslocou muito pouco para a cidade de Santa Maria entre 1990 e 2010, e neste mesmo período, houve um aumento grande da medida de tensão regional. Este fato acabou fazendo com que a correlação geral apresente um valor baixo, mas se verificarmos mais a fundo a causa do ruído na informação, percebemos que é ocasionado pelos dados de Santa Maria.

Uma terceira comparação foi realizada, entre o deslocamento da medida de centralidade intraurbana por período de tempo, e a deformação geométrica por direção. Como o aumento de área urbanizada ocorre de forma predominante em uma determinada direção, pode ser que a centralidade intraurbana reconheça este crescimento e se encaminhe na mesma direção.

$$\Delta D \sim \Delta d$$

onde  $\Delta D$  é a deformação geométrica por direção e  $\Delta d$  é o deslocamento da centralidade na escala intraurbana.

Tabela 24 – Valores de deslocamento de centralidade e deformação geométrica por direção para 5 cidades.

<b>Cidade</b>	<b>Deslocamento (m)</b>			<b>Deformação por Direção</b>		
	<b>2010-1970</b>	<b>1990-1970</b>	<b>2010-1990</b>	<b>2010-1970</b>	<b>1990-1970</b>	<b>2010-1990</b>
<b>Dilermando de Aguiar</b>	524,52	698,35	789,9	1,33	1,25	0,15
<b>Formigueiro</b>	274,29	815,97	476,47	9,5	8	0,16
<b>Santa Maria</b>	1073,32	1054,06	75,86	6,25	24,5	4
<b>São Martinho da Serra</b>	736,69	368,35	1575,38	3,35	0,92	1,25
<b>Vila Nova do Sul</b>	189,44	68,89	270,45	5,5	3,5	1

Fonte: da autora.

Tabela 24 – Correlação entre deformação geométrica por direção e deslocamento da medida de centralidade intraurbana por período de tempo.

<b>Período de Tempo</b>	<b>Correlação</b>
<b>2010-1970</b>	-0,229978
<b>1990-1970</b>	0,7132855
<b>2010-1990</b>	-0,389027
<b>geral</b>	0,209978

Fonte: da autora.

Esta correlação parece não ser relevante, pois se alterna por demasiado e torna-se difícil encontrar uma lógica entre os valores. Isto significa que a centralidade intraurbana se desloca independente da direção para onde a cidade cresce, o que é coerente do ponto de vista do surgimento de novas ofertas em função de aumento de densidade, por exemplo, que não decorre em consequência da deformação geométrica.

### 6.3 Verificação Espacial

O próximo passo, fundamental para o modelo de tensão regional, é a verificação espacial, utilizada para a compreensão dos fundamentos da modelagem de econometria espacial, e da distribuição espacial dos dados oriundos de fenômenos ocorridos no espaço (Bivand, Pebesma & Gómez-Rubio, 2013).

A verificação espacial faz parte da análise espacial de dados, cuja ênfase é a mensuração das propriedades e relacionamentos, levando em consideração a localização espacial do fenômeno. A idéia é incorporar o espaço à análise que se deseja fazer.

Existem alguns conceitos importantes para a análise espacial: dependência e autocorrelação espacial e heterogeneidade.

Segundo Druck et al (2004), dependência espacial é quando pode-se afirmar que a maior parte das ocorrências apresentam entre si uma relação que depende da distância; a dependência estaria presente em todas as direções, ficando mais fraca à medida que aumenta a dispersão na localização dos dados.

Autocorrelação espacial deriva da expressão computacional do conceito de dependência e da expressão estatística do conceito de correlação. Indica que a medida de correlação é realizada com uma mesma variável aleatória, medida em locais diferentes do espaço (Druck et al, 2004).

Heterogeneidade, de acordo com Bivand, Pebesma & Gómez-Rubio (2013), é considerada caso especial de instabilidade estrutural que pode ser proveniente de características espacialmente diferenciadas das variáveis consideradas, como por exemplo, oferta e demanda, ou origem e destino.

Considerando os conceitos trazidos por Druck et al (2004) e Bivand, Pebesma & Gómez-Rubio (2013), podemos afirmar que tudo pode ser espacialmente referenciado e moldado por fatores espaciais.

A dependência espacial e a heterogeneidade podem, neste caso, influenciar as estimativas na perspectiva das análises mais tradicionais, e isto reflete melhor o mundo real, pois as pessoas não estão confinadas a barreiras administrativas. Dependência espacial e heterogeneidade quase sempre violam as suposições estatísticas na análise mais tradicional em termos de independência e constância.

Sendo assim, a modelagem espacial deveria se tornar uma abordagem mais convencional de análise quando se trata de dados territoriais.

Para esta finalidade, foi utilizada a representação espacial, a partir de dados disponíveis para SIG, e montado o sistema regional em questão no software QuantumGIS, conforme referido no capítulo anterior. A representação espacial contempla um mapa base contendo a divisão municipal<sup>19</sup>, o sistema de rodovias estaduais e federais existentes<sup>20</sup>, uma mancha de área urbanizada nos anos de 1970<sup>21</sup>, 1990<sup>22</sup> e 2010<sup>23</sup>, e a estrutura urbana de 5 municípios posteriormente selecionados, igualmente nos anos de 1970<sup>24</sup>, 1990<sup>25</sup> e 2010<sup>26</sup>.

### 6.3.1 Verificação Espacial na Escala Regional

A verificação espacial na escala regional leva em conta a totalidade do sistema regional considerado, ou seja, 26 cidades.

Foi utilizado o plugin FlowMapper<sup>27</sup>, disponível para a ferramenta QuantumGIS, que conforme descrição em tradução livre: *“(...) gera linhas de fluxo (...) para representar dados de interação espacial (...), com base em uma matriz de interação e um par de coordenadas fornecidas em formato de texto simples (.txt).”*

O FlowMapper é importante pois permite gerar mapas de fluxos com um agrupamento hierárquico das interações entre as cidades, com um tipo de resultado gráfico que minimiza os cruzamentos de borda e a distorção das posições das cidades em relação às cidades vizinhas.

---

<sup>19</sup> Fonte: IBGE, Divisão Municipal, Censo Demográfico 2010.

<sup>20</sup> Fonte: DAER-RS, 2013.

<sup>21</sup> Fonte: LabGeo, Ecologia, Ufrgs, 2013, baseado em Cartas do Exército 1964.

<sup>22</sup> Fonte: IBGE, Censo Demográfico 1990.

<sup>23</sup> Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010.

<sup>24</sup> Fonte: Prefeituras Municipais.

<sup>25</sup> Fonte: Prefeituras Municipais.

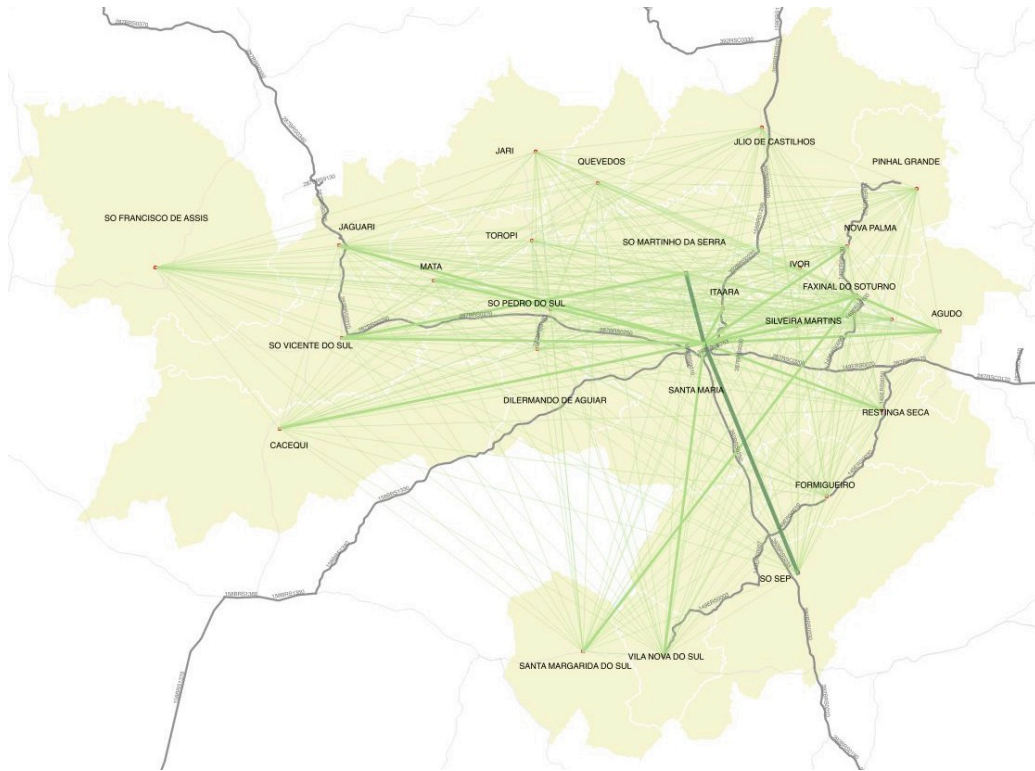
<sup>26</sup> Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010.

<sup>27</sup> QGIS Python Plugins Repository Plugin: FlowMapper, disponível em <http://plugins.qgis.org/plugins/FlowMapper/>

A medida de tensão regional, calculada para cada par de cidades e por período de tempo, gera uma matriz da interação que permite espacializar e visualizar as forças existentes na região que estão atuando como tensores das áreas urbanizadas (Figuras 68 a 70). Foram padronizadas as escalas de valores obtidos, para evitar que as legendas apresentassem eventuais disparidades de cores e valores.

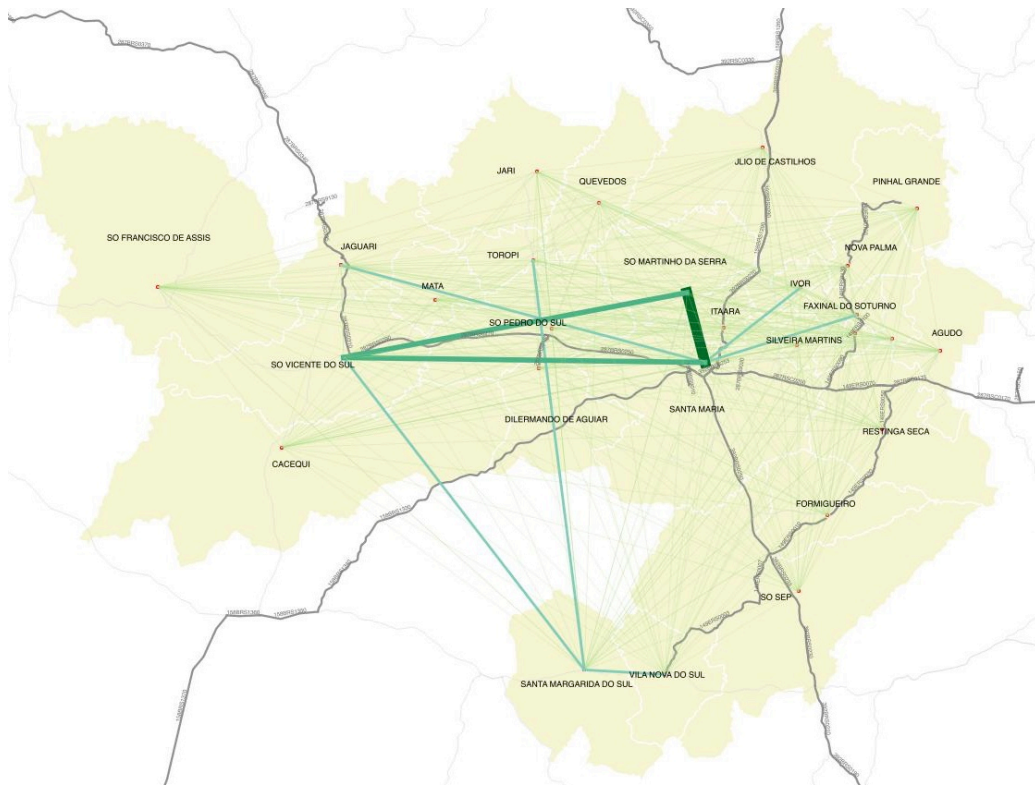


Figura 68 – Mapa da medida de tensão regional em 1970.



