

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOGRAFIA E GESTÃO DE TERRITÓRIO

MODELOS ESTATÍSTICOS PARA GERAÇÃO DE PLANTAS DE VALORES
GENÉRICOS EM ÁREAS URBANAS

REYNALDO FURTADO FARIA FILHO

UBERLÂNDIA - MG
2015

REYNALDO FURTADO FARIA FILHO

**MODELOS ESTATÍSTICOS PARA GERAÇÃO DE PLANTAS DE VALORES
GENÉRICOS EM ÁREAS URBANAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Geografia.

Área de Concentração: Ensino, Métodos e Técnicas em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Silva Brito

Uberlândia/MG
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

F224m 2015	<p>Faria Filho, Reynaldo Furtado, 1981- Modelos estatísticos para geração de plantas de valores genéricos em áreas urbanas / Reynaldo Furtado Faria Filho. - 2015. 128 f. : il.</p> <p>Orientador: Jorge Luis Silva Brito. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Inclui bibliografia.</p> <p>1. Geografia - Teses. 2. Bens imóveis e impostos - Teses. 3. Imposto predial e territorial urbano - Teses. I. Brito, Jorge Luis Silva. II. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.</p>
---------------	---

CDU: 910.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia

REYNALDO FURTADO FARIA FILHO

**“MODELOS ESTATÍSTICOS PARA GERAÇÃO DE PLANTAS DE VALORES
GENÉRICOS EM ÁREAS URBANAS”**



Prof. Doutor Jorge Luis Silva Brito (Orientador) - UFU



Prof. Doutor Joel Gripp Júnior – UFV



Professor Doutor Ricardo Seixas Brites – UNB



Professor Doutor Ednaldo Carvalho Guimarães - UFU



Professor Doutor Roberto Rosa – UFU

Data: 27/02/2015.

Resultado: Aprovado.

DEDICATÓRIA

A minha esposa, Rosiane, e às minhas filhas Laura e Júlia.

Aos meus pais, Reynaldo e Terezinha (in memoriam) e às minhas irmãs Renata e Roberta.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Jorge Brito pela orientação e pelos conselhos que sempre me ajudaram durante esta caminhada.

Aos Professores Ednaldo Carvalho Guimarães e Roberto Rosa pelas sugestões valiosas no exame de qualificação.

À Universidade Federal de Viçosa, por ter concedido meu afastamento das atividades docente pelo período de 2 anos viabilizando a realização do doutorado.

À minha esposa Rosiane Gonçalves pela compreensão, pela paciência, pelo companheirismo de todas as horas e por aceitar ser a primeira revisora desta tese.

Aos amigos Flávio e Elisa, Leonardo e Patrícia, e Antônio e Thiara por ajudarem a cuidar das meninas nos vários dias em que me ausentei.

Ao Jules e família por estarem sempre dispostos a me ajudar, inclusive no levantamento de campo.

Ao Samuel por sempre me auxiliar nos trabalhos de campo.

Ao Maurício da CSI Imobiliária por auxiliar no entendimento do mercado imobiliário em São Gotardo.

À, Jackeline, gerente geral da Caixa Econômica Federal, por ter disponibilizado os laudos de avaliação de todos os processos de empréstimos realizados em São Gotardo em 2012/2013.

À, Ieda, responsável pelo setor de Tributação de São Gotardo, por disponibilizar as informações que contribuíram para a realização desse trabalho.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFU, por todo o ensinamento compartilhado e aos funcionários pela colaboração.

A todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização desta tese.

RESUMO

O cálculo do Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU) tem como base o valor venal do imóvel, que deve corresponder ao valor de venda à vista, geralmente estabelecido na planta de valores genéricos (PVG) dos municípios. Mediante esse imposto, os municípios podem obter recursos financeiros, devolvendo-os à sociedade na forma de serviços sociais. No entanto, existem municípios, principalmente os de pequeno porte, que não realizam a cobrança do IPTU. Este fato se deve à desatualização do cadastro imobiliário, à falta de metodologia robusta e fácil para a determinação do valor venal, de pessoal capacitado e de recursos financeiros. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é aplicar a combinação do modelo de regressão espacial e a modelagem dos fatores de localização para determinar o valor venal de cada imóvel de um município de pequeno porte para a geração da planta de valores genéricos. O estudo foi desenvolvido na cidade de São Gotardo/MG, a qual se encontra localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e teve uma arrecadação de R\$17,68 por pessoa com IPTU no ano de 2012. Foram utilizadas 184 amostras de avaliações de imóveis residenciais realizadas pela Caixa Econômica Federal no período de 2012 a 2013. Todos os modelos foram gerados utilizando 166 amostras, uma vez que 10%, ou seja, 18 imóveis foram extraídos para avaliar a qualidade de predição do modelo de regressão final. Para analisar a aplicação dos modelos espaciais foram gerados quatro modelos de regressão múltipla a partir das variáveis dependentes logaritmo do valor total e do valor unitário e as independentes relativas às características construtivas das edificações, conforme estudo anteriores, bem como foram testadas variáveis adicionais referentes às características do terreno. Para os modelos que apresentaram dependência espacial no erro foi gerado o modelo espacial do erro para determinar uma nova variável homogeneizada que englobasse o fator localização, (VH), a qual foi utilizada como variável independente de um novo modelo de regressão linear. A escolha do melhor modelo de regressão se deu a partir da análise do menor Coeficiente de Dispersão resultante das 18 amostras não utilizadas na geração dos modelos de regressão, bem como pelo atendimento aos pressupostos do modelo de regressão linear. O modelo com a variável dependente logaritmo do valor unitário e a variável homogeneizada como independente foi o que apresentou melhor resultado, atendendo a todos pressupostos. Dessa forma, foi possível verificar que a variável homogeneizada, gerada a partir do modelo de erro espacial, melhora a performance do modelo de regressão linear, visto que insere o fator localização dos imóveis nas variáveis independentes. Assim, para determinar o valor do imóvel de maneira mais fidedigna deve-se considerar aspectos que vão além dos limites do imóvel, aspectos que são, na maioria das vezes, negligenciados pelo poder público no momento de determinação do valor base para cobrança do IPTU.

Palavras- chave: valor venal do imóvel, município de pequeno porte, modelo espacial, IPTU, planta de valores genéricos.

ABSTRACT

The calculation of the Tax on Land and Urban property (IPTU) is based on property market value, which must match the value of cash sale, usually established in the city table of general values (PVG). These taxes provide municipalities with resources that are used in social services. However, there are municipalities, especially small ones, that do not collect IPTU taxes. This is due to outdated real estate cadastre, besides the lack of qualified personnel, financial resources and robust and easy methodology to determine real estate market value. Therefore, the present work aims to apply the combination of the spatial regression model and location factor modeling to determine the market value of each property in a small city for the generation of the table of general values (PVG). The study was conducted in the city of São Gotardo/MG, in the middle region of the Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, which collected R\$ 17.68 per person with property tax (IPTU), in 2012. One hundred and eighty-four samples of residential real estate evaluations made by the Caixa Econômica Federal in 2012 and 2013 were used. All models were generated using 166 samples, since 10%, ie, 18 properties, were excluded to evaluate the quality of the prediction of the final regression model. Aiming to analyze the application of spatial models, four multiple regression models were generated based on the logarithm dependent variables of the total and unit value and the independent variables related to the construction characteristics of the buildings, according to previous studies. Additional variables related to the characteristics of the land were also tested. For the models with spatial error dependence, a spatial error model was generated to determine a new homogenized variable encompassing the location factor (VH), which was used as independent variable of a new linear regression model. The best regression model was selected based on the observance of the assumptions of the linear regression model and the analysis of the lowest Dispersion Coefficient resulting from the 18 samples that were not used in the generation of regression models. The model with the logarithm dependent variable of the unit value and the homogenized variable as independent showed the best result and observed all the assumptions. Thus, it was demonstrated that the homogenized variable generated from the spatial error model improves the performance of the linear regression model, since it includes the location factor of the property in the independent variables. Therefore, in order to determine property value with the highest possible accuracy, it is necessary to consider, besides real estates, other aspects often neglected by the government in the valuation of the basic value for tax (IPTU) collection.

Keywords: property market value, small towns, spatial model, property tax, IPTU, table of general values

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre as faixas de população dos municípios brasileiros e o número de municípios que possuem cadastro imobiliário informatizado e não informatizado, os que possuem planta de valores genéricos informatizada e não informatizada e o número de municípios que fazem a cobrança do IPTU.....	22
Figura 2 - Arrecadação do IPTU por habitante em cada estado brasileiro e nacional em 2012	23
Figura 3 - (a) Dependência espacialmente desfasada e (b) dependência espacial dos erros....	45
Figura 4 - (a) contiguidade rainha (<i>queen</i>) e (b) torre (<i>rook</i>).....	48
Figura 5 - Explicação de Y devido à X, ou seja, R^2 (de zero (a) à 100% (e)).....	51
Figura 6 - Componentes do variograma e seus principais modelos	53
Figura 7 - Método de (a) ligação simples, (b) ligação completa e (c) ligação média.....	60
Figura 8 - Fluxograma com os procedimentos adotados no trabalho	61
Figura 9 - Município de São Gotardo	63
Figura 10 - Mapa de São Gotardo com a localização de cada imóvel avaliado e os imóveis selecionados para análise da qualidade dos modelos de regressão gerados.....	70
Figura 11 - Porcentagem do número de imóveis por faixas de valores de financiamento da CEF, no período de 2012 a 2013	80
Figura 12 - Porcentagem do número de imóveis por formato do terreno dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013	81
Figura 13 - Porcentagem do número de imóveis por cota do terreno dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013	82
Figura 14 - Porcentagem do número de imóveis por inclinação do terreno dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013.....	82
Figura 15 - Área média dos terrenos dos imóveis conforme faixas de valores dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013	83
Figura 16 - Porcentagem do número de imóveis pela situação do terreno dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013.....	84
Figura 17 - Porcentagem do número de imóveis por número de pavimentos dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013	84
Figura 18 - Porcentagem do número de imóveis por padrão de acabamento dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013	85

Figura 19 - Porcentagem do número de imóveis por estado de conservação dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013	86
Figura 20 - Porcentagem do número de imóveis por presença ou não de garagens dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013	87
Figura 21 - Média da área construída dos imóveis por faixa de financiamento da CEF, no período de 2012 a 2013	87
Figura 22 - Média do número de banheiros dos imóveis por faixa de financiamento da CEF, no período de 2012 a 2013	88
Figura 23 - Semivariograma isotrópico da variável homogeneizada VH_{U1}	106
Figura 24 - Mapa de VH_{U1} espacializado a partir da krigagem.....	107
Figura 25 - Homocedasticidade: gráfico dos resíduos versus valores estimados.....	108
Figura 26 - Normalidade e pontos atípicos: gráfico dos resíduos padronizados pelo valor estimado	109
Figura 27 - Semivariograma isotrópico e suas características para o valor unitário observado e estimado.	113
Figura 28 - (a) Mapa dos valores unitários avaliados pela CEF e (b) Mapa dos valores unitários estimados pelo modelo de regressão M_{12}	114
Figura 29 - Mapa do erro (em porcentagem) do valor unitário dos imóveis.	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Alguns parâmetros analisados na determinação do grau de fundamentação..... 32

Quadro 2 - Valores de COD aceitáveis de acordo com o tipo de imóvel 58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis disponíveis nas avaliações de imóveis da CAIXA	67
Tabela 2 - Resumo dos resultados da análise de agrupamentos	68
Tabela 3 - Resumo dos modelos de regressão linear gerados pela técnica <i>stepwise</i> e suas variáveis	71
Tabela 4 - Combinações dos modelos de regressão linear e suas variáveis.....	73
Tabela 5 - Frequência das variáveis qualitativas dos imóveis analisados no período de 2012 e 2013.....	78
Tabela 6 - Estatística descritiva das variáveis quantitativas dos imóveis analisados no período de 2012 e 2013.....	79
Tabela 7 - Correlação entre as variáveis dependentes valor total dos imóveis (VT) e logaritmo do valor total dos imóveis $\ln(VT)$ e as variáveis independentes quantitativas	89
Tabela 8 - Modelo de regressão (M_1) log-log referente à variável dependente logaritmo do valor total dos imóveis (VT).....	90
Tabela 9 - Correlação entre as variáveis dependentes valor unitário dos imóveis (VU) e logaritmo do valor unitário dos imóveis $\ln(VU)$ e as variáveis independentes quantitativas.	91
Tabela 10 - Modelo de regressão (M_2) log-log referente à variável dependente o logaritmo do valor unitário dos imóveis (VU)	92
Tabela 11 - Testes de autocorrelação espacial de VT	94
Tabela 12 - Modelo de defasagem espacial (M_4) para $\ln(VT)$	94
Tabela 13 - Testes de autocorrelação espacial de VU	95
Tabela 14 - Modelo MQO (M_7) com a variável de localização VH_U	97
Tabela 15 - Testes de autocorrelação espacial de $\ln(VU)$ com a variável independente VH_U	98
Tabela 16 - Testes de autocorrelação espacial de $\ln(VT)$	99
Tabela 17 - Modelo de defasagem espacial (M_9) para $\ln(VT)$	100
Tabela 18 - Testes de autocorrelação espacial de $\ln(VU)$	101
Tabela 19 - Modelo MQO (M_{12}) com a variável de localização VH_{U1}	103
Tabela 20 - Testes de autocorrelação espacial de $\ln(VU)$ com a variável independente VH_{U1}	103
Tabela 21 - Valores de COD e pressupostos de cada modelo gerado	104
Tabela 22 - Erro para todas as amostras e somente para as amostras de validação	112

Tabela 23 - Erro do mapa dos valores unitários determinados a partir do modelo M_{12} 116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEF - Caixa Econômica Federal

COD - Coeficiente de Dispersão

CTM - Cadastro Técnico Multifinalitário

CTN - Código Tributário Nacional

FINBRA - Finanças do Brasil

FPM - Fundo de Participação dos Municípios

IAAO - International Association of Assessing Officers

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IPTU - Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana

ISS - Imposto Sobre Serviços

ITBI - Imposto sobre Transmissão de Bens Inter Vivos

ITR - Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural

LM - Multiplicador de Lagrange Robusto

MCRL - Modelo Clássico de Regressão Linear

MQO - Mínimos Quadrados Ordinários

NBR - Norma Brasileira

PVG - Planta de Valores Genéricos

W - Matriz de pesos

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Considerações iniciais.....	17
1.2. O problema e sua importância	19
1.3. Hipóteses.....	25
1.4. Objetivos.....	25
2. REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1. IPTU	27
2.2. Normatização para avaliação de imóveis urbanos no Brasil	31
2.3. Avaliação em massa de imóveis urbanos	32
2.4. Planta de valores genéricos (PVG).....	34
2.5. Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM).....	37
2.6. Modelo de regressão múltipla aplicado à avaliação em massa de imóveis.....	38
2.6.1. Hipóteses do modelo clássico de regressão linear (MCRL).....	39
2.7. Modelos de regressão espacial aplicada à avaliação em massa de imóveis	43
2.7.1. Matriz de pesos espaciais (W)	47
2.7.2. Escolha do modelo a adotar	49
2.8. Medidas do grau de ajuste dos modelos.....	49
2.8.1. Coeficiente de determinação R^2	49

