

Análise espacial das relações entre a população e o ambiente na região da APA Mananciais do Rio Paraíba do Sul

Sacha Maruã Ortiz Siani ¹
Silvana Amaral ¹
Antônio Miguel Vieira Monteiro ¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
sacha@dsr.inpe.br; {silvana, miguel}@dpi.inpe.br

Resumo: A criação e manutenção de Unidades de Conservação da Natureza (UC) constituem instrumentos de planejamento territorial ambiental. A UC de uso sustentável Área de Proteção Ambiental Mananciais do Rio Paraíba do Sul (APA-MRPS) abrange áreas urbanas e rurais e enfrenta os desafios de conciliar a proteção os mananciais de abastecimento da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, que abastece cerca de 15 milhões de pessoas, e o desenvolvimento social e econômico. O objetivo deste trabalho, é apresentar uma análise tomando elementos que permitam discutir a relação entre as condições de vida da população e a preservação do recurso natural água na porção paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul, para o ano de 2010, apoiado em técnicas de análise espacial de dados geográficos. Primeiramente, as variáveis escolhidas passaram por uma correção devido à instabilidade dessas taxas. Posteriormente, investigou-se quais os modelos de regressão eram mais adequados a natureza dos dados. Os modelos espaciais *Spatial Lag* e *Geographically Weighted Regression* (GWR) demonstraram-se os mais adequados. As relações globais apontaram que que todas as variáveis selecionadas para representar as características da população possuem relações inversas a variável que indica a proteção dos mananciais. O modelo local mostrou que as relações são predominantemente inversas em regiões pouco urbanizadas, entretanto, em áreas próximas às sedes municipais as populações com mais acesso à educação básica tende a ocupar as áreas com mais vegetação e mais bem preservadas.

Palavras-chave: Área de Proteção Ambiental; Áreas protegidas; Unidades de conservação; Uso sustentável; Análise espacial de dados geográficos; Modelo de regressão espacial.

1. Introdução

No último século, sobretudo nas últimas décadas, a preocupação com meio ambiente vem crescendo de forma acentuada. Com a crescente escassez dos recursos naturais e redução da biodiversidade principalmente pela ação antrópica, a sociedade deve aprender a se relacionar com o meio ambiente de forma sustentável, sob a pena de comprometer as gerações futuras. A criação e manutenção de Unidades de Conservação da Natureza (UC) constituem instrumentos de planejamento territorial ambiental úteis para a efetiva implantação das políticas públicas voltadas à preservação do meio ambiente (SÃO PAULO, 2009).

A UC analisada neste trabalho é a Área de Proteção Ambiental (APA) dos Mananciais do Rio Paraíba do Sul (APA-MRPS), uma categoria de manejo pertencente ao grupo de UC de uso sustentável. As APAs são espaços de planejamento e de gestão ambiental que possuem ecossistemas de importância regional, englobando um ou mais atributos ambientais, podendo compreender áreas urbanas e rurais e suas atividades socioeconômicas inerentes. Nas APAs é permitido o desenvolvimento de atividades econômicas de forma planejada por meio de um Plano de Manejo que inclui o Zoneamento do território, as diretrizes e normas para o uso e cobertura da terra e os Programas de ação a serem implementados a curto, médio e longo prazo (BRASIL, 2000).

A APA-MRPS foi criada em 1982 com o objetivo de proteger os mananciais de abastecimento da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul que abastece toda a região, além dos objetivos de proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2010).

A APA-MRPS é altamente antropizada, contendo diferentes formas de ocupação sócio-espaciais. Sua configuração espacial de unidades disjuntas abrange três unidades da federação (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais) e corresponde a um total de 292.597 hectares

