

Impactos dos parâmetros em Modelos de Interação Espacial: uma discussão metodológica

Impacts of parameters in Spatial Interaction Models: a methodological discussion

Paulo Fernando Braga Carvalho

Doutor em Geografia, Professor do Departamento de Geografia,
Programa de Pós Graduação em Geografia da PUC Minas, Brasil
paulofernando@pucminas.br

Diego Filipe Cordeiro Alves

Doutorando em Geografia pelo Programa de Pós Graduação em
Geografia da PUC Minas, Brasil
diegofcalves@gmail.com

Erick de Oliveira Faria

Mestrando, em Geografia pelo Programa de Pós Graduação em
Geografia da PUC Minas, Brasil
erickolifaria@gmail.com

Sandro Laudares

Doutor em Geografia, Professor do Departamento de Geografia,
Programa de Pós Graduação em Geografia da PUC Minas, Brasil
laudares@pucminas.br

Resumo

Interessantes aplicações dos dados espaciais são vistas em estudos de interação espacial que usam modelos matemáticos adaptados de outras ciências ou criados para contextos específicos e, em geral, os principais elementos nas expressões algébricas que representam esses modelos são: as distâncias entre as Unidades Espaciais Básicas (UEB) e a magnitude (massa) de cada UEB. O problema discutido neste trabalho é: ao usar diferentes atributos ou medidores de distância os resultados obtidos com a aplicação de modelos matemáticos de interação espacial podem provocar conclusões distintas? Neste estudo foi aplicado o Modelo Potencial para cálculo e avaliação do potencial de atração dos municípios da Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. Os resultados deste trabalho mostram que a escolha de variáveis e a forma de medir distância provocam resultados com diferenças significativas dentro de um mesmo modelo matemático que lida com a interação espacial.

Palavras-chave: Interação Espacial, Modelos, Métodos Quantitativos

Abstract

Interesting spatial data applications are seen in spatial interaction studies using mathematical models adapted from other sciences or created for specific contexts, and in general the main elements in the algebraic expressions representing these models are: the distances between the Basic Space Units (BSU) and the magnitude (mass) of each (BSU). The problem discussed in this work is: when using different attributes or distance metrics can the results obtained with the application of mathematical models of spatial interaction lead to different conclusions? In this study the Potential Model was applied to calculate and evaluate the attraction potential of the municipalities of the Triângulo Mineiro / Alto Paranaíba Meso-region. The results of this work shows that the choice of variables and the way of measuring distance causes results with significant differences within a same mathematical model that deals with the spatial interaction.

Keywords: Spatial Interaction, Models, Quantitative Methods

1. INTRODUÇÃO

O interesse pela componente espacial dos dados tem se tornado cada vez mais frequente em diferentes áreas do conhecimento. Observa-se que é dada maior importância à posição onde determinado fenômeno ocorre ou como se distribui no espaço, indo além dos atributos diretamente relacionados a ele. O componente espacial tem se tornado cada vez mais presente nas atividades cotidianas, fenômeno impulsionado pelo crescente uso de *smartphones* e outros dispositivos móveis que incluem tecnologia de posicionamento por satélites entre suas funcionalidades. A escolha de uma melhor rota, o uso de automóveis compartilhados ou mesmo as redes sociais se baseiam em conceitos de geolocalização e algoritmos complexos.

Para a Geografia essa componente é inerente ao seu objeto de estudo, embora outras áreas do conhecimento humano também lidem com a espacialidade dos dados. A Demografia busca encontrar padrões nos fluxos migratórios ou na forma como a população se distribui no território; a Medicina relaciona a segregação espacial da população com indicadores de saúde e também busca identificar regiões suscetíveis a expansão de epidemias; a Logística de Transportes estuda a determinação do caminho ótimo entre um centro de distribuição e as lojas para distribuição de mercadorias; a Segurança Pública busca identificar regiões de maior criminalidade. Tilman e Kareiva (1998) destacam a importância do espaço para cinco áreas temáticas da Ecologia: estabilidade, padrões de diversidade, invasões, coexistência e geração de padrões.

Interessantes aplicações dos dados espaciais são vistas em estudos de interação espacial que usam modelos matemáticos adaptados de outras ciências ou criados para contextos específicos e, em geral, os principais elementos nas expressões algébricas que representam esses modelos são: as distâncias entre as Unidades Espaciais Básicas e a magnitude (massa) de cada Unidade Espacial Básica (UEB). Como exemplo, os modelos baseados na Força Gravitacional relacionam o nível de interação diretamente às populações e ao inverso da distância.

Mas, as distâncias podem ser medidas usando grandezas diferentes. A distância entre duas cidades pode ser dada em quilômetros, metros, horas de viagem, custo financeiro para o deslocamento, etc.

Assim, o problema discutido neste trabalho é: ao usar diferentes atributos ou medidores de distância os resultados obtidos com a aplicação de modelos matemáticos de interação espacial podem provocar conclusões distintas?

