ANÁLISE DA MATRIZ DE PROXIMIDADES ESPACIAL PARA PROBLEMAS DE TRANSPORTE

Alan Ricardo da Silva[1]
Yaeko Yamashita[2]
Universidade de Brasília – Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO
A modelagem matemática em transportes vem garantindo o seu espaço, principalmente pelo avanço computacional. Uma das técnicas mais utilizadas nas modelagens em transportes é a regressão convencional. Pelo fato de os transportes interferirem permanentemente na dinâmica urbana, é improvável que modelos que não considerem o espaço como fator determinante para a realização dos eventos consigam refletir a realidade. Nesse sentido, a regressão espacial, por incorporar o fator "espaço" em sua estrutura, vem se mostrando mais adequada para se trabalhar com dados em que está presente uma estrutura espacial. Sendo assim, o objetivo desse artigo é o de discutir a estrutura espacial, além de propor uma nova estrutura que tenha por base os fatores tempo e distância, para trabalhos relacionados aos fenômenos de transporte, tendo como referência a matriz de proximidades binária.

ABSTRACT
The mathematical modeling in transportation is obtaining space, mainly because of the computational advance. One of the most used techniques in transportation's modeling is the conventional regression. Considering the fact that the transports permanently affects the urban dynamics, it is improbable that models that do not consider the space as a determinative factor to the accomplishment of the events can reflect the reality. In this direction, the spatial regression, incorporating the "space" factor in its structure, is being considered the most adequate technique to works with data in which the spatial structure is present. Thus, the objective of this paper is to discuss the spatial structure, besides considering a new structure, based on factors as time and distance, for works related to the transportation's phenomena, having the binary contiguity matrix as a reference.

1. INTRODUÇÃO
A tentativa de representar a realidade por meio de modelos, matemáticos ou não, continua sendo um grande desafio para a ciência que, década após década, procura sempre aprimorar tais ferramentas. O avanço computacional favoreceu a implementação de técnicas mais robustas, as quais estavam praticamente na teoria devido à sua complexidade, ou pelo maior tempo de processamento necessário. Têm-se como exemplos dessas técnicas as redes neurais artificiais, algoritmos genéticos e a regressão espacial.

A técnica de regressão espacial derivou da regressão convencional, tendo como motivação a consciência de que o "espaço" é um fator não observável e que influencia diretamente na realização dos eventos. É difícil modelar as melhorias proporcionadas pelo transporte, por exemplo, sem considerar também a influência do espaço, pois a implantação de uma parada de ônibus ou a criação de um via alteram permanentemente a localidade, além de criar uma área de influência.

Por isso, modelos que não consideram a influência do espaço na realização dos eventos não são os mais adequados para se trabalhar com dados do fenômeno transportes, pois não representam as verdadeiras relações entre as variáveis. Assim, podem induzir o analista a uma tomada de decisão inadequada, contribuindo para um planejamento inadequado.

O primeiro passo para a análise espacial de um fenômeno é a definição da matriz de proximidades, pois ela é a responsável pela estrutura espacial. A construção de tal matriz influencia diretamente no entendimento do fenômeno, desde a constatação da dependência espacial, pelo índice I de Moran, até o desenvolvimento do modelo de regressão espacial ou qualquer outra ferramenta que dependa dessa estrutura. A forma binária da matriz de proximidades, ou seja, aquela que atribui o indicador 1 se as áreas *i* e *j* compartilham fronteira e 0 caso contrário, está sendo amplamente utilizada em transportes, como pode ser visto em Krempi (2004), Lopes (2005) e Loureiro *et al.* (2006).

Nesse sentido, o presente trabalho propõe uma nova estrutura espacial, usando os fatores tempo e distância, a qual é mais adequada para se trabalhar com os fenômenos de transporte, tendo como referência a matriz de proximidades binária. Para isso, o artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 discute a modelagem em transportes, seguida, na seção 3, dos conceitos relevantes à regressão espacial. Na seção 4 é apresentada uma análise da matriz de proximidades binária e, na seção 5, é proposta uma estrutura para tal matriz. Por fim, a seção 6 tece as considerações finais sobre o trabalho.

2. MODELAGEM EM TRANSPORTES

A modelagem matemática requer do planejador uma postura autocrítica, pois a utilização de dados não adequados pode fornecer resultados não condizentes com a realidade. Apesar disso, o conhecimento das inter-relações entre as variáveis, mesmo que imprecisamente, já constitui um avanço significativo que justifica esse esforço (Novaes, 1981).

