

Avaliação em massa de imóveis rurais utilizando regressão geograficamente ponderada

Mass appraisal of rural properties using geographically weighted regression

Valuación masiva de inmuebles rurales mediante regresión geográficamente ponderada



Marlene Salete Uberti

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Seropédica
– Rio de Janeiro – Brasil
msuberti@ufrj.br



Mauro Antonio Homem Antunes

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Seropédica
– Rio de Janeiro – Brasil
homemantunes@gmail.com



Paula Debiasi

Universidade Federal do Rio de Janeiro – Macaé –
Rio de Janeiro – Brasil
pauladebiasi@yahoo.com.br

Resumo: Nas avaliações em massa de imóveis tradicionalmente são utilizados os modelos clássicos de regressão linear (MCRL), entretanto tem-se verificado a necessidade de modelar os dados espacialmente. Os valores dos imóveis nas áreas rurais também são afetados pela localização geográfica, porém a modelagem dos efeitos geográficos vem sendo utilizada principalmente nas avaliações de áreas urbanas. O objetivo deste artigo consistiu na utilização de modelos de regressão geograficamente ponderadas (RGP) em imóveis rurais para a elaboração da Planta de Valores Genéricos (PVG) para uma área da Região Norte

Fluminense – RJ. A metodologia proposta baseou-se na aplicação da RGP, avaliação do ajuste e desempenho com relação ao MCRL e na produção da PVG por meio do interpolador Kernel. A amostra contou com 113 observações e 25 amostras de verificação. O desempenho da superfície de valores obtida foi analisado através da Mediana das Razões, Coeficiente de Dispersão - COD e Diferencial Relativo ao Preço - PRD e comparados com os valores de referência recomendados pela *International Association of Assessing Officers* (IAAO). O modelo RGP foi superior ao MCRL em todos os critérios analisados e pode-se concluir que a RGP deixou a modelagem mais ajustada e, portanto, foi superior a modelo clássico de regressão. Quanto ao uso da Geoestatística para interpolar os valores e gerar a PVG, o Kernel se mostrou apropriado, pois gerou uma superfície detalhada, possibilitando a geração de valores entre os vizinhos, considerando-se que dificilmente se obtém dados na coleta em campo para toda a área estudada, principalmente em áreas rurais.

Palavras-chave: Avaliação em Massa. GWR. Regressão Geograficamente Ponderada.

Abstract: Traditionally the classical linear regression models (CLRM) are used on mass appraisal of real estate, however, there has been the need to model the data spatially. The real estate values in rural areas are also affected by geographical location, nevertheless the modeling of the geographical effects has been used mainly in evaluations of urban areas. The purpose of this paper to use the geographically weighted regression models (GWR) in a sample of rural properties for the preparation of a map of standard ground value (MSGV) of an area of the North region of Rio de Janeiro–RJ, Brazil. The proposed methodology was based on the application GWR, evaluate its fitness and performance with respect to the CLRM and produce the MSGV through the Kernel interpolator. The sample used was composed by 113 observations and 25 validation samples. The performance of the surface values obtained were analyzed through the median of ratios, Coefficient Of Dispersion (COD) and by the Price Relative Differential (PRD) and compared with the reference values recommended by International Association of Assessing Officers (IAAO). The GWR model was superior to the CLRM in all analyzed criteria. This led to the conclusion that the GWR yielded a better model adjustment and, therefore, was superior to the classical regression model. Regarding the use of Geostatistics to interpolate the values and generate the MSGV, the Kernel proved to be appropriate, as it generated a detailed surface, enabling the generation of values between the neighbors, in regards that it is difficult to obtain data for the entire studied area during field collection, especially in

collection, especially in rural areas.

Keywords: Mass appraisal. GWR. geographically weighted regression.

Resumen: En valuaciones masivas de inmuebles, son utilizados tradicionalmente los modelos clásicos de regresión lineal (MCRL), sin embargo, fue verificada la necesidad de modelar los datos espacialmente. Los valores de los inmuebles en zonas rurales también se ven afectados por la ubicación geográfica, no obstante, el modelado de los efectos geográficos se ha utilizado principalmente en las valuaciones de zonas urbanas. El objetivo de este artículo fue uso de modelos de regresión geográficamente ponderados - GWR en una muestra de inmuebles rurales para la elaboración de la Planta de Valores Genéricos (PVG) para un área de la región del Norte Fluminense - RJ. La metodología propuesta consistió en aplicar el GWR, evaluando el ajuste y desempeño en relación al MCRL y la producción de PVG a través del interpolador Kernel. La muestra utilizada contó con 113 observaciones y 25 muestras de verificación. El desempeño de la superficie de valores obtenido se analizó por medio de la Mediana de las Razones, Coeficiente de Dispersión - COD y Diferencial Relativo de Precios - PRD y se comparó con los valores de referencia recomendados por la IAAO (International Association of Assessing Officers). El modelo GWR fue superior al MCRL en todos los criterios analizados y con eso, se puede concluir que el GWR dejó el modelado más ajustado y, por lo tanto, fue superior al modelo de regresión clásico. Con respecto al uso de la Geoestadística para interpolar los valores y generar la PVG, el interpolador Kernel demostró ser apropiado, ya que generó una superficie detallada, permitiendo la generación de valores entre vecinos, considerando que, difícilmente se obtienen datos en la recolección de campo para toda el área de estudio, principalmente en zonas rurales.

Palabras clave: Valuación masiva. GWR. Regresión Geográficamente Ponderada.