Consideramos tal discussão relevante pois aplicações de modelos matemáticos são encontradas nos mais diversos níveis de gestão. Como exemplo, o Índice de Qualidade de Vida Urbana (IQVU):

O Índice de Qualidade de Vida Urbana de Belo Horizonte (IQVU-BH) é um índice composto por diversas variáveis que buscam quantificar a disponibilidade de bens e serviços públicos e privados na cidade. O IQVU é calculado desde 1994 para as 79 Unidades de Planejamento (UPs) existentes em Belo Horizonte. Seu cálculo permite a delimitação de áreas prioritárias para os investimentos públicos e a melhor compreensão da distribuição dos bens e serviços públicos e privados entre as regiões da cidade. (PBH, 2018)

O governo federal usa a projeção populacional do município para distribuição de recursos do Fundo de Participação dos Municípios (FPM).

As projeções populacionais, para o setor público, auxiliam no conhecimento e quantificação de demandas futuras de diversas naturezas, tais como estradas, escolas, hospitais, áreas de lazer, etc., e, para o setor privado, servem para estimar o tamanho potencial de seu “mercado” futuro (PRESTON et al., 2001).

Assim, a hierarquização das Unidades Espaciais Básicas se torna importante no processo de gestão e os atributos envolvidos nos modelos devem ser selecionados com prudência..

2. INTERAÇÃO ESPACIAL

A natureza dinâmica das relações humanas apresenta um aspecto complexo nas ciências sociais. Diferentes abordagens buscam compreender as interações originadas pela ação humana, representados pelas migrações e pelas trocas de informação, mercadorias e bens.

Mover-se pelo espaço é um aspecto intrínseco à natureza humana. Os primeiros grupos humanos, ainda nômades, percorriam longas distâncias com vistas a suprir suas necessidades básicas de abrigo, alimentação e segurança. A passagem de um meio de vida nômade ao sedentário, embora tenha tornado esta constante migração desnecessária, trouxe a possibilidade de novos fluxos e trocas. O advento de novas tecnologias de transporte permitiu que estes fluxos alcançassem a escala global.

O conceito de Interação Espacial se relaciona diretamente ao aspecto móvel e fluido do comportamento humano, uma vez que compreende todo tipo de movimento no espaço que seja resultado de um processo humano. (FOTHERINGHAM E HAYNES, 1984). Tal conceito pode ser entendido como sendo o processo através do qual há o contato entre diferentes entidades no espaço, tanto a partir de oferta e demanda como por opções locais. (ROY; THILL, 2004, p.339).

Por se tratar de um conceito amplo, o mesmo se emprega a diferentes realidades e escalas de abordagem: indivíduos em seu movimento pendular diário, migrações, localização de empresas, centros comerciais, etc.

A origem dos trabalhos em interação espacial na Geografia se relaciona à chamada “Física Social”, que pode ser entendida como a abordagem de fenômenos sociais a partir de preceitos da física. Nesta perspectiva, o comportamento espacial é tratado sob uma visão macro e generalista.

Uma das primeiras tentativas de se abordar a interação espacial de maneira análoga aos preceitos da física foi feita por Carey, em 1858:

Homem, a molécula da sociedade, é o objeto da Ciência Social. (...) A grande lei da gravitação molecular é condição indispensável para a existência do ser conhecido como homem (...) Quão maior o número agrupado em um dado espaço, maior é a força gravitacional exercida. Gravitação é aqui, assim como em qualquer lugar, uma razão direta da massa e inversa da distância. (CAREY, 1858, APUD RICH, 1975).

Após a proposta de Carey, vários trabalhos foram desenvolvidos partindo dos pressupostos por ele apresentados. Os trabalhos de Stewart (1940) formalizaram os conhecimentos a partir da teoria da gravitação planetária proposta por Newton (RICH, 1975). Surgem, neste período, os primeiros trabalhos que relacionavam a capacidade de interação espacial a partir dos conceitos de massas e distâncias. Nestes, essencialmente, a interação espacial era uma medida diretamente proporcional à massa e inversamente proporcional à distância entre duas diferentes porções do espaço analisado.

Neste período a justificativa para a abordagem em interação espacial vigente era a de que, dadas as condições de determinada região, o esperado é de que a interação entre as populações da mesma seja diretamente proporcional ao seu tamanho, uma vez que maiores populações induzem maior probabilidade de trocas e movimentos e inversamente proporcional à sua distância, sendo esta entendida como inconveniência, atrito a ser superado. (ISARD, 1960).

De forma a operacionalizar este conceito, são propostos diferentes modelos, em especial os modelos gravitacional e potencial. A partir da população e das distâncias entre as regiões analisadas, há a proposta da Força Gravitacional (ISARD, 1960):

$$F = G \cdot \frac{P_i P_j}{d_{i,j}^2} \quad (1)$$

A formulação básica da Força Gravitacional (F) relaciona a mesma diretamente às populações e ao inverso da distância entre as mesmas elevado à segunda potência. Desta fórmula deriva diretamente o conceito de potencial demográfico, identificado como o potencial de interação produzido pela massa de cada uma das áreas analisadas.

$$V_{i,j} = G \cdot \frac{P_j}{d_{i,j}} \quad (2)$$

O conceito de potencial é complementado por Lagrange, que adiciona a noção de potencial gravitacional aos conceitos de força e energia propostos por Newton. Enquanto o conceito de força gravitacional representa a energia mútua criada entre as massas I e J, o potencial gravitacional

representa a energia criada por uma massa em outra (RICH, 1975). A construção da fórmula a partir de uma relação entre população e distância permite que o potencial seja interpretado como a medida da influência de uma determinada população a certa distância.