Lowry (1964), em seu clássico trabalho, resume as principais vantagens da utilização de modelos matemáticos em planejamento de transportes: “a vantagem potencial de um modelo computacional, em relação aos procedimentos *ad hoc* em planejamento, deriva principalmente da capacidade que o computador possui de tratar simultaneamente as grandes quantidades de variáveis próprias do planejamento abrangente. É capaz de fornecer projeções necessárias, soluções normativas para os problemas, ou ainda testes de políticas alternativas. Leva ainda em conta, uma gama mais extensa de relações, ramificações e realimentações (*feed-backs*) do que seria possível de ser tratada através das ferramentas mais tradicionais do planejamento”.

Dentre os principais modelos matemáticos, a técnica de análise de regressão é amplamente utilizada, principalmente, na etapa de geração de viagens da análise de demanda por transportes, devido à sua simplicidade de implementação e interpretação. Com o avanço computacional, essa técnica foi sendo ajustada, na tentativa de melhor representar a realidade. As principais melhorias foram a inclusão de novas distribuições de probabilidade e a inserção da estrutura espacial. Esta última, conhecida como regressão espacial, será detalhada a seguir.

3. REGRESSÃO ESPACIAL

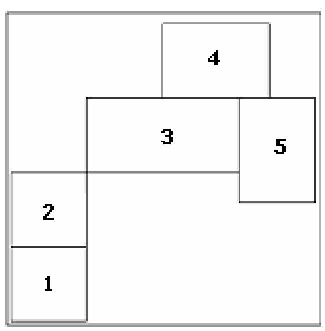
Modelos de regressão são ferramentas estatísticas que utilizam o relacionamento existente entre duas ou mais variáveis, de maneira que uma delas possa ser explicada pelas demais. No entanto, na situação de dados espaciais, quando está presente a autocorrelação espacial, as estimativas do modelo devem incorporar essa estrutura espacial, uma vez que a dependência entre as observações altera o poder explicativo do modelo (Câmara *et al.*, 2002).

Para se trabalhar com esses modelos, os dados precisam estar agrupados em áreas ou unidades espaciais, onde as mais usuais são: zona de tráfego, município, microrregião, mesorregião e UF. Já a autocorrelação espacial está diretamente relacionada com a Primeira Lei da Geografia, enunciada por Tobler (1979): “tudo está relacionado a tudo, mas as coisas mais próximas estão mais relacionadas que as coisas mais distantes”. Câmara *et al.* (2002) comentam que essa dependência é uma característica inerente à representação dos dados por meio de subdivisões territoriais, ou seja, os dados de uma determinada área tendem a ser mais parecidos com os de seus vizinhos do que com os de áreas mais distantes.

Na análise de regressão convencional, supõe-se que as observações são não correlacionadas e os erros i.i.d. (independentes e identicamente distribuídos), seguindo uma distribuição normal com média zero e variância constante. Entretanto, no caso de dados espaciais, onde está presente a dependência espacial, é pouco provável que o pressuposto padrão de observações não correlacionadas seja verdadeiro. No caso mais comum, os resíduos continuam apresentando a autocorrelação espacial presente nos dados, que pode se manifestar por diferenças regionais sistemáticas nas relações do modelo, ou ainda por uma tendência espacial contínua (Câmara *et al.*, 2002).

O primeiro passo na verificação da existência de dependência espacial é a definição da matriz de proximidades, ou usualmente denominada Matriz W, pois ela é a responsável por representar a estrutura espacial. Por definição, a diagonal da matriz é igual a zero e os outros elementos referem-se à relação entre as unidades espaciais. Existem várias maneiras de se definir tal matriz, sendo mais usual o uso de indicadores binários 1 e 0: 1 quando uma área compartilha fronteira com outra área e 0, caso contrário. Em alguns casos, costuma-se padronizar as linhas da Matriz W fazendo-se $\sum_{j=1}^{n} w_{ij} = 1$. Assim, os pesos w_{ij} associados com a área *i* somam 1.

Um exemplo de construção da matriz W utilizando os indicadores binários 0 e 1 é apresentado na Figura 1.



$$W = \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array}$$

Figura 1. Exemplo de Criação da Matriz de Proximidade Espacial.
Fonte: LeSage (1999).

Outra forma bastante utilizada é a especificação de graus intermediários de vizinhança. Para isso, defina d_{ij} como a distância entre os centróides das áreas *i* e *j*. Fazendo $w_{ij} = 1/(1 + d_{ij})$, as áreas extremamente próximas, com $d_{ij} \approx 0$, teriam assim $w_{ij} \approx 1$, e à medida que estas áreas fossem se afastando, teriam $w_{ij} \approx 0$, dando a mesma idéia dos indicadores binários 0 e 1. Note que quando *i* = *j*, então deve-se forçar o caso $w_{ij} = 0$, pois, como a distância entre *i* e *j* é zero, faria com que $w_{ij} = 1.$, contrariando assim a definição da matriz apresentada anteriormente. Pode-se utilizar também o tempo t_{ij} necessário para ir de *i* a *j*, num determinado meio de transporte, operacionalizando da mesma forma anterior, ou seja, trocando a distância d_{ij} por t_{ij}. Dessa forma, consegue-se incorporar à estrutura espacial as condições relativas às vias.