2.8.2. Coeficiente de determinação ajustado (R^2_a).....	51
2.9. Geoestatística aplicada à avaliação em massa de imóveis	52
2.10. Determinação do valor da localização	54
2.11. Verificação da qualidade da avaliação em massa	57
2.12. Análise de agrupamentos (clusters).....	59
3. METODOLOGIA	61
3.1. Caracterização da área de estudo	62
3.2. Base de dados	63
3.2.1. Variáveis disponíveis.....	64
3.3. Seleção das amostras para análise da qualidade dos modelos de regressão	68
3.4. Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL)	69
3.5. Modelo de Regressão Espacial.....	72
3.6. Análise do desempenho dos modelos gerados.....	74
3.7. Escolha do melhor modelo de regressão gerado.....	75
3.8. Análise do modelo de regressão final	75
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.1. Estatística descritiva das variáveis	77
4.1.1. Análise das variáveis independentes em relação ao valor total dos imóveis	79
4.2. Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL)	88
4.2.1. Modelo de regressão linear com variável dependente VT	88
4.2.2. Modelo de regressão linear com variável dependente VU.....	90
4.3. Modelo de Regressão Espacial.....	92
4.3.1. Utilização das variáveis construtivas como independentes	93
4.3.1.1. Variável dependente: $\ln(VT)$	93
4.3.1.2. Variável dependente: $\ln(VU)$	95
4.3.2. Utilização de todas as variáveis disponíveis como independentes	98
4.3.2.1. Variável dependente: $\ln(VT)$	98
4.3.2.2. Variável dependente: $\ln(VU)$	100
4.4. Escolha do melhor modelo de regressão.....	104
4.5. Análise do modelo de regressão final	105
4.5.1. Determinação da variável homogeneizada VH_{U1} para São Gotardo	105
4.5.2. Análise dos resíduos do modelo M_{12}	108
4.5.3. Estudo dos sinais das variáveis independentes do modelo M_{12}	109
4.5.4. Avaliação prática do modelo M_{12}	111

5. CONCLUSÃO	117
6. REFERÊNCIAS	119
7. ANEXO A	128

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

As crescentes demandas sociais decorrentes do desenvolvimento urbano e a escassez dos recursos fiscais têm exigido das administrações públicas grandes esforços para manter o equilíbrio orçamentário-financeiro entre receita e despesa dos municípios brasileiros (FREIRE et al., 2006).

As receitas tributárias próprias dos municípios são os impostos, taxas e contribuição de melhoria cuja competência é atribuída constitucionalmente à esfera local de governo. Os impostos com arrecadação integral destinados às prefeituras que os instituírem são: Imposto Sobre Serviços (ISS), Imposto sobre Transmissão de Bens Inter Vivos (ITBI) e Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU) (BRASIL, 2013).

Cada município organiza o seu sistema de arrecadação com um código tributário próprio, mas respeitando as normas presentes na Constituição e no Código Tributário Nacional (CTN). O ISS incide sobre a prestação de serviços a terceiros, o ITBI sobre as transações que envolvem a transferência da propriedade de bens imóveis e o IPTU sobre os proprietários de imóveis localizados na área urbana da cidade (BRASIL, 2013).

A forma de organização nos três níveis de governo (União, Estados somado ao Distrito Federal e Municípios) facilita a definição das competências tributárias. A Constituição Federal de 1988 determina que o IPTU deve ser de competência municipal. No artigo 32 do Código Tributário Nacional (5.172/66) são definidas as normas gerais sobre a base de cálculo, o fato gerador e as hipóteses de incidência do IPTU (BRASIL, Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966).

O cálculo do IPTU tem como base o valor venal do imóvel o qual deve corresponder ao valor de venda à vista, sendo determinado pelo somatório do valor do terreno e da construção (AFONSO et al., 2010). De acordo com Florêncio (2010), os critérios para a determinação do valor venal de cada imóvel do município é estabelecida pelas Plantas de Valores Genéricos (PVG). O referido autor cita ainda, que a maior parte das PVG dos municípios brasileiros está desatualizada ou foram atualizadas mediante índices de inflação devido à facilidade de encaminhamento legal.

A partir do ano de 2000, os municípios tiveram que iniciar um processo de adequação no que se refere à forma de se cobrar o IPTU. Por diversos anos, este imposto foi negligenciado por alguns administradores públicos. Entretanto, a partir da chamada Lei de responsabilidade fiscal, os Prefeitos se viram obrigados a atualizar os cadastros imobiliários urbanos, bem como efetuar a cobrança do IPTU da forma correta, sob pena de sofrerem sanções por praticarem a renúncia de receita conforme está previsto no parágrafo 1º, do Art. 14, da Seção II, do Capítulo III, da Lei Complementar Nº 101, de 4 de Maio de 2000, escrito da seguinte forma:

§ 1º A renúncia compreende anistia, remissão, subsídio, crédito presumido, concessão de isenção em caráter não geral, alteração de alíquota ou modificação de base de cálculo que implique redução discriminada de tributos ou contribuições, e outros benefícios que correspondam a tratamento diferenciado.

Os municípios de pequeno porte¹, principalmente, enfrentam dificuldades para realizar a cobrança do IPTU devido à desatualização do cadastro imobiliário, à falta de uma metodologia robusta e de fácil utilização na determinação do valor venal dos imóveis urbanos, de pessoal capacitado e de recursos financeiros.

Em termos de fonte de renda própria dos municípios, o IPTU pode ser considerado, para a maior parte dos municípios, como a segunda fonte de renda própria mais importante, conforme dados de 2012 (FINBRA, 2014). Assim, uma gestão tributária eficiente no município poderia aumentar as fontes de recursos, gerando maiores possibilidades de investimentos no mesmo. Muitos municípios brasileiros não observaram esta importante fonte de receita, pois ainda utilizam processos arcaicos para a avaliação de imóveis o que traz prejuízos ora para a municipalidade como um todo, ora para os contribuintes isoladamente (MÖLLER, 2013).

1.2. O problema e sua importância

Em diversos países do mundo o IPTU é o mais tradicional financiador das atividades dos governos locais, mas no Brasil, observa-se que este imposto está em nível muito abaixo do seu real potencial quando se faz uma comparação dos indicadores da arrecadação brasileira de IPTU em relação ao PIB de outros países (CARVALHO Jr., 2011). Diversos autores constataram este fato, visto que, a arrecadação do IPTU tem se mantido em torno de 0,5% do PIB, enquanto que em países como os Estados Unidos, Reino Unido, Nova Zelândia e Austrália o imposto representa de 2 a 3% do PIB (AFONSO & ARAUJO, 2000; ERBA et al., 2005; CARVALHO Jr., 2006). Este fato demonstra pouca evolução na forma de cálculo e arrecadação do IPTU na maioria dos municípios brasileiros.

¹ Municípios abaixo de 50.000 habitantes (IBGE, 2014a).

Por muito tempo, as Prefeituras criavam ou atualizavam ao fim de cada exercício fiscal um conjunto de plantas cadastrais analógicas que continham todas as ruas da cidade. Nessas plantas eram inseridos os valores representativos do metro quadrado de cada face de quadra possibilitando a determinação do valor venal de cada imóvel (seja terreno ou construção) e posteriormente o valor do IPTU. Atualmente, este processo de utilizar plantas cadastrais analógicas se tornou obsoleto, mas o nome planta de valores ainda é utilizado. A cobrança justa² do IPTU decorre de um efetivo processo de avaliação que traduza perfeitamente o conjunto de valores assumidos pelos imóveis urbanos do município, em certo período de tempo (MOREIRA, 2005).

Como a base de cálculo do IPTU é o valor venal dos imóveis, a administração municipal deve sempre determiná-lo de forma mais realista possível, fazendo com que este valor esteja o mais próximo do valor de mercado. Porém, devido à complexidade para a sua determinação, bem como pelo elevado número de imóveis a serem avaliados, isso se torna uma tarefa árdua (CARVALHO Jr., 2011).

De acordo com Afonso et al. (2010), a maioria das avaliações imobiliárias brasileiras são pautadas em parâmetros antigos e desprezam os aspectos dinâmicos que impactam a valorização dos imóveis, comprometendo a arrecadação do IPTU. Aliado a isso, está o fato das avaliações serem fortemente condicionadas por questões de natureza política. Segundo Carvalho Jr. (2006, p. 23), *“muitos municípios utilizam o mesmo valor do terreno para determinada zona da cidade ou até para todo o perímetro urbano, gerando distorções significativas no nível das avaliações”*.

A análise da situação atual do Brasil, em relação à cobrança do IPTU, bem como à informatização dos municípios no que se refere ao cadastro imobiliário e planta de valores

² A palavra “justa” está inserida no contexto de que o proprietário cujo imóvel é de maior e/ou de melhor qualidade paga um IPTU maior que um imóvel de qualidade inferior.

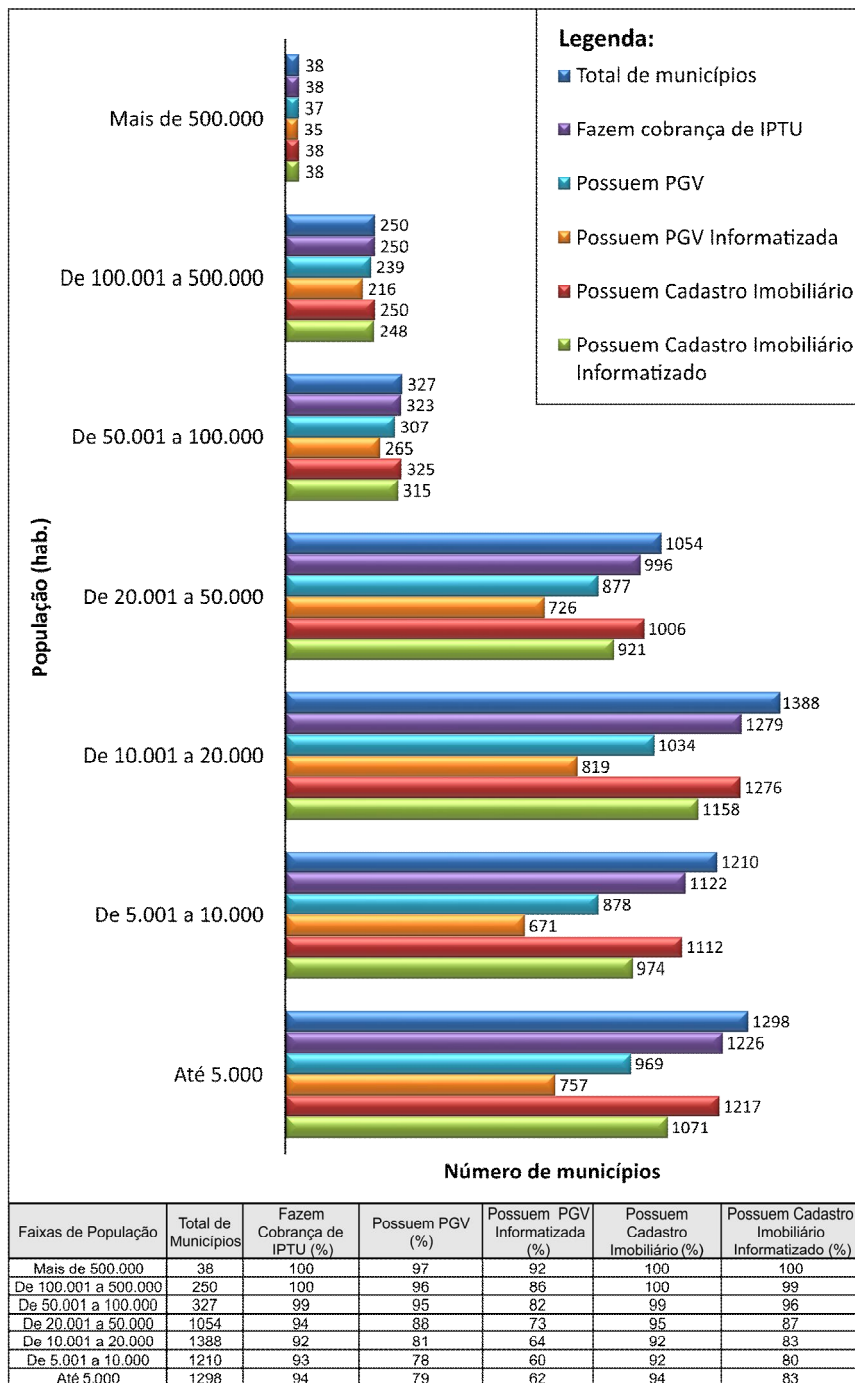
genéricos pode ser feita por meio da Figura³ 1. Nessa figura está apresentada a relação entre as faixas de população dos municípios e o número de municípios que possuem cadastro imobiliário informatizado e não informatizado, os que possuem planta de valores genéricos informatizada e não informatizada, bem como o número de municípios que fazem a cobrança do IPTU.

A partir da Figura 1 é possível verificar que os municípios com populações maiores possuem maior grau de informatização dos cadastros técnicos e PVG. Outra informação importante a ser destacada é que ainda existem municípios que não realizam cobrança de IPTU.

De acordo com informações do IBGE (2014b), no ano de 2012 a arrecadação do IPTU no Brasil foi de cerca de R\$ 107,40 por habitante, enquanto que, a média nacional não foi seguida na maior parte dos estados, conforme verifica-se na Figura 2. É possível observar que os maiores valores de arrecadação por habitante foram R\$ 251,60, R\$ 154,90 e R\$ 126,60, nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul, respectivamente. O menor valor foi no estado do Maranhão com apenas R\$ 9,80 por habitante. Portanto, fica evidente a disparidade de arrecadação de IPTU entre os estados brasileiros.

³ Geradas a partir dos dados disponíveis no site da FINBRA (Finanças do Brasil) para 2012 (FINBRA, 2014).

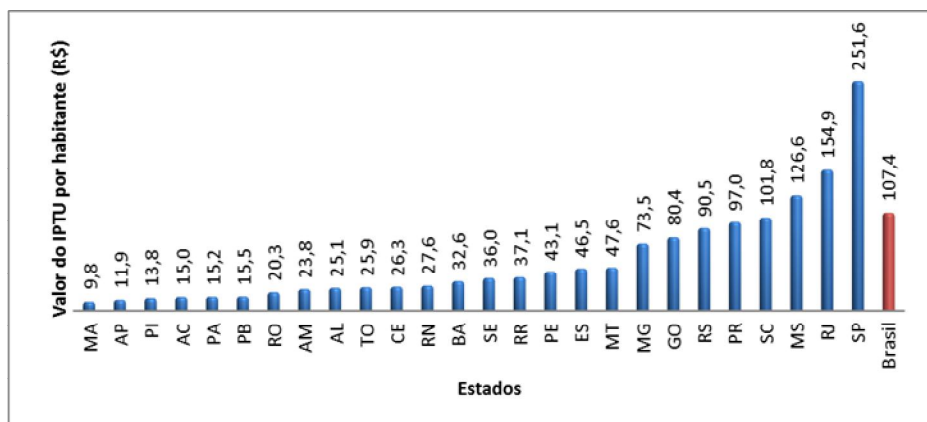
Figura 1 - Relação entre as faixas de população dos municípios brasileiros e o número de municípios que possuem cadastro imobiliário informatizado e não informatizado, os que possuem planta de valores genéricos informatizada e não informatizada e o número de municípios que fazem a cobrança do IPTU



Nota: a tabela acima apresenta a porcentagem em relação ao total de municípios para cada faixa de população.