Introdução

Segundo estimativas do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) no Brasil, existem cerca de 5.498.505 imóveis rurais (INCRA, 2012) os quais ocupam 71,10 % da superfície territorial. Deste modo, técnicas para determinar os valores corretos dos imóveis são de grande importância para o cálculo do valor venal de alguns impostos, tais como o Imposto Territorial Rural (ITR) e o Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis (ITBI), bem como para diversas instituições públicas e privadas em diversas ações: garantia de financiamentos, desapropriações, indenizações, fundos de investimentos, mercado imobiliário de terras, reforma agrária, entre outros.

Com relação ao ITR, segundo a Secretaria da Receita Federal (SRF), a arrecadação no ano de 2012 foi de R\$ 677 milhões (BRASIL, 2012). Com a área estimada pelo INCRA no mesmo ano, de 605.387.746,06 ha, tem-se em 2012 um valor de 1,12 R\$/ha, considerada uma arrecadação inexpressiva e ineficiente.

Na elaboração da PVG podem ser utilizadas as técnicas estatísticas da Regressão Múltipla, entretanto, tem-se verificado a necessidade de incorporar nos modelos de regressão variáveis de localização geográfica para modelar os efeitos espaciais. A Econometria Espacial é utilizada principalmente nas PVGs de áreas urbanas (TRIVELLONI, 2005; HORNBURG; HOCHHEIM, 2009), sendo que os valores dos imóveis nas áreas rurais também são afetados por estes efeitos (SANTOS, 2014; MACEDO, 2015; UBERTI *et al.*, 2018).

No entanto, são poucos os artigos na literatura sobre a análise espacial de valores de imóveis rurais utilizando-se a Regressão Geograficamente Ponderada (RGP), do inglês *Geographically Weighted Linear Regression* (GWR). O presente artigo tem como objetivo tratar estatisticamente os dados através da RGP, gerar a superfície de valores através do interpolador Kernel e assim elaborar a PVG para os imóveis rurais na área do PROJIR - Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-Açúcar na Região Norte Fluminense - RJ, além de aplicar as normas internacionais da *International Association of Assessing Officers* (IAAO (2013) para avaliar o desempenho da superfície de valores. Espera-se com esta pesquisa avaliar/propor as técnicas citadas na elaboração da PVG para o PROJIR e para outras regiões do país.

Área de estudo

A área do PROJIR abrange parte dos municípios de São João da Barra, Campos dos Goytacazes, Cardoso Moreira, São Francisco de Itabapoana, Conceição de Macabu, Carapebús e Quissamã, no estado do Rio de Janeiro – RJ (Figura 1). A área do PROJIR se localiza entre as coordenadas $21^{\circ}17'15''\text{W} / 40^{\circ}59'40''\text{S}$ e $22^{\circ}04'55''\text{W} / 41^{\circ}45'01''\text{S}$, a cerca de 280 km de distância da capital Rio de Janeiro. A área do PROJIR é de aproximadamente 250.000,00 ha e correspondia nos anos 80 à região de maior concentração da lavoura canavieira. No ano de 1982 foram realizados os levantamentos de Cartografia Básica, Cadastro de Imóveis Rurais, Mapa de Solos e perfis pedológicos, de Aptidão de Terras para Irrigação, além de outros mapas pedológicos, geológicos e hidrogeológicos. Nesta mesma ocasião foi realizado um semicadastro dos imóveis rurais da área (PROJIR, 1984).

A região Norte Fluminense é considerada de predomínio tradicional de atividade agrícola, pois seu relevo é plano, típico de baixada, e apresenta clima tropical com estação seca de inverno, sendo Aw conforme a classificação de Köppen-Geiger (KOTTEK *et al.*, 2006), o que fez com que esta região estruturasse sua economia principalmente sobre a lavoura de cana-de-açúcar.

Figura 1 - Localização do PROJIR



Para Souza *et al.* (2009), a região vivenciou um processo de empobrecimento no campo, em parte devido às condições

adversas do mercado da cana-de-açúcar. Entretanto, beneficiou-se a partir da década de 1970 com a implantação da Petrobras na plataforma continental da Bacia de Campos (PIQUET, 2003). Em um curto período de tempo a região passou por uma transição, onde o foco das atividades dos municípios mais dinâmicos mudou para os serviços e a extração mineral, fomentada pela atividade de exploração de petróleo e gás natural, as quais necessitavam de mão de obra qualificada (FORTI, 2013).

Gomes (2012) analisou a evolução do valor do m² dos imóveis em Macaé e em Campos dos Goytacazes entre 1981 e 2011. Em Macaé os imóveis valorizaram neste período 913,74% e em Campos aumentaram cerca de 218,37%.

Outro grande investimento que prometeu impulsionar a região foi a construção do Complexo Logístico Industrial do Porto do Açú (CLIPA). Para Ribeiro (2010), o Complexo Portuário do Açú afetou a região, com os lançamentos de novos empreendimentos imobiliários, fazendo com que ela entrasse num processo acelerado de especulação imobiliária. Com a expansão urbana aconteceu a valorização das terras nestes municípios e sobrecarregou-se a infraestrutura urbana regional, ocasionando impactos ambientais como ocupação de áreas de risco, de proteção ambiental e permanente.