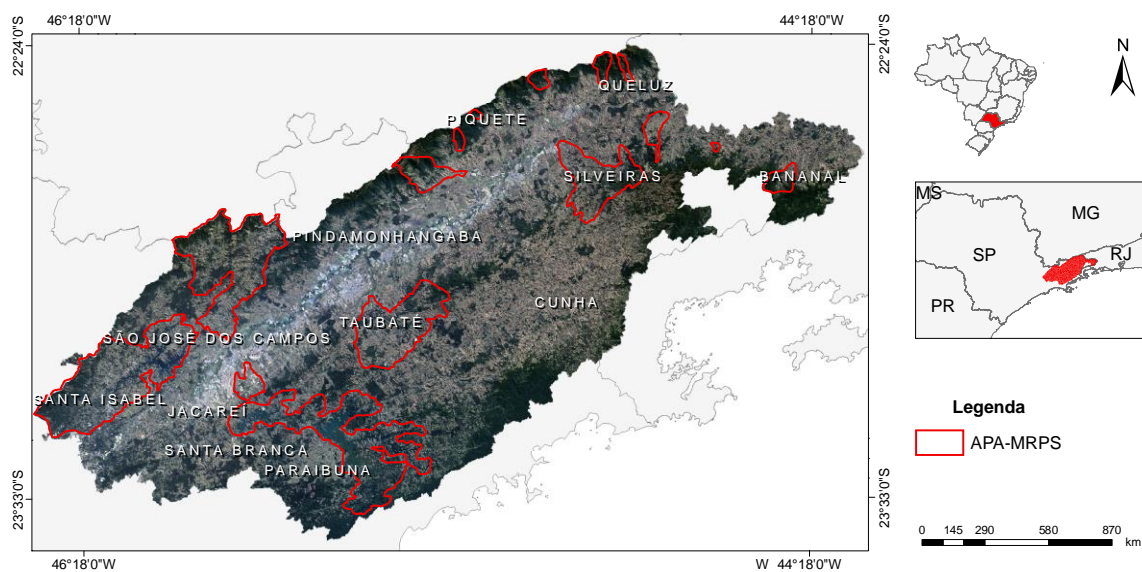
(ICMBIO, 2014), geridas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Desde sua criação, o manejo e a gestão dessa unidade de conservação, não foram plenamente implementados conforme determina o Sistema Nacional de Unidades de Conservação- SNUC (BRASIL, 2000).

Neste contexto, o desafio é desenvolver-se de maneira sustentável, encontrando o equilíbrio entre a preservação ambiental e o desenvolvimento social e econômico. Este trabalho pretende investigar as seguintes questões: (1) Existem (quais?) as relações entre a preservação dos mananciais do Rio Paraíba do Sul e as características da população? (2) A maneira como estas variáveis se relacionam é espacialmente homogênea em na área de estudo? O objetivo deste trabalho, então, é apresentar uma análise tomando elementos que permitam discutir a relação entre as condições de vida da população e a preservação do recurso natural água na porção paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul, para o ano de 2010, apoiado em técnicas de análise espacial de dados geográficos. Para tal, foram aplicadas análises estatísticas sobre dados socioeconômicos provenientes do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2010a) e de sensoriamento remoto para o mesmo ano. Utilizou-se como unidade espacial de análise os setores censitários da porção paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul, unidade esta, a mais fina disponível dos dados do Censo.

2. Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul drena uma das regiões mais industrializadas do país, com grande concentração populacional e, conseqüentemente, apresenta dinâmicas complexas de interação entre o homem e os recursos hídricos locais. A bacia abrange parte do Estado de São Paulo, a região conhecida como Vale do Paraíba Paulista, a área do Estado de Minas Gerais denominada Zona da Mata Mineira, e metade da área do Estado do Rio de Janeiro. A bacia abrange 184 municípios, sendo 39 no estado de São Paulo. Entre outros interesses, a bacia do Rio Paraíba do Sul é estratégica para o abastecimento de cerca de 15 milhões de pessoas nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo (AGEVAP, 2006), população atualmente impactada pela estiagem prolongada.

A área objeto deste estudo é a porção paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul (Figura 1), e foi escolhida por ser a área de drenagem que contribui para a recarga dos mananciais cujo objetivo da APA-MRPS é a preservação. A região apresenta alta densidade populacional, além de passar por processos transformadores do uso e cobertura da terra em curso, como expansão das manchas urbanas, processos de conurbação entre as cidades marginais à rodovia Dutra, e a ampliação da rodovia dos Tamoios.



3. Dados

Os dados socioeconômicos foram obtidos do banco de dados do universo do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2010a), uma vez que apenas esse conjunto de informações é passível de agregação por setor censitário, unidade espacial de análise utilizada neste trabalho.

Os dados de sensoriamento remoto utilizados foram provenientes do sensor *Thematic Mapper* (TM) abordo da plataforma orbital Landsat 5. As duas imagens utilizadas neste trabalho são descritas na Tabela 1 e são cortesias do *U. S. Geological Survey*.

Tabela 1 - Metadados das imagens utilizadas no trabalho.

Cena	Aquisição	
	Data	Hora
219/076	24/08/2010	12:54:38
218/076	02/09/2010	12:48:26

4. Metodologia

4.1. Escolha das variáveis

A Tabela 2 lista as variáveis utilizadas nos modelos de regressão aplicados neste estudo. As variáveis em negrito apresentarão correlações mais fortes com a variável independente e foram as selecionadas para serem modeladas.

Tabela 2 – Variáveis escolhidas para a análise, e as utilizadas nos modelos de regressão (em negrito).