Antes de utilizar um modelo de regressão espacial é importante constatar a existência de dependência espacial, pois, sem esta, um modelo de regressão espacial produzirá os mesmos resultados de um modelo de regressão convencional. O teste mais empregado para isso é o teste I de Moran (Equação 1), introduzido pelo estatístico australiano Moran (1950). Em transportes, já foi utilizado em diferentes aplicações, conforme Teixeira (2003), Krempi (2004) e Lopes (2005). Como o coeficiente de correlação de Pearson, o índice I varia de -1 a +1, onde valores próximos de 0 indicam ausência de autocorrelação espacial, próximos de -1, autocorrelação negativa, e próximos de +1, autocorrelação positiva.

$$I = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}(y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\left(\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2\right)\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}\right)} \tag{1}$$

onde,
y_i = valor da variável y na região i;
y_j = valor da variável y na região j;
$\bar{y}$ = média de y;
w_{ij} = elemento ij da matriz de proximidade espacial;
n = número de observações.

Anselin (1988) apresenta os modelos de regressão com efeitos espaciais globais, ou seja, modelos onde a dependência espacial é capturada por meio de um único parâmetro. O modelo apresentado na Equação 2 é conhecido como Modelo Espacial Geral, pois considera a dependência espacial na variável dependente (capturada pelo parâmetro ρ) e no erro aleatório (capturada pelo parâmetro λ). Outros modelos são derivados a partir deste, fazendo alguns parâmetros iguais a zero: o modelo espacial misto é derivado da Equação 2 quando λ é igual a zero e o modelo com erro espacial, quando ρ é igual a zero.

$$\begin{gathered}\mathbf{y} = \rho\mathbf{W_1 y} + \mathbf{X\beta} + \boldsymbol{\mu} \\ \boldsymbol{\mu} = \lambda\mathbf{W_2}\boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\varepsilon} \sim N(\mathbf{0}, \sigma^2\mathbf{I_n})\end{gathered} \tag{2}$$

onde:
y = vetor da variável dependente de dimensão $n \times 1$;
ρ, λ = constantes a serem estimadas (parâmetros espaciais);
X = matriz de variáveis independentes de dimensão $n \times k$;
W_1, W_2 = matrizes de proximidade espacial de dimensão $n \times n$;
β = vetor de dimensão $k \times 1$ a ser estimado (coeficientes);
ε, u = vetores de erros aleatórios de dimensão $n \times 1$;
$\mathrm{I_n}$ = matriz identidade de dimensão $n \times n$;
σ^2 = constante a ser estimada (variância do modelo);
N = distribuição Normal.

A principal diferença entre os modelos de regressão espacial e convencional é a “correção” dos parâmetros, feita pelo modelo espacial. Essa correção ocorre, pois em um modelo de regressão convencional o fator “espaço” é distribuído entre as variáveis e em um modelo espacial global, o fator “espaço” é capturado em um parâmetro, representando, assim, sua espacialidade.

O que ocorre constantemente em transportes é não diferenciação entre os parâmetros dos modelos, convencional e espacial, ou uma pequena diferença entre os mesmos, o que não justifica o esforço. Isso porque verifica-se uma baixa dependência espacial constatada pelos indicadores espaciais, que são calculados a partir da matriz de proximidades. Imagine que bem feitorias, como a construção de rodovias pavimentadas, sejam feitas para interligar as áreas da Figura 1, conforme mostra a Figura 2. Como incorporar tal informação à matriz de proximidades W?

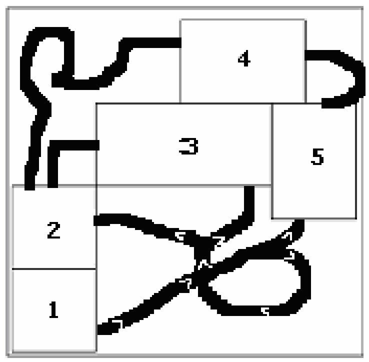


Figura 2. Exemplo de Estradas Pavimentadas Interligando as Áreas.

Claramente tal informação não será reconhecida se a matriz W a ser utilizada for do tipo binária. Uma das formas para solucionar esse problema seria considerar o tempo para ir da área *i* até a área *j* em um determinado meio de transporte (por exemplo, de caminhão), como mostra a Figura 3.

$$W = \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0 & 25 & 20 & 37 & 18 \\ 25 & 0 & 6 & 12 & 20 \\ 20 & 6 & 0 & 18 & 22 \\ 37 & 12 & 18 & 0 & 8 \\ 18 & 20 & 22 & 8 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array}$$

Figura 3. Tempo necessário (minutos) para ir de uma área *i* para uma área *j*.