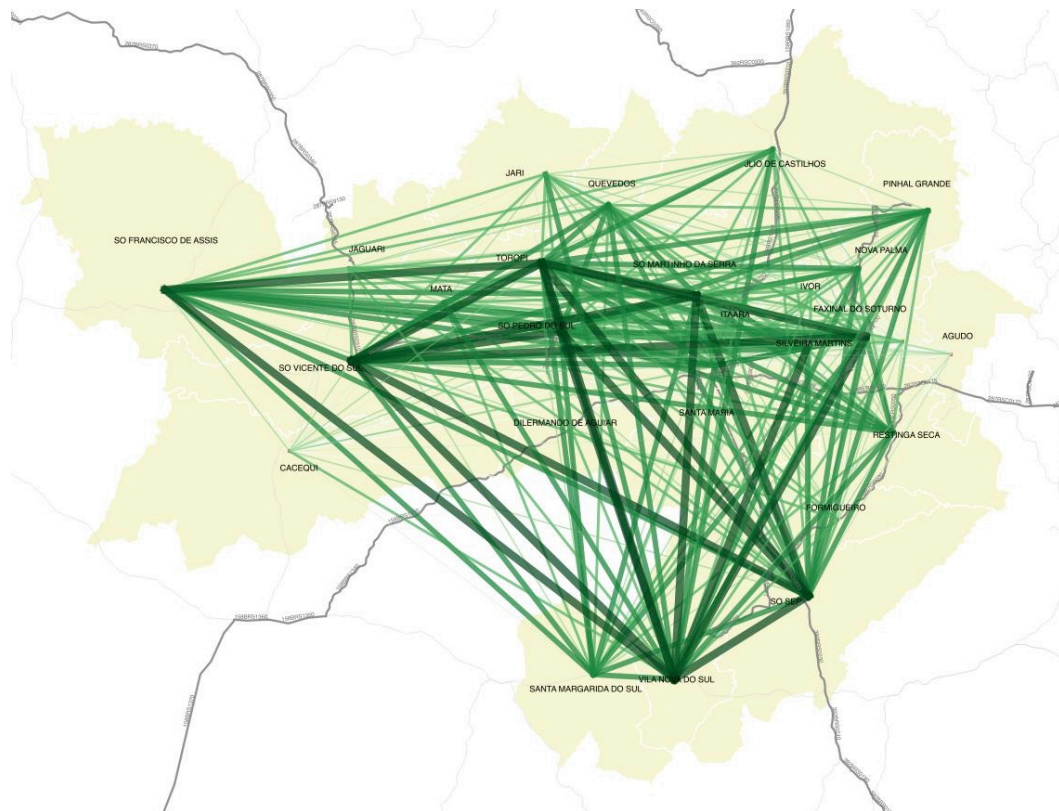
Fonte: da autora.

Figura 69 – Mapa da medida de tensão regional em 1990.



Fonte: da autora.

Figura 70 – Mapa da medida de tensão regional em 2010.



Fonte: da autora.

Os mapas da medida de tensão regional mostram que em 1970, tínhamos valores baixos tensionando o sistema, e o quanto era importante o eixo formado no sentido norte-sul de Santa Maria. Além disso, destacam-se tensões secundárias no sentido leste-oeste, especialmente conectando as cidades mais a oeste do sistema.

Em 1990, existem forças de altos valores tensionando o sistema no sentido norte de Santa Maria, e ganham força as tensões no sentido oeste, formando alguns triângulos de tensão bastante representativas.

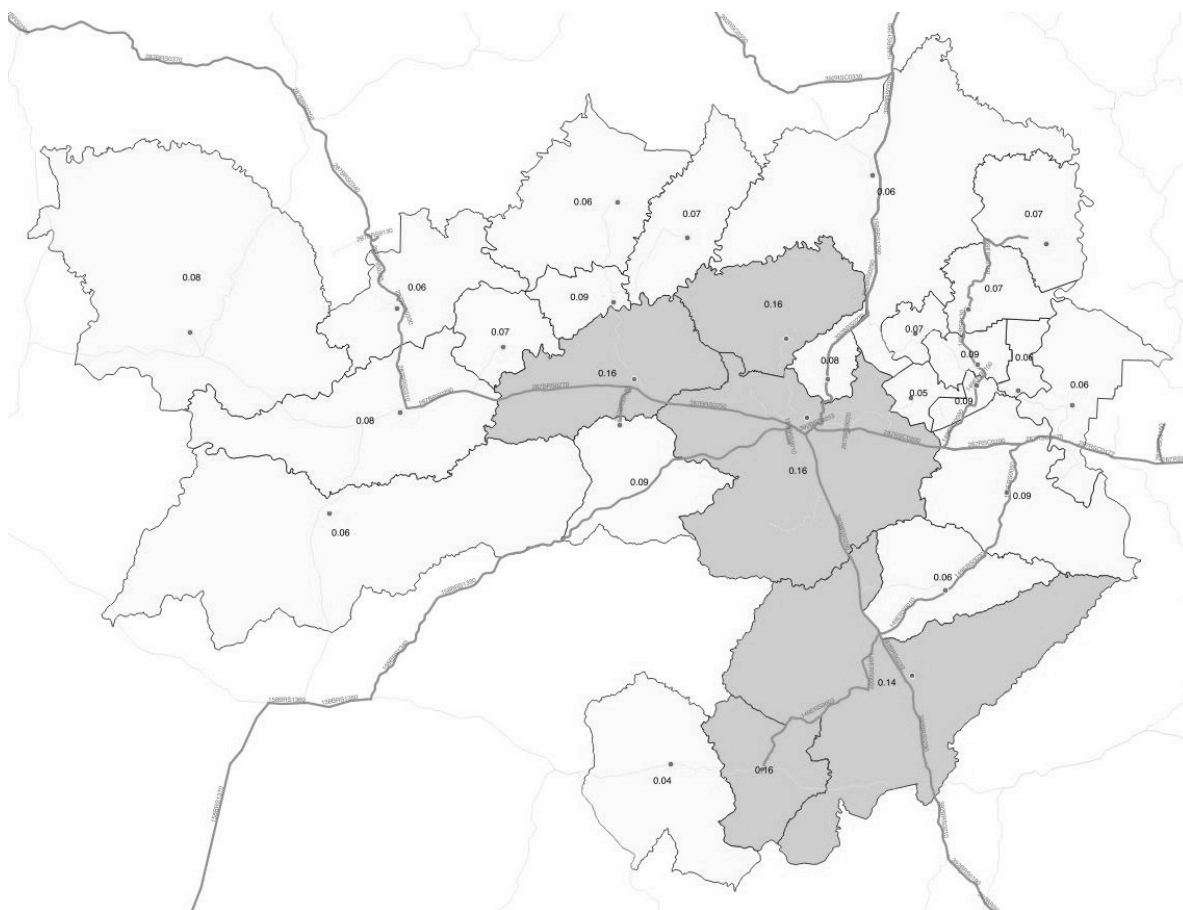
As tensões aumentam de forma considerável em 2010, fazendo com que os pares de interação estejam envolvidos em diversas tensões, inclusive entre pares de cidades que não os envolvem. As triangulações são reforçadas, e salienta-se o papel de Santa Maria, São Pedro do Sul e São João do Polêsine.

Foi considerado que existe uma medida na escala regional, chamada aqui de centralidade regional, adaptada da medida de centralidade de Krafft (1994), pelo fato de considerar variáveis que correspondem a medidas de fator locacional, o que pode levar a hierarquização do sistema regional (Espínola, 2002).

A verificação desse fator locacional e da possível hierarquização das cidades fundamenta-se pela relação de centralidade e características locacionais. A espacialização dessas variáveis é relevante para a identificação da possível relação de hierarquia entre cidades.

Foi considerado que os municípios mantêm suas medidas de centralidade, estando baseada apenas na posição relativa no território, e portanto a centralidade é a mesma para todos os anos da série temporal (Figura 71).

Figura 71 – Mapa da medida de centralidade regional, em cor mais forte, os municípios com maior centralidade.



Fonte: da autora.

Interessante verificar que os municípios que obtiveram maiores valores da medida de centralidade encontram-se em entroncamentos rodoviários federais e/ou estaduais, mostrando o seu papel de articuladoras no território, e fazendo valer a sua posição de centralidade no sistema regional.

As correlações realizadas nesta escala regional levaram em consideração a comparação da medida de tensão regional com o aumento bruto de área urbanizada que a cidade teve no período de tempo considerado. Ou seja, se existe uma força de tensão regional de tamanho

10, e a cidade cresceu de forma global em área equivalente a esta força, existe uma correlação positiva.

A Tabela 25 indica a correlação existente entre a diferença de tensão regional por período de tempo com aumento de área urbanizada por lacuna temporal.

Tabela 25 – Correlação entre diferença de tensão regional e diferença de área urbanizada.

	2010-1970	1990-1970	2010-1990
<b>Tr - Ui</b>	0,242048577	0,184961006	0,033368595
<b>Tr - Uj</b>	0,209645912	0,424921535	0,264159254

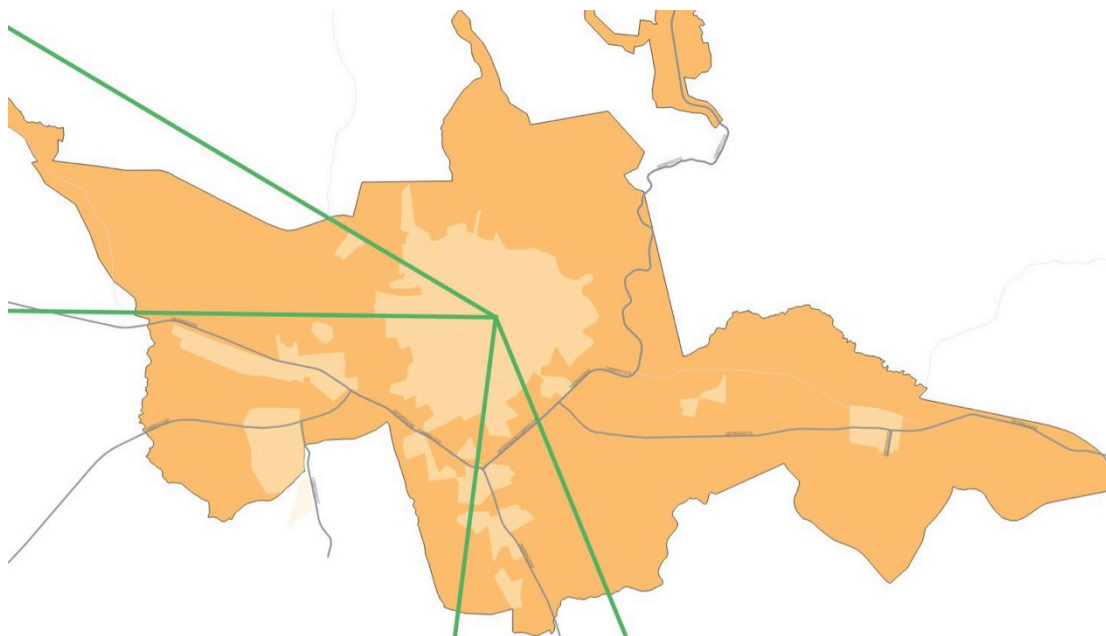
Fonte: da autora.

A tabela parece mostrar correlações gerais baixas, mas o ranking de cidades mostra que algumas cidades apresentam altíssimas correlações. Esta é uma demonstração de que a tensão existe, mas algumas cidades não estão crescendo naquela direção, ou ainda, não estão reconhecendo esta tendência de crescimento.

Exemplificando o caso de Santa Maria, podemos perceber o quanto o aumento de área urbanizada e a medida de tensão regional interagem enquanto vetores de crescimento que podem estar atuando em conformidade. A ideia é ilustrar o quanto os vetores resultantes da tensão regional estariam impulsionando o crescimento urbano em determinadas direções (Figura 72).

Figura 72 – Aumento de área urbanizada e medida de tensão regional para Santa Maria, entre 1970 e 2010.





Fonte: da autora.

A partir do aumento da área urbanizada, demonstrada através das manchas em tons de laranja da Figura 72, podemos perceber a lacuna de crescimento no período de 40 anos considerado entre 1970 e 2010. A deformação geométrica para Santa Maria ocorreu para todas as direções, mas especialmente a leste, oeste e norte. O crescimento ao sul ocorreu, mas de forma mais moderada do que nas demais direções.