ID	Descrição	Fonte
<i>Variáveis preditoras</i>		
RESP_REND	Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes (com rendimento)	
BL_PROP_MEIOSM	Proporção de pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de até 1/2 salário mínimo	
BL_TAXA_EMPR	Proporção da população em idade ativa com rendimento positivo	IBGE (2010)
BL_PROP_ALFA	Proporção de pessoas alfabetizadas com 10 ou mais anos de idade em domicílios particulares	
BL_TAXA_SAUD	Proporção de pessoas em idade acima da expectativa de vida média nacional	
<i>Variável independente</i>		
NDVI_MEAN	Média do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	USGS (2010)

O valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes é um indicador sensível a mudanças conjunturais do mercado de trabalho, na medida em que os rendimentos do trabalho respondem por uma parcela majoritária da renda disponível (JANNUZZI, 2012).

Além do nível médio de renda, seu padrão de distribuição é outro fator importante da caracterização socioeconômica de uma população. Afinal, é preciso saber se, a população, efetivamente, desfruta de um melhor bem estar material, ou apenas um número reduzido de famílias se apropria de níveis de renda muito mais elevados que os demais. Para tal representação foi utilizado a variável proporção de domicílios com renda per capita de até meio salário mínimo. Uma vez que o salário mínimo é referência básica para caracterizar a insuficiência de renda, podem ser considerados pobres aqueles domicílios cuja renda per capita é inferior a meio salário mínimo (SÃO PAULO, 2010).

A População em Idade Ativa (PIA) de um país ou região corresponde a um contingente expressivo e majoritário da população total que está potencialmente apta para o exercício da atividade econômica produtiva. A PIA compreende a população com mais de 10 anos de idade. Com o objetivo de representar o mercado de trabalho, o indicador corresponde ao quociente dos indivíduos de 10 anos ou mais de idade com rendimento pela PIA, isto é, a proporção de indivíduos que exercem atividade remunerada dentre a mão de obra potencialmente disponível para a atividade econômica.

Para se desenvolver de modo sustentável, é necessário tornar acessível a toda a população a educação básica, iniciada com a alfabetização (IBGE, 2010b). O indicador de acesso à educação foi calculado pela proporção, dentre os indivíduos de 10 anos ou mais, daqueles que declararam no censo de 2010, saber ler e escrever.

Foi utilizado para descrever as condições de saúde da população, o indicador proporção de pessoas em idade acima da expectativa de vida média nacional, que em 2010, era de 63 anos.

As matas mantêm a qualidade e quantidade de água do recurso hídrico, protegem os leitos dos rios de erosão, assoreamento, mantendo o solo fixo para a passagem de água sem a lixiviação. Sua proteção implica na proteção direta das águas. Desta maneira, utilizou-se como *proxy* de que os mananciais do Rio Paraíba do Sul estão sendo preservados e, analogamente, os objetivos da APA-MRPS estão sendo atingidos, a média do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada ou NDVI (sigla de *Normalized Difference Vegetation Index*) para cada setor censitário.

O NDVI é um índice que nos permite fazer análises, sobre a cobertura vegetal de determinada região. Sua geração se dá pela diferença entre a reflectância do infravermelho próximo (TM4) e a reflectância do vermelho (TM3), dividida, respectivamente, pela soma das duas reflectâncias (JENSEN, 2007). Essa equação gera um índice que varia de -1 a 1. Quanto maior o valor do índice maior a presença de vegetação.