Fonte: elaborado pelo Autor com base nos dados da FINBRA para o ano de 2012 (FINBRA, 2014).

Figura 2 - Arrecadação do IPTU por habitante em cada estado brasileiro e nacional em 2012



Fonte: elaborado pelo Autor com base nos dados disponíveis no site do IBGE (2014b).

Acrescenta-se o problema da maior parte das planta de valores genéricos dos municípios brasileiros estarem desatualizadas ou atualizadas por índices de inflação, o que não é correto, pois a cidade não tem valorização ou desvalorização da mesma forma em todos os locais (FLORÊNCIO, 2010). O mesmo autor relata alguns aspectos que explicam distorções no cálculo das Plantas de Valores Genéricos (PVG):

- a dificuldade em quantificar e qualificar os diversos atributos (características físicas, locacionais e econômicas) que definem o valor do imóvel;
- a utilização de modelos de Regressão Linear, os quais necessitam considerar alguns pressupostos básicos como verdadeiros, que nem sempre são válidos para o mercado imobiliário.

Outro fato a se destacar é que, em muitos casos, as estimativas dos valores dos imóveis tem como nível de rigor na apuração o tipo expedito, que é uma avaliação realizada de forma subjetiva não utilizando nenhum procedimento matemático ou estatístico (BRAULIO, 2005), sendo que muitas dessas estimativas são realizadas a partir da experiência ou opinião pessoal.

Uma alternativa para a melhor determinação da PVG é a utilização da avaliação em massa, uma vez que, para o cálculo do valor de um imóvel deve-se levar em consideração os valores construtivos como a valorização do imóvel em decorrência de sua localização, acessibilidade, infraestrutura (coleta de lixo, esgoto, pavimentação, iluminação pública etc.), proximidade com hospitais, parques, centros comerciais, dentre outros (MEDVEDCHIKOFF, 2009). Silva & Verdinelli (2000) definem que a avaliação em massa consiste *“na determinação de valores para todos os imóveis situados dentro de um determinado perímetro, pelo emprego de procedimentos avaliatórios, que devem ser respaldados legalmente”*.

Metodologicamente, o que tem se destacado na determinação do valor venal dos imóveis para gerar a PVG é a avaliação em massa por meio da utilização de técnicas que empregam a econometria espacial. Trivelloni (2005) utilizou a econometria espacial com a análise e modelagem dos fatores de localização dos imóveis. Ao final do trabalho, obteve o valor do m² médio de cada face de quadra da sua área de estudo, gerando a PVG.

Não existe um consenso na literatura quanto a melhor metodologia para determinação do valor venal do imóvel, numa avaliação em massa, principalmente para municípios de pequeno porte, uma vez que não foram encontrados na literatura trabalhos relacionados a municípios pequenos.

Esses municípios de pequeno porte são os que mais carecem de informações e técnicas que se adequem a sua realidade referente à avaliação de imóveis, uma vez que conforme Figura 1, são nesses municípios que às vezes o IPTU nem é cobrado, deixando de arrecadar recursos que poderiam ser revertidos para sociedade na forma de melhor prestação de serviços.

Nesse sentido, este estudo propôs verificar a aplicabilidade e a confiabilidade da econometria espacial juntamente com a modelagem dos fatores de localização na geração dos

valores venais de imóveis da área urbana de uma cidade de pequeno porte, com a finalidade de gerar a planta de valores genéricos para a mesma.

Esse trabalho propõe ainda, a utilização destas técnicas para gerar um modelo de regressão que possa determinar o valor de cada imóvel individualmente, ao invés de se ter o valor do m² médio de cada quadra. Esta aplicação se torna factível e fundamental à medida que cerca de 3.489 (de um total de 5.565) municípios possuem planta de valores genéricos informatizados (Figura 1). Portanto, a planta de valores genéricos seria composta pelo valor venal individual de cada imóvel contido na área urbana de uma cidade.

1.3. Hipóteses

- a planta de valores genéricos pode ser determinada considerando cada imóvel individualmente por meio da combinação dos modelos de regressão espacial e a modelagem dos fatores de localização;
- a inserção de características do terreno melhora a estimativa da variável referente à localização em comparação ao modelo que utiliza somente as características construtivas das edificações.

1.4. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é aplicar a combinação do modelo de regressão espacial e a modelagem dos fatores de localização para determinar o valor venal de cada imóvel de uma área urbana de uma cidade de pequeno porte (menor que 50.000 hab.) para geração da planta de valores genéricos.

Como objetivos específicos deste trabalho, destaca-se:

- aplicar o método comparativo de dados de mercado, por meio da avaliação em massa, para gerar o valor venal de cada imóvel de uma área urbana;
- comparar os resultados dos modelos de regressão espacial com o modelo clássico de regressão linear; e
- verificar quais variáveis são significativas na determinação do valor dos imóveis para o local estudado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. IPTU

O Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) é regido pelos artigos 32 a 34 do Código Tributário Nacional, conforme descrito a seguir (BRASIL, Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966):

Art. 32. O imposto, de competência dos Municípios, sobre a propriedade predial e territorial urbana tem como fato gerador a propriedade, o domínio útil ou a posse de bem imóvel por natureza ou por acessão física, como definido na lei civil, localizado na zona urbana do Município.

§ 1º Para os efeitos deste imposto, entende-se como zona urbana a definida em lei municipal; observado o requisito mínimo da existência de melhoramentos indicados em pelo menos 2 (dois) dos incisos seguintes, construídos ou mantidos pelo Poder Público:

I - meio-fio ou calçamento, com canalização de águas pluviais;

II - abastecimento de água;

III - sistema de esgotos sanitários;

IV - rede de iluminação pública, com ou sem posteamento para distribuição domiciliar;

V - escola primária ou posto de saúde a uma distância máxima de 3 (três) quilômetros do imóvel considerado.

§ 2º A lei municipal pode considerar urbanas as áreas urbanizáveis, ou de expansão urbana, constantes de loteamentos aprovados pelos órgãos competentes, destinados à habitação, à indústria ou ao comércio, mesmo que localizados fora das zonas definidas nos termos do parágrafo anterior.

Art. 33. A base do cálculo do imposto é o valor venal do imóvel.

Parágrafo único. Na determinação da base de cálculo, não se considera o valor dos bens móveis mantidos, em caráter permanente ou temporário, no imóvel, para efeito de sua utilização, exploração, aformoseamento ou comodidade.

Art. 34. Contribuinte do imposto é o proprietário do imóvel, o titular do seu domínio útil, ou o seu possuidor a qualquer título.

Na zona urbana citada acima, na lei 5.172/66, podem existir imóveis rurais que são definidos como *“prédio rústico, de área contínua qualquer que seja a sua localização que se destina à exploração extrativa agrícola, pecuária ou agro-industrial, quer através de planos públicos de valorização, quer através de iniciativa privada”* (BRASIL, Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964). Portanto, segundo o Decreto 57/66 estes imóveis rurais serão tributados pelo Imposto sobre a Territorial Rural (ITR) e não pelo IPTU (BRASIL, Decreto-Lei nº 57, de 18 de novembro de 1966).

Assim, a determinação do valor venal do imóvel deve ser realizada pela administração municipal por meio de uma estimativa do preço de venda do imóvel. Na determinação desse valor devem ser considerados os atributos que valorizam ou desvalorizam os imóveis, como atributos físicos (área construída, área do lote, padrão de acabamento, dentre outros), proximidade de equipamentos e serviços de infra-estrutura urbana, áreas de lazer e pontos comerciais (AFONSO, 2010).

O valor venal do imóvel é determinado na maioria dos municípios brasileiros pela soma do valor do terreno com o da construção. Portanto, é determinado o valor médio do metro quadrado dos terrenos e das edificações por zonas homogêneas do município. Na avaliação dos terrenos são considerados os seus atributos físicos e locacionais, enquanto que, nas edificações o valor base é determinado por orçamentos genéricos para tipologias construtivas pré-definidas (AFONSO, 2010).

Barreto & Martins (1998, p. 242-243 *apud* TRISTÃO, 2003) versam a respeito da estimativa do valor venal do imóvel da seguinte forma:

A fixação dessa estimativa carece, portanto, de avaliação de cada imóvel, não sendo possível, dessa forma, estabelecer, previamente, em lei, o quantum do imposto. A determinação numérica do valor venal só poderá ser realizada a posteriori. Por conseguinte, tratando-se de imposto avaliável, pode-se optar por uma destas formas:

- a) proceder a avaliações individuais, inteiramente a cargo dos agentes tributadores;
- b) empregar o sistema de avaliação em massa, isto é, proceder a avaliações com lastro em regras e métodos pré-determinados, mediante o emprego de pessoal especializado e adrede distribuído nas várias fases do processo.

Tristão (2003) comenta que de modo geral os municípios brasileiros têm adotado a utilização do sistema de avaliação em massa, que é um instrumento legal, no qual é gerada a chamada planta de valores, ou planta de valores genéricos, e que possibilita às autoridades municipais determinar a base de cálculo do IPTU de modo mais eficiente.

No que se refere às alíquotas praticadas, Averbeck (2003) diz que não existe um limitador, pois cada município define quanto deseja arrecadar de acordo com suas características e necessidades. Mas apesar disso, a alíquota não deve tornar o imposto proibitivo ou confiscatório. Para Afonso (2010), as prefeituras, geralmente, praticam alíquotas diferentes para imóveis residenciais, comerciais e industriais e para terrenos.

Na pesquisa de Carvalho Jr. (2006) foi constatado que os valores das alíquotas praticadas no Brasil se situam entre 0,3% e 1,5%. Em pesquisa anterior Averbeck (2003) encontrou municípios que utilizavam alíquotas entre 0,2% e 2%, sendo que as maiores são para terrenos desocupados e as menores para residências populares.

No geral, a arrecadação do IPTU no Brasil, possui um desempenho fraco, resultado dos cadastros e plantas de valores estarem desatualizadas ou nem existirem, bem como, pela baixa eficiência na sua arrecadação devido à tolerância/omissão dos administradores na cobrança (AVERBECK, 2003). Santoro et al. (2010) destaca alguns motivos que fazem com que o IPTU não seja cobrado com eficácia e equidade no Brasil: planta de valores genéricos

desatualizada, isenção ou não cobrança do IPTU, resistência política para aprovação da atualização da planta de valores genéricos pela Câmara, dentre outros.

Segundo Michael (2004), apesar do IPTU ser uma importante fonte de receita verifica-se que muitos municípios utilizam fatores de homogeneização e métodos empíricos predeterminados sem procurar desenvolver um modelo econométrico que considere as condições reais e os fatores locais do mercado imobiliário.

Muitas vezes, os municípios de pequeno porte isentavam a população do pagamento do IPTU, por ser pouco interessante do ponto de vista eleitoral (MOURA & CARNEIRO, 2004). Afonso (2010) relata que nos municípios menos populosos a proximidade do eleitor com as autoridades locais é bem maior que nos grandes centros, incorrendo em uma falta de interesse dessas autoridades em cobrar o tributo. Esse fato é fortalecido, pois municípios menores recebem maior repasse per capita de recursos do governo federal em relação aos municípios mais populosos.

Nesse contexto, Averbek (2003) relata que a receita proveniente dos tributos locais (principalmente o IPTU) tem impacto menor que 3% em toda a arrecadação do município, pois os maiores volumes dos recursos são provenientes das transferências intergovernamentais, no qual se destacam o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), de repasse estadual, e o Fundo de Participação dos Municípios (FPM), de repasse federal.

Entretanto, após a chamada Lei de Responsabilidade Fiscal os municípios que não cuidarem das suas fontes de receita própria poderão sofrer sanções como não receber transferências voluntárias do governo federal e estadual comprometendo a maioria de suas obras, que são financiadas por esses recursos. Aliado às sanções aos municípios, os administradores (prefeitos) também estão sujeitos a diversas punições como indenização

monetária, perda de direitos políticos e até serem presos por improbidade administrativa (MÖLLER & HOCHHEIM, 2006).

2.2. Normatização para avaliação de imóveis urbanos no Brasil

A norma que rege a avaliação de imóveis urbanos no Brasil é a NBR 14653-2, a qual está em vigor desde março de 2011, em sua segunda edição. Essa norma tem como objetivo fixar as diretrizes para avaliação de imóveis urbanos quanto à classificação de sua natureza, instituição de terminologia, definições, símbolos e abreviaturas, descrição das atividades e metodologias básicas, especificações das avaliações e requisitos básicos de laudos e pareceres técnicos de avaliação (NBR 14653-2, 2011).

Dentre os diversos métodos para determinar o valor de um bem destaca-se o método comparativo direto de dados de mercado⁴, que de acordo com a NBR 14653-2 deve ser desenvolvido seguindo os seguintes procedimentos:

✓ ***Planejamento da pesquisa:*** nesta etapa procura-se identificar os imóveis que serão utilizados como amostras no desenvolvimento do modelo. Essas amostras devem ter características parecidas às do imóvel avaliando. Elabora-se a estratégia de pesquisa que “refere-se à abrangência da amostragem e às técnicas a serem utilizadas na coleta e análise dos dados”;

✓ ***Identificação das variáveis do modelo:*** nesta etapa identificam-se no mercado quais variáveis dependentes (por exemplo, preço total ou unitário) e independentes (características físicas, de localização e econômicas) devem ser utilizadas no modelo inicial;

⁴ É o método mais utilizado e recomendado na avaliação em massa de imóveis (BRÁULIO, 2005; DALAQUA, 2007; GAZOLA, 2002; GONZÁLES, 2002).

✓ **Levantamento dos dados de mercado:** esta etapa tem como objetivo adquirir amostras representativas do mercado, por meio de fontes confiáveis e que representem o imóvel avaliando; e

✓ **Tratamento de dados:** inicialmente faz-se uma análise estatística verificando as variáveis que possivelmente poderão explicar a variação dos preços. A seguir realiza-se o tratamento que pode ser feito por fatores (homogeneização por fatores) ou por um método científico (utilização de metodologia científica). No método científico o modelo tradicionalmente adotado para a determinação do valor do imóvel é Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL).

No que se refere ao grau de fundamentação a NBR 14653-2 estabelece alguns parâmetros máximos e mínimos. No Quadro 1 estão apresentados três parâmetros que são analisados na determinação do grau de fundamentação, sendo que o grau III é o mais restritivo, sendo portanto, o grau que deve ser buscado em qualquer avaliação.

Quadro 1 - Alguns parâmetros analisados na determinação do grau de fundamentação

Descrição	Grau		
	III	II	I
Quantidade mínima de dados de mercado utilizados	6 (k + 1)	4 (k + 1)	3 (k + 1)
Nível de significância máximo para a rejeição da hipótese nula de cada regressor (teste bicaudal)	10%	20%	30%
Nível de significância máximo admitido para a rejeição da hipótese nula do modelo através do teste F de Snedecor	1%	2%	5%

Fonte: NBR 14653-2 (2011, p. 22-23).