Materiais e Métodos

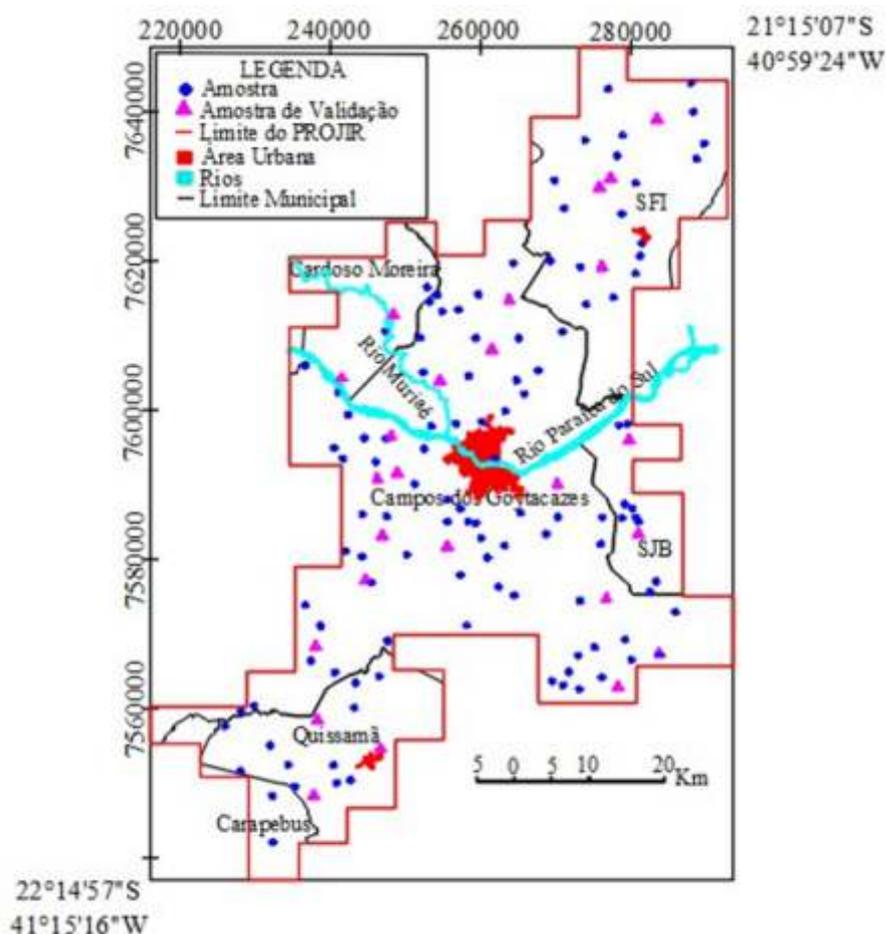
O material cartográfico foi digitalizado e partes dos mesmos foram vetorizados. Para os dados ambientais como a área de mata ciliar, de preservação permanente, etc., foram utilizadas as imagens RapidEye da região (GEBRIM, 2013). Estas imagens são recebidas ortorretificadas e são fornecidas em valores de radiância ($Wm^{-2}Sr^{-1}\mu m^{-1}$) vezes 100 (ANTUNES; DEBIASI; SIQUEIRA, 2014).

A coleta das amostras dos imóveis foi realizada no período de junho a agosto de 2015 junto ao mercado imobiliário, além destas foram utilizados dados fornecidos pelo INCRA - Regional do RJ, através do "Relatório Referente à Planilha de Preços Referenciais da Região Norte Fluminense" (INCRA, 2013). Ao final da coleta foram obtidos, entre ofertas e transações, 138 dados de mercado, nos diferentes municípios. Destes dados retirou-se uma amostra composta por 25 dados para a validação do modelo e na avaliação

de desempenho. A distribuição espacial das amostras pode ser visualizada na Figura 2.

Estes dados foram submetidos à uma análise exploratória e em seguida foi realizada a Modelagem Clássica por Regressão Linear Múltipla (MCRL) e a verificação da não violação dos seus pressupostos. Com as mesmas variáveis independentes foi executado o RGP no software GWR4 (NAKAYA *et al.*, 2014). A acurácia e a parcimônia do modelo RGP foram avaliados pelas seguintes métricas: o Akaike (AIC), Akaike corrigido (AICc) e validação cruzada (CV). Para avaliar o desempenho do modelo RGP foi calculado os parâmetros: Mediana das Razões, Coeficiente de Dispersão (COD) e Diferencial Relativo ao Preço (PRD), comparando-os com os valores de referência recomendados pela IAAO. Na próxima etapa que envolveu a utilização da Geoestatística, foi gerada a superfície de valores com o estimador de intensidade Kernel.

Figura 2 - Distribuição espacial das amostras



Resultados e discussão

As variáveis selecionadas neste estudo que influenciam os preços das terras rurais na área de estudo foram: variável dependente: Valor Unitário (VU em R\$/ha) e como variáveis independentes: Vias de acesso (VA), Trafegabilidade (TRAF), Distância a polo de valorização (DPV em km), que foi o Centro de Campos de Goytacazes, Distância ao mar (DM em km), Disponibilidade de água (DA), Rios e/ou Córregos (RC), Açudes (AÇU), Área de Mata Ciliar (AMT em ha), Área de Vegetação Nativa (AVN em ha), Área de Reflorestamento (AR em ha), Área Total (AT em ha), Topografia (TOPO), Situação (SIT), Acesso direto a via principal (ADVP), Índice de Irrigação (INIRRI), Área Irrigável (AIRRIGA em ha), Cultura (CULT).

Para atender a recomendação de Medri (2011), foi realizada uma análise exploratória nos dados (AED), na variável dependente e nas independentes. Para a variável dependente foram testadas as transformações logarítmica e raiz quadrada, e os resultados foram comparados com a variável sem transformação, através da utilização de histogramas, coeficientes de assimetria e curtose, gráficos *boxplot* e Quantil-Quantil. Os resultados da AED indicaram que a transformação logarítmica foi a mais indicada para ser utilizada na variável dependente, pois, de acordo com Dantas (2014), esta transformação é a preferida quando se procura ajustar modelos a dados de valores imobiliários. Para as variáveis independentes foi construída a matriz de correlações parciais pela observação do coeficiente de correlação simples entre as variáveis independentes, consideradas duas a duas. A matriz indicou que algumas variáveis apresentaram multicolinearidade e foram retiradas da modelagem.