A partir daí verifica-se que é necessário um menor tempo para ir da área 1 para a área 5, do que da área 1 para a área 2, as quais estão geograficamente mais próximas. Com isso, devido à maior facilidade de trocas de mercadorias (menor tempo gasto no trajeto), as áreas 1 e 5 se tornam “mais vizinhas” entre si do que as áreas 1 e 2.

4. ANÁLISE DA MATRIZ DE PROXIMIDADES

Como foi visto, a matriz de proximidades pode assumir diversas formas, sendo a binária a mais usual. Assim, pretende-se verificar a adequabilidade dessa e de outras formas para o entendimento do fenômeno transportes. Nesta seção serão utilizados os resultados de dois estudos para exemplificar a utilização da matriz, sendo um referente à distribuição de renda e outro referente à localização dos veículos rodoviários de carga, a partir da matriz de proximidades binária. Na próxima seção é analisado o resultado de um terceiro estudo, referente à atração de viagens, utilizando o tempo como fator de proximidade espacial.

A regressão espacial vem sendo utilizada em outras ciências, principalmente na economia, em que as diferenças regionais são fonte precípua de trabalho. Recentemente, Gasques *et al.* (2005) desenvolveram um trabalho onde essa técnica foi aplicada. O trabalho teve dois objetivos. Em primeiro plano, identificar relações entre os recursos disponibilizados pelo Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) e a dinâmica do crescimento populacional dos municípios usuários do recurso. Além disso, pretendeu-se identificar padrões espaciais de distribuição dos recursos dessa categoria de financiamento agropecuário em função dos diferentes subespaços geográficos brasileiros.

O foco do trabalho não era a previsão, e sim apenas verificar se a população rural era fator determinante do valor do crédito concedido às regiões. A unidade espacial utilizada teve como base as microrregiões brasileiras e, segundo o teste I de Moran (com uma matriz de proximidades binária), a dependência espacial constatada foi de 55%. O modelo de regressão espacial misto mostrou uma maior adequabilidade aos dados, representado por meio do R^2, que passou de 0,16, no modelo de regressão convencional, para 0,56, no modelo espacial. Do trabalho concluiu-se que a população rural, por si própria, tinha pouca influência no valor do crédito do PRONAF, e que o principal fator determinante era a localização geográfica das famílias, ou seja, nesse estudo o espaço geográfico influenciava diretamente tal valor.

No caso dos transportes, buscou-se também modelar a frota de veículos rodoviários de carga por meio da regressão espacial, como pode ser visto com mais detalhes em Silva (2006). Optou-se estudar o transporte de grãos devido à sua relevância para o Brasil, já que no ano 2000 esses produtos correspondiam a 28,12% das exportações brasileiras (MDICE, 2006), sendo a soja responsável por 58,34% desse percentual. Para tal, a quantidade de veículos rodoviários de carga foi quantificada pelas carrocerias do tipo "graneleira", obtidas a partir do banco de dados do Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Carga (RNTRC), da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

A unidade espacial utilizada compõe-se das microrregiões brasileiras, ou seja, os veículos localizados nos municípios foram agrupados em suas respectivas microrregiões. A Figura 4 apresenta a distribuição espacial da frota de carrocerias do tipo "graneleira", sendo as quatro classificações utilizadas retiradas a partir dos quartis. Decidiu-se utilizar os quartis devido à quantidade menor de agrupamentos, o que possibilita uma melhor interpretação. Verifica-se uma grande aglomeração de carrocerias no centro-sul brasileiro, principalmente nos municípios próximos às rodovias de acesso aos portos de Santos e Paranaguá, como a BR-374 e a BR-116. No Mato Grosso e no Mato Grosso do Sul também existe uma forte tendência de proximidade à BR-163, que cruza esses dois estados. Essa distribuição configura-se dessa forma por estarem ali concentrados os maiores produtores de soja no Brasil.