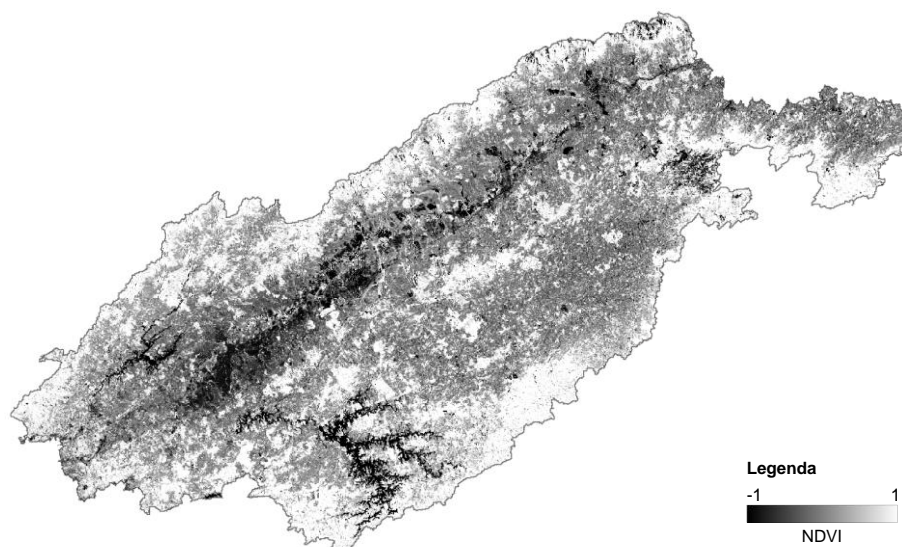


Figura 2 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

4.2. Instabilidade de taxas

O setor censitário é a menor unidade territorial, formada por área contínua, integralmente contida em área urbana ou rural, cujo conjunto esgota a totalidade do território nacional (IBGE, 2010a). Os setores censitários possuem suas dimensões adequadas à operação de coleta, desconsiderando o volume populacional da área, fazendo com que muitos dos setores tenham populações pequenas (ex. a população de responsáveis por domicílios particulares permanentes,

variou de um a 730 responsáveis). Tal fato faz com que abordagens que utilizem esta unidade de análise enfrentem alguns problemas relacionados a instabilidade de taxas.

A instabilidade de taxas ocorre quando o acréscimo ou decréscimo de poucos casos do fenômeno estudado pode causar mudanças drásticas nas taxas. Entretanto, estas taxas extremas associadas a pequenas populações em risco não estão associadas a riscos extremos aos quais as populações estariam submetidas. Essas variações extremas não passam de meras flutuações aleatórias que atrapalham a análise do fenômeno em questão. Deve-se então, tentar separar o que é efeito do fenômeno estudado e o que é mera flutuação aleatória (BEATO; ASSUNÇÃO, 2008).

Utilizou-se o estimador bayesiano empírico local que utiliza informações dos setores vizinhos para diminuir para diminuir esta instabilidade não associada ao risco de ocorrência do evento. As taxas corrigidas são menos instáveis, pois levam em conta no seu cálculo não só a informação da área, mas também a informação da sua vizinhança. Se a localidade apresenta uma população considerável, a taxa apresentará pequena variabilidade e permanecerá praticamente inalterada quando comparada à taxa bruta. Por outro lado, se a localidade apresentar uma população pequena, a estimativa da taxa bruta terá grande variância e pouco peso será atribuído a essa taxa não estável, tornando a taxa bayesiana mais próxima do valor esperado de uma área escolhida ao acaso naquela região (INPE, 2013). A relação de vizinhança considerada neste processamento foi de contiguidade, ou seja, um objeto é vizinho apenas daqueles com os quais compartilha uma fronteira.

4.3. Modelos de Regressão Linear Globais

4.3.1. Modelos de Regressão Linear Simples

Após tratar a instabilidade das variáveis foi primeiro aplicada a transformação de Box-Cox para garantir a normalidade dos dados, e posteriormente o modelo de regressão linear simples.

O objetivo geral de uma análise de regressão linear simples é quantificar a relação linear entre uma variável dependente e uma variável independente, conforme expresso na Equação 1:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_i + \varepsilon \quad (1)$$

onde Y_i é a i -ésima observação da variável dependente, X_i é a i -ésima observação da variável independente, os parâmetros β_0 e β_1 representam respectivamente o intercepto e a inclinação da reta, e a constante ε representa os erros, ou resíduos da estimativa (NETER et al., 1996). Neste modelo, assume-se o pressuposto de que as observações não são correlacionadas, e, conseqüentemente, que os resíduos ε_i do modelo também são independentes e não-correlacionados com a variável dependente, tem variância constante, e apresentam distribuição normal com média zero. Na Tabela 3 é possível analisar graficamente os resíduos do modelo de regressão ajustado.

Tabela 3 - Análises gráficas dos resíduos dos modelos de regressão linear simples.

Modelo	Gráfico		
	Normal QQ-plot	Resíduos vs. Estimado	Scatterplot de Moran
BL_PROP_MEIOSM ~ NDVI			
BL_PROP_ALFA ~ NDVI			
BL_TAXA_EMPR ~ NDVI			

Pode-se verificar a partir da análise gráfica que:

- (1) No modelo entre a proporção de pessoas responsáveis com rendimento inferior a meio salário mínimo e o NDVI, os resíduos tem uma distribuição próxima a uma normal, são relativamente homocedásticos e possuem claramente dependência espacial.
- (2) No modelo de regressão entre a proporção de pessoas alfabetizadas e o NDVI, os resíduos tem uma distribuição próxima a uma normal, mas com alguns resíduos extremos negativos que fogem a uma normal teórica. São relativamente homocedásticos e também possuem clara dependência espacial.
- (3) No modelo de regressão entre a proporção da PIA com rendimento positivo e o NDVI os resíduos tem uma distribuição próxima a uma normal, mas com alguns resíduos extremos negativos que fogem a uma normal teórica. Neste modelo a variância não é constante e também possui dependência espacial.