Nota: k é o número de variáveis independentes.

2.3. Avaliação em massa de imóveis urbanos

Não há registros de quando se iniciou a utilização de avaliações, entretanto, segundo Liporoni (2007), o início das avaliações em massa está relacionado diretamente à cobrança de impostos sobre a propriedade imobiliária. Para o autor a cobrança desses tributos é de origem milenar.

A avaliação coletiva de imóveis, também conhecida como avaliação em massa é definida segundo Averbeck (2003) como o processo de obtenção de modelos matemáticos a partir dos valores locais, testados e validados estatisticamente e aplicados na avaliação de uma amostra de imóveis de uma população. Para González (2002), avaliação em massa é a avaliação sistemática de grupo de imóveis, de uma mesma tipologia a uma determinada data, em diferentes macrolocalizações no espaço urbano, sustentada pela utilização de testes estatísticos e procedimentos padronizados.

De acordo com McCluskey et al. (1997), as avaliações de imóveis em massa e individuais são diferentes somente na escala, porque o que se busca nos dois casos é uma avaliação precisa do valor de um ou mais imóveis.

A NBR 14653- 2 aponta três metodologias para avaliação em massa: método de custo de reprodução, método de renda e método comparativo de dados de mercado. A norma prioriza o último método citado (método comparativo de dados de mercado), pois este é aplicado por meio de modelos econométricos que determinam o preço dos imóveis com base em amostras de transações ou ofertas imobiliárias.

O método comparativo de valores de mercado passou a ser utilizado com mais frequência após a sofisticação das análises econométricas e estatísticas, bem como a partir do aumento do número de dados de transações imobiliárias informatizadas. Esse método geralmente apresenta erros menores que os demais citados, mas por outro lado necessita de uma base de dados ampla (CARVALHO Jr., 2010).

A base para a avaliação em massa é a intensa pesquisa dos valores de mercado que podem ser coletados em ofertas ou transações recentes ocorridas no local estudado. É importante que as amostras sejam coletadas em quantidades que permitam a identificação das variáveis que têm influência na composição do valor do mercado. Isto possibilita a geração de

uma equação matemática que correlacione essas variáveis aos valores observados no mercado imobiliário (LIPORONI, 2007).

As variáveis que podem ser relevantes para determinar o valor de mercado de um imóvel geralmente estão relacionadas às tipologias, distribuição espacial, bem como às características físicas e locacionais, como infra-estrutura urbana, áreas, relevo (para terrenos), padrões construtivos (para edificações), dentre outras (AVERBECK, 2003).

O resultado da avaliação em massa quando aplicado o método comparativo de valores de mercado é um modelo de regressão múltipla que serve de base para gerar a planta de valores genéricos (PVG), a qual é fundamental nas cobranças de tributos municipais como o IPTU.

2.4. Planta de valores genéricos (PVG)

A NBR 14653-2 (2011, p.6) define planta de valores genéricos “*como representação gráfica ou listagem dos valores genéricos do metro quadrado de terreno ou do imóvel em uma mesma data*”. Enquanto que para Möller (1995, p.17), a planta de valores é definida como a “*planta do perímetro urbano onde são plotados os valores unitários do m² dos terrenos/imóvel, para cada face de quadra, devidamente homogeneizados com relação aos seus diversos atributos e referidos a uma mesma data*”.

Silva (2006) relata que as PVG's podem se apresentar de diversas formas, ou seja, “*pode ser uma listagem de valores unitários espacializados por face de quadra, por setor, por seção de logradouro, dentre outras. E, em relação às edificações, os valores unitários ou custos de reprodução são geralmente referenciados a tipos e padrões construtivos*”.

A principal referência para o cálculo do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) é a planta de valores genéricos (PVG). Os valores venais contidos na PVG são multiplicados

pela área do terreno/edificação e em alguns municípios ainda são atribuídos coeficientes de ponderação no qual consideram a área construída e/ou o padrão construtivo e/ou as características dos terrenos. Assim, é importante que o valor venal seja o mais próximo possível do valor de mercado dos imóveis. Entretanto no Brasil, isso está longe de se tornar realidade, uma vez que por motivos diversos os valores venais são bem diferentes dos valores de mercado (CARVALHO Jr., 2010).

Para Carvalho Jr. (2010), o fato da planta de valores genéricos ser elaborada pela administração municipal e ter que passar pela Câmara de Vereadores para aprovação pode torná-la excessivamente defasada. Esse fato é justificado, pois os vereadores estão sujeitos a uma pressão por parte da sociedade, além do IPTU ser um imposto direto e altamente visível, tornando-se um objeto de aversão pelos contribuintes.

Em um trabalho anterior, Carvalho Jr. (2006) relata que é comum, em pequenas cidades do Brasil, a administração municipal adotar critérios políticos ou grosseiros para avaliação de imóveis, no qual em muitos casos é criada uma comissão de vereadores para atualizar a PVG sem nenhum critério técnico.

Möller (1995) citou as vantagens de se ter uma PVG atualizada e divulgada periodicamente por parte do Poder Público Municipal, sendo elas:

- por ser a base de cálculo dos IPTU e ITBI permite uma redistribuição da carga fiscal reduzindo a diferença entre o valor fiscal e o de mercado promovendo, desta forma, justiça social;
- auxilia no planejamento urbano, pois possibilita à administração municipal fazer a previsão de custos de desapropriação, bem como o provável retorno de investimentos em determinados locais do município;

- por retratar a realidade do mercado local, quando elaborada, fornece bases justas para transações o que reduz os riscos e as margens de manipulação dos consumidores pelos agentes imobiliários; e
- possibilita a comparação da evolução dos valores de zonas beneficiadas pelos melhoramentos públicos.

O Ministério do Planejamento (2002), descreveu a metodologia de execução e atualização de uma PVG. Resumidamente, devem ser seguidos os seguintes procedimentos:

➤ ***Estudo da localidade:*** esse estudo deve permitir o conhecimento das características culturais, sócio econômicas e fisiográficas do local, bem como o fatores que determinam a oferta e procura dos imóveis urbanos. Nessa etapa, deve-se analisar geograficamente a localidade, determinar as fontes de pesquisa, indicar os coeficientes locais de valorização, elaborar a tipologia local dos imóveis e localizar os polos de valorização;

➤ ***Pesquisa de valores imobiliários:*** pesquisar os valores oriundos de transações de compra e venda dos imóveis da área o que possibilitará a determinação do valor genérico do m² dos imóveis para o trecho de logradouro;

➤ ***Determinação de áreas homogêneas e de lote-padrão de referência:*** dividir a área em regiões homogêneas quanto às suas características físicas locais e de acordo com o comportamento do mercado imobiliário. Para cada área homogênea identifica-se o imóvel padrão, ou seja, o que é predominante, descrevendo suas características (dimensões, formas, topografias, posição na quadra, pedologia, área construída, dentre outras). É necessário indicar para cada área homogênea os valores pesquisados constituindo-se uma amostragem estatística para cada área, bem como uma linha de cada área homogênea até o seu polo de valorização/desvalorização mais próximo. Por fim, cada logradouro ou seção de logradouro recebe um valor genérico para o imóvel padrão.

2.5. Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM)

A utilização das PVG's está diretamente relacionada à existência de um cadastro de imóveis de boa qualidade. O cadastro de informações é uma das técnicas de organização de dados, o qual iniciou-se como uma simples listagem e hoje é um verdadeiro sistema. Sua principal característica é a identificação e caracterização de unidades, indivíduos ou elementos. O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) pode englobar informações integradas, como saúde, educação, tributos, imóveis, saneamento, entre outros, referenciadas a um local (GARCIA, 2007).

De acordo com Silva (2006), o imóvel pode ser considerado uma entidade na qual a avaliação coletiva gera uma gama de informações que podem ser utilizados como fatores para explicar o comportamento do mercado imobiliário. Assim, essas informações devem estar dispostas em um Cadastro Técnico Multifinalitário. Para Junqueira (2010), um CTM elaborado de forma apropriada é essencial para as prefeituras e órgãos de planejamento urbano ou rural no que concerne ao gerenciamento das receitas e monitoramento dos recursos naturais.

Para Loch (2001, p. 64), o CTM envolve três pontos essenciais, quais sejam: *“a medição e representação cartográfica ao nível do imóvel; a legislação que rege a ocupação do solo; e o desenvolvimento econômico do ocupante da terra”*.

De acordo com Carneiro (2010), um cadastro territorial cumpre sua função multifinalitária quando a determinação dos limites dos imóveis ou bairros esteja referenciado por um sistema único, pois, isso permite a integração dos levantamentos realizados pelos diversos setores da prefeitura e de outras instituições.

O CTM constitui um elemento essencial e imprescindível para dar suporte ao planejamento dos municípios, pois, é uma importante fonte de financiamento visto que aprimora as formas de arrecadação dos impostos prediais e territoriais. Seus objetivos

ultrapassam os propósitos puramente fiscais, no qual integram as áreas jurídicas, ambientais e geográficas, desencadeando um importante elo de ligação entre o governo e a população. Portanto, os cadastros modernos utilizam *“inúmeros recursos tecnológicos para se transformarem em meios confiáveis na fiscalização, avaliação, planejamento e administração de um dos elementos mais importantes para os povos e seus países: o solo”* (SOUSA, 1994, p. 13).

2.6. Modelo de regressão múltipla aplicado à avaliação em massa de imóveis

Conforme NBR 14653-2, a técnica de análise mais utilizada é a regressão quando se tem o interesse de estudar o comportamento de uma variável dependente em relação a outras que estão relacionadas diretamente ao preço dos imóveis. Assim, no modelo clássico de regressão linear (MCRL), a variável dependente é expressa por uma combinação linear das variáveis independentes, acrescida do erro aleatório. Este erro pode ser devido aos efeitos de variáveis não detectados, imperfeições na observação dos dados e variações do comportamento humano (desejos, necessidades, diferenças culturais, entre outras).

Para Schiavo (2003), a análise de regressão múltipla em trabalhos de avaliação se consagrou a partir de meados da década de 80, estimulada pelo aparecimento dos computadores e *softwares* aplicativos específicos. A inferência estatística, por meio da regressão múltipla, tem como objetivo eleger um modelo matemático que represente o mercado imobiliário da melhor forma, considerando todas as características que interferem nesse valor. Essa ferramenta tem emprego obrigatório na busca de um melhor grau de precisão na determinação do valor do bem avaliado.

Para Gujarati (2000, p. 185) a equação do MCRL “*fornece a média ou o valor esperado de Y condicional aos valores fixados (em amostragem repetida) de X_1, X_2, \dots, X_k* ”.

De forma generalizada, o MCRL pode ser escrito conforme apresentado na Equação 1:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \mu_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

em que:

Y_i : variável dependente;

X_{1i} a X_{ki} : k-1 variáveis explicativas;

β_0 : intercepto;

β_1 a β_k : coeficientes parciais de inclinação⁵;

μ : erro;

i : i-ésima observação; e

n : tamanho da amostra.

A utilização do MCRL deve atender a alguns pressupostos que serão apresentados na sequência da forma em que estão descritos na NBR 14653-2.

2.6.1. Hipóteses do modelo clássico de regressão linear (MCRL)

I. Linearidade: o termo linear pode ser interpretado de duas formas. A primeira ocorre quando o modelo é linear nas variáveis e a segunda é quando o modelo é linear nos parâmetros. O que interessa no cálculo do MCRL é que o modelo seja linear nos parâmetros.

⁵ É importante destacar que, geralmente, os coeficientes são estimados pelo Método dos Mínimos Quadrados (MQO), no qual o enfoque é buscar os que propiciam a menor soma dos quadrados dos resíduos (DALAQUA, 2007).

Para exemplificar, o modelo $Y = \beta_0 + \beta_1 X_i^2$ é linear nos parâmetros, mas não-linear nas variáveis, portanto este atende a hipótese de linearidade (GUJARATI, 2000).

Entretanto, é importante analisar a linearidade das variáveis, pois a relação linear entre a variável dependente e independente garante a eficiência do estimador MQO na determinação dos coeficientes do MCRL. Assim, a verificação da linearidade nas variáveis pode ser realizada plotando o gráfico da variável dependente em relação a cada variável independente, em escala original. Com isso é possível verificar se é necessário utilizar alguma transformação nas variáveis para que a relação entre elas seja linear (NBR 14653-2, 2011).

II. Homocedasticidade: ocorre quando a variância do erro é constante, ou seja, as populações de Y correspondentes aos vários valores de X têm a mesma variância (dispersão) (GUJARATI, 2000). A não verificação da homocedasticidade pode invalidar toda a análise estatística, pois o desejo é que os erros não estejam relacionados com as características dos imóveis (DALAQUA, 2007).

A NBR 14653-2 destaca as seguintes formas para identificar a presença de homocedasticidade: analisar se o gráfico dos resíduos versus valores ajustados apresentam os pontos dispostos aleatoriamente sem nenhum padrão definido e/ou utilizar os testes formais de *Park* e/ou de *White*.

III. Micronumerosidade: ocorre quando se utiliza número amostral reduzido. A NBR 14653-2 recomenda que o número mínimo de amostras seja: $n \geq 3 \times (k + 1)$, $n \geq 4 \times (k + 1)$ e $6 \times (k + 1)$ para o grau de fundamentação I, II e III, respectivamente. Onde n é o número mínimo de dados efetivamente utilizados no modelo e k é o número de variáveis independentes.

IV. Normalidade: esta hipótese deduz que a análise de regressão é baseada numa distribuição gaussiana dos resíduos. Entretanto, pequenas fugas da distribuição normal não causam grandes problemas (DALAQUA, 2007).

De acordo com a NBR 14653-2 a normalidade pode ser averiguada de diversas maneiras, no qual destacam-se: examinar, por meio de um histograma, se os resíduos amostrais padronizados seguem uma curva normal; verificar se do gráfico dos resíduos padronizados *versus* valores ajustados possui pontos dispostos aleatoriamente e com grande maioria situados no intervalo [-2; +2]; comparar a frequência relativa dos resíduos amostrais padronizados nos intervalos [-1; +1], [-1,64; +1,64] e [-1,96; +1,96] com as probabilidades da distribuição normal padrão nos mesmos intervalos, ou seja, 68 %, 90 % e 95 %; e aplicar o testes de aderência não-paramétricos, em que citam-se o qui-quadrado, o de *Kolmogorov-Smirnov* ajustado por *Stephens* e o de *Jarque-Bera*⁶.

V. Não multicolinearidade: está relacionada com a dependência linear entre duas ou mais variáveis independentes. Quando existe a multicolinearidade pode ocorrer a eliminação de variáveis fundamentais à estimativa do valor da variável dependente analisada.

Para verificação da multicolinearidade deve-se analisar a matriz de correlação entre as variáveis independentes com atenção especial para resultados superiores a 0,80. Quando o imóvel avaliado segue os padrões estruturais do modelo, a existência de multicolinearidade pode ser negligenciada (NBR 14653-2, 2011).