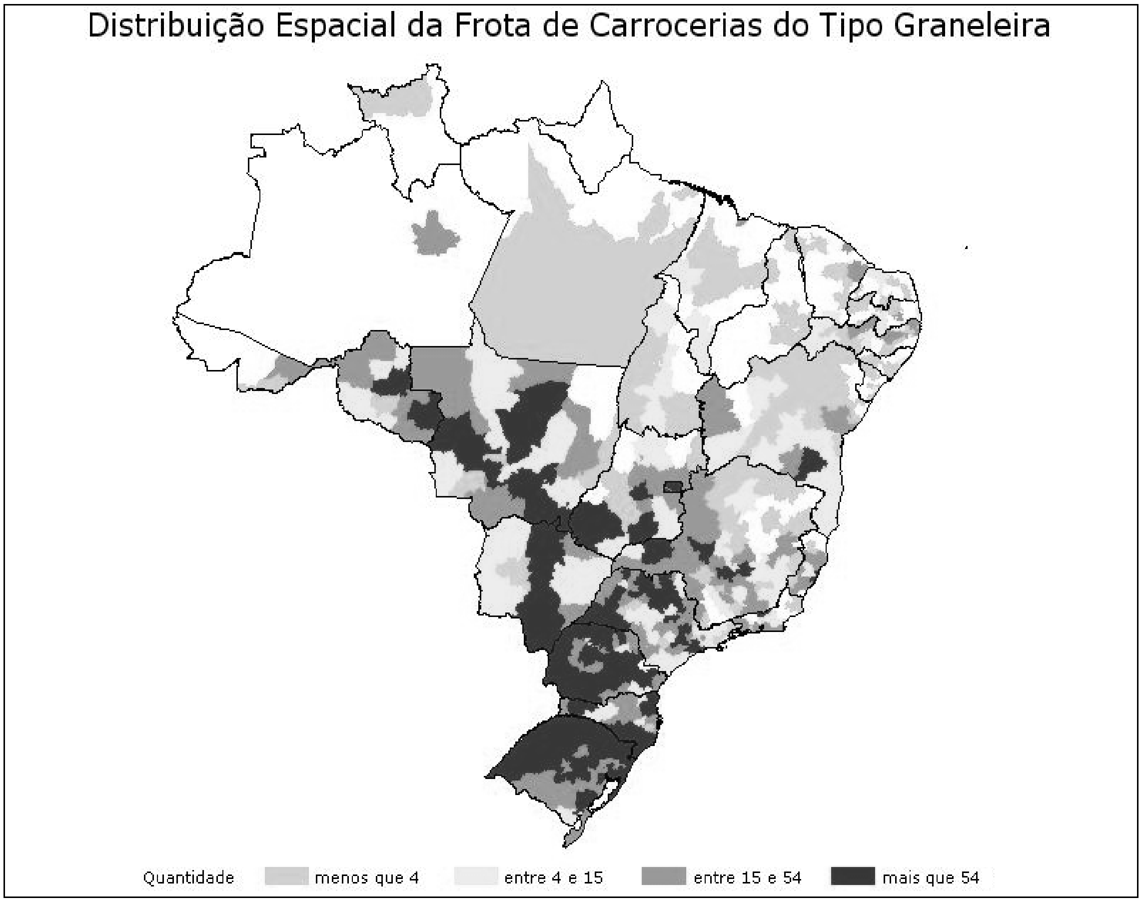


Figura 4: Distribuição Espacial da Frota de Carrocerias do Tipo Graneleira, 2005.

A partir do mapa temático (Figura 4), percebe-se um indício de dependência espacial referente à quantidade de carrocerias do tipo "graneleira", porém, é necessário quantificar e validar estatisticamente tal dependência. Segundo o teste I de Moran (com uma matriz de proximidades binária), foi constatada uma dependência espacial significativa de 22%, o que é considerado baixo. No entanto, não se pode concluir que tal dependência seja essa de fato, pois, a partir do que visto, o índice I de Moran depende da estrutura da matriz de proximidades.

Como foi utilizada uma matriz de proximidades binária, a resposta do índice I de Moran refere-se à dependência em relação à proximidade com uma microrregião vizinha. Mas, pela Figura 4, verifica-se que tal proximidade ocorre em relação às rotas de escoamento da produção, ou seja, às rodovias que dão acesso aos portos. Por isso, no referido estudo a matriz de proximidades binária não é uma boa estrutura espacial, por não levar em consideração tais vias.

O objetivo dessa seção foi mostrar que a matriz de proximidades binária apresenta resultados distintos, dependendo da problemática estudada. No caso dos transportes, as alterações no ambiente provocadas pelo mesmo não são captadas por uma estrutura tão simples como a binária, e por isso merecem estudos mais específicos, sob pena de uma análise incorreta e um planejamento ineficiente.

5. NOVA ESTRUTURA PARA A MATRIZ DE PROXIMIDADES

Como foi visto na seção anterior, a matriz binária não se mostrou muito adequada para explicar o fenômeno transportes. No referido estudo, buscou-se também utilizar a distância euclidiana entre os centróides das microrregiões como fator de proximidade espacial, o qual também não foi representativo, como pode ser visto com mais detalhes em Silva (2006). Por isso sentiu-se a necessidade de uma nova estrutura, capaz de representar o fenômeno transportes, como será discutido a seguir.