Durante a década de 1940 são propostos os primeiros trabalhos em interação espacial, assim como os primeiros modelos, destacando-se o trabalho de Stewart – Mapa de Potencial Demográfico dos Estados Unidos (1940); Harris – Modelo Potencial de Mercado (1954); Lowry – Modelo Potencial de Comércio (1964); Stouffer – Modelo de Oportunidades Intervenientes (1940); Huff – Modelo de Demanda para Estabelecimentos (1964). (RICH, 1975).

Apesar de se relacionarem a diferentes objetivos, os Modelos de Interação Espacial partem dos conceitos-chave de Massa e Distância. De forma geral, a massa pode ser estimada de diferentes maneiras, sendo comum o uso da população nos trabalhos pioneiros. Diferentes índices podem ser utilizados para a formulação do conceito de massa nos modelos, devendo estes se adequar ao objetivo da análise. (ISARD, 1960).

De maneira geral, os modelos de interação são uma classe específica de modelos associados a uma ligação ou par de localizações no espaço geográfico, os quais são utilizados para descrever e prever fluxos espaciais de pessoas, produtos e informação. (FISCHER; REGGIANI, 2004, p.320).

Nos modelos gravitacionais e potenciais a interação entre os diferentes indivíduos ocorre em função de suas massas e de maneira inversamente proporcional entre as distâncias entre estas unidades. Tendo em vista que a distância implica custos e inconveniências ao ser percorrida, esta se apresenta como impedância às interações entre diferentes unidades espaciais. Na medida em que a distância aumenta, menor a possibilidade de interação entre estas. (ABREU, 1991).

As abordagens de interação espacial sob a forma de modelos gravitacionais e potenciais foram posteriormente complementadas a partir de novos conceitos e metodologias. Destacam-se os trabalhos de Stouffer (1940) e Fotheringham e Weber (1980), respectivamente nos modelos de Oportunidades Intervenientes e Modelos de Destinos Concorrentes. Em seus estudos Stouffer (1940), propõe que o total de interação a uma determinada distância é proporcional às oportunidades no destino e inversamente proporcional às oportunidades localizadas entre a origem e o destino analisados. O trabalho de Fotheringham e Weber (1980) aborda a estrutura espacial envolvida na interação espacial a partir de informações prévias a respeito da atração de fluxos na área estudada. (ROY; THILL; 2004, p.353). Nesta proposta são levantadas questões importantes não abordadas anteriormente, em especial a de que, havendo dois centros iguais localizados a certa distância, o acréscimo de um terceiro centro alteraria a estrutura competitiva estabelecida entre os dois? (FOTHERINGHAM e WEBER, 1980).

Com o surgimento de outras técnicas e metodologias de análise espacial com apoio do computador novas discussões sobre interação espacial e dos modelos utilizados para estimá-la foram

retomadas. (FISCHER; REGGIANI, 2004, p.334). Em meio aos avanços no tema, ressalta-se o uso de redes neurais artificiais.

O uso de redes neurais artificiais surgiu nos anos de 1960 como tentativa de se simular a atividade neural do cérebro humano em sistemas de computador baseados em inteligência artificial. O interesse na utilização destes métodos nos estudos regionais se deu em razão de suas capacidades preditivas. (BLACK; 1995, p.159). Os trabalhos pioneiros de análise regional baseados em redes neurais foram propostos por Openshaw (1989), Fischer e Gopal (1994).

3. DISTÂNCIA ABSOLUTA E DISTÂNCIA RELATIVA

Um elemento presente na maioria dos modelos matemáticos que avaliam a interação entre unidades espaciais é a distância, que pode ser medida tomando referenciais e unidades de medidas distintos e classificada como absoluta ou relativa.

Como exemplo, a distância entre as cidades de Belo Horizonte/MG e Lavras/MG por rodovia é de, aproximadamente, 238 km, enquanto por linha reta é 188 km, em tempo de viagem utilizando automóvel de 3 horas e de R\$ 76,00 tomando por base o preço de passagem de ônibus. Neste último caso, considera-se que quanto maior o preço da passagem mais distante é um destino.

Estes são valores que se encaixam em intervalos de grandezas variados. O número que representa a distância por rodovia é quase 80 vezes maior que o observado para a distância medida em horas e três vezes maior em relação ao valor que representa a distância medida pelo preço da passagem.

Christaller já dizia que a distância física deve ser substituída pelo conceito de distância econômica. Para Von Thünen, em seu modelo de localização de produção agrícola, o custo de transporte faz com que a distância represente uma diminuição significativa de rendimento líquido, o que influencia a formação do mercado produtor e consequente interação com o mercado consumidor. Weber, na Teoria da Localização Industrial procura explicar a escolha locacional da indústria, usando diversos fatores como, por exemplo, transporte e mão-de-obra. (CARVALHO, 2007)

Neste trabalho, adota-se o conceito de distância absoluta entre duas unidades espaciais como aquela obtida em linha reta, por rodovias, rota aérea, ou outras que tomam como referência a distância física, e que pode ter como unidades de medidas: quilômetro, metro, centímetro, milhas, etc.