As distorções demonstradas são geométricas e não utilizam informações geográficas, o que pode gerar algum ruído na formatação final dos mapas, além de não ser possível incorporar obstáculos ou dificuldades para que a interação ocorra efetivamente.

A partir dos vetores representativos dos maiores valores da medida de tensão regional para os anos de 2010 e 1970, podemos perceber que em 1970, o vetor regional tensiona o crescimento urbano nas direções norte, sul e oeste, comprovando a maior deformação ocorrida neste período, que ocorreu justamente na direção oeste, com grande aumento de área urbanizada. Em 2010, os vetores de crescimento mostram uma tendência de crescimento nas direções leste e sul, confirmando na direção leste uma deformação mais recente de crescimento que vem sendo observada.

Sendo assim, podemos constatar que existe uma relação estabelecida entre a tensão regional e o aumento de área urbanizada, confirmando as correlações encontradas.

### 6.3.2 Verificação Espacial na Escala Municipal

A verificação espacial na escala municipal leva em conta 5 cidades do sistema regional considerado, escolhidas de forma aleatória para exemplificar algumas verificações



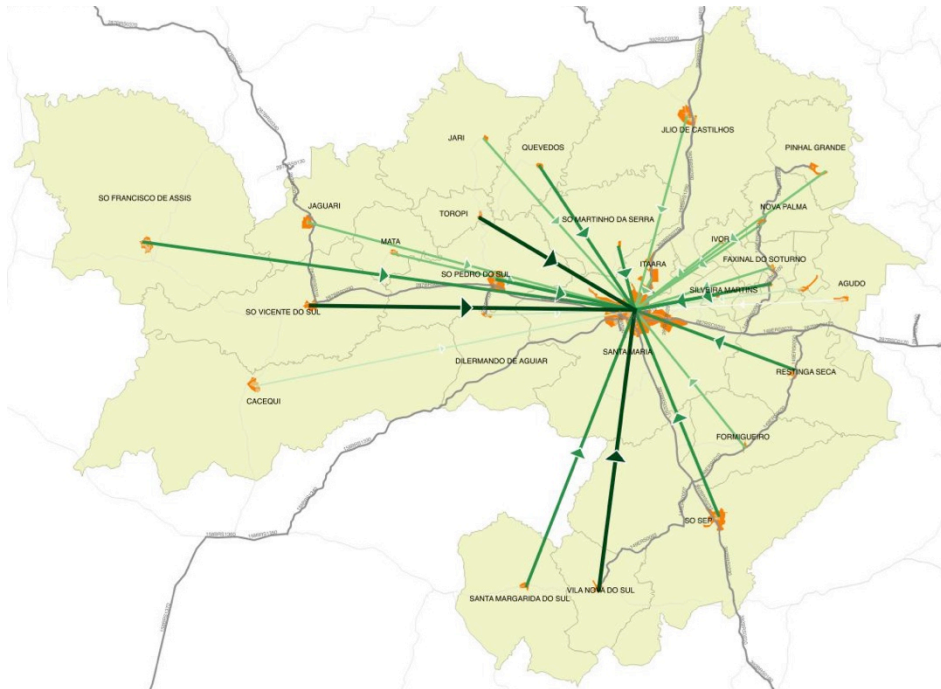
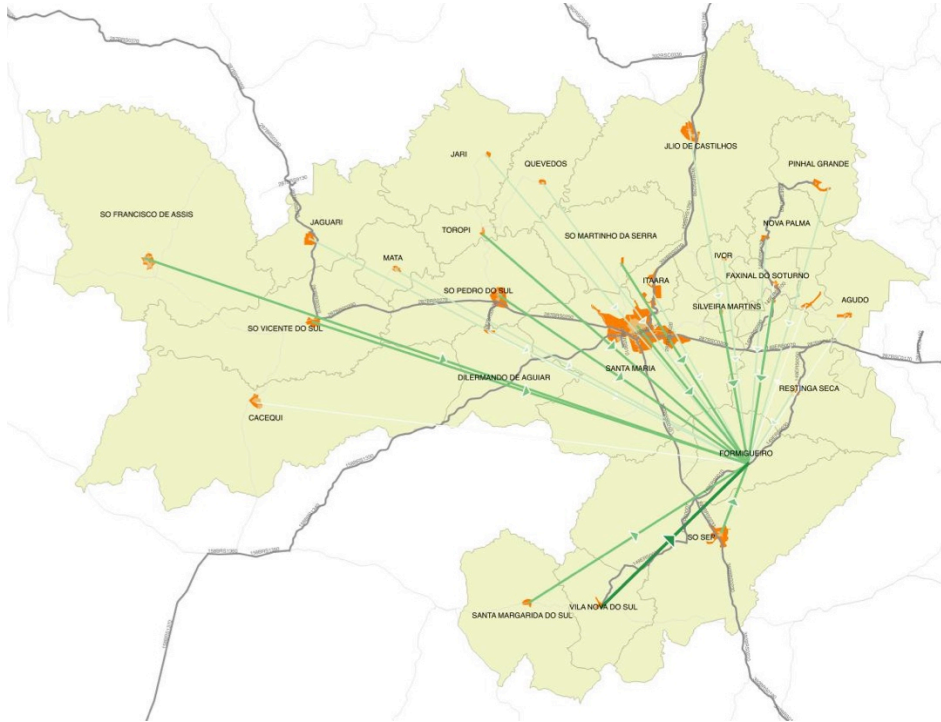
esaciais: Dilermando de Aguiar, Formigueiro, Santa Maria, São Martinho da Serra e Vila Nova do Sul.

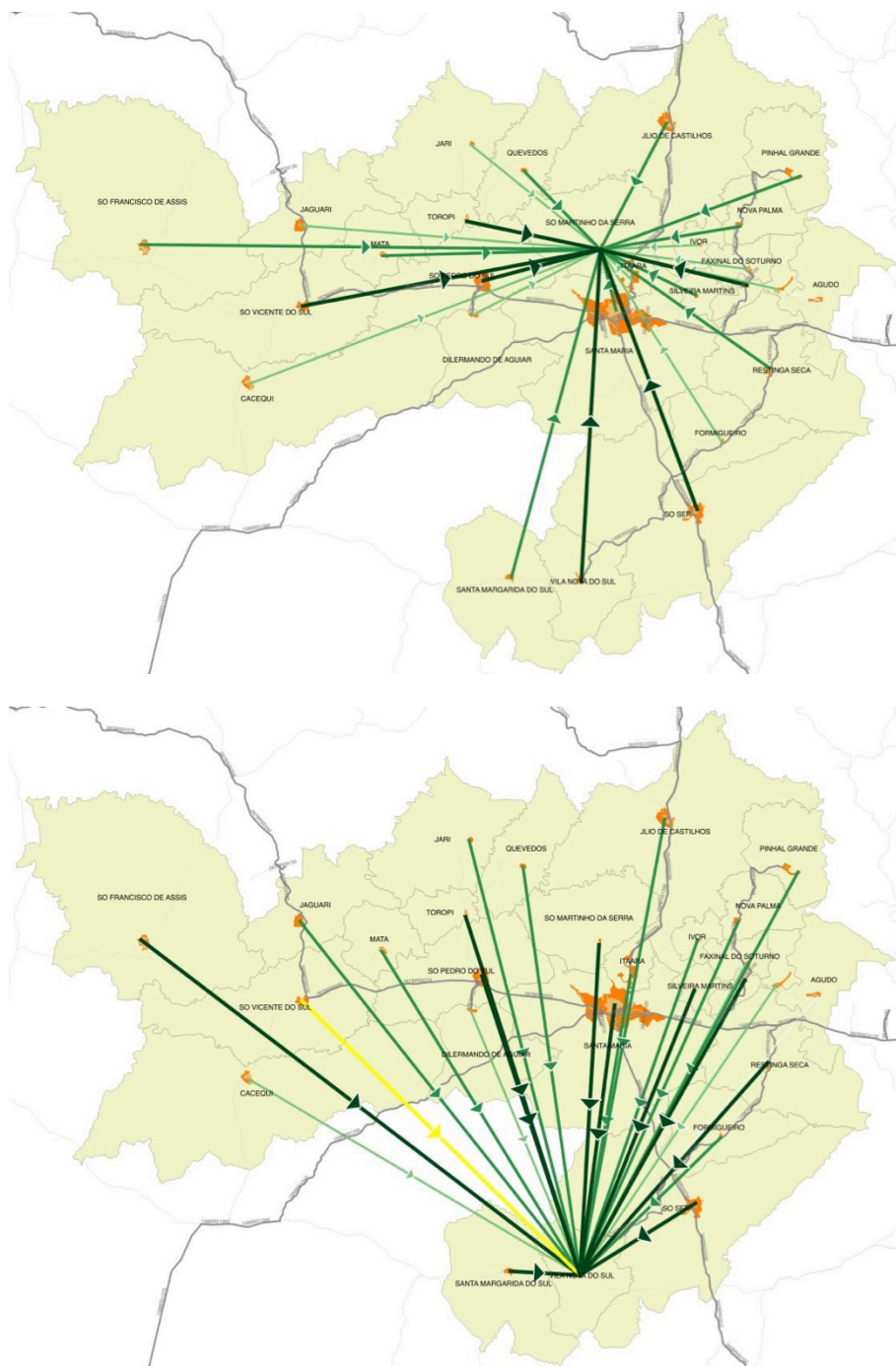
O objetivo desta verificação é observar, de acordo com resultados já obtidos da verificação estatística, se existe comprovação espacial das medidas de aumento de área urbanizada, deformação geométrica e centralidade com a tensão regional.

Verificou-se que a cidade de destino tem maior relação com a medida de tensão regional, e assim foi utilizado um filtro para tornar mais visível apenas os vetores de pares de interação que têm uma das 5 cidades listadas como cidade destino do par de interação (Figura 73).

Figura 73 – Mapas da medida de tensão regional para 5 cidades de destino na interação espacial.







Fonte: da autora.

Podemos constatar que a cidade de Dilermando de Aguiar apresenta vetores em todas as direções, mas mais fracos na direção sul; seu aumento de área urbanizada ocorreu no sentido norte. A cidade de Formigueiro apresenta vetores nas direções norte, sul e leste; seu aumento de área urbanizada ocorreu a norte e leste; A cidade de Santa Maria apresenta os maiores vetores a leste e sul; seu aumento de área urbanizada ocorreu de forma predominante a oeste, leste e norte. São Martinho da Serra apresenta vetores predominantes a sul e leste; seu crescimento ocorreu ao sul. Vila Nova do Sul apresenta vetores a norte; seu aumento de área urbanizada ocorreu a norte.



É evidente que o recorte do sistema regional tem influência importante nas cidades de borda, especialmente. A cidade de Vila Nova do Sul não é par de interação com suas cidades vizinhas a sul, leste e oeste, em função do recorte espacial avaliado, e portanto sua tensão regional se limita às possibilidades de formar pares de interação espacial apenas com as cidades consideradas, causando um ruído considerável para a visualização de resultados e distribuição da medida de tensão regional.

### 6.3.3 Verificação Espacial na Escala Intraurbana

A verificação espacial na escala intraurbana leva em conta uma amostragem do sistema regional considerado, 5 cidades escolhidas de forma aleatória (sem verificação do ranking de correlações entre tensão regional, centralidade e aumento de área urbanizada). As 5 cidades escolhidas são: Dilermando de Aguiar, Formigueiro, Santa Maria, São Martinho da Serra e Vila Nova do Sul.

Para estas cidades, foi adicionada a camada de estrutura urbana, para os anos de 1970, 1990 e 2010, contendo a malha viária das cidades, que foi carregada com as variáveis de população e comércio e serviço em seus nós viários.

A partir de dados obtidos diretamente com as Prefeituras Municipais de cada uma das 5 cidades, foi considerado que o comércio e serviço está localizado em determinada rua central da cidade, e que, portanto, os nós contidos neste eixo de comércio e serviço receberiam um carregamento maior do que os demais nós da cidade, responsáveis por abrigar a população, que receberia por sua vez um carregamento menor. Estas variáveis permitiram construir mapas que permitem conhecer a medida de diferenciação espacial: centralidade ponderada.

Para o cálculo das medidas de diferenciação espacial, foi utilizado o software ArcGIS, que permitiu que a ferramenta UNA<sup>28</sup> (Urban Network Analysis) fosse utilizada. Esta ferramenta livre permite computar cinco tipos de medidas de análise de grafos nas redes espaciais: alcance, gravidade, 'betweenness centrality', proximidade e força. Para fins desta investigação, considera-se que a variável *betweenness* ou intermediação é similar à medida de centralidade Freeman-Krafta.