Outro estudo feito foi referente à atração de viagens, por ônibus, na cidade de Manaus/AM, conforme Silva *et al.* (2007) e a distribuição espacial apresentada na Figura 5. A unidade espacial utilizada tem como base zonas de tráfego. Verifica-se certa tendência de uma maior quantidade de viagens no centro da cidade (parte sul do mapa), sendo que as principais vias da cidade estão localizadas exatamente sobre as zonas mais escuras. No entanto, as zonas que apresentam a maior quantidade de viagens não compartilham fronteiras entre si, tendo como intermediárias zonas menos densas. Por esse motivo, tais zonas não caracterizam uma aglomeração.

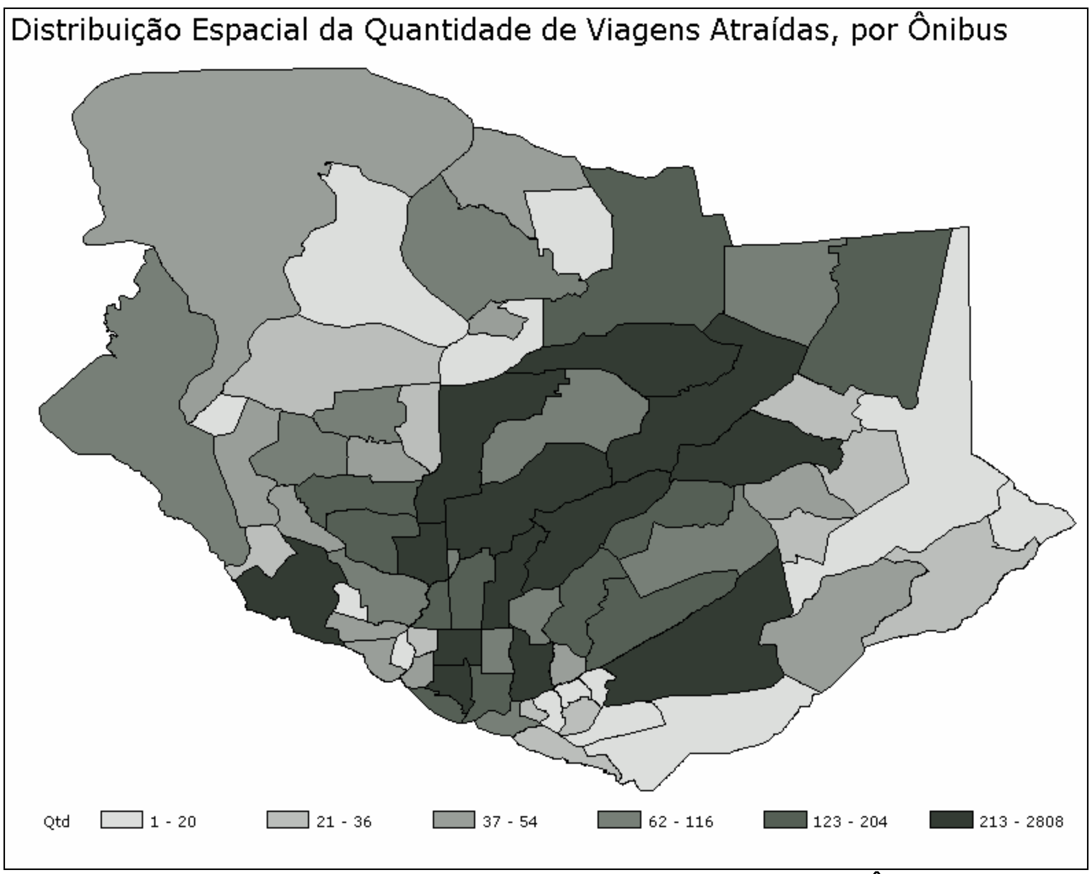


Figura 5: Distribuição Espacial da Quantidade de Viagens Atraídas, por Ônibus em 2005, na cidade de Manaus.

Utilizando uma matriz de proximidades binária, o índice I de Moran não acusou a existência de dependência espacial, o que quer dizer que a dependência espacial não está vinculada à proximidade entre as zonas de tráfego. Para a pesquisa, estava disponível também o tempo declarado pelos indivíduos para ir de uma zona *i* até uma zona *j*. Dessa forma, utilizou-se o tempo médio para ir de uma zona *i* até uma zona *j* como forma de medir a proximidade espacial (conforme descrito na seção 3), o que gerou um índice I de Moran de 10% negativo. O fato de o índice ser negativo indica, no caso, que quanto maior for o tempo de viagem de uma zona para outra, maior será a utilização do modo ônibus, e que, por analogia, quanto menor o tempo de viagem de uma zona para outra, menor será a utilização do modo ônibus (podendo ser utilizado o modo a pé ou bicicleta, por exemplo).

A dependência relacionada com a Primeira Lei da Geografia é conhecida como a dependência ou autocorrelação positiva (Figura 6(a) e (b)). A autocorrelação negativa (Figura 6(c) e (d)) indica exatamente o contrário, ou seja, as coisas mais distantes entre si estão mais relacionadas que as coisas mais próximas.