A distância relativa considera outras formas de medir a distância entre duas unidades espaciais como, por exemplo, o tempo gasto no deslocamento da unidade de origem para a unidade de destino, o custo financeiro que viabiliza o deslocamento, o número de interações entre as unidades sugerindo que quanto menor o número de interações maior é a distância entre elas, etc.

4. MODELO POTENCIAL

O modelo potencial é um exemplo de Modelo de Interação Espacial com diversas aplicações (HAYNES; FOTHERINGHAM, 1984; FOTHERINGHAM; ROGERSON, 2005; FERREIRA, HADDAD; BOISIER, 1989; PIANI; KUME, 2000; OLIVEIRA; SOUZA, 2003) e tem sua origem no Modelo Gravitacional.

A denominação Modelo Gravitacional vem da analogia com a Lei da Gravitação Universal de Newton (Século XVII) que trata da interação entre dois corpos planetários. De acordo com esta lei, a força de atração entre dois corpos é diretamente proporcional às massas desses corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. (CARVALHO, 2007)

Matematicamente, a Lei da Gravitação Universal, é representada pela equação 3:

$$F_{ij} = G \cdot \frac{M_i \cdot M_j}{D_{ij}^2} \quad (3)$$

Sendo,

F_i Força de atração
 G uma constante (gravitacional),
 M_i a massa de i
 M_j a massa de j e
 D_{ij} a distância que separa i de j

Nos modelos de interação espacial geográficos a equação 3 sofreu adaptações com a inclusão de expoentes às variáveis de massa, que dimensionam as unidades espaciais e o expoente da distância deixa de ser necessariamente igual a 2.

Assim, a formulação matemática mais simples do Modelo Gravitacional adaptado à análise geográfica passa a ser escrita de modo generalizado pela equação 4:

$$I_{ij} = K \cdot \frac{M_i^\alpha \cdot M_j^\beta}{D_{ij}^\lambda} \quad (4)$$

Onde,

I_{ij} é a interação dos centros i e j
 M_i e M_j indicam os tamanhos dos centros (população é o mais usado)
 D_{ij} a distância entre os centros
 K , α , β e λ são os parâmetros a serem determinados, em geral, empiricamente.

Segundo Ferreira (1989, p. 528) as hipóteses do modelo são que a interação entre os indivíduos em suas atividades são proporcionais às massas ou populações entre as cidades, porque quanto maiores os aglomerados humanos, provavelmente maior deve ser a comutação, sob diversos aspectos, entre esses aglomerados. Por outro lado, a “fricção da distância”, ou seja, o custo e o sacrifício em deslocar-se no espaço reduz, paulatinamente, aquela comutação, quanto maior for a distância entre dois pontos. Assim, admite-se que a interação seja inversamente proporcional à distância.

Carvalho (2007) discute o processo de calibração do Modelo Gravitacional, ou seja, a determinação dos parâmetros adotados que, em geral, é feito empiricamente. Os resultados mostram que a escolha dos parâmetros altera a magnitude do valor obtido para a interação entre os centros.

Enquanto o Modelo Gravitacional mede a relação entre dois centros, ou unidades espaciais, o Modelo Potencial mensura a relação de uma unidade espacial com todas as outras. Assim, quanto maior a atratividade da unidade espacial i , maior o seu Potencial, representado matematicamente pela equação 5.

$$P_i = \sum_{i=1}^n I_i = I_{i1} + I_{i2} + \dots + I_{in} \quad (5)$$

ou seja,

$$P_i = K \cdot \frac{M_i^\alpha \cdot M_1^\beta}{D_{i1}^\lambda} + K \cdot \frac{M_i^\alpha \cdot M_2^\beta}{D_{i2}^\lambda} + \dots + K \cdot \frac{M_i^\alpha \cdot M_n^\beta}{D_{in}^\lambda} \quad (6)$$

Colocando M_i^α em evidência, chega-se à forma simplificada do Potencial da unidade espacial i , apresentada na equação 5