Foram carregados, assim, em cada ponto representativo dos vértices do sistema espacial urbano, usos do solo correspondentes a residência e comércio/serviço. A cada uso do solo foram atribuídos valores diferentes, sendo valor (1) para uso residencial e valor (50) para comércio e serviço, de maneira a gerar pontos de oferta e pontos de demanda.

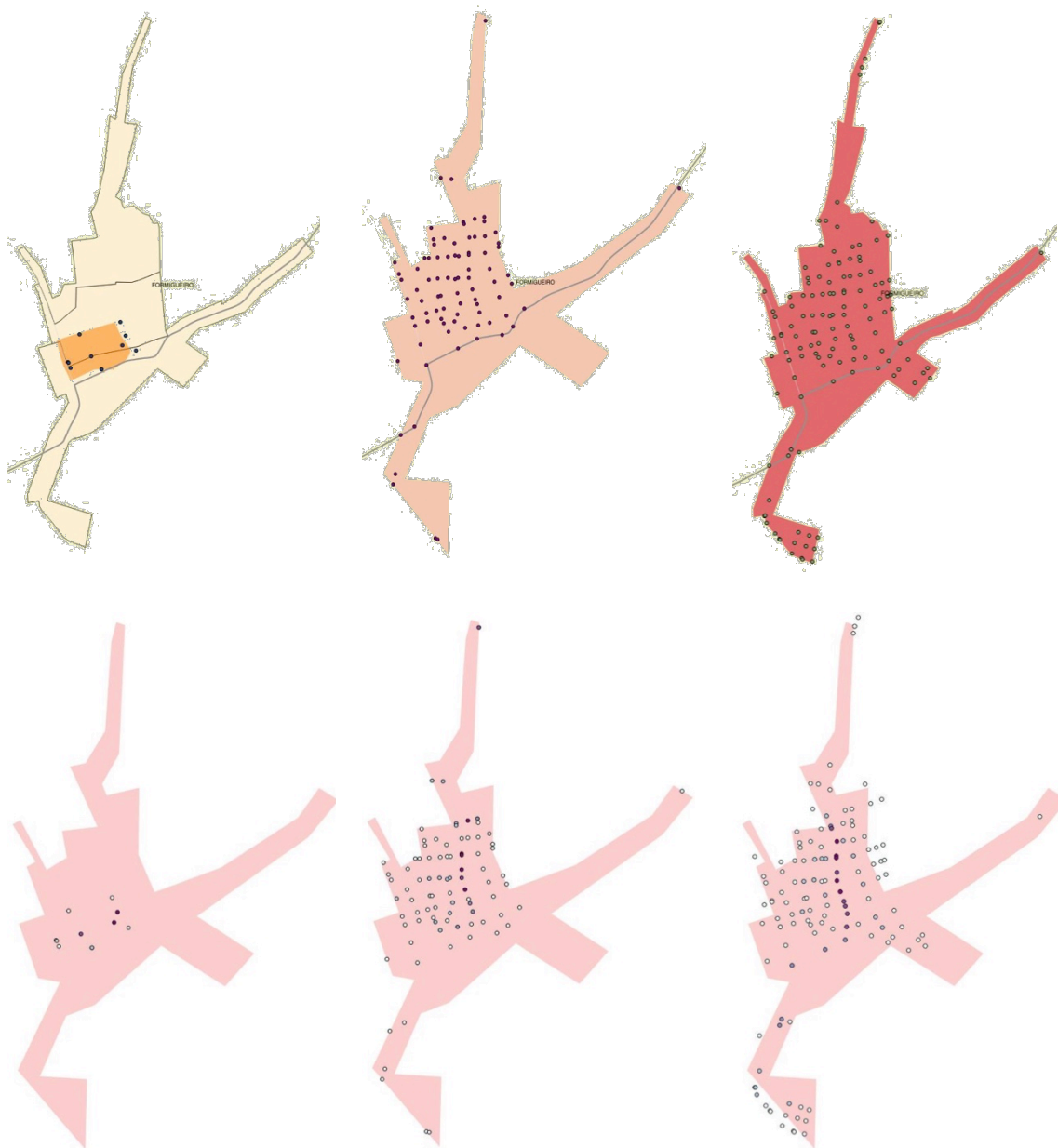
---

<sup>28</sup> Ferramenta desenvolvida pelo City Form Lab, MIT, Singapore University of Technology & Design em colaboração com o MIT, disponível em [cityform.mit.edu](http://cityform.mit.edu)

A medida considerada como centralidade, é representativa da fração dos caminhos mínimos entre pares de origem e destino que passarem por um ponto determinado, utilizada para estimar o potencial de determinadas localizações no sistema espacial (Sevtsuk & Mekonnen, 2012).

A seguir, são mostrados os mapas utilizados para o cálculo da centralidade intraurbana para as cidades de Formigueiro, Dilermando de Aguiar, São Martinho da Serra, Vila Nova do Sul e Santa Maria (Figuras 74 a 78).

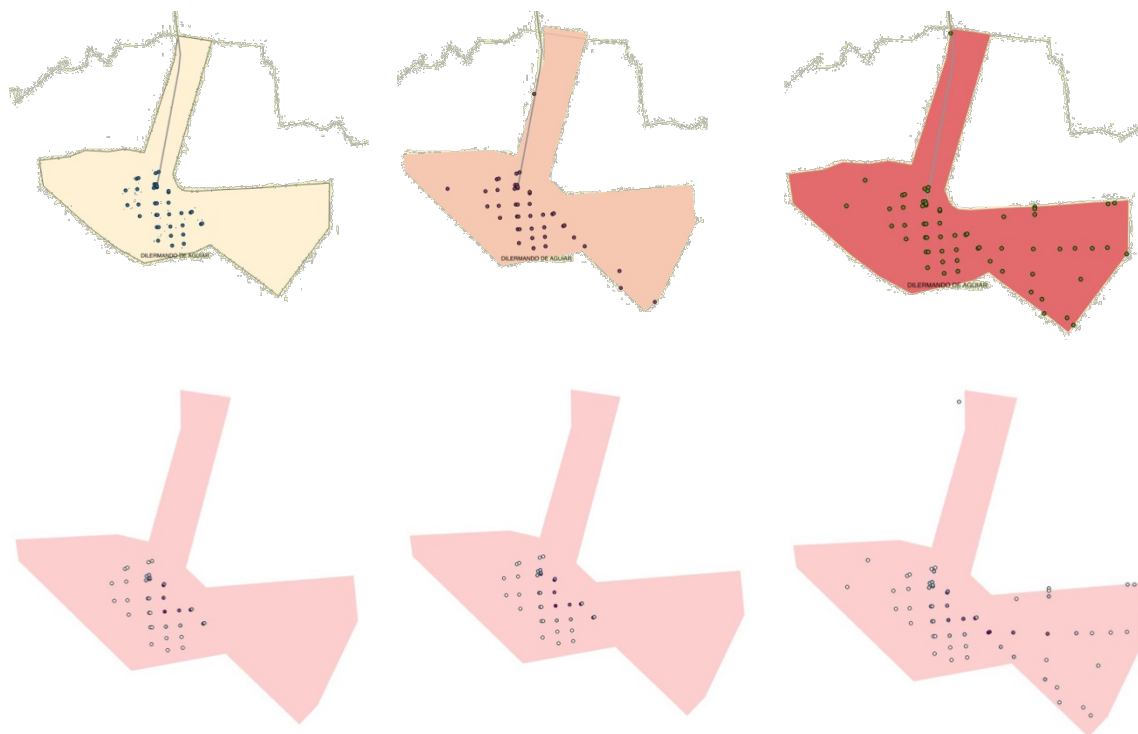
Figura 74 – Cálculo de centralidade intraurbana para Formigueiro em 1970, 1990 e 2010.



Fonte: da autora.

Podemos observar que a estrutura urbana de Formigueiro teve grande crescimento de 1970 para 1990, o que leva os valores de centralidade a terem disparidade compatível com este crescimento no período avaliado. De 1990 a 2010 o crescimento da estrutura urbana não foi tão significativo, mas observa-se crescimento ao leste e ao sul, e o encaminhamento dos valores mais elevados de centralidade ocorre na direção norte.

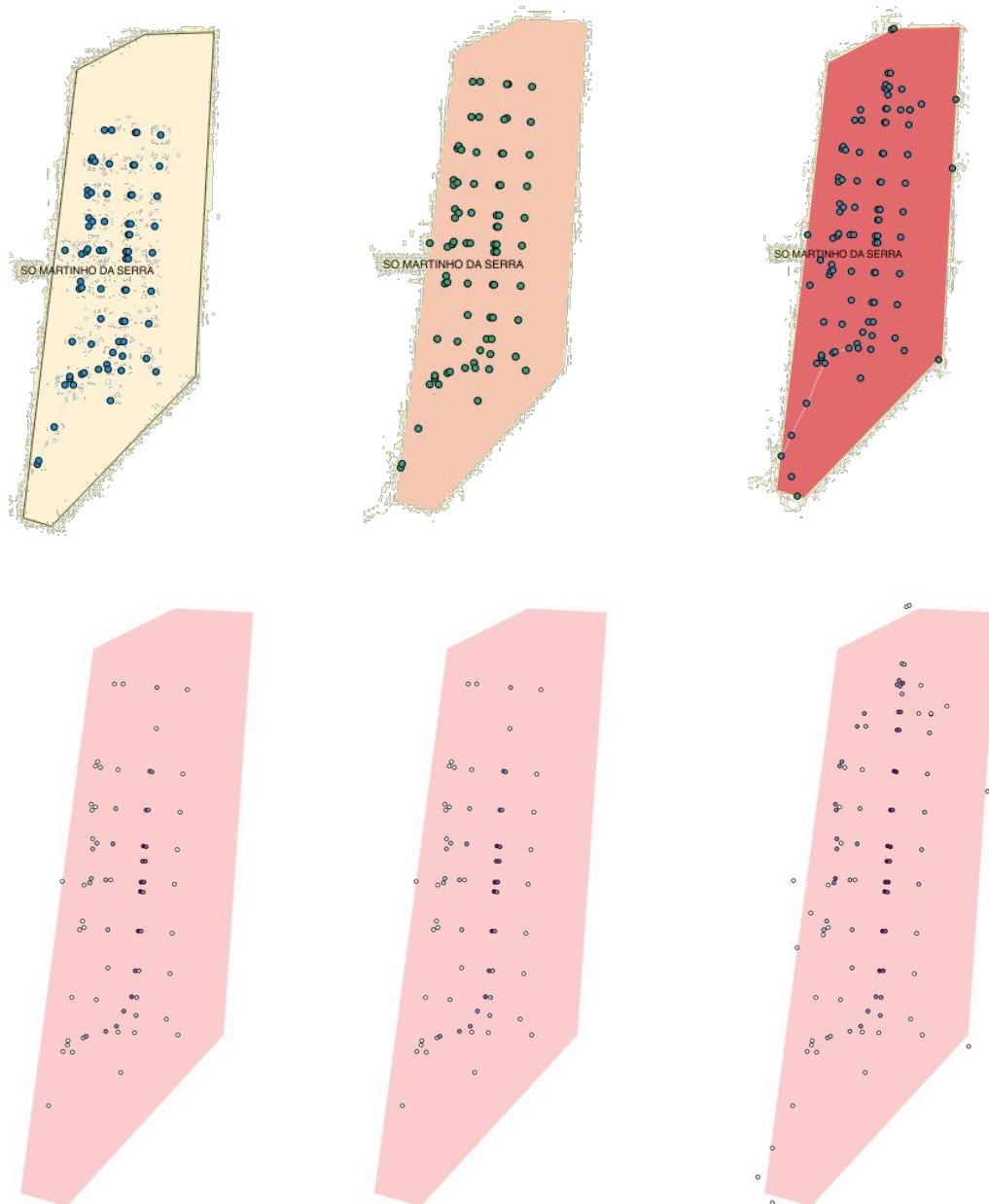
Figura 75 – Cálculo de centralidade intraurbana para Dilermando de Aguiar em 1970, 1990 e 2010.



Fonte: da autora.