O resultado para o MCRL após várias interações e testes de transformações nas variáveis independentes e alguns dos testes estatísticos estão representados na Tabela 1. A variável VA não sofreu transformação e foi adotado os valores asfalto 10, outros tipos de pavimento 5 e estrada de chão 1. As variáveis AÇU e CULT não foram transformadas, sendo tratadas como dicotômicas assumindo valor 10 para a presença de açudes e cana-de-açúcar, e valor 1 na ausência de açudes e outros tipos de culturas. Nas variáveis quantitativas DPV e DM foi aplicado a transformação inversa e na variável AVN elevou-se ao expoente 0,143 (indicado pela AED). Na variável quantitativa AT foi aplicado o logaritmo natural e na AIRRIGA não foi aplicada transformação. As variáveis TOPO e SIT não foram transformadas e assumem valores 10 para

plana, 5 para pouco acidentada e 1 para muito acidentada para TOPO e valores igual a 10 para situação ótima, 8 para muito boa, 6 para boa, 4 para regular, 2 para desfavorável e 1 para má.

Analisando os resultados da Tabela 1, pode-se verificar que os sinais e as transformações estão coerentes, e todos os coeficientes foram significativos ao nível de significância de 10% unicaudal. O teste ANOVA também foi significativo a 1%.

Tabela 1 - Estimativas dos parâmetros, valor t, o valor p do modelo e intervalo de confiança (IC)

Variável	Coefficient	Valor t	p-valor	IC - 95% inferiores	IC - 95% superiores
Interseção	8,97630	47,1928	0,0000	8,59842	9,35417
VA	0,02695	2,9222	0,0043	0,00862	0,04527
INV_DPV	1,74149	1,3933	0,1669	-0,74151	4,22449
INV_DM	2,01804	2,3997	0,0184	0,347342	3,68875
AÇU	0,02669	2,7412	0,0073	0,007347	0,04603
POT_AVN	0,10171	1,6310	0,1063	-0,02217	0,22560
LN_AT	-0,11166	-3,8902	0,0001	-0,16869	-0,05464
TOPO	0,02574	2,5624	0,0125	0,005785	0,045705
SIT	0,11642	4,5902	0,0000	0,066038	0,166820
AIRRIGA	0,00036	2,0242	0,0459	$6,7022 \times 10^{-6}$	0,000715
CULT	-0,03878	-4,8907	0,0000	-0,05454	-0,02303
R			0,8153		
R ²			0,6646		
Fcalc			17,84		
Erro padrão da regressão			0,32279		
AIC			68,567		
Log Likelihood -			23,2835		

As variáveis independentes não apresentaram multicolinearidade e 12 elementos considerados *outliers* foram retirados da amostra. Através do gráfico *Box plot* e do teste de Jarque-Bera (p-valor = 0,56287) foi verificada a normalidade dos resíduos. A homocedasticidade dos resíduos foi testada pelos testes de Breush-Pagan e Koenker-Bassett e os resultados apontam que os resíduos apresentam uma variância não

constante. Verificando através do diagrama de dispersão, foi possível observar que apenas poucas observações se destoam com relação à maioria dos dados, tal instabilidade, a heterocedasticidade, pode ser ocasionada pela presença de dependência espacial nos resíduos do modelo.

A RGP é uma técnica que estende o método tradicional da regressão clássica, permitindo que os parâmetros sejam estimados localmente, para que os coeficientes do modelo, em vez de serem estimativas globais, sejam específicos para um ponto *i* (localização). Para a função matemática podem ser utilizados o Kernel fixo ou adaptativo, as informações dos pontos geográficos podem ser as coordenadas (Universal Transversa de Mercator - UTM ou geográfica) das amostras. Já para definir a largura de banda é necessário determinar qual é a largura ótima e para determinar este parâmetro foram testadas várias larguras, sendo utilizada a largura que resultar no menor critério de informação Akaike (AIC), pois segundo Almeida (2012), quando a largura da banda não é conhecida, pode ser determinada pela adoção da técnica da otimizadora da validação cruzada (*cross validation* - CV). Nesta etapa foi utilizado o software GWR4 que tem implementado os seguintes tipos de Kernel: *Fixed Gaussian* (gaussiana de largura fixa), *Fixed bi-square* (biquadrado de largura fixa), *Adaptive bi-square* (biquadrado adaptativo) e *Adaptive Gaussian* (gaussiana adaptativo). Para determinar a largura de banda ótima no GWR4 tem-se os seguintes critérios: AIC, AICc e CV.

Os resultados estão nas Tabelas 2, 3 e 4, onde pode-se observar que o menor valor para o critério AIC ficou no tipo de Kernel biquadrado de largura fixa com valor de 44,74 (grifo nosso).