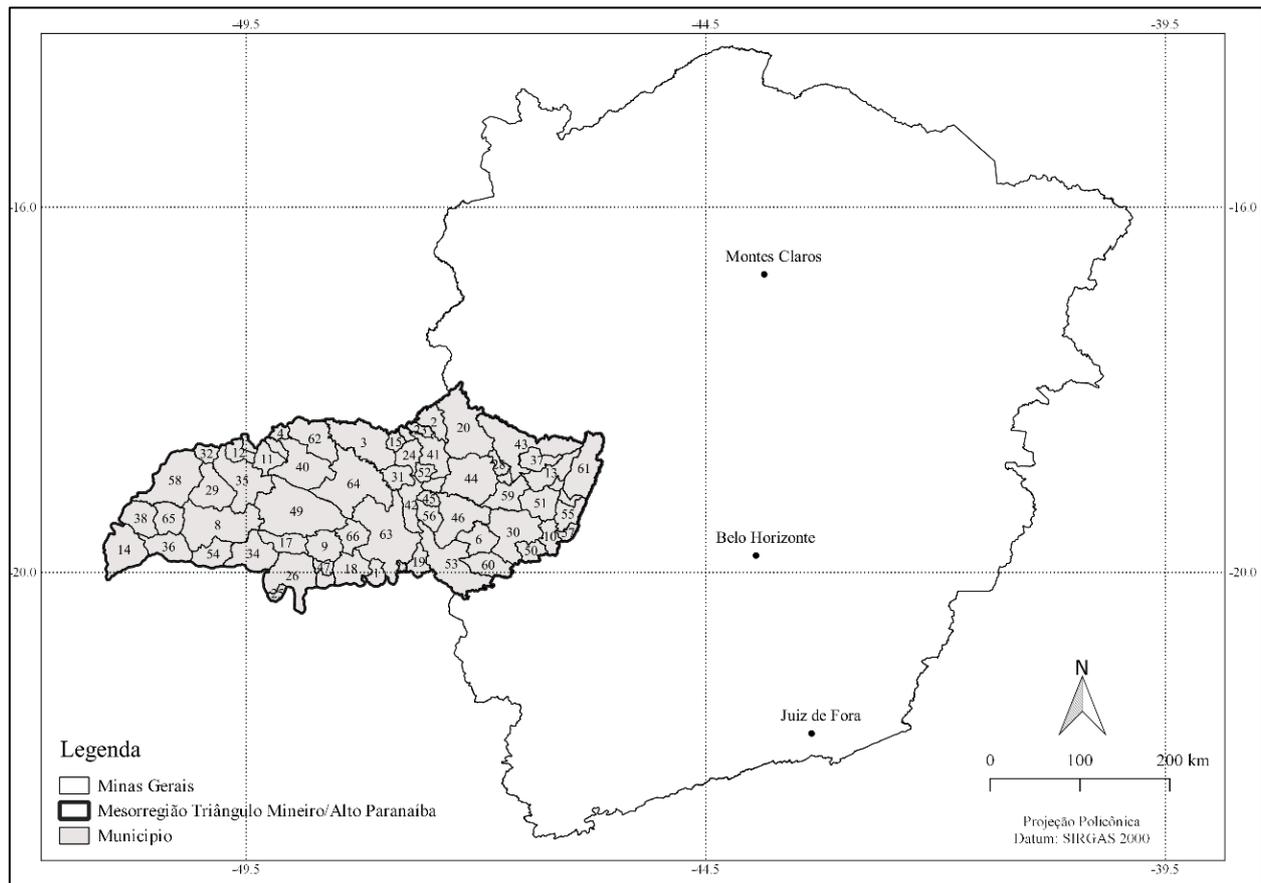
$$P_i = K \cdot M_i^\alpha \cdot \sum_{j=1}^n \frac{M_j^\beta}{D_{ij}^\lambda}, i \neq j \quad (7)$$

Assim, quanto maior o valor de P_i , maior o potencial de i , ou seja, maior deverá ser a possibilidade de i ser uma unidade espacial que atrai outras unidades. Deve-se notar que o potencial de uma unidade espacial depende das demais unidades espaciais que compõem a região de estudo, tendo em vista que a equação 7 pede a distância entre a unidade i e a unidade j e a massa de j .

5. ESTUDO DE CASO

Com o intuito de avaliar os impactos que a escolha de atributos e/ou de medidas de distâncias podem provocar na avaliação da interação espacial, será estudada a hierarquização dos 66 municípios da Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba quanto ao Potencial de Atração tomando como

atributos a População Residente no Município e o Produto Interno Bruto, obtidos junto ao IBGE e relativos ao ano de 2010, e as distâncias euclidiana e rodoviária entre os municípios. Os potenciais foram calculados usando a equação 7, conservando os parâmetros α , β , λ e K em todos os cálculos.



- | | | |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1 Abadia Dos Dourados | 23 Douradoquara | 45 Pedrinópolis |
| 2 Água Comprida | 24 Estrela Do Sul | 46 Perdizes |
| 3 Araguari | 25 Fronteira | 47 Pirajuba |
| 4 Araporã | 26 Frutal | 48 Planura |
| 5 Arapuá | 27 Grupiara | 49 Prata |
| 6 Araxá | 28 Guimarães | 50 Pratinha |
| 7 Cachoeira Dourada | 29 Gurinhatã | 51 Rio Paranaíba |
| 8 Campina Verde | 30 Ibiá | 52 Romaria |
| 9 Campo Florido | 31 Indianópolis | 53 Sacramento |
| 10 Campos Altos | 32 Ipiacu | 54 Santa Juliana |
| 11 Canápolis | 33 Iraí De Minas | 55 Santa Rosa Da Serra |
| 12 Capinópolis | 34 Itapagipe | 56 Santa Vitória |
| 13 Carmo Do Paranaíba | 35 Ituiutaba | 57 São Francisco De Sales |
| 14 Carneirinho | 36 Iturama | 58 São Gotardo |
| 15 Cascalho Rico | 37 Lagoa Formosa | 59 Serra Do Salitre |
| 16 Centralina | 38 Limeira Do Oeste | 60 Tapira |
| 17 Comendador Gomes | 39 Matutina | 61 Tiros |
| 18 Conceição Das Alagoas | 40 Monte Alegre De Minas | 62 Tupaciguara |
| 19 Conquista | 41 Monte Carmelo | 63 Uberaba |
| 20 Coromandel | 42 Nova Ponte | 64 Uberlândia |
| 21 Cruzeiro Da Fortaleza | 43 Patos De Minas | 65 União De Minas |
| 22 Delta | 44 Patrocínio | 66 Veríssimo |

Mapa 1: Localização da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba

Fonte: IBGE

Inicialmente são comparadas as hierarquizações dos potenciais de atração dos municípios da Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba obtidas com a aplicação dos atributos de massa Produto Interno Bruto e População Residente, mas com a distância medida em linha reta (euclidiana) para os dois casos.