⁶ O teste JB de normalidade considera como hipótese nula que a distribuição analisada segue uma distribuição normal e é dado por $JB = n \left[\frac{A^2}{6} + \frac{(C-3)^2}{24} \right]$, em que n representa o número de observações, A representa a assimetria e C representa a curtose dos resíduos de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

VI. Não-autocorrelação: refere-se à ausência de correlação entre as perturbações (erros). Assim, dado X_i , os desvios de quaisquer dois valores Y de seus valores médios não tem padrão definido (GUJARATI, 2000).

Segundo a NBR 14653-2 para verificar a presença de autocorrelação deve-se, inicialmente, realizar o ordenamento dos elementos amostrais em relação aos valores ajustados. Posteriormente, é analisado se o gráfico dos resíduos cotejados com os valores ajustados apresentam os pontos dispersos aleatoriamente, sem nenhum padrão definido.

VII. Inexistência de pontos atípicos ou outliers: são observações extremas que trazem problemas na aplicação do método dos mínimos quadrados, pois este método busca o ajuste de todos os pontos observados. Portanto, um ponto extremo pode afetar a regressão, mascarando os resultados (MICHAEL, 2004).

Os pontos atípicos podem ser identificados por meio do gráfico dos resíduos *versus* cada variável independente ou em relação aos valores ajustados. Pode-se ainda, utilizar a estatística de *Cook* ou a distância de *Mahalanobis* (NBR 14653-2, 2011).

Para González (2002), existe uma forte relação dos preços dos imóveis com a sua localização, sendo necessário entender as características de acessibilidade e da qualidade da vizinhança para determinar as variações de preços no mercado imobiliário. Marques et al. (2009) relata que uma das limitações do MRCL é que o valor de um imóvel está sujeito a autocorrelação espacial, fator não considerado nesse modelo, pois imóveis localizados em áreas próximas tendem a ter valores parecidos. Portanto, no próximo tópico serão descritos os modelos de regressão espacial.

2.7. Modelos de regressão espacial aplicada à avaliação em massa de imóveis

Tobler (1970) destaca na primeira lei da geografia⁷, que tudo está relacionado a tudo, porém elementos mais próximos estão mais relacionados que elementos mais distantes. Assim, Catalão (2010) diz que a autocorrelação espacial é mais uma premissa que deve ser verificada na determinação de modelos de regressão para determinar o valor de mercado dos imóveis. Para a autora, a autocorrelação espacial ocorre quando o preço das habitações numa região está relacionado aos preços praticados em regiões vizinhas.

Segundo Anselin (1988), a utilização dos modelos tradicionais da economia e da econometria quando se analisa fatores que tenham componente espacial sofrem algumas limitações. Essa componente espacial possui características que não atendem às hipóteses básicas do MCRL. De modo geral, estas características estão divididas em heterogeneidade espacial e dependência ou autocorrelação espacial.

A heterogeneidade espacial está relacionada com a falta de estabilidade do comportamento ao longo do espaço e não é um problema, pois pode ser resolvida, na maioria dos casos, a partir de técnicas tradicionais de econometria (ANSELIN, 1988).

Anselin (1988) desenvolveu a metodologia que utiliza técnicas econométricas para estudar a existência da dependência espacial. Esta dependência ocorre quando as observações de um local i dependem de outras observações situadas em outros locais j , sendo que $i \neq j$, podendo ser modelada de duas formas:

✓ **modelo de defasagem espacial (spatial lag):** no caso do valor dos imóveis, esta ocorre quando o valor de um imóvel é influenciado pelo valor das transações realizadas na vizinhança (Figura 3 (a)). A Equação 2 apresenta o modelo de defasagem espacial:

$$Y = X\beta + \rho WY + \varepsilon \quad (2)$$

⁷ “Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things” Tobler (1970, p. 3).

em que:

Y: variável dependente;

X: variáveis independentes; e

β : parâmetros do modelo;

ρ : coeficiente de autocorrelação espacial que representa a influência média da unidade vizinha;

W: é uma matriz espacial de pesos que relaciona as variáveis em locais diferentes; e

ε : resíduos do modelo.

✓ **modelo espacial do erro (spatial error)**: ocorre quando o termo do erro de um local está correlacionado com os valores do erro de outros locais vizinhos (Figura 3 (b)). Na Equação 3 apresenta-se o modelo espacial do erro:

$$Y = X\beta + \lambda W\varepsilon + u \quad (3)$$

em que:

Y: variável dependente;

X: variáveis independentes; e

β : parâmetros do modelo;

λ : coeficiente de autocorrelação espacial;

W: é uma matriz espacial de pesos que relaciona as variáveis em locais diferentes;

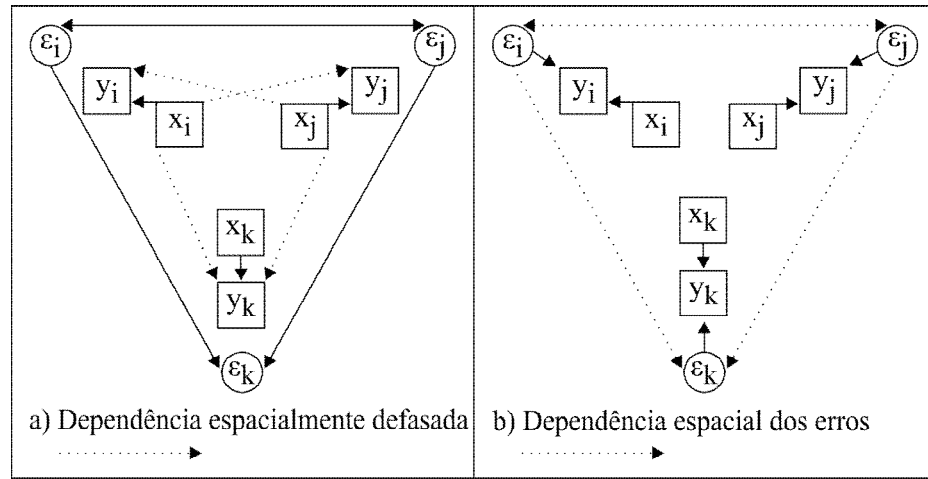
ε : resíduos do modelo; e

u: resíduos não correlacionados;

Para verificar a existência de autocorrelação espacial utilizam-se, geralmente, os testes *I* de Moran e Multiplicador de Lagrange Robusto (LM). O primeiro teste, a estatística *I* de

Moran, não identifica se a correlação espacial é devido ao erro ou a defasagem espacial (DANTAS, 2003). Portanto, o teste mais utilizado para identificar a autocorrelação espacial é o LM Robusto. Para Tyszler (2006), a vantagem do teste LM é a exigência de apenas os resíduos e parâmetros de uma regressão MQO, reduzindo o custo de cálculos das estatísticas.

Figura 3 - (a) Dependência espacialmente desfasada e (b) dependência espacial dos erros



Fonte: elaborado pelo Autor com base nos dados da Marques (2009, p. 2228-2229).

A seguir serão descritos os testes Multiplicador de *Lagrange* robusto (LM) do erro e da defasagem.

✓ **Teste LM Robusto (erro):** identifica efeitos de autocorrelação no termo do erro. De acordo com Dantas (2003, p. 7), esse teste “tem distribuição *Qui-quadrado* com um grau de liberdade, sob a hipótese nula de não existência de autocorrelação espacial no termo erro” e pode ser descrito a partir da Equação 4:

$$LM(erro) = \frac{[e'We / (s^2 / n)]^2}{tr(W^2 + W'W)} \quad (4)$$

em que:

e : é o vetor de resíduos de mínimos quadrados;

W : a matriz de pesos espaciais;

$s^2 = e'e/n$: a estimativa de máxima verossimilhança da variância do modelo de regressão;

n : o número de dados da amostra; e

tr : o operador denominado traço da matriz.

Assim, a hipótese de não autocorrelação espacial nos resíduos do modelo clássico de regressão será rejeitada, para um nível de significância α , se a estatística de teste for superior ao ponto crítico da distribuição Qui-quadrado, com um grau de liberdade (DANTAS, 2003).

✓ **Teste LM Robusto (defasagem)**: identifica a presença de efeitos de defasagem espacial na variável dependente. De acordo com Dantas (2003, p. 7), esse teste “*tem distribuição Qui-quadrado com um grau de liberdade, sob a hipótese nula de não existência de defasagem espacial na variável dependente*” e pode ser descrito a partir da Equação 5:

$$LM(defasagem) = \left\{ \left[e'Wy / (s^2) \right]^2 \right\} / \left\{ (WXb)' MWXb / s^2 + tr[W'W + W^2] \right\} \quad (5)$$

em que:

e : é o vetor de resíduos de mínimos quadrados;

W : a matriz de pesos espaciais;

y : o vetor de observações na variável dependente;

$s^2 = e'e/n$: a estimativa de máxima verossimilhança da variância do modelo de regressão;

X : a matriz das variáveis independentes;

b : o vetor de parâmetros estimados via mínimos quadrados ordinários;

$M : I - X(X'X)^{-1}X'$;

n : o número de dados da amostra; e

tr : o operador denominado traço da matriz.

Deste modo, a hipótese de não autocorrelação espacial na variável dependente do modelo clássico de regressão será rejeitada, para um nível de significância α , se a estatística de teste for superior ao ponto crítico da distribuição Qui-quadrado, com um grau de liberdade (DANTAS, 2003).

2.7.1. Matriz de pesos espaciais (W)

De acordo com Tyszler (2006), o formato mais utilizado na econometria espacial são os pesos espaciais construídos a partir de características geográficas. Assim, às unidades geográficas mais próximas é atribuído maior peso, enquanto que, as mais distantes, pesos menores.

Almeida (2012) relata que a matriz de pesos espaciais (W) gerada a partir da proximidade geográfica pode ser baseada na contiguidade ou em distância geográfica, conforme descrito a seguir:

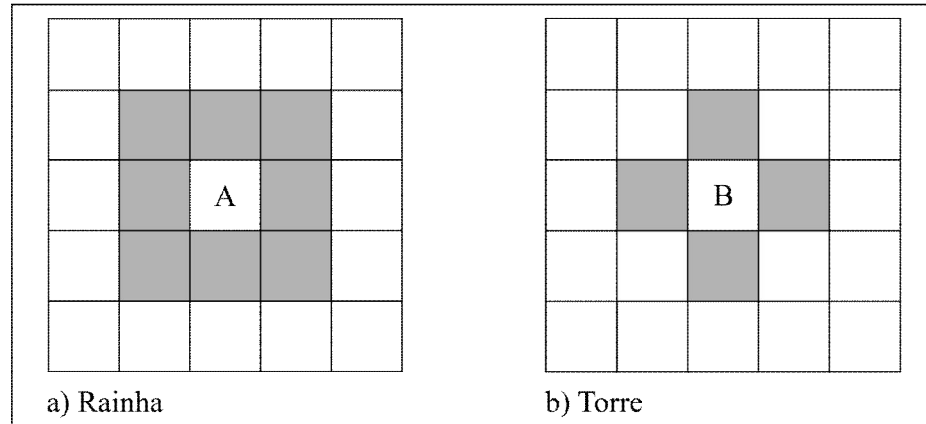
✓ **Contiguidade:** é baseada na ideia de que duas regiões vizinhas (contíguas) possuem maior interação espacial. Formalmente, essa matriz pode ser escrita da seguinte forma:

$$W_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } i \text{ e } j \text{ são contíguos} \\ 0, & \text{se } i \text{ e } j \text{ não são contíguos} \end{cases} \quad (6)$$

Assim, os elementos W_{ij} têm valor zero na diagonal principal e para os imóveis não vizinhos. Já para os imóveis vizinhos é atribuído o valor um. A convenção de contiguidade é realizada de forma idêntica ao movimento das peças em um tabuleiro de xadrez. Assim sendo,

as mais utilizadas são a convenção de contiguidade rainha (*queen*) e torre (*rook*) (ALMEIDA, 2012), conforme apresentado na Figura 4 (a) e (b).

Figura 4 - (a) contiguidade rainha (*queen*) e (b) torre (*rook*)



Fonte: elaborado pelo Autor com base nos dados da Almeida (2012, p. 77).

✓ **Distância geográfica:** nesta, imagina-se que distâncias menores entre regiões possuem maior interação espacial. Formalmente, esta matriz pode ser escrita da seguinte forma:

$$W_{ij}(k) = \begin{cases} 1, & \text{se } d_{ij} \leq d_i(k) \\ 0, & \text{se } d_{ij} > d_i(k) \end{cases} \quad (7)$$

em que:

$d_i(k)$: é a distância de corte para a região i especificamente, a fim de que essa região i tenha k vizinhos.

Na matriz de distância geográfica pode utilizar como base o inverso da distância ou o inverso do quadrado da distância, dentre outras. Usualmente, as linhas da matriz de ponderação são normalizadas, pela soma dos elementos da linha, para que a soma de todos os elementos seja um (ANSELIN, 1988).

2.7.2. Escolha do modelo a adotar

Na escolha do modelo (erro ou defasagem espacial) verifica-se, inicialmente, o maior valor absoluto dos testes LM Robusto (defasagem e erro), pois o maior valor incorre no maior efeito espacial (ANSELIN E REY, 1991). Pode-se, ainda, utilizar os critérios de informação de Akaike (AIC) e de Schwarz (SC), no qual o melhor modelo para captar a relação de dependência espacial das variáveis estudadas é o que possui menores valores (ANSELIN *a*, 1988).

2.8. Medidas do grau de ajuste dos modelos

2.8.1. Coeficiente de determinação R^2

Para medir o grau de ajuste de uma regressão múltipla utiliza-se o coeficiente de determinação R^2 . Esse coeficiente é uma medida sintética que informa quão bem a reta de regressão da amostra se ajusta aos dados. O R^2 é determinado pela divisão da soma dos quadrados explicada (SQE) pela soma dos quadrados total (SQT) (GUJARATI, 2000).

A SQT é a variação total dos valores de Y em relação à sua média da amostra (\bar{Y}), que pode ser escrito de acordo com a Equação 8:

$$SQT = \sum y_i^2 = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (8)$$

Já a variação dos valores estimados de \hat{Y}_i em relação a sua média explicada pela regressão é a SQE o qual está apresentado na Equação 9:

$$SQE = \sum \hat{y}_i^2 = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \quad (9)$$

Por fim, têm-se a soma dos quadrados dos resíduos (SQR) que é a variação residual ou não explicada (μ) dos valores de Y em relação à reta de regressão, conforme é apresentado na Equação 10:

$$SQR = \sum \mu^2 = \sum (\hat{Y}_i - Y_i)^2 \quad (10)$$

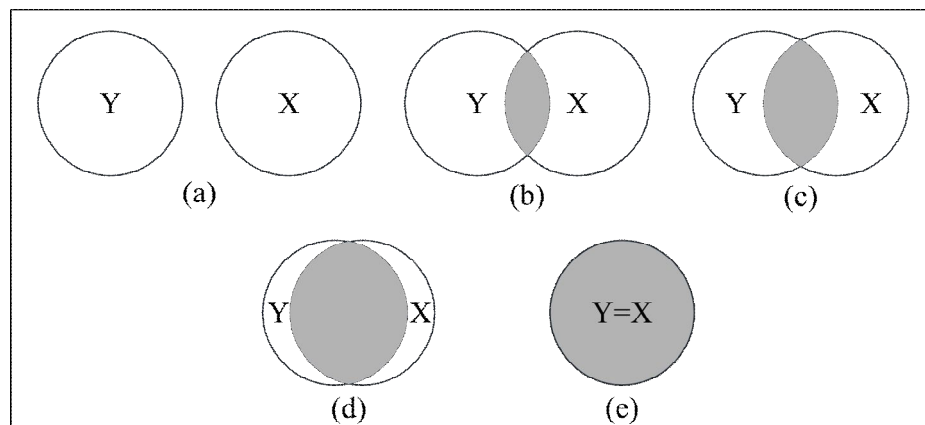
Portanto, a soma do SQE e SQR gera o SQT.