A estrutura urbana de Dilermando de Aguiar é bastante recente, sendo distrito de Santa Maria até o ano de 1995. Para os anos de 1970 e 1990, foram utilizadas imagens de satélite que mostravam a estrutura urbana do, ainda então, distrito, uma vez que não foram realizados censos demográficos anteriores a 2000. Pode ser observado contínuo crescimento da estrutura urbana no sentido leste, e de mesma forma, percebe-se o encaminhamento da centralidade também a leste.

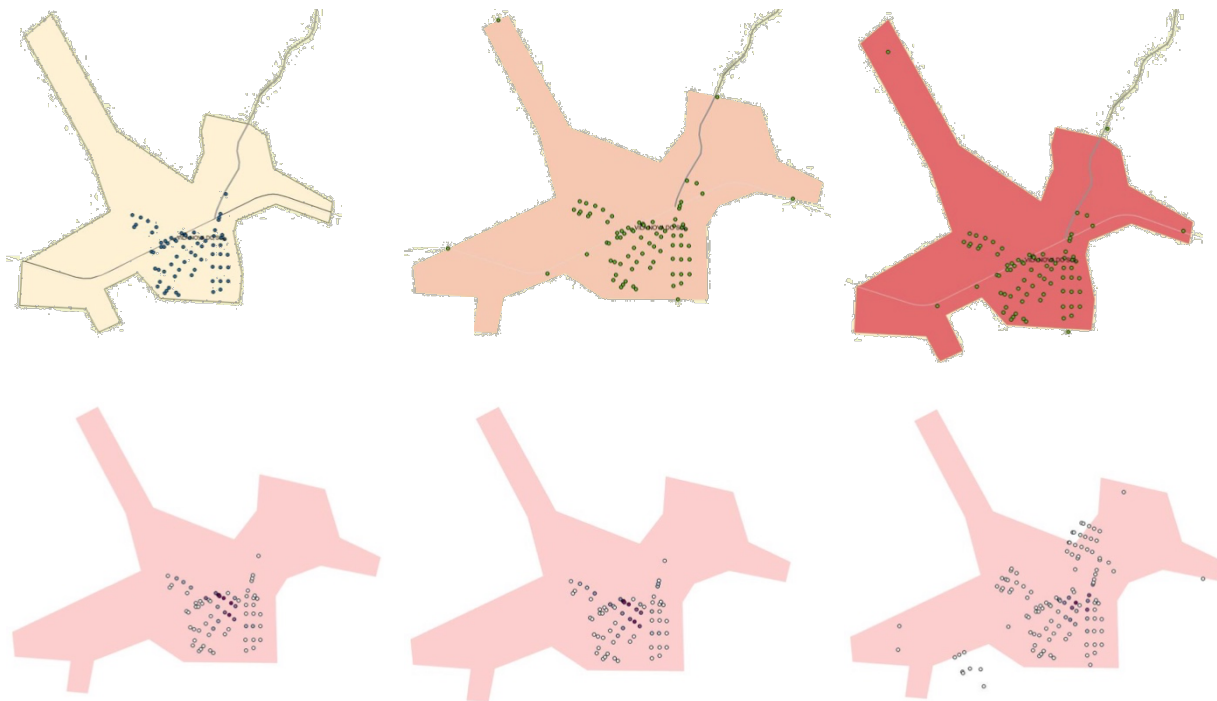
Figura 76 – Cálculo de centralidade intraurbana para São Martinho da Serra em 1970, 1990 e 2010.



Fonte: da autora.

A cidade de São Martinho da Serra, a exemplo de Dilermando de Aguiar, emanciou-se apenas em 1992, tendo sido desmembrado de Santa Maria, cidade da qual até esta data, era considerado distrito. Foram utilizadas imagens de satélite para a confecção dos mapas de 1970 e 1990. Observa-se crescimento da estrutura urbana, bastante linear, a norte. A centralidade também encaminhou-se a norte.

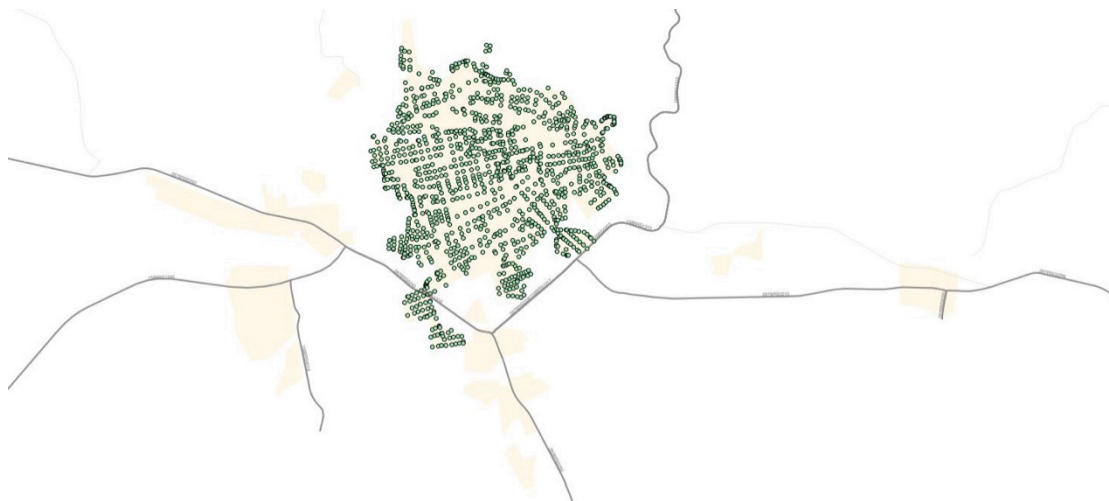
Figura 77 – Cálculo de centralidade intraurbana para Vila Nova do Sul em 1970, 1990 e 2010.



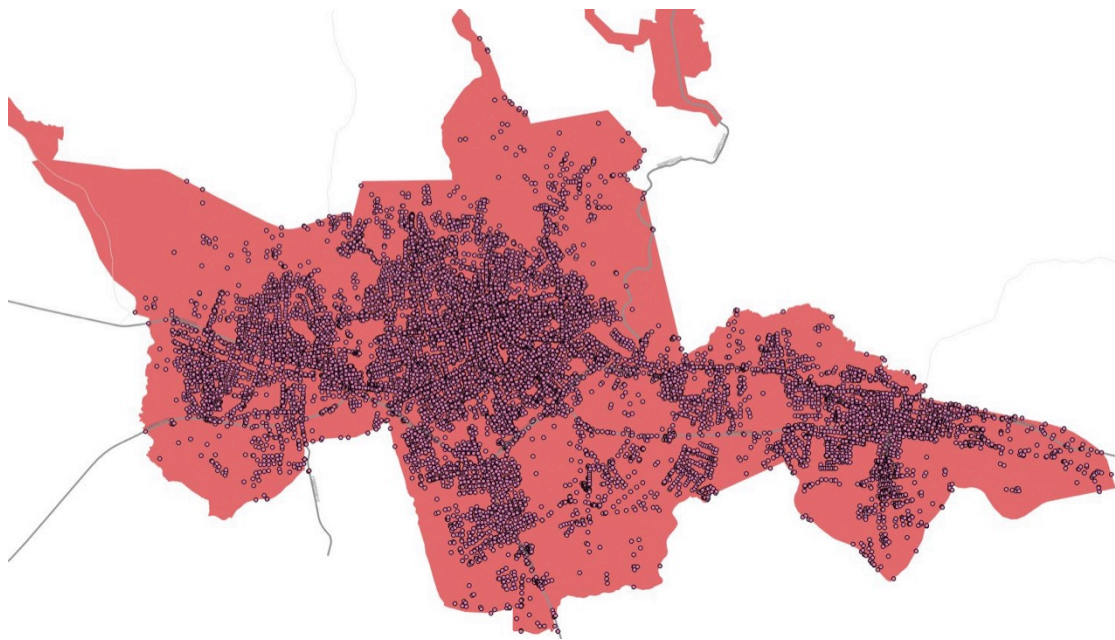
Fonte: da autora.

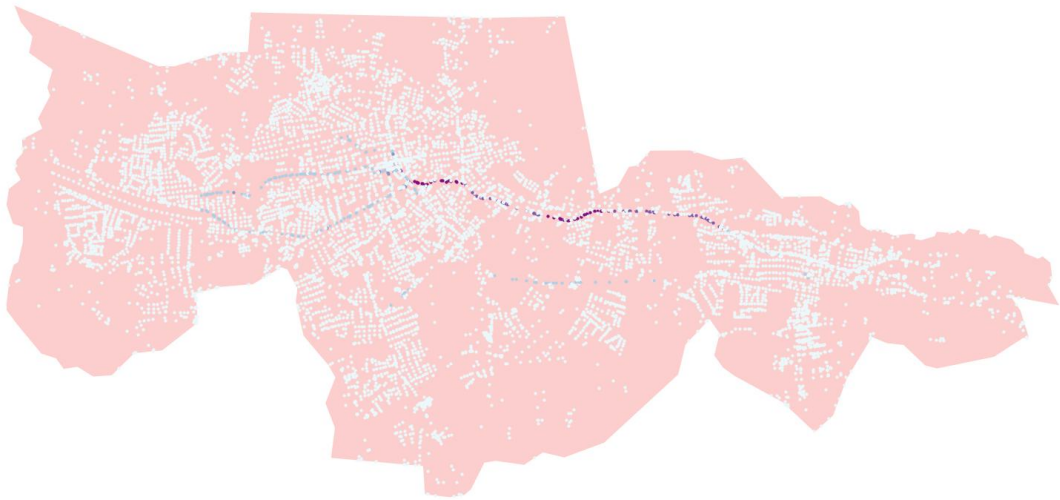
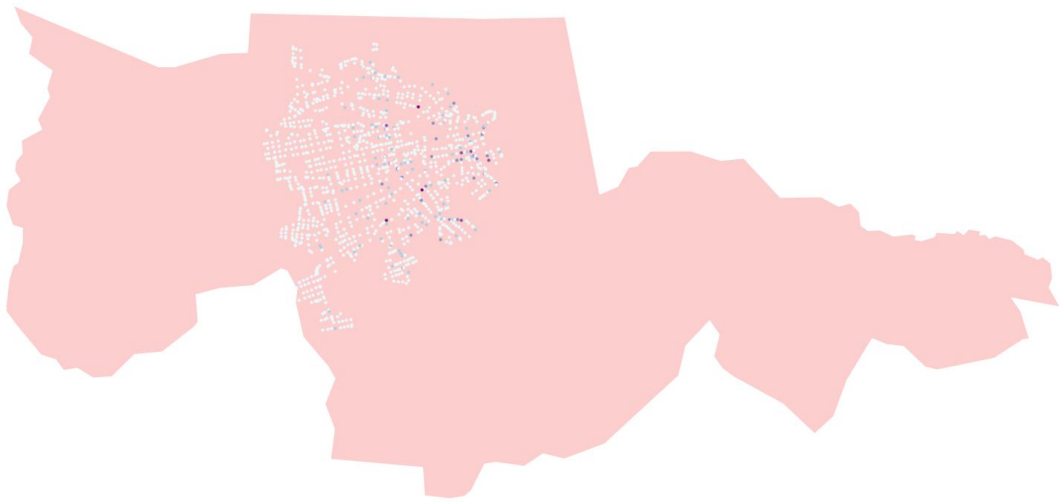
Também considerado município a partir de 1992, Vila Nova do Sul desmembrou-se de São Sepé, e foram utilizadas imagens de satélite para compor a estrutura urbana de 1970 e 1990. Percebe-se uma manutenção da estrutura urbana, porém com maior crescimento a norte e oeste, especialmente em 2010. A centralidade encaminha-se, porém, a leste e sudeste.

Figura 78 – Cálculo de centralidade intraurbana para Santa Maria em 1970, 1990 e 2010.