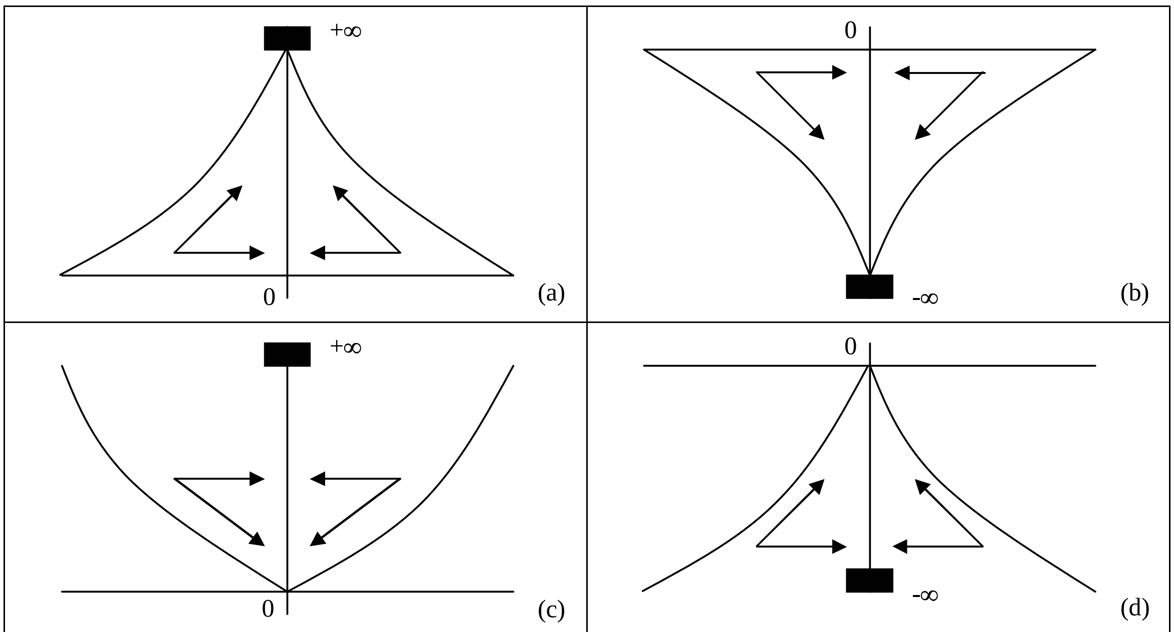


Figura 6: Representação de Autocorrelação Positiva (a) e (b) e Negativa (c) e (d).

De acordo com a Figura 6(a) e tomando como referência o retângulo em negrito que representa um alto valor, verifica-se que à medida que os pontos tendem ao centro, maiores ficam seus valores, ou seja, à medida que os vizinhos estão mais próximos do retângulo, mais parecidos com o retângulo eles são. A recíproca também é verdadeira: à medida que os vizinhos estão mais distantes do retângulo, mais diferentes do retângulo eles são. A mesma idéia é apresentada na Figura 6(b), apenas tendo como diferença o retângulo que representa um baixo valor.

No caso da Figura 6(c), tem-se o mesmo retângulo da Figura 6(a) e verifica-se que à medida que os pontos tendem ao centro, menores ficam seus valores, ou seja, à medida que os vizinhos estão mais próximos do retângulo, mais diferentes do retângulo eles são. E à medida que os vizinhos estão mais distantes do retângulo, mais parecidos com o retângulo eles são. A mesma idéia é apresentada na Figura 6(d), apenas tendo como diferença o retângulo que representa um baixo valor.

É interessante observar no estudo que ao mudar a estrutura espacial, constatou-se a dependência espacial, antes não aparente. Isso porque a forma de representar tal estrutura de dependência não era a mais indicada para o problema. Além disso, uma estrutura correta permite um planejamento mais eficiente, pois, no caso, esse tempo (indicado pelo usuário) leva em consideração as condições da via, possíveis congestionamentos, entre outras observações. A Tabela 1 resume as formas da matriz de proximidades utilizadas no trabalho, bem como seus resultados.

Tabela 1. Estudo de caso, forma da matriz W e conclusão.

Estudo de Caso	Forma da Matriz W	Conclusão
PRONAF	Binária	Alta dependência espacial
Veículos Rodoviários de Carga	Binária	Baixa dependência espacial
Manaus	Binária	Ausência de dependência Espacial
Manaus	Tempo	Baixa dependência Espacial

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado por Gasques *et al.* (2005) mostrou que, na presença de dependência espacial, o modelo de regressão espacial mostrou-se mais robusto que o modelo de regressão convencional, por incorporar em sua estrutura o fator espaço. Este último não foi capaz de retratar uma realidade que dependia muito mais de um fator não observável (no caso, o espaço geográfico) do que de uma variável métrica (no caso, a população rural).