Tabela 2 - Resultados dos tipos de Kernel com o critério AIC

Tipo de Kernel	Valor Mínimo do Critério AIC	Largura Ótima (m)	Valor de AKAIKE
<i>Fixed Gaussian</i>	52,77	14.055,07	52,77
<i>Fixed bi -square</i>	44,74	28.110,14	44,74
<i>Adaptive Gaussian</i>	70,88	101,00	70,88
<i>Adaptive bi -square</i>	68,24	62,00	68,24

Tabela 3 - Resultados dos tipos de Kernel com o critério AICc

Tipo de Kernel	Valor Mínimo do Critério AICc	Largura Ótima (m)	Valor de AKAIKE
<i>Fixed Gaussian</i>	76,063	57.987,4	70,91
<i>Fixed bi-square</i>	76,711	115.974,8	71,20
<i>Adaptive Gaussian</i>	75,134	101,00	70,88
<i>Adaptive bi-square</i>	80,962	101,00	72,96

Tabela 4 - Resultados dos tipos de Kernel com o critério CV

Tipo de Kernel	Valor Mínimo do Critério CV	Largura Ótima (m)	Valor de AKAIKE
<i>Fixed Gaussian</i>	0,123	57.987,4	70,90
<i>Adaptive Gaussian</i>	0,121	101,00	70,88

Com o tipo de Kernel biquadrado de largura fixa definido e a respectiva largura ótima obtém-se os coeficientes locais para cada observação. Em termos de representação, os resultados obtidos para o modelo RGP com os valores médios dos coeficientes são mostrados na Tabela 5. Chama a atenção o valor negativo no coeficiente da variável Distância ao Polo de Valorização e na Topografia, sendo que no MCRL o sinal foi positivo, bem como o erro padrão muito alto das variáveis relacionadas às distâncias (DPV e DM).

Levando-se em consideração o critério AIC, percebe-se que o modelo RPG obteve um valor menor que o modelo MCRL, sendo, portanto, melhor ajustado. Da mesma forma o coeficiente de determinação (R^2) do RGP foi muito superior e o erro padrão da regressão teve uma pequena diminuição. No critério LIK, quando maior o seu valor melhor será o ajuste e neste caso o RGP também foi melhor que o modelo MCRL. O modelo RGP foi superior ao MCRL em todos os critérios e com isto podemos concluir que a RGP deixou a modelagem mais ajustada e, portanto, teve um desempenho superior ao modelo clássico.

Tabela 5 - Estimativa dos parâmetros RGP: coeficiente médio e erro padrão

Variável	Coeficiente Médio	Erro Padrão
Intercepto	9,418033	0,793629
VA	0,038124	0,038567
INV_DPV	-3,505919	14,28091
INV_DM	3,379248	8,735627
ACU	0,021735	0,031073
POT_AVN	0,035600	0,275032
LN_AT	-0,132732	0,070135
TOPO	-0,00685	0,045024
SIT	0,114595	0,09037
AIRRIGA	0,000698	0,000972
CULT	-0,045773	0,049869
R ²	0,885030	
Erro padrão da regressão	0,284247	
AIC	44,7437	
Log LikelihoodLIK	61,55423	

Para garantir que a avaliação do desempenho dos modelos de regressão seja realizada utilizando-se dados que não foram utilizados na modelagem, foi separada uma amostra de validação com 25 elementos. Os resultados foram discutidos levando-se em consideração os parâmetros de referência para avaliação do desempenho mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores recomendados pela IAAO para avaliações em massa de imóveis

Métricas	Valores
Mediana das razões da avaliação	Entre 0,90 e 1,10
Coeficiente de Dispersão (COD) para imóveis rurais	Entre 5 a 20%
Diferencial Relativo ao Preço (PRD)	Entre 0,98 e 1,03

Com relação à Mediana das Razões (0,83), o RPG ficou abaixo do limite mínimo de referência estabelecidos pela norma da IAAO. Com relação ao COD (28,78), o valor ficou acima do recomendado pela norma. Provavelmente isso ocorreu porque a área de estudo do PROJIR abrange mais de um município e os valores dos imóveis na maioria dos casos têm comportamentos diferentes dentro dos seus respectivos limites municipais. Com relação ao PRD (0,65), o valor ficou abaixo dos limites de referência, ou seja, ocorreu progressividade na avaliação.

A realização da avaliação de desempenho mostrou o quanto é importante a utilização de uma amostra que não fez parte do modelo, pois foi capaz de indicar quais aspectos devem ser aperfeiçoados para construir modelos mais eficientes. Outro aspecto que pode reduzir o valor do COD é aumentar a quantidade de dados amostrais a serem utilizados na modelagem para obter resultados melhores, pois em um conjunto de dados com centenas de características a modelagem se tornará mais ajustada.

Para elaborar as superfícies de valores na área do PROJIR foram utilizados o conjunto dos valores estimados pelo modelo RPG através do estimador Kernel, utilizando o software ArcGIS 10.2.1 (ESRI, 2013), através do módulo *Geostatistical Analyst*. Para aplicar o estimador Kernel é necessário definir o raio de influência e a função de estimação. Foi testada a distância de 28 km determinada como a largura ótima para a RGP, entretanto a superfície gerada se mostrou muito suavizada. Para contornar este problema e determinar qual raio de influência e função de estimação gerou o melhor resultado foi utilizada a validação cruzada através da comparação dos parâmetros Erro Médio, RMS, Erro Médio Padronizado, RMS padronizado e Erro Padrão Médio (*Average Standard Error*).

O resultado da validação cruzada pode ser visualizado na Tabela 7. Os valores dos erros ficaram muito próximos em todas as funções, e as funções exponencial, Gaussiana, quártico e constante deixaram a superfície muito suavizada, sendo que o mesmo não aconteceu com a Epanechnikov e com a polinomial de 5ª ordem. Reduzindo a análise para estas duas funções, pode-se concluir que a função Epanechnikov obteve os melhores resultados na validação cruzada, pois para esta função o valor do RMS padronizado ficou mais próximo de 1 (um).