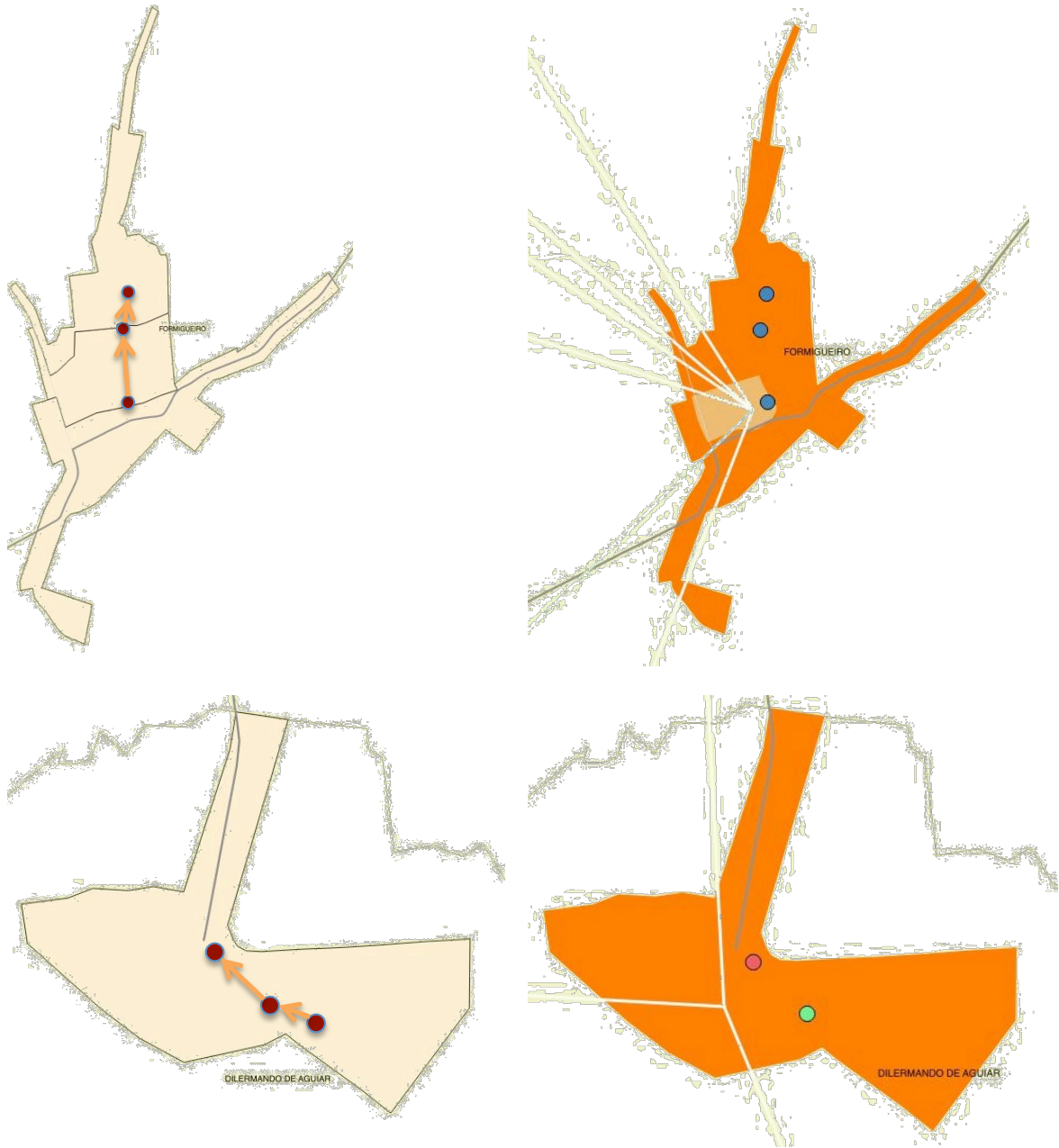
Fonte: da autora.

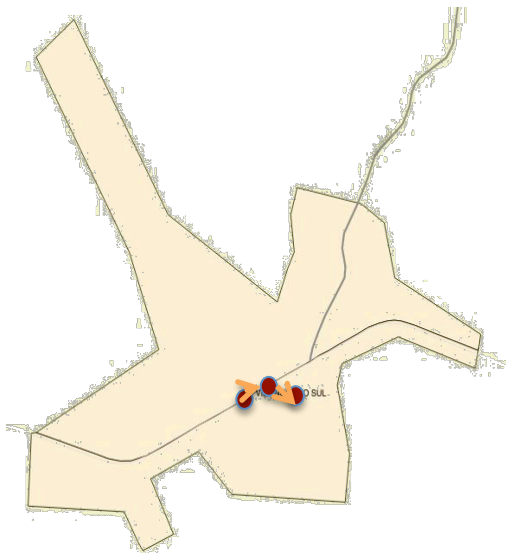
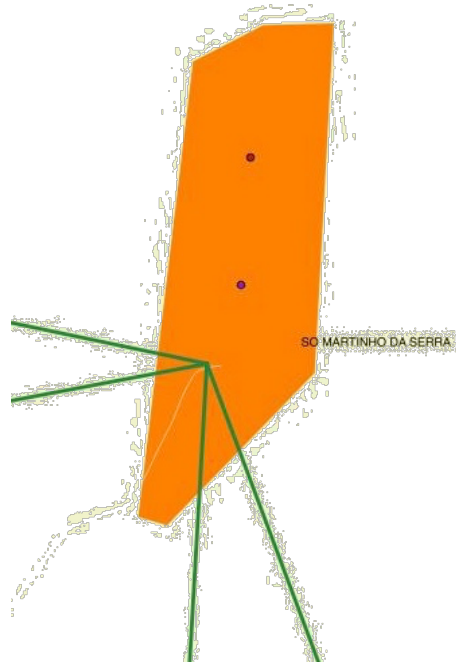
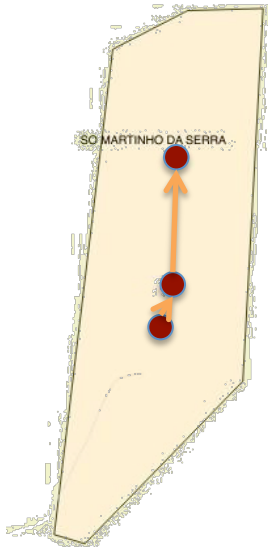
Santa Maria apresenta a maior estrutura urbana do sistema regional considerado, tendo uma área urbanizada já consideravelmente grande em 1970, com crescimento da mancha para as direções leste e oeste em 1990, e para as direções norte e sul em 2010. A centralidade tem crescimento significativo nas direções leste e oeste na série temporal analisada.

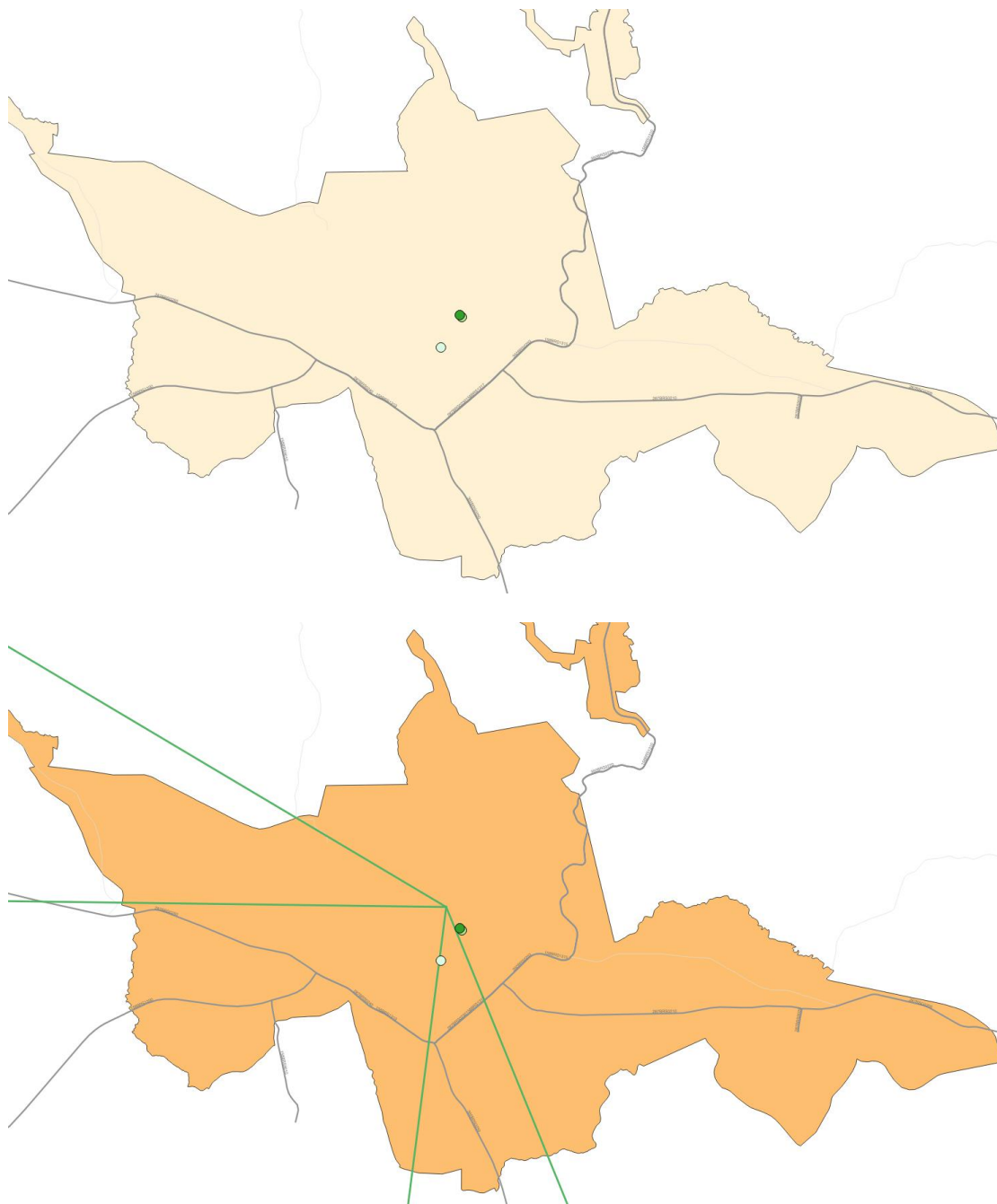
Estes mapas demonstrados apenas ilustram a maneira como foi representada a estrutura espacial intraurbana, e através das suas manchas de ocupação de área urbanizada, podemos perceber a evolução da estrutura urbana acompanhada da mancha de área urbanizada.

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, 1990 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 79).

Figura 79 – Série temporal de centralidade intraurbana e vetores de medida de tensão regional para 5 cidades do sistema regional.







Fonte: da autora.

A amostragem avaliada é ilustrativa da comparação realizada, uma vez que apenas para o município de São Martinho da Serra parece não existir uma relação mais forte 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.

#### **6.4 Conclusões Acerca da Verificação**

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.

Neste caso, foi necessário retroceder às etapas iniciais por dois momentos: em um deles, os dados estimados haviam sido calculados de modo a desconsiderar as constantes, e os referidos dados estavam causando ruídos nos resultados apresentados, especialmente para o ano de 2010, quando os números brutos dos dados são consideravelmente maiores do que nos demais anos; em outro momento, foi necessário retroceder às etapas iniciais pois as grandezas obtidas não estavam apresentando correlação coerente com as ponderações do modelo, e o que estava ocorrendo é que os dados não estavam normalizados corretamente. Por fim, a terceira tentativa foi a utilizada. Todas estas incoerências citadas foram detectadas na etapa de verificação estatística.

Cabe destacar que a etapa de verificação estatística, quando foram realizadas diversas explicações do modelo de tensão regional (centralidade regional, área urbanizada e deformação geométrica por direção) antecede a etapa de verificação espacial, pois através desta podem ser reconhecidas as incoerências antes de serem espacializadas.

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.

O teste da eliminação da cidade mais atrativa do sistema regional também parece ser explicativo do quanto Santa Maria condiciona os fluxos no território, muito mais relevante enquanto cidade de destino do que como cidade de origem. Isto significa que a maioria dos fluxos seguiriam ocorrendo caso Santa Maria fosse a cidade de origem, mas se a retirarmos como cidade de destino, acaba influenciando fortemente os resultados. Interessante observar também que esta dependência espacial passa a ser menos importante ao longo da série temporal (1970-2010), mostrando que outras cidades passaram também a ser importantes como destino de fluxos e de atratividade de serviços oferecidos.

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 verificação espacial trata em um primeiro momento da escala municipal, onde cada município foi avaliado em separado de acordo com a deformação geométrica que sua área urbanizada sofreu por cada direção (norte, sul, leste e oeste).

A conclusão mais relevante na escala municipal foi de que as cidades que mais cresceram no sistema regional na série temporal avaliada foram as que obtiveram maior relação entre a medida de tensão regional e deformação geométrica por direção, mostrando que as cidades que mais cresceram estão reconhecendo o vetor de crescimento que a medida de tensão regional representa em uma determinada direção, e outras cidades, muitas vezes por barreiras físicas como condicionantes naturais ou falta de acessibilidade por sistema rodoviário de qualidade, não crescem na direção do vetor referido, apesar do potencial existir.