A Figura 1 mostra que alguns municípios tiveram sua posição hierárquica alterada significativamente (segundo e terceiro eixos verticais). O município com maior alteração na hierarquia foi Araporã que saiu da décima posição na hierarquia obtida pelo PIB para a 47^a posição ao usar a população residente como massa. Isso sugere que, apesar de ter uma população menor que muitos municípios, conseguiu gerar um PIB superior a vários deles, sendo, portanto, economicamente mais atrativa.

Outros municípios com alterações significativas em suas posições hierárquicas foram Lagoa Formosa, Tapira, Carmo do Paranaíba, Guimarânia e Fronteira com mudanças de 25, 24, 19, 19 e 16 posições respectivamente.

As medidas estatísticas da Tabela 1 reforçam o quanto a mudança de variável de massa impacta o resultado do potencial de atração do município. Em média, usando a distância euclidiana, os municípios alteraram 7 posições na hierarquia, sendo que 25% dos municípios apresentaram variação maior ou igual a 11 posições e 89% dos municípios tiveram sua posição alterada.

Para as mesmas variáveis de massa, mas, agora, usando a distância rodoviária, 25% dos municípios variaram 10 ou mais posições na hierarquia e Araporã foi o município com maior variação, 35 posições. Ainda, 86% dos municípios sofreram alterações em suas posições hierárquicas, dentre eles Lagoa Formosa (21), Guimarânia (21), Estrela do Sul (19), Fronteira (19), Tapira (18) e São Gotardo (18)

Ao fixar a variável de massa PIB e variar as medidas de distância entre euclidiana e rodoviária são observadas mudanças mais discretas nas hierarquias, mas, ainda assim, algumas significativas.

Neste caso, 31 municípios perderam posição hierárquica com o uso da distância rodoviária, importante via para interações comerciais entre os municípios da região, sendo que 25% dos municípios tiveram alterações de mais de 3 posições, com destaque para Tapira (12), Delta (11), Pirajuba (9) e Veríssimo (9), destes, apenas Delta não caiu na hierarquia.

E, para o último caso estudado, com a variável de massa População Residente fixada e variação na forma de medir a distância, os resultados obtidos foram semelhantes ao anterior. Vinte e quatro municípios perderam posição hierárquica com o uso da distância rodoviária, com destaque para Fronteira (9), Centralina (7) e Estrela do Sul (7), sendo que Delta (10), Carneirinho (8), Abadia dos Dourados (7) e Água Comprida (7) subiram na hierarquia algumas posições.

Finalmente, a Figura 1 evidencia que os municípios com maiores potenciais de atração sofreram poucas alterações na hierarquia. Uberlândia se manteve no topo da hierarquia em todos os contextos avaliados e Araguari se manteve na segunda posição quando o medidor de distância rodoviária foi o escolhido, trocando de posição com Uberaba apenas quando a distância euclidiana (em linha reta) era adotada. Araxá, Patrocínio, Ituiutaba e Patos de Minas apresentaram pouca oscilações no topo da hierarquia, mas Nova Ponte apresentou ascensões significativas quando a variável PIB foi utilizada.