No caso do transporte rodoviário de carga, os resultados mostraram que a simples proximidade entre as microrregiões não permite a identificação de uma estrutura de dependência coerente, pois a existência ou não de uma rodovia não é levada em consideração. Assim, caso fosse feita alguma ação no sentido de melhoria de conectividade entre as microrregiões, como a construção de uma rodovia pavimentada de mão dupla, uma matriz de proximidades binária não capturaria tal medida.

Pode-se chegar à mesma conclusão no estudo da quantidade de viagens atraídas na cidade de Manaus. No caso, a estrutura mais adequada foi a que considerou o tempo de viagem entre as zonas, pois esta considerava fatores exógenos, como condições de via, distância e possíveis congestionamentos. É claro que a simples mudança da estrutura espacial não garantirá uma alta dependência espacial, pois tal dependência pode até mesmo não existir ou ser de fato baixa, entretanto, auxiliará o entendimento do fenômeno.

Diante dos estudos apresentados, conclui-se que a simples proximidade entre regiões (matriz binária) mostrou-se suficiente para explicar o crédito concedido pelo programa PRONAF e para explicar outros fenômenos sociais, tais como: a criminalidade, a proliferação de doenças e a distribuição de renda (que não foram aqui apresentados, mas foram analisados e podem ser encontrados em Câmara *et al.* (2002), dentre outros estudos). No entanto, não se mostrou muito eficiente para explicar a dependência de dados de transporte. Recomenda-se, portanto, que, ao se trabalhar com dados de transporte, onde é possível a análise de forma espacial, a matriz de proximidades mais adequada seja aquela em que as distâncias sejam medidas pela malha rodoviária, ou a que considere o tempo de deslocamento de uma área i até uma área j, em um determinado modo de transporte, a fim de um melhor entendimento do fenômeno transportes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anselin, L. (1988), *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Kluwer Academic Publishers, Santa Barbara, EUA.

Câmara, G.; Carvalho, M. S; Cruz, O. G.; *Correa*, V. (2002), An*álise Espacial de Dados Geográficos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Gasques, J.G.; Freitas, R. E.; Bastos, E. T.; Silva, H. D. P. da; Silva, A. R. da (2005), *Agricultura Familiar – PRONAF – Análise de Alguns indicadores*. XLIII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, Ribeirão Preto, SP.

Krempi, A. P. (2004), *Explorando Recursos de Estatística Espacial para Análise da Acessibilidade na Cidade de Bauru*. Dissertação de Mestrado – São Carlos, SP.

LeSage, J. P. (1999), *The Theory and Practice of Spatial Econometrics*, Department of Economics, University of Toledo, EUA.

Lowry, I. S. (1964), *A Model of Metropolis*. Califórnia, The Rand Corporation.

Lopes, S. B. (2005), *Efeitos da Dependência Espacial em Modelos de Previsão de Demanda por Transporte*, Dissertação de Mestrado. São Carlos, SP.

Loureiro, C. F. G.; Silva, H. N.; Carvalho, L. E. X. (2006). *Metodologia de Análise de Regressão Geograficamente Ponderada Aplicada ao Fenômeno das Viagens Intermunicpais*. Anais do XX Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, ANPET, Brasília, DF, Artigos Científicos v. II.

MDICE (2006), Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em <www.desenvolvimento.gov.br>. Acesso 17 mar. 2006.

Moran, P.A.P. (1950). *Notes on continuous stochastic phenomena*, Biometrika.

Novaes, A. G. (1981), *Modelos em Planejamento Urbano, Regional e de Transportes*. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, SP.

Silva, A. R. da (2006), *Avaliação de Modelos de Regressão Espacial para Análise de Cenários do Transporte Rodoviário de Carga*. Dissertação de Mestrado. Brasília, DF.

Silva, A. R. da; Mendonça, A. C.; Araújo, C. E. F.; Taco, P. W. G.; Yamashita, Y. (2007), *Nova Abordagem de Modelo de Geração de Viagens para o Transporte Público Urbano: Regressão Espacial*. Anais do 16˚ Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito - ANTP. Maceió, AL.

Teixeira, G.L. (2003), *Uso de Dados Censitários para Identificação de Zonas Homogêneas para Planejamento de Transportes Utilizando Estatística Espacial*. Dissertação de Mestrado. Brasília, DF.

Tobler, W. R. (1979), *Cellular Geography, Philosophy in Geography*. Edited by S. Gale and G. Olsson. Eds, Amsterdam.

---

[1] Alan Ricardo da Silva (alansilva@ceftru.unb.br)
Fones: (61) 3307-2714 (Ramal 29)

[2] Yaeko Yamashita (yaeko@unb.br)
Fones: (61) 3307-2714 (Ramal 22)