As análises dos resíduos apontam que os modelos de regressão linear simples tradicionais ajustados não satisfazem as premissas básicas deste modelo, principalmente a premissa de independência dos resíduos. No caso de dados espaciais, onde está presente a dependência espacial, é muito pouco provável que a premissa padrão de observações não correlacionadas seja verdadeira. Desta forma deve-se buscar modelos que incorporem a estrutura espacial, uma vez que a dependência entre as observações altera o poder explicativo do modelo.

4.3.2. Modelos de Regressão Linear Espacial

Os modelos de regressão espacial tentam resolver a limitação da dependência espacial pela incorporação dos seus efeitos na modelagem da relação entre variáveis aleatórias e podem ser feitas de diferentes formas. Uma das formas são os modelos com efeitos espaciais globais, que supõe que é possível capturar a estrutura de correlação espacial em um único parâmetro, que é adicionado ao modelo de regressão tradicional. Os modelos espaciais têm como premissa que existe uma estrutura de correlação espacial e esta estrutura é conhecida pelo analista. A mesma relação de vizinhança usada foi a de contiguidade.

Duas alternativas são possíveis: o *Spatial Lag Model* e o *Spatial Error Model* (DRUCK et al., 2004).

O *Spatial Lag Model* considera a dependência espacial através da adição ao modelo de regressão de um novo termo na forma de uma relação espacial para a variável dependente, e é formalmente expresso pela Equação 2:

$$Y_i = \beta \cdot X_i + \rho \cdot W \cdot Y_i + \varepsilon \quad (2)$$

onde W é a matriz de proximidade espacial, e o produto $W \cdot Y_i$ expressa a dependência espacial em Y_i e ρ é o coeficiente espacial autorregressivo. A hipótese nula para a não existência de autocorrelação é que $\rho = 0$.

O *Spatial Error Model* considera que os efeitos espaciais são um ruído, ou perturbação, e precisam ser removidos. Neste caso, os efeitos da autocorrelação espacial são associados ao termo de erro ε e o modelo pode ser expresso pelas Equações 3 e 4:

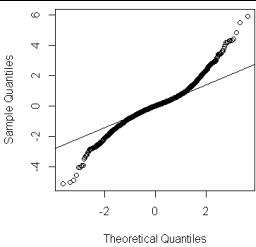
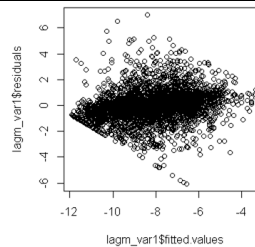
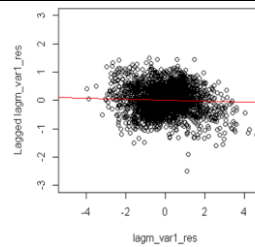
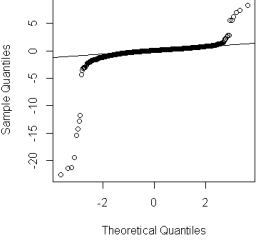
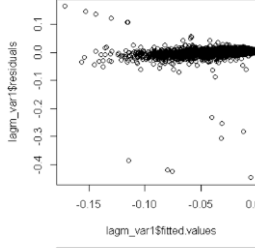
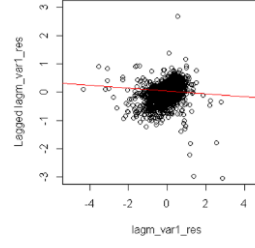
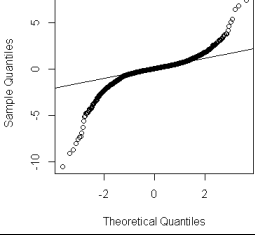
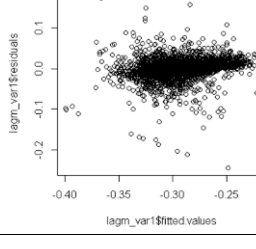
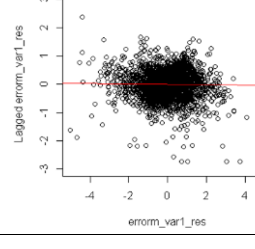
$$Y_i = \beta \cdot X_i + \varepsilon \quad (3)$$

$$\varepsilon = \lambda \cdot W_\varepsilon + \xi \quad (4)$$

onde W_ε é a componente do erro com efeitos espaciais, λ é o coeficiente espacial autorregressivo e ξ é a componente do erro com variância constante e não correlacionada. A hipótese nula para a não existência de autocorrelação é que $\lambda = 0$.