Tabela 7 - Valores da validação cruzada das funções Kernel para o RPG

Função	Erro Médio	RMS	Erro Médio Padronizado	RMS Padronizado	Erro Padrão Médio
Epanechnikov	0,01 70	0,4002	0,0133	1,0664	0,37007
Polinomial de 5ª Ordem	0,005 5	0,3981	0,0228	1,10 25	0,35523

Na Figura 3, onde está representada a superfície de valores, percebe-se que o Kernel conseguiu representar de uma forma detalhada a variação de preços, com os valores previstos pelo RGP. Em alguns locais das bordas da área, o Kernel não conseguiu projetar os valores, devido à falta de amostras. O mapa da previsão do erro do Kernel (Figura 4) mostra que o erro de estimativa foi menor nas proximidades dos pontos amostrais e cresce à medida que se afasta destes pontos. Nas bordas o erro foi maior devido à ausência de amostras, o que evidencia a relevância, quando se trata da elaboração da PVG, da maior quantidade possível de dados e uma boa espacialização para se obter uma superfície de valores mais precisa e confiável.

Para adequar a análise às normas internacionais foram novamente calculados os parâmetros determinados pela IAAO usando agora os valores preditos pelo Kernel e os valores de campo das 25 observações. Com relação ao COD (36,28), o modelo não atendeu ao valor menor que 20%, ficando acima do recomendado. Para a mediana das razões (1,29), o modelo também não atendeu os valores recomendados, e o valor do PRD (0,73) mostra a existência de progressividade na avaliação, ou seja, os imóveis de alto valor são avaliados com uma porcentagem maior do valor de mercado que os imóveis de baixo valor.

Figura 3 - Mapa do Kernel para o RGP

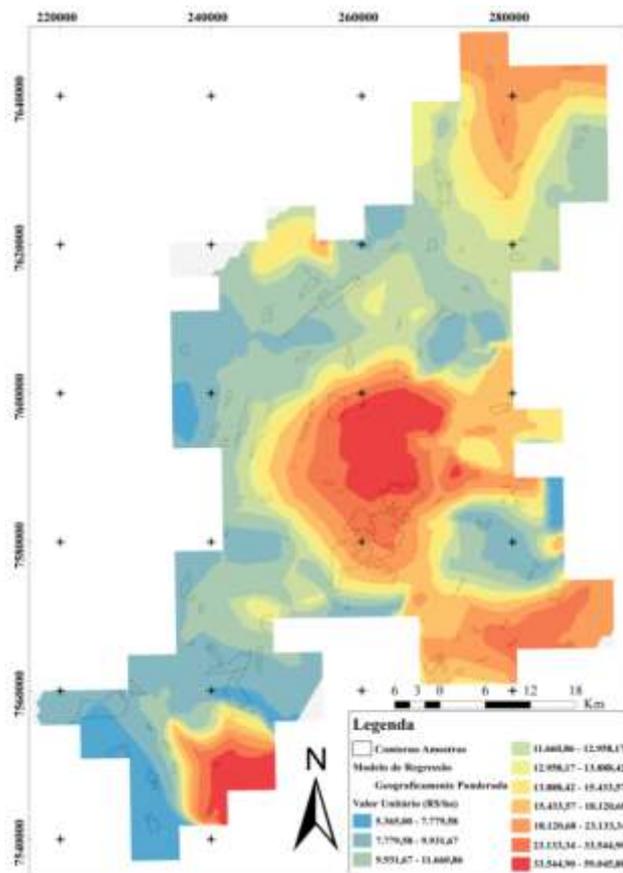
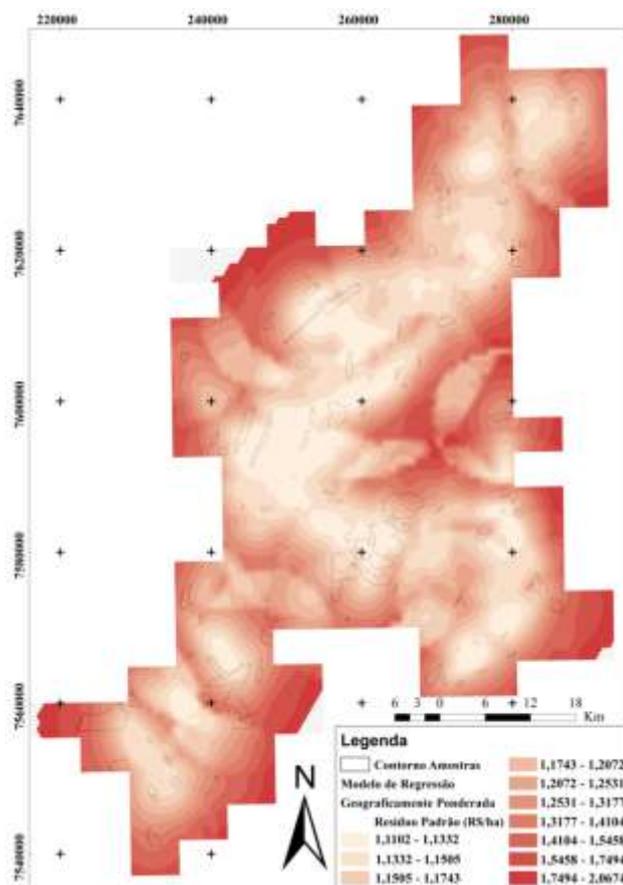