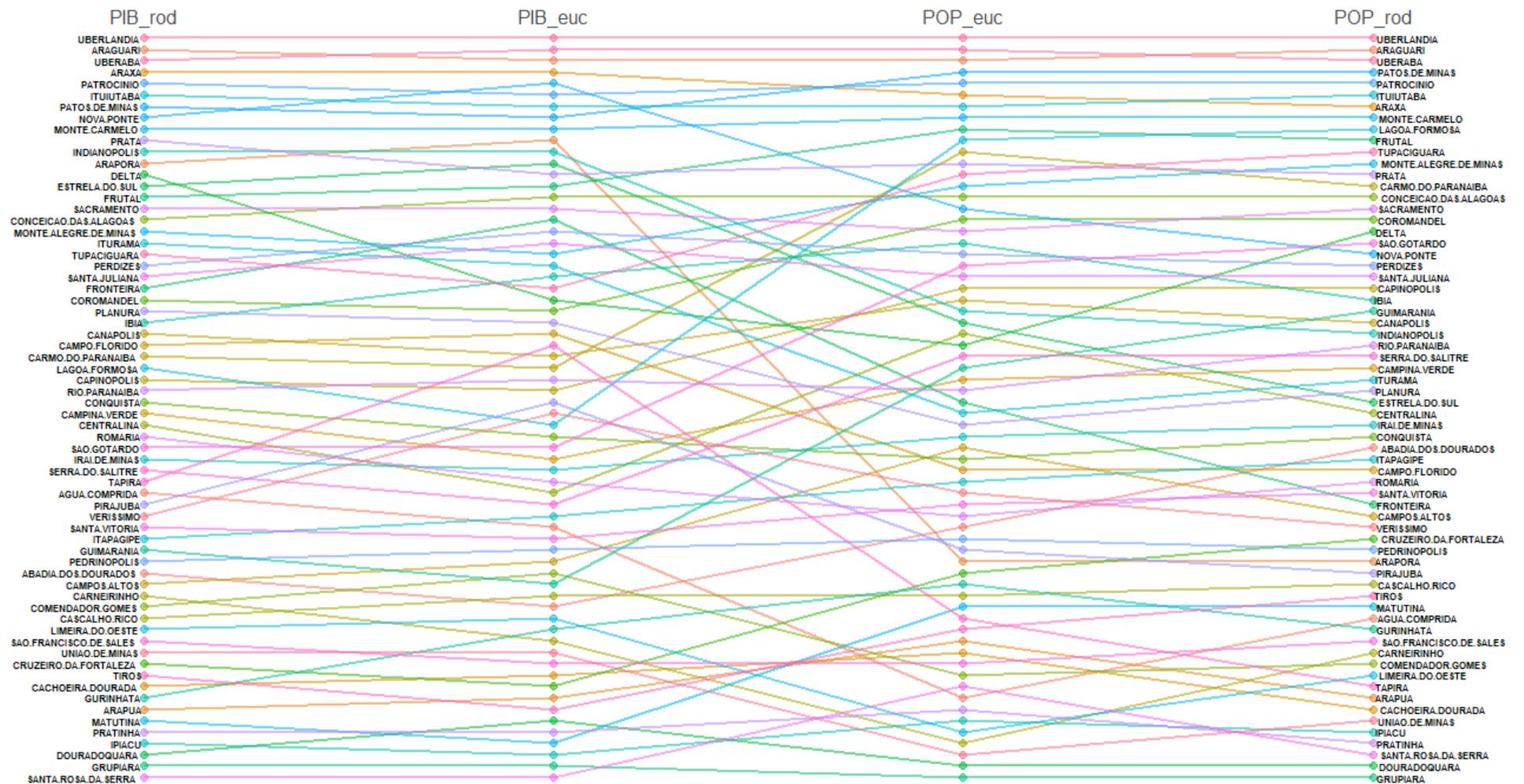


Figura 1: Hierarquias dos potenciais
Fonte: IBGE

Ao calcular o coeficiente de correlação por postos de Spearman os resultados apontaram para altas correlações entre as posições hierárquicas dos municípios em qualquer uma das situações avaliadas. Todas acima de 0,90 e significativas a 5%. Estes valores sugerem que, estatisticamente, as hierarquias avaliadas par a par são bastante equivalentes, mas a discussão feita anteriormente, mostra que a seleção de variáveis e a forma de medir distâncias impactam significativamente o posicionamento de vários municípios na hierarquia, principalmente para aqueles de porte intermediário ou baixo.

Tabela 1: Medidas estatísticas das variações na hierarquia (em número de posições)

Variáveis de Massa	PIB		População residente		PIB		População residente	
	Euclidiana	Rodoviária	Euclidiana	Rodoviária	Euclidiana	Rodoviária	Euclidiana	Rodoviária
Distância	7		6		3		3	
Variação média	6		4		2		2	
Variação mediana	37		35		12		10	
Maior Variação	0		0		0		0	
Menor Variação	11		10		3		4	
Quartil 25	0,95		0,93		0,98		0,98	
Coeficient e de correlação por postos (Spearman)	89%		86%		85%		79%	
Municípios que mudaram de posição na hierarquia								

Fonte: Dos autores

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste trabalho mostram que a escolha de variáveis e a forma de medir distância provocam resultados com diferenças significativas dentro de um mesmo modelo matemático que lida com a interação espacial. Neste estudo foi aplicado o Modelo Potencial para cálculo e avaliação do potencial de atração dos municípios da Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba.

As alterações observadas nas hierarquizações dos municípios dessa Mesorregião lançam luz à importância de avaliação sobre as formas de medir distância e para a seleção de variáveis. É importante ressaltar que essa é uma região que conta com boa infraestrutura rodoviária, facilitada por sua topografia aplainada que viabiliza a construção de estradas mais retilíneas e, como consequência, interação entre os municípios facilitada. Regiões com infraestrutura menos adequada e interações dificultadas por fatores geográficos, podem sofrer variações ainda mais severas.

Outras metodologias para estudo da interação espacial devem ser avaliadas. Nos trabalhos mais recentes, observa-se o uso da Teoria dos Grafos, que traz contribuições relevantes para este tipo de estudo e pode usar a distância, nas suas mais diferentes grandezas, como medida de acessibilidade entre os nós (as Unidades Espaciais Básicas) e as variáveis de massa que, em conjunto, permitem o estudo de centralidade ou atratividade. Outras metodologias que têm se mostrado eficientes para estudos de séries temporais e/ou espaciais se baseiam nas Redes Neurais, capazes de associar variações no tempo e no espaço.