O teste dos Multiplicadores de Lagrange permite distinguir entre os modelos *Spatial Lag* ou *Spatial Error* (ANSELIN, 2003). Aplicou-se o teste dos Multiplicadores de Lagrange sobre os modelos lineares simples para verificar os modelos espaciais globais mais adequados. Para os três modelos ajustados foi diagnosticado que o *Spatial Lag Model* seria o mais adequado. A Tabela 4 apresenta a análise gráfica dos resíduos do modelo espacial ajustado.

Tabela 4 - Análises gráficas dos resíduos dos modelos *Spatial Lag*.

Modelo	Gráfico		
	Normal QQ-plot	Resíduos vs. Estimado	Scatterplot de Moran
BL_PROP_MEIOSM ~ NDVI			
BL_PROP_ALFA ~ NDVI			
BL_TAXA_EMPR ~ NDVI			

Pode-se verificar a partir da análise gráfica que os três modelos espaciais ajustados apresentam distribuição próxima a normal, mas quebram esta premissa principalmente nos resíduos mais extremos. Além disso, os modelos espaciais apresentaram resíduos mais homocedásticos e sem dependência espacial.

A Tabela 5 apresenta alguns parâmetros que mostram ganhos obtidos pelo modelo de regressão espacial em relação ao tradicional.

Tabela 5 - Parâmetros de comparação entre os modelos de regressão tradicional e o modelo espacial.

Modelo	Modelo Linear Simples		Modelo <i>Spatial Lag</i>	
	AIC	I-Moran*	AIC	I-Moran*
BL_PROP_MEIOSM ~ NDVI	-14939	0,506	-17454	-0,049
BL_PROP_ALFA ~ NDVI	17355	0,484	15741	-0,017
BL_TAXA_EMPR ~ NDVI	-13685	0,580	-16231	-0,006

Para a comparação entre a qualidade de ajuste dos modelos de regressão foi utilizado o Critério de Informação de Akaike (AIC). Segundo este critério, o melhor modelo é o que possui menor valor de AIC (DRUCK et al., 2004). Pode-se então inferir que houveram ganhos ao se considerar os efeitos espaciais, os modelos espaciais foram melhores para as três regressões. Além disso, pode ser verificado pelo índice de Moran que, como era de se esperar, os modelos espaciais eliminaram a dependência espacial dos resíduos.

4.4. Modelo de Regressão com Efeitos Espaciais Locais

Segundo Druck et al. (2004), no Brasil, ocorrem descontinuidades abruptas nos fenômenos socioeconômicos estudados em função da acentuada desigualdade social. Além disso, a área de estudo é muito extensa e abrange municípios com características socioeconômicas distintas. Sendo assim, modelos que procuram modelar fenômenos não estacionários são mais adequados do que os modelos globais, pois estes buscam refletir a heterogeneidade espacial.

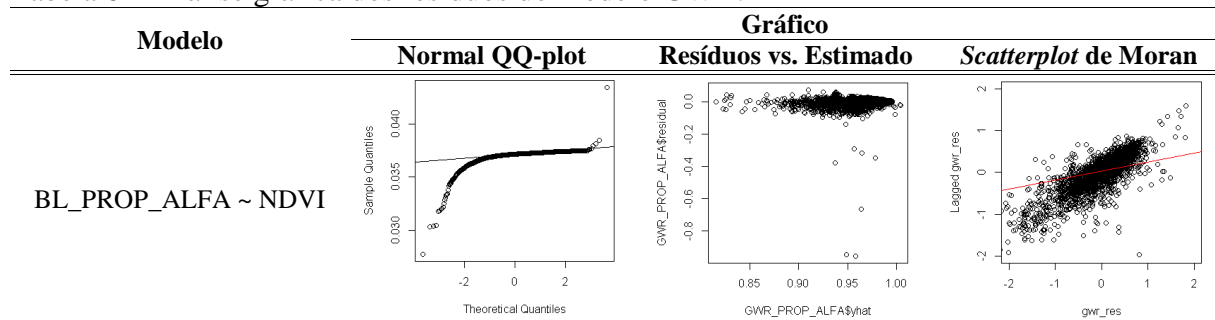
A técnica utilizada para analisar a heterogeneidade espacial foi a *Geographically Weighted Regression* (GWR), que ajusta um modelo de regressão linear a cada ponto observado, ponderando todas as demais observações como função da distância a este ponto. Desta forma, serão feitos tantos ajustes quantas observações existirem e o resultado é um conjunto de parâmetros, sendo que cada ponto considerado tem seus próprios coeficientes de ajuste (DRUCK et al., 2004).