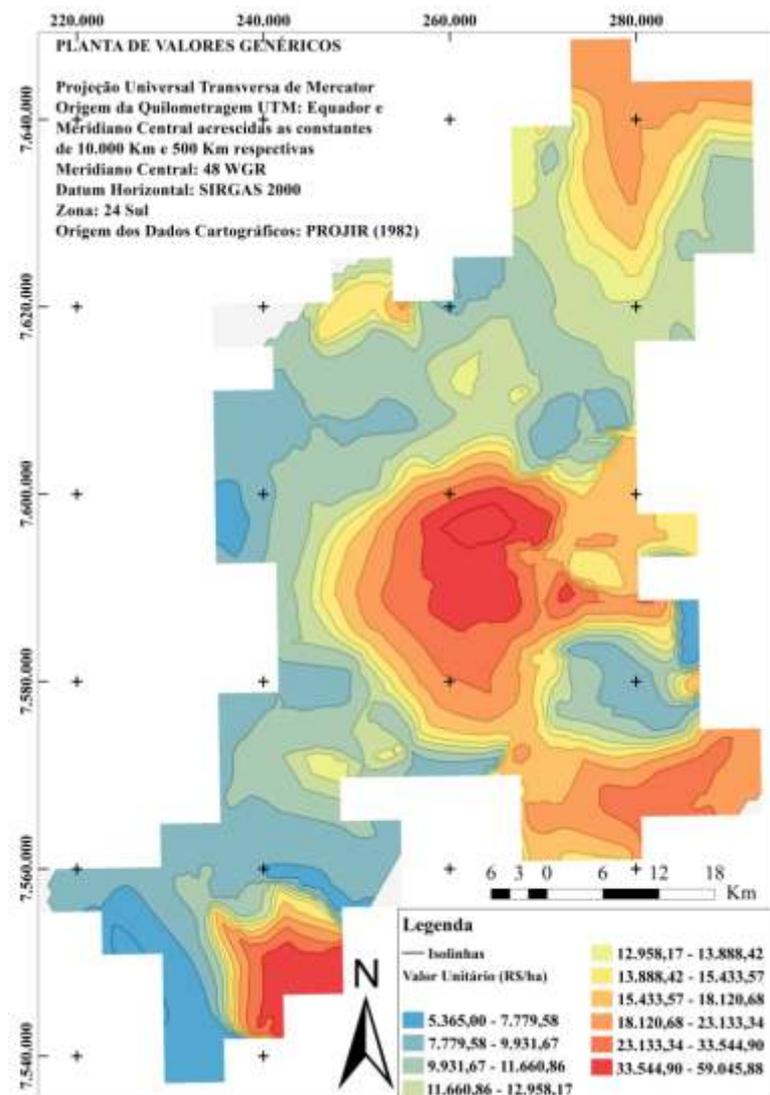
Figura 5 - Mapa da previsão do erro para o RGP



A interpolação pelo Kernel permitiu a determinação dos valores entre os vizinhos, pois em áreas rurais dificilmente se obtém dados na coleta em campo para toda a área estudada. Além disso, a utilização do Kernel permitiu a detecção dos fatores que influenciam o resultado da interpolação, como a disposição das amostras, a proximidade e a quantidade de dados, pois cabe lembrar que por ser uma interpolação, a falta de amostras ou a ocorrência de vizinhos muito afastados podem gerar erros na estimativa dos valores unitários.

A superfície de valores final, utilizando a regressão geograficamente ponderada e o estimador Kernel pode ser visualizada na Figura 6.

Figura 6 - Planta de Valores Genéricos da área do PROJIR



Conclusões

A metodologia proposta pode ser de grande utilidade para o cálculo e atualização das PVGs para as áreas rurais, permite analisar os locais onde ocorre valorização imobiliária dentro dos municípios e pode ser empregada pelo poder público em diversos projetos de políticas públicas, nas questões de desapropriação, para construção de estradas, hidrelétricas, obras de infraestrutura, reforma agrária, entre outros.

A Lei nº 11.250/2005 (BRASIL, 2005) permite a realização de convênios entre a SRF e os municípios com o objetivo de que os próprios municípios realizem a apuração e a fiscalização do ITR. Portanto é imprescindível que a PVG seja elaborada por métodos estatísticos, para que a avaliação seja realizada com base nos valores praticados no mercado imobiliário e nas variações locais dos preços das diferentes regiões, evitando desta forma tanto as subavaliações que tornam a arrecadação deficiente, bem como valores acima do mercado que punem os proprietários.

Na área de estudo os maiores valores aconteceram nas proximidades às áreas urbanas dos municípios de São João da Barra, Campos dos Goytacazes e Quissamã. Em outros locais também ocorreram valores mais altos, devido à proximidade com o litoral e com o Porto do Açu, em São João da Barra. Na região acima de Campos também ocorreram valores altos, em função da proximidade da BR 101, que corta o município na direção norte.

A metodologia utilizada pode ser implementada pelos municípios, pois com uma equipe para a coleta dos dados amostrais e com a contratação dos serviços de um engenheiro de avaliações, as prefeituras poderão elaborar as PVGs com relativa facilidade, com transparência e justiça fiscal. As prefeituras podem substituir os programas comerciais por programas livres e gratuitos, como o Quantum Gis (QGIS) e pacotes estatísticos como o R para fazer as análises necessárias, e ficariam somente com a contratação de profissionais capacitados na elaboração e atualização das PVGs. Enfim, a combinação das metodologias da RGP e o uso integrado de técnicas de Geoestatística se mostrou adequada para a elaboração e obtenção da PVG para as áreas rurais.

Referências

ALMEIDA, E. **Econometria espacial aplicada**. Campinas: ed. Alínea. 2012. 498 p.

ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P.; SIQUEIRA, J. C. S. Avaliação espectral e geométrica das imagens RapidEye e seu potencial para o mapeamento e monitoramento agrícola e ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 1, p. 101-109, 2014.