A partir das Equações 8, 9 e 10 é possível determinar a Equação 11 que determina o valor de R^2 :

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{SQE}{SQT} = 1 - \frac{SQR}{SQT} \quad (11)$$

Vale destacar que o valor de R^2 varia de 0 a 1, sendo que um representa o perfeito ajuste da regressão aos dados e zero a ausência de relação entre o regredido e o regressor. De acordo com Gujarati (2000), Ballentine destacou a sua visão a respeito do R^2 da forma que está descrita na Figura 5. Nesta, o Y é a variação na variável dependente e X a variação na variável explicativa e a sobreposição é o poder de explicação da variação de Y, pelas variáveis independentes, X. Na Figura 5 (a) está representada a ausência de explicação de Y devido ao X, tendo valor de R^2 igual a zero. Já a Figura 5 (e) representa 100% da variação de Y explicada por X, e as demais apresentam o aumento do R^2 (de zero à 100%).

Figura 5 - Explicação de Y devido à X, ou seja, R^2 (de zero (a) à 100% (e))



Fonte: elaborado pelo Autor com base em Gujarati (2000, p. 65).

2.8.2. Coeficiente de determinação ajustado (R_a^2)

Segundo a NBR 14653-2, para uma mesma amostra o coeficiente de determinação pode ser utilizado para aferição da explicação do modelo. Mas, este coeficiente (R^2) cresce com o aumento do número de variáveis independentes e não considera o número de graus de liberdade perdidos a cada parâmetro estimado. Assim, recomenda-se utilizar o coeficiente de determinação ajustado.

Conforme relatado anteriormente, o R^2 ajustado considera o número de variáveis explicativas em relação ao número de observações. Isto facilita a comparação de vários modelos de regressão quando existe alteração na quantidade de dados ou número de variáveis (GONZÁLEZ, 1997). O R_a^2 pode ser determinado pela Equação 12:

$$R_a^2 = R^2 - \frac{k-1}{n-k} \cdot (1 - R^2) \quad (12)$$

em que:

R^2 = coeficiente de determinação;

n = número de elementos da amostra; e

k = número de variáveis independentes do modelo.

2.9. Geoestatística aplicada à avaliação em massa de imóveis

De acordo com Trivelloni (2005), os primeiros estudos que utilizaram a geoestatística na avaliação imobiliária, com a finalidade de modelar o erro, por meio da krigagem foi a autora Dubin (1992). Na sequência, Dubin (1998) e Basu & Thibodeau (1998), aplicaram o mesmo raciocínio, ou seja, aplicaram o método geoestatístico de forma parcial. Trivelloni (2005) destaca que Chica Olmo (1994) foi o primeiro autor a utilizar a geoestatística para avaliar os imóveis de forma completa.

A base conceitual da geoestatística está fundamentada na teoria de variáveis regionalizadas descritos por Matheron (1971). Brandão (2001) destaca que dentre os procedimentos geoestatísticos, a técnica que possibilita a inferência de valores (em locais não amostrados) a partir de amostras pontuais de um atributo espacial é a krigagem.

Na krigagem a verificação da existência da dependência espacial é comumente realizada utilizando-se o semivariograma (JAKOB, 2002). O semivariograma é a descrição matemática do relacionamento entre a variância de pares de observações (pontos) e a distância que separa estas observações (h). A krigagem fundamenta-se na ideia de que é possível fazer inferências a partir de uma função aleatória $Z(x)$, originando os pontos $Z(x_1)$, $Z(x_2)$, ..., $Z(x_n)$. Assim, o valor de uma variável Z , em uma posição geográfica x , representado por $Z(x)$, é

$$Z(x) = m(x) + \gamma(h) + \varepsilon \quad (13)$$

em que:

$m(x)$: uma função determinística descrita pela componente estrutural de Z em x ;

$\gamma(h)$: semivariograma estimado; e

ε : erro residual do modelo.

Portanto, a semivariância é dada por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_i [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (14)$$

em que:

$N(h)$: número total de pares de observações; e

h : distância entre as variáveis $Z(x)$ e $Z(x+h)$.

Na Figura 6 são apresentados os componentes do semivariograma com seus principais modelos teóricos (esférico, exponencial e gaussiano). Verifica-se que o semivariograma é composto por quatro partes distintas:

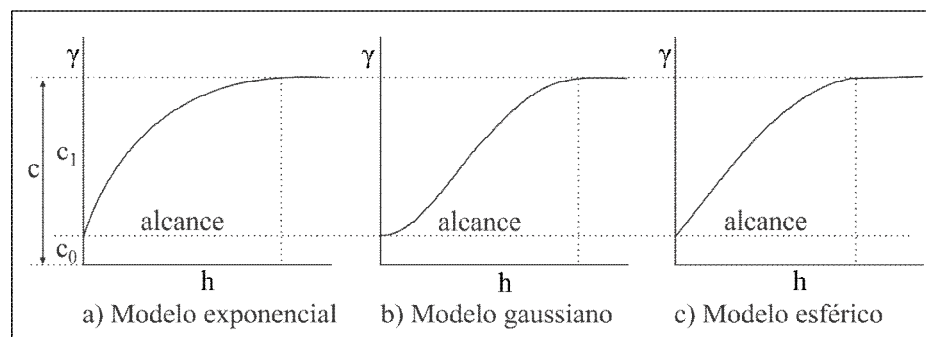
✓ **(C)**: denominado patamar (*sill*) é a soma de $C_0 + C_I$. É o valor de γ máximo da curva correspondente ao alcance, ou seja, o ponto a partir do qual não existe nenhuma dependência espacial entre as amostras;

✓ **(a)**: chamada alcance (*range*) o qual é distância máxima em que existe dependência espacial das variáveis;

✓ **(c_0)**: conhecido por efeito pepita (*nugget*). Corresponde ao intercepto com o eixo y , quando $h = 0$. Representa a componente da variabilidade espacial que não pode ser relacionada com uma causa específica ou também pode ser devido a erros de medição; e

✓ **(c_I)**: é a diferença entre o patamar e o valor do semivariograma para $h = 0$.

Figura 6 - Componentes do variograma e seus principais modelos



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Jakob (2002, p. 5).

Geralmente, faz-se a hipótese de que o fenômeno é isotrópico, ou seja, tem comportamento igual em todas as direções. Assim, a determinação experimental do semivariograma não dependeria da direção relativa das amostras, mas somente de suas distâncias. Quando a variação espacial é diferente para cada direção de deslocamento no espaço diz-se que o fenômeno é anisotrópico. Nesse caso, a sua verificação deve ser constatada pela diferença dos alcances e/ou patamares testados, por meio de semivariogramas, em diversas direções (TRIVELLONI, 2005).

O mesmo autor destaca que as técnicas de krigagem estão baseadas no conceito de variável regionalizada, ou seja, é uma variável distribuída no espaço e no tempo, a qual pode ser definida pela soma de três componentes:

- ✓ um componente estrutural, associado a um valor médio constante ou a uma tendência constante;
- ✓ um componente aleatório, espacialmente correlacionado;
- ✓ um ruído aleatório ou erro residual.

Se as estimativas estiverem referidas a suporte pontual, deve-se utilizar o método de krigagem pontual, mas se o objetivo for determinar o valor médio da variável em uma área maior utiliza-se a krigagem por blocos (TRIVELLONI, 2005). O valor do imóvel está incluso nesse último, visto que trabalha-se com áreas maiores (bairros, regiões homogêneas, cidades).

2.10. Determinação do valor da localização

Segundo González (2002), em função da imobilidade dos imóveis, a determinação das variações dos preços no mercado está relacionada às suas características de acessibilidade e qualidade de vizinhança, ou seja, sua localização. Assim, Brondino (1999) afirma que o valor

da localização é de extrema importância na avaliação de um imóvel, devido a sua grande influência no valor do mesmo.

Um imóvel tem sua localização determinada pelas coordenadas geográficas dos limites que o definem, bem como, pela sua relação espacial ou interação com a estrutura urbana próxima a ele, ou seja, sua vizinhança. Portanto, a caracterização da localização de um imóvel se dá, também, pela proximidade aos centros culturais, comerciais, econômicos e de transporte. Assim, o valor da localização pode ser determinado como parte do valor total do imóvel descontado os valores referentes ao tipo e às características construtivas da edificação.

Os modelos tradicionais (MCRL) apresentam algumas limitações para modelar os fatores referente à localização dos imóveis. Resumidamente, podem ser citados duas limitações: consideram individualmente cada fator de localização (por exemplo, distância ao centro, metrô, etc), o que implica na necessidade de se ter mais amostras; e há dificuldade em determinar quais fatores de localização realmente influenciam no valor dos imóveis. Esses fatores podem gerar a autocorrelação espacial dos resíduos invalidando a hipótese de resíduos não correlacionados.

Dubin (1988) propôs utilizar como variáveis explicativas do MCRL apenas as características construtivas das edificações, fazendo com que os efeitos das variáveis de localização estejam embutidos nos resíduos do modelo. Assim, o efeito de vizinhança seria determinado pela média ponderada destes resíduos. Portanto, o MCRL teria como variáveis explicativas as referentes à construção, um polinômio formado pelas coordenadas dos imóveis e um termo representando os efeitos da localização obtidos por krigagem dos resíduos.

Na avaliação em massa de imóveis o modelo geral para determinar o valor do imóvel pode ser representado pela Equação 15:

$$V = f(L, T, CF_T) \quad (15)$$

em que:

V : valor dos imóveis;

L : variáveis de localização;

T : tipo de imóvel (terrenos, casas, apartamentos, kitnetes, comerciais,...); e

CF_T : características físicas/construtivas dos imóveis em função do tipo.

Os imóveis podem ter seus valores determinados por meio de modelos aditivos ($V_{Total} = V_{Terreno} + V_{Construção}$) que somam o valor do terreno e da construção e por modelos multiplicativos ($V_{Total} = F_1 * \dots * F_n$) que utilizam produto de fatores. Os modelos multiplicativos permitem a utilização do logaritmo da variável independente valor total ou unitário dos imóveis ($\text{Log}(V_{Total}) = \text{Log}(F_1 * \dots * F_n)$ ou $\text{Log}(V_{Total}) = \text{Log } F_1 + \dots + \text{Log } F_n$) (TRIVELLONI, 2005). Para Dantas (2005, p. 143) a utilização da transformação logarítmica é bastante coerente *“uma vez que as variáveis explicadas possuindo valores no campo dos reais positivos garante que o campo de variação dos valores ajustados correspondentes também serão reais positivos”*.

Em avaliações de imóveis é comum utilizar somente a variável dependente transformada. Assim, nesse caso, a variável dependente valor unitário, por exemplo, pode ser determinada pelo antilogaritmo conforme apresentado na Equação 16:

$$VU = \beta_0 * \beta_1^{VL_i} * \beta_2^{CF_i} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (16)$$

em que:

VU : valor unitário dos imóveis;

β_0 : intercepto;

β_1 a β_k : coeficientes parciais de inclinação;

VL_i : variáveis independentes de localização;

CF_i : variáveis independentes referente às características físicas dos imóveis;

i : i-ésima variável independente; e

n : número total de variáveis independentes relativa a cada característica.

A variável de localização (VL) é influenciada pelos polos de valorização e desvalorização de uma cidade. Assim, o valor da localização é proporcional à distância que o imóvel se encontra destes polos, apresentando, com isso, características de dependência e autocorrelação espacial. O valor da localização também considera as características de vizinhança, como a qualidade do ambiente natural, a estrutura urbana e os serviços públicos, as características socioeconômicas e culturais, entre outras (TRIVELLONI, 2005).

Assim, para determinar a variável VL é necessário homogeneizar os dados de mercado, ou seja, retirar o efeito no seu valor de todos os outros fatores ou variáveis, deixando somente a influência devido à localização dos imóveis. Para obter o fator de homogeneização Trivelloni (2005) utilizou o modelo de regressão espacial do erro, conforme Equação 3. Nesta equação o termo do erro da regressão espacial ($\varepsilon = \lambda W\varepsilon + u$) absorve todos os efeitos de localização.

Por fim, a variável homogeneizada (VH) pode ser obtida dividindo o valor unitário do imóvel (VU) pelo resultado modelo de regressão espacial do erro sem a sua constante e o Lambda (λ). A variável homogeneizada (VH) representa o valor da localização de cada imóvel e pode ser modelada por métodos geoestatísticos.

2.11. Verificação da qualidade da avaliação em massa

De acordo com a IAAO (*International Association of Assessing Officers*) a medida de variabilidade ou da uniformidade de uma avaliação é realizada por meio do Coeficiente de

Dispersão (COD) (IAAO, 2013). Este mede o desvio percentual médio a partir da razão da mediana e é calculado pelos passos:

1. Subtrair de cada razão de avaliação a mediana de todas as razões;
2. Determinar o valor absoluto das diferenças calculadas no passo 1;
3. Somar as diferenças absolutas;
4. Dividir pelo número de razões, para obter o desvio médio absoluto;
5. Dividir pela mediana;
6. Multiplicar por 100.

Portanto, os passos descritos acima podem ser resumidos na Equação 17:

$$COD = \left(\frac{\left| média \left(\frac{P_c}{P_o} \right) - mediana \left(\frac{P_c}{P_o} \right) \right|}{mediana \left(\frac{P_c}{P_o} \right)} \right) * 100 \quad (17)$$

em que:

COD: coeficiente de dispersão;

P_c : valor estimado pela equação de regressão; e

P_o : valor observado.

Os valores de COD aceitáveis para alguns tipos de imóveis são destacados no Quadro 2.

Quadro 2 - Valores de COD aceitáveis de acordo com o tipo de imóvel

Tipo de propriedade – Geral	Tipo de propriedade-específica	Valor COD aceitável
Residencial unifamiliar (incluindo condomínios residenciais)	Áreas mais novas ou homogêneas	5,0 a 10,0
Residencial unifamiliar	Áreas heterogêneas ou mais velhas	5,0 a 15,0
Outros tipos de residência	Rural, lazer, pré-fabricado	5,0 a 20,0

Fonte: IAAO (2013).