Uma outra questão interessante é o impacto de Santa Maria nas demais cidades, que aparece sempre nas posições superiores dos rankings de correlação entre tensão regional e deformação geométrica por direção; os valores atribuídos a esta cidade são mais elevados e pode estar evitando que as demais cidades do sistema regional se desenvolvam, especialmente as cidades que apresentam uma relação de vizinhança de maior proximidade com Santa Maria.

Interessante também observar os efeitos de borda do sistema regional e a relação de distância de Santa Maria, observando por exemplo o caso das cidades de Vila Nova do Sul e São Vicente do Sul; as mesmas surgem com elevados valores de tensão regional, mas não se materializa em equivalente crescimento das suas áreas urbanizadas; podem estar atuando como uma espécie de disseminação da medida de tensão regional para cidades mais distantes da principal centralidade, Santa Maria.

Na escala intraurbana, está em avaliação o quanto a tensão regional e a deformação espacial estão 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 apresentar respostas para dois questionamentos:

- em que medida a estrutura geométrica interna da cidade reage à deformação?
- 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.

A validade da análise através das verificações, tanto estatísticas quanto espaciais, pode ser reconhecida pela grande gama de testes realizados, e especialmente pelos resultados obtidos, que insinuam uma comprovação da tese inicial proposta.

## 7. CONCLUSÕES

Esta investigação pretendeu verificar qual seria a influência do sistema regional na forma urbana e na estrutura interna da cidade. Para cumprir com o que se propõe, exigiu que fosse adotada metodologia de trabalho que envolveu, de forma geral, a revisão teórica dos temas envolvidos, o desenvolvimento de uma medida, chamada medida de tensão regional, e a verificação espacial, adotada a partir de um estudo de caso que permitiu tecer análises a respeito do funcionamento do roteiro metodológico proposto.

Dado este cenário, podemos afirmar em um primeiro momento, que as teorias 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 existentes 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.

A presente investigação subsidia, neste sentido, o preenchimento de uma lacuna existente no campo teórico, na intenção de entender o fenômeno do crescimento urbano e suas repercussões em uma região.

Ainda, cabe ressaltar que a proposta de um roteiro metodológico que trate de abordagens entre as escalas pode igualmente ser visto como aporte significativo para futuras pesquisas, que podem ser embasadas de acordo com a proposta apresentada: medida de tensão regional, verificação estatística e verificação espacial.

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 comprovada e existente entre a tensão regional e a deformação geométrica das cidades de destino das interações espaciais, e mais ainda, na 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.

Foi mostrado, a partir da caracterização do desenvolvimento do sistema regional, que suas transformações decorrentes da evolução do sistema referido na consolidação e qualificação das formas urbanas ocorre, de fato, através dos aumentos de áreas urbanizadas, ou deformações geométricas, em especial quando se aborda a interação espacial existente entre as cidades em uma região.



A definição da medida de tensão regional, derivada a partir da ciência da interação espacial, que tem como principal expoente o autor Wilson (1967, 1970, 2002), segue sendo explorada por autores mais recentes, como Denet (2012, 2013), e é premente que possa ser tratada na escala regional como possibilidade de aferir os fluxos reais e estimados existentes em um dado território.

Com isso, a identificação do potencial de interação espacial entre a localização das diversas atratividades regionais, vistas aqui como as cidades componentes do sistema regional, possa ser representada através da medida de tensão regional, torna possível aferir os limiares de localização de atratores no sistema regional e como estas localizações afetam as cidades e seu crescimento.

A dinâmica entre indivíduos e o seu meio, o espaço, dirige atenção crescente nas ciências sociais e geográficas, quando dados sociais são especiais em função da dependência através do espaço (Bivand, Pebesma & Gómez-Rubio, 2013). Sendo assim, a utilização de uma perspectiva espacial que permita o entendimento da maneira como os “vizinhos” e as “bordas” importam no sistema espacial, pode ser vista como uma inovação. Vizinhos vistos como as cidades que apresentam interfaces de vizinhança, e bordas como as cidades que se situam no limiar do sistema regional considerado, que poderiam estar sob a influência de outros sistemas mais abrangentes.

É possível perceber, por exemplo, que quanto mais isoladas as cidades estão no sistema regional, mais tensão é configurada para a cidade mais central do sistema, ou ainda, para a cidade mais atrativa do sistema. Ainda, que a relação de proximidade geométrica de cidades tende a redistribuir a tensão no sistema regional. Sendo uma medida derivada dos modelos gravitacionais, podemos avaliar este fato como uma dependência espacial positiva entre as cidades próximas, como se existisse um potencial virtual captado pelas cidades vizinhas às cidades atradoras, que reconhecem a tensão existente e se aproveitam destes fluxos e vetores de crescimento, assumindo possíveis localizações futuras e desenvolvimento nestas direções. Os efeitos de borda verificados também parecem ser relevantes, e levam a crer que tanto maior forem os sistemas regionais analisados, menos os efeitos de borda terão influência para o conjunto dos resultados.

Sendo assim, é possível explicar a forma urbana que a cidade tende a assumir na escala regional de acordo com sua posição relativa em relação às demais, e a interação entre a localização de cidades provoca diferentes forças no sistema regional, forças estas que são refletidas na forma urbana que as cidades irão assumir.

A maneira como a dinâmica do sistema regional se comporta ao longo do tempo determina alterações fundamentais na estrutura inicial do sistema regional, e para estas alterações

serem perceptíveis, é fundamental a análise comparativa de uma mesma região em termos temporais (Ojima, 2007), indicando a intensidade em que o fenômeno ocorre e quais os impactos causados pela tensão regional à medida que se avança no tempo.

A medida de tensão regional permite, desta forma, avaliar o crescimento urbano na série temporal analisada, pois é suficiente para tecer conclusões e visualizar os efeitos das atratividades e das deformações que ocorreram.

Algumas características regionais de integração econômica, como a ampliação da rede rodoviária asfaltada e do número de conexões entre as cidades do sistema regional também podem fazer a diferença na avaliação da tensão regional, pois são consideradas no momento do cômputo das distâncias geométricas e da impedância. Sendo assim, novos investimentos neste sentido devem ser reavaliados no modelo a cada série temporal incorporada.

É interessante ressaltar, no entanto, que se não houver integração ou conexão física entre as cidades de um sistema regional, pouco importa a forma que elas assumem, pois uma área muito dispersa em termos espaciais, porém onde o fluxo entre as cidades é muito reduzido, na prática, pode ser considerada menos influente do que em outra área menos fragmentada, porém mais integrada e conectada em termos viários.

Esta investigação sugere que existe, assim, uma forte correlação entre tensão regional e (i) deformação urbana e (ii) estrutura interna das cidades. O efeito da tensão regional sobre a forma urbana pode ser visto a partir da indicação de que a variação do aumento percentual e a tensão regional apresentam uma significativa correlação estatística. Especialmente, esta variação pode ser percebida a partir da escala municipal, quando os vetores representativos da tensão regional parecem estar orientados no mesmo sentido das deformações geométricas que ocorrem com o passar dos anos, indicando que os efeitos regionais são perceptíveis na escala municipal. Ainda, a estrutura geométrica interna da cidade reage à deformação, e se altera mediante as forças externas e regionais, pois a centralidade Freeman-Krafta varia junto com a medida de tensão regional, além de ser perceptível seu encaminhamento na mesma direção geométrica dos vetores de tensão regional.

Verificou-se que algumas variáveis exercem mais influência do que outras para a medida de tensão regional, e que, dependendo da escala que se observa, as variáveis se alteram. Neste sentido, mais uma vez a quantidade de variáveis e a quantidade de cidades consideradas no sistema regional parece influenciar os resultados da verificação estatística, ou seja, quanto maior o número de variáveis e cidades analisadas, mais coesa a verificação estatística.

Na escala regional, dois fatores parecem ser os mais ilustrativos da existência de fluxos que representam a tensão regional: a posição relativa da cidade de origem, nesta investigação tratada como a centralidade Freeman, e a população da cidade de destino.

Na escala municipal, a distância entre as cidades parece exercer forte influência, entoando os fatores de posição relativa no sistema, cidade mais central e efeitos de borda.

Na escala intraurbana, as atratividades 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, a deformação geométrica das cidades (representativa do crescimento urbano), e estrutura interna das cidades.

Importante destacar que esta investigação não incorporou dados relativos a questões ambientais (tais como existência de cursos d'água, rios, morros etc) que usualmente atuam como influência nas deformações geométricas das formas urbanas, e fazem com que alguns vetores de crescimento ganhem mais força em direções opostas ou complementares a estes limites. Estas forças ambientais são tratadas empiricamente como fortes influências regionais para condicionar os crescimentos das formas urbanas, e por isso poderia ser incorporada a investigações futuras. No entanto, é importante ressaltar que a existência de obstáculos físicos influenciam a deformação do crescimento das formas urbanas, mas não a teoria apresentada nesta investigação, que não depende dos obstáculos físicos e, desta forma, não os admite como variáveis no modelo explanativo do fenômeno investigado.

Referindo os efeitos que a tensão regional pode ter, alguns inclusive contraintuitivos: (i) desigualdades regionais; (ii) deformações das formas urbanas em sentidos opostos aos de maior tensão. Em (i), podemos afirmar que uma consequência direta da interação entre duas cidades é a ocorrência da quebra de homogeneidade nas regiões que rodeiam os dois centros (a exemplo do que foi considerado pelo modelo setorial de Hoyt e por Haggett); esta hierarquia gerada pelas linhas de conexão regional inclui o valor da terra e a competição por localização ao longo das linhas de tensão, por exemplo. Este fato pode redundar em (ii) deformação geométrica das cidades em deformação das formas urbanas em direções opostas às que a tensão existe, causadas por padrões de ocupação associados a baixos custos da terra e baixa acessibilidade.

Portanto, avaliando de forma crítica a investigação apresentada, poderia ter sido verificado de forma mais detalhada a evolução dos valores da terra e dos padrões de ocupação das linhas onde ocorre a tensão. Além disso, o tratamento das variáveis, a incorporação de um

sistema regional mais robusto e incrementado com mais dados espaciais reais, e não estimados, pode gerar um modelo mais robusto.

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, deformação geométrica 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 atratividades 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.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Alberti, M. and P. Waddell. (2000). An Integrated Urban Development and Ecological Simulation Model, *Integrated Assessment* 1. pp. 215-227.

Allen, P. M. (1997). *Cities and Regions As Self-Organizing Systems: Model of Complexity*. Routledge.

Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: methods and modes*. Studies in operational regional science. Kluwer Academic, The Netherlands.

Arbia, G., Petrarca, F. (2013). Effects of scale in spatial interaction models. *Journal of Geography Systems*, Berlin Heidelberg.

Anas, A. (1983). Discrete choice theory, information theory and the multinomial logit and gravity models, *Transportation Research Part B: Methodological*, Elsevier, vol. 17(1), pp. 13-23.

Anderson, P., Arrow, K., Pines, D. (1988). *The Economy as an Evolving Complex system*. Addison Wesley, Redwood City.

Arthur, W. B., 1994, 'Inductive reasoning and bounded rationality', *American Economic Association Papers and Proceedings*, 84, 406-411.

Atlan, H. (1979). *Entre le cristal et la fumée*, Paris.

Batty M, Longley P. Fotheringham S, (1989). Urban growth and form: scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation. *Environment and Planning A* 21(11) 1447 – 1472.

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 models and fractals*. Cambridge, MA: The MIT Press.

\_\_\_\_\_(2010). Space, Scale, and Scaling in Entropy-Maximising, *Geographical Analysis*, 42, pp 395–421.

\_\_\_\_\_(2011). When all the World's a City, *Environment and Planning A* 43. pp 765–772.

\_\_\_\_\_(2013). A Theory of City Size (Perspectives), *Science*, 340, pp 1418-1419.

Batty, M., Torrens, P. M. (2005). Modelling and prediction in a complex world. *Futures*, 37 (7 SPEC.ISS.) pp 745 - 766.

Bertaud, A. (2003). Metropolitan Structures Around the World. Marikina. acessado em 18 de Agosto de 2012, disponível em <<http://alain-bertaud.com>>

Bertaud, A. & Malpezzi, S. (1999). The spatial distribution of population in 35 world cities: the role of markets, planning and topography. Center of Urban Land Economics Research.