Certamente o presente estudo não cessa a discussão sobre a seleção de variáveis e formas de medir distâncias, mas aponta para a necessidade de avaliar com mais cuidado as escolhas que alimentarão os modelos matemáticos para estudo da interação espacial.

REFERÊNCIAS

ABREU, J.F. **Interação Espacial, Potencial e Potencialidades: Um Estudo de Caso – O Estado de Minas Gerais 1970/1980**. Tese de Professor Titular, IGC/UFMG, Belo Horizonte, 1991.

BLACK, W. **Spatial Interaction modeling using artificial neural networks**. Journal of Transport Geography. Vol. 3. p.159-166. 1995.

ARBIA, Giuseppe; PETRARCA, Francesca. **Effects of scale in spatial interaction models**. Journal of Geographical Systems. v.15, issue 3. Pp. 249-264. <https://doi.org/10.1007/s10109-013-0180-9>. Acesso em: 15 mai. 2018.

CARVALHO, P. F. B. **O Modelo Potencial e a Análise de Componentes Principais como metodologias para estudo da interação espacial, hierarquização e agrupamento de municípios - o caso da Microrregião de Divinópolis/MG**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS, 5., 2007, Recife. **Anais...** São Paulo: ABER, 2007.

CROCO, Marco Aurélio et all. **Metodologia de identificação de arranjos produtivos locais potenciais**. Texto para discussão, v.212. Belo Horizonte: UFMG/CEDEPLAR, 28 p. 2003.

FERREIRA, Carlos Maurício de Carvalho; HADDAD Paulo Roberto; BOISIER, Sérgio. **Economia Regional: teorias e métodos de análise**. Fortaleza: BNB, 1989.

FISCHER, M.; REGGIANI, A. **Spatial Interaction Models: From the gravity to the Neural Network Approach**. In. Contributions to Economic Analysys. Vol. 266.. p 317-346. 2004

FISCHER, M.M; GOPAL, S, **Artificial neural networks: a new approach to modelling interregional telecommunication flows**, Journal of Regional Science, Vol. 34(4), pp. 503–527. 1994

FOTHERINGHAM, A. Stewart; ROGERSON, Peter. **Spatial Analysis and GIS**. London:Taylor & Francis. p. 172. 2005.

FOTHERINGHAM, A. S; WEBBER. **Spatial Structure and Parameter of Spatial Interaction Models. Geographical Analysis.** Vol. 2 N.1. Ohio State University Press 1980

HARRIS, C.D. The Market as a factor in the localization of industry in United States. **Annals of Association of American Geographers.** V.44. N.4. p.315-348. 1958

HAYNES, Kingsley E.; FOTHERINGHAM, A. Stewart. **Gravity and Spatia interaction models.** Beverly Hills: Sage. p. 9-13. 1984.

HUFF, D.L. **Defining and estimating a trading area.** Journal of Marketing. Vol. 28. N. 3. p.34-38. 1964

ISARD; W. **Potential Models. In Methods of Regional Analysis: an Introduction to Regional Science. Massachusetts:** The M.I.T Press 1960

KOÇASLAN, Gelengül. **The role of distance in the Gravity Model: from the view of Newton, International economics and quantum mechanics.** NeuroQuantology, v. 15, issue 2. doi:10.14704/nq.2017.15.2.1023. p. 208-214. jun. 2017.

LOWRY. I.S. **A model of Metropolis.** California. Ed. Rand. 1964

OLIVEIRA, J.L.M; SOUZA, Roberta L. **O comércio da Bahia com o Mercosul: uma aplicação do modelo gravitacional.** Salvador: Bahia Análise & Dados. v.13, n.3, p.601-614. 2003.

OPENSHAW, S. **Neural Network, genetic, and fuzzy logic models of spatial interaction.** Environment and Planning A. Vol. 30. pg. 1857-1872. 1989

OPENSHAW. **Some Theoretical and applied aspects of spatial interaction shopping models.** 1975. CATMOG

PIANI, Guida; KUME, Honorio. **Fluxos bilaterais de comércio e blocos regionais: uma aplicação do modelo gravitacional.** Texto para discussão, v. 749. Rio de Janeiro: IPEA. 2000.

Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH). **Índice de qualidade de Vida Urbana: IQVU-BH.** Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/estatisticas-e-indicadores/indice-de-qualidade-de-vida-urbana>>. Acesso em 15 dez. 2018.

PRESTON, S. H.; HEUVELINE, P.; GUILLOT, M. **Demography: measuring and modeling population processes.** Oxford: Blackwell, 2001, p. 168-175.

RICH, D. **Potential Models in Human Geography.** Concepts and techniques in modern Geography. N.26. Geo Abstracts. Norwich, Eng.1980.

ROY, J.R; THILL, J. **Spatial Interaction modelling.** Papers in Regional Science. Vol. 83. p339-361. 2004.

STEWART, J.Q. **A measure of the influence of population at a distance**. Sociometry. N.5, p.63-71. 1942.

STOUFFER, S.A. **Intervening opportunities: a theory relating mobility and distance**. American Sociological Review. N.6. p.845-867. New York. 1940

TILMAN, D.; KAREIVA, P. **Spatial ecology - The role of space in population dynamics and interspecific interactions**. 1998.

Trabalho enviado em 21/12/2018

Trabalho aceito em 07/01/2019