O modelo GWR foi aplicado apenas entre a variável proporção de pessoas alfabetizadas e o índice de vegetação. Utilizou-se como parâmetro para o modelo GWR uma função Gaussiana de distância com um alcance adaptativo. Deste modo, o contexto espacial considerado em cada um dos ajustes é uma função do número de vizinhos. Onde a malha de setores censitários é mais densa (áreas urbanas) o alcance da função gaussiana é menor, e quando a malha é mais esparsa (áreas rurais), o contexto espacial considerado é maior. Para encontrar um número ótimo de vizinhos para cada ajuste foi utilizado o Critério de Informação de Akaike (AIC).

A Tabela 6 apresenta a análise gráfica dos resíduos do modelo GWR.

* p-valor = 0,001

Tabela 6 - Análise gráfica dos resíduos do modelo GWR.



Os resíduos do modelo de regressão geograficamente ponderada entre a proporção de alfabetizados e o NDVI apresentam distribuição próxima a uma normal, mas com alguns resíduos extremos que não seguem o mesmo padrão. Os resíduos são relativamente homocedásticos e apresentam baixa correlação espacial (índice de Moran = 0,211, p-valor=0,001).

O coeficiente de determinação (R^2) global do modelo de regressão geograficamente ponderado foi de 0,33 e um AIC global de -13363.

5. Resultados

5.1. Relações globais

A Tabela 7 apresenta os coeficientes resultantes dos modelos de regressão espacial.

Tabela 7 - Coeficientes do modelo de regressão espacial.

Modelo	Modelo <i>Spatial Lag</i>		
	β	ρ	p-valor
BL_PROP_MEIOSM ~ NDVI	3,143	0,814	2,22E-16
BL_PROP_ALFA ~ NDVI	-0,046	0,722	2,22E-16
BL_TAXA_EMPR ~ NDVI	-0,021	0,817	2,22E-16

Os coeficientes β representam a relação entre as variáveis socioeconômicas e o NDVI. A proporção de responsáveis com rendimento inferior a meio salário mínimo diretamente proporcional ao índice de vegetação. Ou seja, quão maior é a proporção de pessoas com insuficiência de renda em um setor, maior é a presença de vegetação.

Já a proporção de pessoas alfabetizadas com 10 anos ou mais e a proporção da PIA com rendimento mensal positivo são inversamente proporcionais ao índice de vegetação, o que significa que nos setores onde a população apresenta níveis de acesso à educação básica e ao mercado de trabalho mais altos, são também os que tem menor presença de vegetação.

Estes resultados apontam que, analisando o todo (global), existe uma relação inversa entre a preservação dos recursos hídricos da bacia e os padrões sociais e econômicos da população que se insere nesta unidade de conservação.

5.2. Relação local

Os coeficientes locais foram espacializados (Figura 3) para identificar como as variáveis se relacionam no espaço. Foi estabelecido um nível de confiança de 90% para a estatística t.

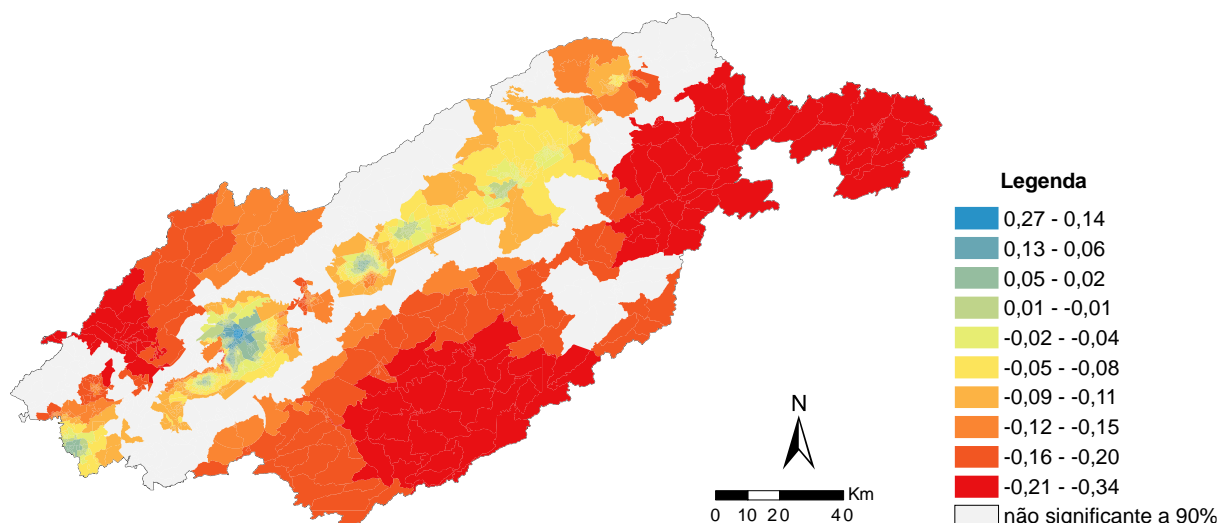


Figura 3- Mapa dos coeficientes β_1 locais do modelo GWR entre as variáveis BL_PROP_ALFA ~ NDVI com uma máscara aplicada aos setores com t-valor não significativo ao nível de 90%.