2.12. Análise de agrupamentos (clusters)

A análise de agrupamento (clusters) visa à formação de grupos homogêneos de objetos que se baseiam na distância ou na similaridade entre os mesmos. Essas medidas de distância ou similaridade são determinadas com base nas variáveis disponíveis e que representam os objetos analisados (DALAQUA, 2007). Coelho (2007) destaca que a análise de agrupamento não distingue as variáveis dependentes das independentes, pois seu objetivo principal é classificar os objetos em grupos relativamente homogêneos sob a ótica de algumas variáveis.

Johnson & Wichern (2007) descrevem que existem diversos índices de similaridade, na qual a comparação dos itens x e y podem ser realizadas pelas seguintes distâncias:

✓ **Distância euclidiana**

$$d(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_p - y_p)^2} \quad (18)$$

✓ **Distância de Mahalanobis ou distância estatística:**

$$d(x, y) = \sqrt{\frac{(x_1 - y_1)^2}{S_1^2} + \dots + \frac{(x_p - y_p)^2}{S_p^2}} \quad (19)$$

✓ **Distância de Minkowsky:**

$$d(x, y) = \sqrt[m]{\sum_{i=1}^p |x_i - y_i|^m} \quad (20)$$

✓ **Distância Manhattan (para $n = 1$ na distância de Minkowski):**

$$d(x, y) = \sum_{i=1}^p |x_i - y_i| \quad (21)$$

em que:

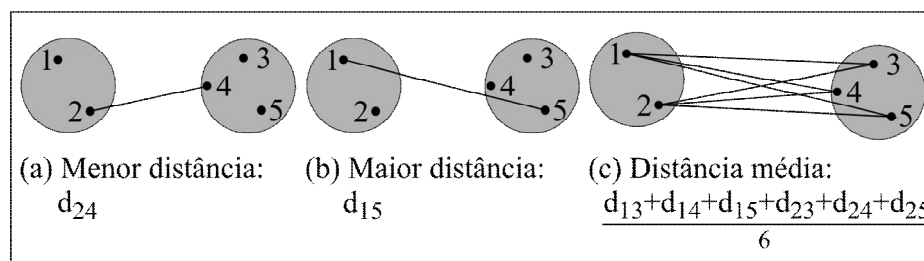
p : número de variáveis originais, ou seja, as características do objeto;

S : matriz de variância e covariância amostral; e

m : é uma constante.

Os métodos de agrupamento podem ser hierárquicos aglomerativos, de otimização e não hierárquicos. No método não hierárquico o usuário deve especificar o número de classes desejado, sendo que os métodos mais conhecidos são o K-Médias (*k-Means*) e o *Fuzzy c-Médias* (*Fuzzy c-Means*). O método hierárquico baseia-se na busca da menor distância entre os grupos de objetos, ou seja, na maior similaridade. Este método pode ser de ligação simples (vizinho mais próximo), ligação completa (vizinho mais longe) e ligação média (a distância entre os grupos é determinada como a média da distância entre dois elementos de cada grupo), conforme apresentado na Figura 7 (a), (b) e (c), respectivamente (JOHNSON & WICHERN, 2007).

Figura 7 - Método de (a) ligação simples, (b) ligação completa e (c) ligação média



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Johnson & Wichern (2007, p. 681).

O método hierárquico pode basear-se no método de *Ward* para definir os grupos similares. Neste caso são formados grupos com menor erro interno entre os vetores que compõem cada grupo e o vetor médio do grupo, ou seja, procura-se agrupamento mais homogêneo possível, conforme apresenta-se na Equação 22:

$$SQE = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x}) \quad (22)$$

em que:

x_i : medida multivariada associada com o i-ésimo item; e

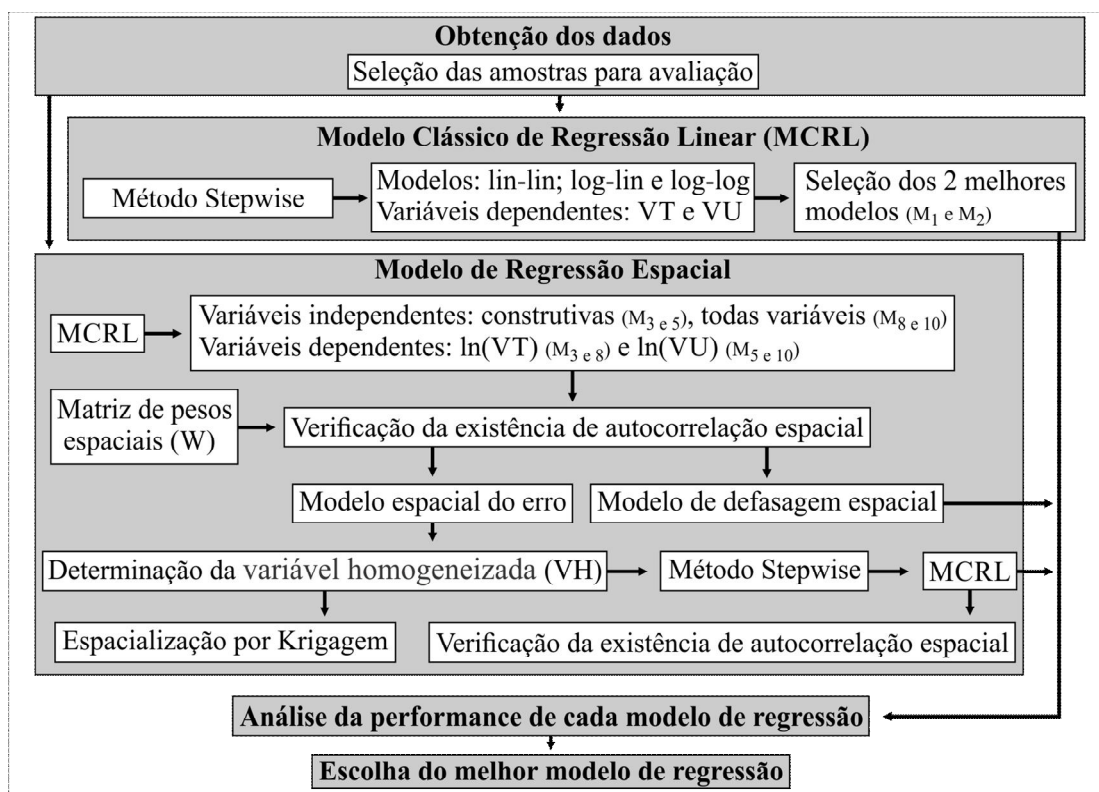
\bar{x} : média das amostras.

3. METODOLOGIA

Na sequência será descrita detalhadamente a metodologia desenvolvida neste trabalho.

Um resumo pode ser visualizado no fluxograma apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma com os procedimentos adotados no trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: M₁, M₂, M₃... são os modelos de regressão gerados.

3.1. Caracterização da área de estudo

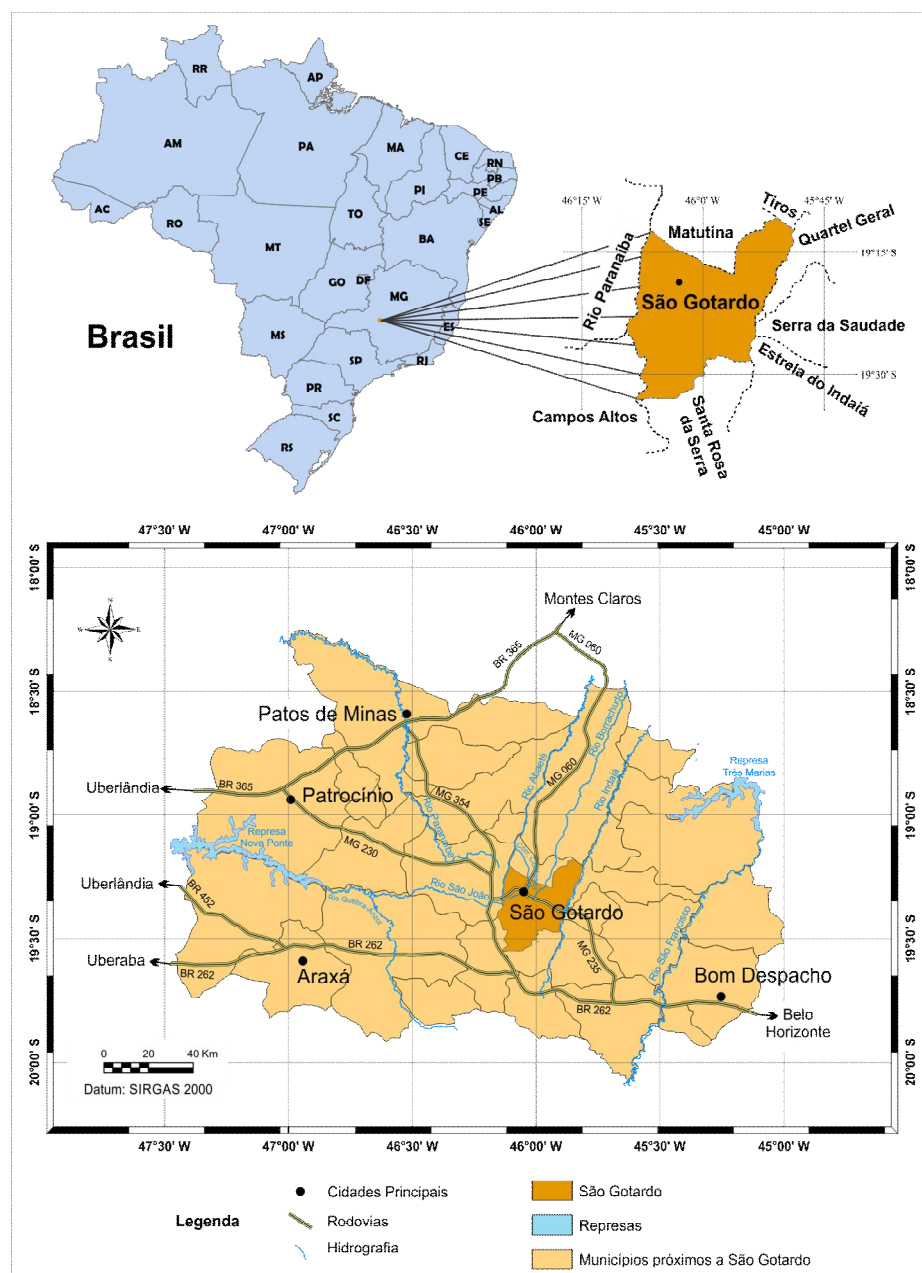
O estudo foi desenvolvido na cidade de São Gotardo/MG, a qual se encontra localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. O município possui área de aproximadamente 866,087 km², densidade demográfica de 36,74 hab/Km² e possui como municípios limítrofes Matutina, Campos Altos, Quartel Geral, Rio Paranaíba, Tiros, Santa Rosa da Serra, Serra da Saudade e Estrela do Indaiá. A área urbana de São Gotardo tem aproximadamente 5,35 Km² e perímetro de 16.208 m. Na Figura 9 está apresentado o mapa de localização do município de São Gotardo.

O crescimento da população nas últimas décadas foi significativo, uma vez que em 1991 a população era de 19.697 habitantes, passando para 31.807 habitantes em 2010. No que se refere à população urbana, em 1991 era 16.520 habitantes enquanto que em 2010 era de 30.050 habitantes (IBGE, 2014a). Ressalta-se que o elevado aumento da população urbana é originado pela grande migração de pessoas da região nordeste para trabalhar na agricultura de ponta desenvolvida em São Gotardo.

A principal atividade do município é a produção agrícola que foi alavancada a partir da década de 1970, com a implantação do Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba (PADAP). Em termos de tecnologia, as lavouras (trigo, cenoura, batata e alho) de São Gotardo estão entre as mais desenvolvidas do país.

A arrecadação com IPTU em São Gotardo, em 2012, foi de R\$ 562.383,32 (FINBRA, 2014). Assim, a arrecadação do IPTU por pessoa em São Gotardo em 2012 foi de R\$17,68.

Figura 9 - Município de São Gotardo



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2. Base de dados

A base cartográfica da cidade foi obtida na Prefeitura Municipal de São Gotardo. Essa base contém a malha viária, divisão por bairros e alguns lotes.

Foram utilizadas as avaliações de imóveis realizadas pela Caixa Econômica Federal no período de 2012 e 2013, na cidade de São Gotardo/MG. Foram disponibilizados para consulta todos os processos de empréstimos ocorridos nesse período. Um dos conteúdos desses processos são os laudos de avaliação, os quais foram escaneados para uso nessa pesquisa. Após tabular todas as informações em uma planilha do Excel e fazer a verificação de inconsistências⁸ das mesmas, restaram 184 imóveis avaliados, os quais foram utilizados para o desenvolvimento desse trabalho. Todas as informações se referem a imóveis residenciais.

De posse do endereço dos imóveis avaliados, cadastrou-se a posição de cada um com receptor GPS Garmin GPSMAP 78s. Cada ponto referente aos imóveis avaliados foi inserido (a partir das coordenadas UTM) na base cartográfica disponibilizada pela Prefeitura de São Gotardo.

Devido às diferenças do valor dos imóveis ofertados em relação ao preço real de venda, decidiu-se não utilizar informações de ofertas de imóveis realizadas a partir de anúncios em jornais e placas de ofertas, bem como consultas às imobiliárias.

3.2.1. Variáveis disponíveis

As variáveis disponíveis no laudo de avaliação fornecido pela CAIXA foram divididas em quatro categorias, a saber: preço do imóvel; características do terreno; características construtivas da edificação; e características da avaliação. A seguir é apresentado um resumo de cada variável pertencente a cada uma das quatro categorias citadas.

- Categoria preço do imóvel:

- Valor total imóvel: variável quantitativa que representa o valor total do imóvel avaliado;

⁸ Exemplo: laudos sem endereço ou com endereço errado, laudos sem informações completas dos imóveis, entre outros.

- Valor unitário do imóvel: variável quantitativa que representa o valor total do imóvel avaliado dividido pela área construída;

- Categoria características do terreno:

- Forma do terreno: variável qualitativa que representa a forma do terreno analisado. Pode ser irregular, triangular, retangular e trapezoidal. Essa variável foi transformada em uma variável dicotômica no qual as formas irregular e triangular receberam o valor 0 e as formas retangular e trapezoidal o valor 1;

- Cota/Greide do terreno: variável qualitativa que informa o nível do terreno em relação à rua, podendo ser abaixo, acima e no nível da rua. Essa variável foi transformada em duas novas variáveis dicotômicas;

- Inclinação do terreno: o laudo da Caixa Econômica Federal classifica as inclinações de terreno como acidentado, acline/declive $> 10\%$ e plano/semi-plano. Esta variável qualitativa foi transformada em duas novas variáveis dicotômicas;

- Área do terreno: variável quantitativa que representa a área total do terreno do imóvel avaliado;

- Frente do terreno: variável quantitativa que representa a medida da frente do terreno avaliado; e

- Situação do terreno: variável qualitativa que classifica se o terreno avaliado está localizado no meio de quadra ou esquina. Essa variável foi transformada em uma variável dicotômica.