Bivand, R. S., Pebesma, Edzer, Gómez-Rubio, Virgilio (2013). *Applied Spatial Data Analysis with R*. 2nd ed. 2013, XVIII, 405 p. 121.

Bretagnolle A., Pumain D. (2010). Simulating urban networks through multiscalar space-time dynamics. Europe and United States, 17th -20th centuries. *Urban Studies*, n. 47, ed. 13, pp. 2819-2839.

Burgess, E. W. (1925). *The City: Suggestions for Investigation of Human Behavior in the Urban Environment*. Chicago: The University of Chicago Press.

Buzai, G. D. (1993). *Mapas Sociales Urbanos*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

Cheshire, J.; Uberti, O. (2014). *London, The Information Capital*. Penguin, London.

Christaller, W. (1966). *Central Places in Southern Germany*. Prentice Hall.

Colby, C. (1933) Centrifugal and Centripetal Forces in Urban Geography, *Annals of A.A.G.*

Colusso, I. (2007) *Apossamento dos Espaços Públicos Abertos na Área Central de Santa Maria/RS*. Dissertação de Mestrado em Planejamento Urbano e Regional, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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 .

Dennett, A., Wilson A. (2013) A multi-level spatial interaction modelling framework for estimating inter-regional migration in Europe. *Environment and Planning A* 45: 1491-1507.

Druck, S.; Carvalho, M. S.; Câmara, G.; Monteiro, A. V. M. (eds) *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Brasília, EMBRAPA, 2004

Echenique, M. H. (1975) *Modelos matematicos de la estructura urbana: aplicaciones en America Latina*. Buenos Aires, Ed. SIAP.

Echenique, M. H., Barton, H., Hargreaves, A. J., & Mitchell, G. (2010). SOLUTIONS Final report sustainability of land use and transport in outer neighbourhoods. Acessado em 15 de Fevereiro de 2012, disponível em <<http://www.suburbansolutions.ac.uk>>

Echenique, M. H., Barton, H., Hargreaves, A. J., & Mitchell, G., Namdeo, A. (2012): Growing Cities Sustainably, *Journal of the American Planning Association*, 78:2, 121-137

Espínola, A. M. (2002). *Configuração Espacial e Hierarquia Urbana - Rede de cidades no Paraná*. Dissertação de mestrado do PROPUR.

Faria, A. P. N. (2010). *Análise Configuracional da Forma Urbana e sua Estrutura Cognitiva*. Tese de doutorado do PROPUR.

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.

Freeman, L. (1977). "A set of measures of centrality based on betweenness". *Sociometry* 40, pp. 35-41.

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.

Gabaix, X. (1999). Zipf's Law For Cities: An Explanation. *Quarterly Journal Of Economics*, pp 739-767.

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.
- Haining, R. (1982), *Interaction Models and Spatial Diffusion Processes*. *Geographical Analysis*, 14. pp. 95–108.
- Haken. H. (1983). “*Synergetics: A Introduction*”. New York, Springer-Verlag, Orrin.
- Houaiss, Grande Dicionário da Língua Portuguesa (2015). Disponível em <<http://houaiss.uol.com.br/>>, acessado em diferentes datas.
- 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*.
- Ingram, D.R. (1971) *The Concept of Acessibility: a search for na operation form*. In: *Regional Studies*, vol 5. Pergamon Press: Britain, pp. 101-107.
- Jonhson, S. (2003). *Emergência – a vida integrada de formigas, cérebros, cidades e softwares*. Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro,.
- Johnston, R. J.; Gregory, D.; Smith, D. M. (1981) *The Dictionary of human geography*. Oxford: Blackwell.
- 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.

Lima, L. S. (2013). Numerópolis – Indicadores de Desempenho Urbano. PROPUR, UFRGS.

Livet P. (1983), La fascination de l'auto-organisation, in Dumouchel P., Dupuy J. P. (eds), L'auto,-organisation, pp. 165-171.

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

Ojima, R. (2007). Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras. R. bras. Est. Pop., São Paulo, v. 24, n. 2, p. 277-300, jul./dez. 2007

Meyers, R. A., (2009). Encyclopedia of Complexity and Systems Science. Springer.

ONU (Organização das Nações Unidas) (2007). Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD): Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008, Nova Iorque.

Palma, N. C. (2011). Dinâmica Espacial e Potencial de Atratividade. Tese de Doutorado do PROPUR.

Prigogine, I. & Nicolis, G. (1977) Self-organization in nonequilibrium systems: from dissipative structures to order through fluctuations; New York, Wiley REIF, B (1978) Modelos em planificacion de ciudades y regiones. Madrid. Instituto de Estudios de Administracion Local.

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.

Rauber, A. (2011). Indicadores de dispersão urbana. Dissertação de Mestrado do PROPUR.

Raymer, J, Abel, G & Rogers, A (2012). Does specification matter? Experiments with simple multiregional probabilistic population projections. *Environment and Planning A*, vol. 44, no. 11, pp. 2664-2686.

Reilly, W. J. (1931). *The Laws of Retail Gravitation*, New York, Knickerbocker Press.

Rogers, R. (1999). *Towards an urban renaissance: Final report of the Urban Task Force*. Department for the Environment, Transport and the Regions, London HMSO. London, UK: Spon.

Rogers, R., & Power, A. (2000). *Cities for a small country*. London, UK: Faber and Faber.

Saboya, R. T. (2001). *Centralidade Espacial: Uma nova operacionalização do modelo baseado em um sistema de informações geográficas*. Dissertação de Mestrado do PROPUR.

Sevtsuk, A., Mekonnen, M. (2012) Urban network analysis A new toolbox for ArcGIS. *Revue internationale de géomatique – n° 2*, pp 287-305.

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.

Taylor P.J. (1997). Hierarchical tendencies amongst world cities: a global research proposal, *Cities*, 14, pp. 323-332.

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

Tibshirani, R (1996). Regression Shrinkage and Selection via the Lasso. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 58 (1), pp 267-288.

Tsai.Y. (2005). *Quantifying Urban Form: Compactness versus 'Sprawl'*. Department of Urban Planning, Feng Chia University, 100 Wenhwa Road, Seatwen, Taichung, Taiwan 407 *Urban Studies*, Vol. 42, No. 1, pp 141–161.

Wilson, A. G. (1967). *A statistical theory of spatial distribution models*. *Transton 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.

## 9. ANEXOS

### ANEXO A – GLOSSÁRIO

#### A

**Acessibilidade:** Refere-se às distâncias relativas entre células de um sistema espacial. Aquelas células situadas a distâncias menores em relação a outras, são tidas como mais acessíveis (Krafta, 2014b). Característica inerente, ou uma vantagem de um lugar de superar alguma forma de relação espacial a uma fonte operacional de fricção, como tempo e distância (Ingram, 1971).

#### C

**Célula:** Porções de espaço contidos ou delimitados por um ou mais objetos espaciais. Dado que por definição, o sistema configuracional é contínuo, ou seja, todas as células são interligadas, a definição de unidades nem sempre é livre de problemas. No domínio do chamado espaço construído (interior das edificações) as células tendem a coincidir com os compartimentos. Nessas condições, as portas, ou passagens que conectam uns aos outros constituem os elos entre células. Já no âmbito do espaço público, a definição de unidades de espaço precisa ser elaborada, visto que esse espaço é contínuo (Krafta, 2014b).

**Convergência:** Tendência de vários aspectos ou objetivos se identificarem em um ponto, ou direção em comum para um mesmo ponto (Houaiss, 2015). Seria uma medida de privilégio locacional, precisa para verificar a funcionalidade de locais de oferta de serviços, já que relaciona esses pontos às áreas de distribuição de consumidores (Krafta, 2014b).

#### E

**Entropia:** Grandeza termodinâmica que mensura o grau de irreversibilidade de um sistema, associada ao que denomina-se por “desordem” de um sistema termodinâmico (Houaiss, 2015, Wilson, 1971).

#### F

**Fator de balaceamento:** Requerido para operações matemáticas com estrutura em árvore de inserção e remoção de elementos, para sua definição é utilizado um fator específico para nós, de modo a equilibrar o sistema, recalculando de acordo com os valores obtidos (Bivand, Pebesma & Gómez-Rubio, 2013).

#### G

**Grafo:** Construção matemática topológica, entidade composta de vértices (pontos que representam objetos, localizações, etc) e arcos ou linhas (linhas que representam adjacências entre os objetos ou localizações). É possível construir grafos de uma variedade de situações espaciais, como por exemplo, grafos simples, grafos direcionados, grafos justificados, etc.. Grafos apresentam a peculiaridade de serem homomórficos, ou seja, um sistema pode ser representado por vários grafos, que são, então homomórficos (Krafta, 2014b).

## **I**

**Impedância:** Medida de impedimento ou oposição ao fluxo de algo, abstrato ou concreto. Pode significar também a expressão matemática da medida dessa oposição, acompanhada da referente expressão dimensional (Houaiss, 2015).

**Iteração:** Processo chamado na programação de repetição de uma ou mais ações. Ato de iterar; repetição. Sequência finita de operações em que o objeto de cada uma é o resultado da que a precede (Houaiss, 2015).

## **L**

**Leis gravitacionais:** Formulada pelo físico inglês Sir Isaac Newton, descreve a lei da gravitação universal e as Leis de Newton — as três leis dos corpos em movimento que assentaram-se como fundamento da mecânica clássica. A gravitação universal é uma força fundamental de atração que age entre todos os objetos por causa de suas massas, isto é, a quantidade de matéria de que são constituídos (Houaiss, 2015).

## **N**

**Nó:** Ou Vértice, ponto que representa objetos, localizações, ou qualquer outra coisa que se queira representar em um grafo.

## **P**

**Polaridade:** Ponto estratégico de um sistema urbano que detém grande poder indutor e que, assim, influencia o crescimento da cidade ao ser redor e/ou na sua direção (Krafta, 2014b).

## **V**

**Vértice:** Ou Nó, ponto que representa objetos, localizações, ou qualquer outra coisa que se queira representar em um grafo.

## ANEXO B – TRECHO DE CÓDIGOS UTILIZADOS NO RSTUDIO.

```

## Para o ano 2010

```{r fig.cap="Teste", warning=FALSE}

# Transformação numa nova variável

#  $Tr_{ij} <- 0.1 \cdot G_{ij} + 0.05 \cdot l_{ij} + 0.05 \cdot A_{ij} + 0.05 \cdot L_{ij} + 0.2 \cdot S_{ij} + 0.2 \cdot T_{ij} + 0.15 \cdot B_{ij} + 0.2 \cdot E_{ij}$ 

# data$Trij_2010_3 <- Trij

# plot(data$Trij_2010_3)

...

A distribuição dos valores do  $Tr_{ij}$  pode ser conferida no histograma a seguir:

```{r}

hist(Trij_2010_3, main="")

...

## Para o ano 1990

```{r fig.cap="Teste", warning=FALSE}

# Transformação numa nova variável

#  $Tr_{ij\_1990\_3} <- 0.1 \cdot G_{ij\_1990} + 0.05 \cdot l_{ij\_1990} + 0.05 \cdot A_{ij\_1990} + 0.05 \cdot L_{ij\_1990} + 0.2 \cdot S_{ij\_1990} + 0.2 \cdot T_{ij\_1990} + 0.15 \cdot B_{ij\_1990} + 0.2 \cdot E_{ij\_1990}$ 

# data$Trij_1990_3 <- Trij_1990_3

# plot(data$Trij_1990_3)

...

A distribuição dos valores do  $Tr_{ij\_1990}$  pode ser conferida no histograma a seguir:

```{r}

hist(Trij_1990_3, main="")

...

## Para o ano 1970

```{r fig.cap="Teste", warning=FALSE}

```

```
# Transformação numa nova variável

# Trij_1970_3 <- 0.1*Gij_1970 + 0.05*lij_1970 + 0.05*Aij_1970 + 0.05*Lij_1970 + 0.2*Sij_1970 +
0.2*Tij_1970 + 0.15*Bij_1970 + 0.2*Eij_1970

# data$Trij_1970_3 <- Trij_1970_3

# plot(data$Trij_1970_3)

...

A distribuição dos valores do  $Tr_{ij}$ _1970$ pode ser conferida no histograma a seguir:

...{r}

hist(Trij_1970_3, main="")

...
```