Pode-se perceber claramente um padrão em que as relações entre a proporção de alfabetizados e o índice de vegetação se invertem. Nas áreas menos urbanizadas a relação entre as variáveis é inversa, ou seja, em áreas mais preservadas a população apresenta uma menor proporção de alfabetizados. Entretanto, conforme os setores localizam-se mais próximos das sedes municipais, a relação se inverte. As populações com mais acesso à educação básica tende a ocupar as áreas com mais vegetação e mais bem preservadas.

6. Considerações finais

A modelagem tradicional de dados geográficos (por exemplo, variáveis sociais, econômicas ou ambientais) se baseia em técnicas estatísticas que geralmente desconsideram a componente espacial desses dados. Em observações de fenômenos que se manifestam no espaço, geralmente, existe dependência espacial, e conseqüentemente a modelagem estatística pode fornecer resultados equivocados se não considerar-se o espaço no modelo.

Este estudo exploratório permitiu entender melhor as relações entre a preservação dos mananciais do Rio Paraíba do Sul e algumas características da população através de modelos estatísticos espaciais.

O modelo global apontou que todas as variáveis selecionadas para representar as características da população possuem relações inversas ao índice de vegetação. As populações que vivem em regiões mais bem preservadas da área de estudo tendem a apresentar piores condições de acesso à educação básica, ao mercado de trabalho e a renda.

Entretanto, a heterogeneidade social, econômica e ambiental presente na área de estudo permitiu supor que a relação constatada no modelo global pode não ser a mesma para todas as regiões. Tal suspeita foi confirmada aplicando o modelo de regressão com efeitos espaciais locais entre a variável relacionada a alfabetização e o NDVI. O modelo local (GWR) apontou que a relação inversa constatada pelo modelo global entre proporção de alfabetizados e o índice de vegetação ocorre predominantemente em regiões rurais mais distantes da sede municipal, mas em regiões próximas as sedes a relação entre as variáveis é direta, ou seja, As populações com mais acesso à educação básica tende a ocupar as áreas com mais vegetação e mais bem preservadas.

Este estudo trata-se de uma primeira abordagem e é necessária uma análise mais extensa e completa, com novas variáveis para determinar as relações entre a proteção dos mananciais do Rio Paraíba do Sul e as características socioeconômicas da população. Estudos futuros podem explorar variáveis relacionadas aos diferentes usos e coberturas da terra que estão associados a

compactação, impermeabilização, retirada da vegetação natural e outros que vão afetar os processos hidrológicos e a qualidade da água.

Referências

AGEVAP. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Resende, RJ: [S.N.], 2006.

ANSELIN, L. **An Introduction to Spatial Regression Analysis in R**. Illinois: University of Illinois, 2003. 25 p.

BEATO, C.; ASSUNÇÃO, R. **Sistemas de informação georreferenciados em segurança**. Belo Horizonte: UFMG, 2008. 219 p. 1.

BRASIL. **Relatório Parametrizado: Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Brasil: [S.N.], 2010.

BRASIL. **SNUC Sistema Nacional de Unidades de conservação: texto da Lei 9.985 de 18 de julho de 2000 e vetos da presidência da República ao PL aprovado pelo congresso Nacional**. 2ª. ed. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2000. 76 p.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. 186 p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>.

IBGE. **Censo Demográfico 2010: conjunto de dados do universo**. Rio de Janeiro: [S.N.], 2010a.

IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010b. 443 p.

(ICMBIO). . **Apa mananciais do rio paraíba do sul**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

INPE. **TerraView**. v. 4.2.2. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2013. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terraview/>>.

JANNUZZI, P. DE M. **Indicadores sociais no Brasil - Conceitos, Fontes de Dados e Aplicações**. 5. ed. Campinas: Editora Alínea, 2012. 160 p.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2007. 592 p. (Prentice Hall series in geographic information science).

SÃO PAULO. **Índice Paulista de Vulnerabilidade Social 2010**. São Paulo: Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, 2010. 17 p.

SÃO PAULO. **Unidades de conservação da natureza**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Fundação Florestal, 2009. 104 p.