BRASIL. Secretaria da Receita Federal - SRF. **Arrecadação das receitas federais - 1994 a 2021**. Brasília, DF. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/receitadata/arrecadacao/serie-historica/arrecadacao-das-receitas-federais-1994-a-2021-1.xlsx/view>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BRASIL, **Lei nº 11.250 de 27 de dezembro de 2005**. Diário Oficial da União. Brasília. DF. 2005.

DANTAS, R. A. **Engenharia de avaliações**: uma introdução à metodologia científica. Revisada de acordo com a nova versão da NBR 14.653-2:2011. 3ª edição. São Paulo: Pini. 2014. 255 p.

ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.2.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2013.

FORTI, G. O. F. **Os municípios da região Norte Fluminense no período de 1990 a 2010: uma análise socioeconômica comparativa**. XIII Simpósio Nacional de Geografia Urbana - SIMPURB, 2013. UERJ. RJ.

GOMES, M. A. S. **A valorização fundiária nas cidades do petróleo**: Campos dos Goytacazes e Macaé/RJ. XVII Encontro Nacional de Geógrafos - XVII ENG. Belo Horizonte, MG, 2012.

HORNBURG, R. A; HOCHHEIM, N. Elaboração de Planta de Valores Genéricos com uso combinado de regressão espacial e Krigeagem. *In: XV COBREAP - Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias*. São Paulo, 2009.

IAAO (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ASSESSING OFFICERS). **Standards on ratio studies**. Missouri: IAAO. 2013.

INCRA. Instituto de Colonização e Reforma Agrária. **Total de imóveis rurais - SNCR, Apuração Especial realizada em 02/2012**. Brasília, DF. 2012.

INCRA. Instituto de Colonização e Reforma Agrária. **Relatório referente à planilha de preços referenciais da Região Norte Fluminense**. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, p. 259-263, 2006. Disponível em: http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Paper_2006.pdf. Acesso em: 10 out. 2019.

MACEDO, F. C. Análise do preço da terra no estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 35, n. 1, p. 133-155, 2015.

MEDRI, W. **Análise exploratória de dados**. Curso de Especialização "Lato Sensu" em Estatística. Londrina. PR. 2011. Disponível em: http://www.uel.br/pos/estatisticaquantitativa/textos_didaticos/especializacao_estatistica.pdf. Acesso em: 20 jan. 2019.

GEBRIM. **Mapa recebe imagens de satélite**. Brasil, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/mapa-recebe-imagens-de-satelite>. Acesso em: 06 jun. 2018.

NAKAYA, T.; CHARLTON, M.; LEWIS, P.; BRUNSDON, C.; YAO, J.; FOTHERINGHAM, S. GWR4 - User manual Windows application for Geographically Weighted Regression modelling. **Department of Geography, Ritsumeikan University**, 2014.

RIBEIRO, R. V. **Desafios ao desenvolvimento regional do Norte Fluminense**. 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. 2010.

PIQUET, R. P. S.(org). **Petróleo, royalties e região**. Rio de Janeiro: Garamond, 2003.

PROJIR. **Cartas Topográficas**, Escala 1:25.000. Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-açúcar na Região Norte-Fluminense – RJ. 1984.

SANTOS, H. G. **Efeitos espaciais em mercados de terras rurais: modelagem, validação e avaliação de desempenho.** 2014. 182 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). UFPE, Recife, 2014.

SOUZA, P. M.; PONCIANO, N. J.; MATA, H. T. C.; BRITO, M. N.; GOLINSKI, J. Padrão de desenvolvimento tecnológico dos municípios das Regiões Norte e Noroeste do Rio de Janeiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 47, n. 4, 2009.

TRIVELLONI, C. A. P. **Método para determinação do valor da localização com uso de técnicas inferenciais e Geoestatísticas na avaliação em massa de imóveis.** 2005. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). UFSC, Florianópolis, SC, 2005.

UBERTI, M. S.; ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P.; TASSINARI, W. Mass appraisal of farmland using classical econometrics and spatial modeling. **Land Use Policy**, v.72, p. 161-170, 2018.

Contribuições dos autores

Declaro que todos os autores ofereceram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como, revisão crítica foram desenvolvidas em grupo. A primeira autora Marlene Salete Uberti ficou especialmente responsável pelo desenvolvimento teórico-conceitual, interpretação e análise dos resultados. O segundo autor Mauro Antonio Homem Antunes, pela aquisição de dados e também pelas suas interpretações e análise, além das traduções do resumo do artigo para o Inglês e a terceira autora Paula Debiasi, pelos procedimentos técnicos.

Marlene Salete Uberti - Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina, mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina e doutorado em Ciência Tecnologia e Inovação em Agropecuária pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Atualmente é professora associada da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

 <https://orcid.org/0000-0002-5643-0304>

Mauro Antonio Homem Antunes - Possui Graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa. Mestrado em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Doutorado em Department Of Agricultural Meteorology, University of Nebraska Administration, NEBRASKA, Estados Unidos. Professor Titular da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

 <https://orcid.org/0000-0003-0189-6227>

Paula Debiasi - Possui graduação em Engenharia Cartográfica pela UFRGS, mestrado em Sensoriamento Remoto pelo Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da UFRGS e doutorado em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná. Atualmente é professora Associada I da Universidade Federal do Rio de Janeiro no Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade.

 <https://orcid.org/0000-0001-9518-7960>

Recebido para publicação em 1 de outubro de 2021

Aceito para publicação em 29 de novembro de 2021

Publicado em 13 de dezembro de 2021