- Características construtivas da edificação:

- Número de pavimentos: variável quantitativa que representa o número de pavimentos do imóvel avaliado. Essa variável foi transformada em uma variável dicotômica na qual 1 pavimento recebeu o valor 0 e 2 ou 3 pavimentos o valor 1;

- Idade: variável quantitativa que informa a quanto tempo o imóvel avaliado foi construído;

- Idade²: variável quantitativa, determinada elevando-se a idade do imóvel ao quadrado. É utilizada como *proxy* para captar os efeitos de reformas nos imóveis ao longo do tempo;

- Padrão de acabamento: o laudo da Caixa Econômica Federal apresenta sete classes de padrão de acabamento de acordo com o material utilizado na construção. Das sete classes qualitativas foram geradas três variáveis dicotômicas com o seguinte arranjo: mínimo ou entre baixo e mínimo; baixo ou entre normal e baixo; normal ou entre normal e alto; e alto;

- Estado de conservação do imóvel: é uma variável qualitativa, a qual representa os estados de conservação ruim, regular e bom. Essa variável qualitativa foi transformada em duas novas variáveis dicotômicas, sendo o estado de conservação ruim, considerado como categoria de referência;

- Garagem: variável qualitativa que indica a existência de garagem no imóvel. Portanto, foi utilizada como uma variável dicotômica, na qual o valor 0 representa que o imóvel não possui garagem e o valor 1 indica que o imóvel possui garagem;

- Área construída: variável quantitativa que representa o valor total da área construída do imóvel avaliado;

- Número de Quartos/Suítes: variável quantitativa que representa o número de quartos ou suítes existentes no imóvel avaliado; e

- Número de Banheiros: variável quantitativa que representa o número de banheiros existentes no imóvel avaliado.

- Características da avaliação

- Data da avaliação: variável qualitativa que indica se o imóvel foi avaliado no ano de 2012 ou 2013.

Na Tabela 1 está apresentado um resumo das características de todas as variáveis disponíveis. Nessa tabela estão inseridas, ainda, as siglas utilizadas, as descrições e as unidades de cada variável.

Tabela 1 - Variáveis disponíveis nas avaliações de imóveis da CAIXA

Categoria	Variável	Sigla	Descrição/definição da variável	Unidade
Preço do imóvel	Valor total imóvel	VT	Valor total do imóvel avaliado	Reais
	Valor unitário do imóvel	VU	Valor total do imóvel avaliado/área construída	Reais/m ²
Características do terreno	Forma do terreno	FO	Irregular ou Triangular = 0 Retangular ou Trapezoidal = 1	-
	Cota/Greide do terreno	CT1, CT2	Se CT1 = 0; CT2 = 0: Abaixo do nível da rua Se CT1 = 1; CT2 = 0: Acima do nível da rua Se CT1 = 0; CT2 = 1: No nível da rua	-
	Inclinação do terreno	IT1, IT2	Se IT1 = 0; IT2 = 0: Acidentado Se IT1 = 1; IT2 = 0: Aclive/Declive > 10% Se IT1 = 0; IT2 = 1: Plano/semi-plano	-
	Área do terreno	AT	Área total do terreno do imóvel avaliado	(m ²)
	Frente do terreno	FT	Medida da frente do terreno	(m)
	Situação do terreno	ST	Posição do terreno em relação a quadra: Meio de quadra = 0 Esquina = 1	-
Características construtivas da edificação	Número de pavimentos	NP	Número de pavimentos da construção 1 pavimento = 0 2 ou 3 pavimentos = 1	-
	Idade	ID	Idade da construção	(anos)
	Idade ²	ID2	Idade da construção elevada ao quadrado	(anos) ²
	Padrão de acabamento	PA1, PA2, PA3	Se PA1, PA2, PA3 = 0: Mínimo ou Entre baixo e mínimo Se PA1 = 1; PA2, PA3 = 0: Baixo ou Entre normal e baixo Se PA2 = 1; PA1, PA3 = 0: Normal ou Entre normal e alto Se PA3 = 1; PA1, PA2 = 0: Alto	-
	Estado de conservação do imóvel	EC1, EC2	Se EC1 = 0; EC2 = 0: Ruim Se EC1 = 1; EC2 = 0: Regular Se EC1 = 0; EC2 = 1: Bom	-
	Garagem	GA	Não possui garagem = 0 Possui garagem = 1	-
	Área construída	AC	Área total construída do imóvel avaliado	(m ²)
	Número de Quartos/Suítes	NQ	Número total de quartos e/ou suítes do imóvel avaliado	-
	Número de Banheiros	NB	Número total de banheiros do imóvel avaliado	-
Características da avaliação	Data da avaliação	DA	Ano da avaliação do imóvel 2012 = 0 2013 = 1	-

Fonte: elaborado pelo autor com base nas avaliações imobiliárias fornecidas pela CAIXA de São Gotardo/MG.

De posse dos valores das variáveis quantitativas foi realizada a análise descritiva determinando os valores mínimo, máximo, média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação das mesmas. Para as variáveis qualitativas fez-se um estudo da frequência de ocorrência.

3.3. Seleção das amostras para análise da qualidade dos modelos de regressão

Para realização da análise da qualidade de predição do valor dos imóveis foram selecionados, aproximadamente, 10% dos 184 imóveis avaliados pela CAIXA no período de 2012/2013. Inicialmente, foi realizada a padronização de todas variáveis pelo seu desvio padrão, ou seja, $[(\text{valor da variável} - \text{média}) / \text{desvio padrão}]$. Posteriormente, procedeu-se a análise de agrupamento não hierárquica (*K-means*), por meio do módulo *Spatial Statistics Tools* do *software* ArcGIS, no qual os 184 imóveis foram divididos em 5 grupos (Tabela 2).

A partir do resultado do agrupamento foi possível identificar quais amostras eram semelhantes. Posteriormente, foi realizada a seleção de aproximadamente 10% das amostras de cada grupo, de forma aleatória, por meio o módulo *Geostatistical Analyst Tools* do *software* ArcGIS. O resultado desta seleção pode ser verificado na Tabela 2 na qual observa-se que foram selecionadas aproximadamente 10% da amostra total de cada grupo, ou seja, 18 amostras.

Tabela 2 - Resumo dos resultados da análise de agrupamentos

Grupos	Número de amostras	Número de amostras selecionadas	%
1	59	6	10,2
2	19	2	10,5
3	61	6	9,8
4	25	2	8,0
5	20	2	10,0
Total	184	18	Média: 9,8

Fonte: elaborado pelo autor.

Os procedimentos realizados acima tiveram os seguintes objetivos: promover a seleção das amostras de forma aleatória dentro de cada grupo; fazer com que a diferença entre o modelo gerado com todas as amostras e o modelo gerado sem as amostras para análise de qualidade fosse a menor possível; e para que as amostras a serem utilizadas na análise de qualidade representasse a grande variabilidade de imóveis analisados.

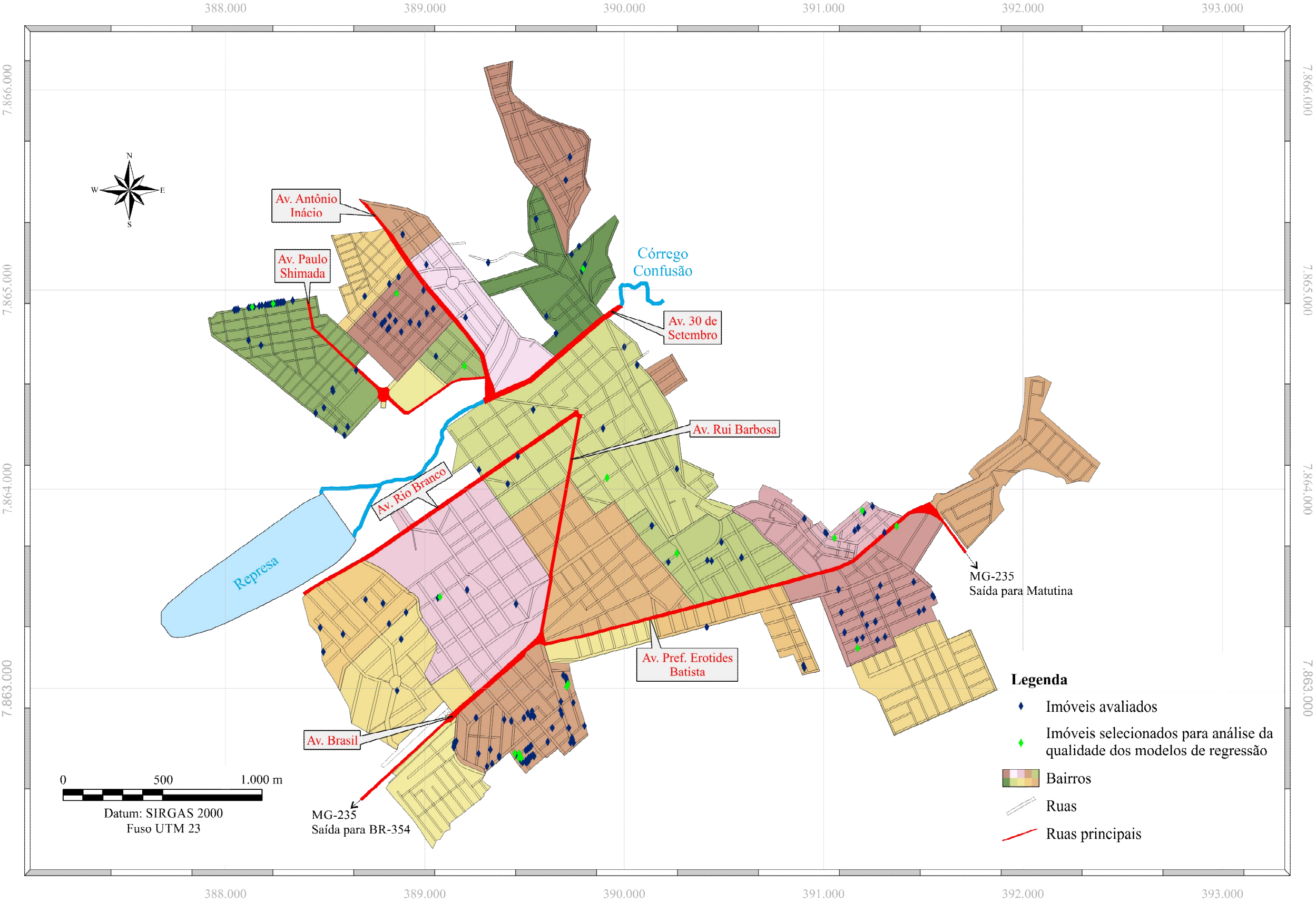
Portanto, todas as análises realizadas no decorrer do trabalho foram com base em 166 amostras de imóveis. Na Figura 10 é apresentado um mapa com a localização de cada ponto amostral e os pontos selecionados para análise da qualidade dos modelos de regressão gerados. É possível observar que as 18 amostras para análise da qualidade dos modelos estão dispostas de forma aleatória na área estudada.

3.4. Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL)

Inicialmente, gerou-se a matriz de correlação entre as variáveis, por meio do *software* estatístico SPSS *Statitics Data Editor* 17. Essa matriz serviu para ter o conhecimento de quais variáveis têm maior influência na variável dependente.

Após gerar a matriz de correlação foi aplicada a técnica *stepwise*, o qual busca agrupar as variáveis independentes que representam da melhor forma o modelo de regressão. Este método seleciona as variáveis independentes por ordem de contribuição à significância total das variáveis explicativas. Para isso, utilizou-se o *software* SPSS no intuito de obter um modelo de regressão somente com as variáveis relevantes de forma automática. Como parâmetros desse método utilizou-se para inclusão de uma variável a probabilidade do teste F menor que 5% e exclusão maior que 10% de significância.

Figura 10 - Mapa de São Gotardo com a localização de cada imóvel avaliado e os imóveis selecionados para análise da qualidade dos modelos de regressão gerados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para verificar qual melhor arranjo entre as variáveis dependentes e independentes, foram utilizados modelos de regressão na forma em que estão apresentados na Tabela 3. Os modelos M_a e M_d são denominados lineares (lin-lin), que representam a variação absoluta constante, em reais, no valor total (M_a) ou valor unitário (M_d) do imóvel para uma variação absoluta ocorrida no valor dos atributos deste imóvel. Já os modelos M_b e M_e são chamados de semilog (log-lin) e tratam da variação relativa constante, em reais, no valor do imóvel dada uma variação absoluta no valor dos atributos. Por fim, os modelos M_c e M_f são nomeados de logarítmico (log-log) tratam da variação relativa entre todas as variáveis. A seguir, foram denominados de M_1 e M_2 os modelos que apresentaram melhores resultados dentre os modelos M_a, b, c e M_d, e, f , respectivamente. Somente os modelos M_1 e M_2 foram apresentados neste trabalho.

Tabela 3 - Resumo dos modelos de regressão linear gerados pela técnica *stepwise* e suas variáveis

Denominação do Modelo		Variáveis	
		Dependente	Independente
M_1	M_a (lin-lin)	Valor total dos imóveis (VT)	Sem transformação
	M_b (log-lin)	Transformação logarítmica do valor total dos imóveis (Ln_VT)	Sem transformação
	M_c (log-log)	Transformação logarítmica do valor total dos imóveis (Ln_VT)	Transformação logarítmica
M_2	M_d (lin-lin)	Valor unitário dos imóveis (VU)	Sem transformação
	M_e (log-lin)	Transformação logarítmica do valor unitário dos imóveis (Ln_VU)	Sem transformação
	M_f (log-log)	Transformação logarítmica do valor unitário dos imóveis (Ln_VU)	Transformação logarítmica

Fonte: elaborado pelo autor.

A utilização das variáveis VT e VU como dependentes se justifica pelo fato de que na literatura consultada não existe uma unanimidade. Dos 33 trabalhos consultados na literatura,

referente a geração de algum modelo econométrico envolvendo o valor de imóveis, 10 utilizaram o valor unitário como variável dependente, ou seja, o valor total do imóvel dividido pela área construída (BRONDINO (1999); CARVALHO Jr. (2011); FLORENCIO (2010); GOMES (2012); HOCHHEIM & UBERTI (2001); MICHAEL (2004); PELLI NETO (2006); VAZQUEZ (2011); RIBEIRO (2011); TRIVELLONI (2005)), 19 trabalhos utilizaram o valor total do imóvel como variável dependente (ARAÚJO et al. (2012); AVILA (2010); BRÁULIO (2005); COELHO (2007); DALAQUA (2007); DANTAS et al. (2003); DUBIN (1992); FURTADO (2011); GAZOLA (2002); KOSCHINSKY et al. (2011); MATTA (2007); McCLUSKEY (1997); MONTEIRO & LEITE (2011); MOURA & CARNEIRO (2004); PAIXÃO (2010); SANDER & HAIGHT (2012); SCHIAVO & AZEVEDO (2003); SOUSA FILHO & ARRAES (2005) e VIEIRA (2005)) e quatro trabalhos utilizaram o valor total e unitário, separadamente, como variáveis dependentes (ANSELIN & LOZANO-GRACIA (2008); CATALÃO (2010); GONZÁLEZ (2002); MARQUES, et al. (2009)).

Foram realizados os testes de normalidade, heterocedasticidade e multicolinearidade de todos os modelos de regressão gerados.

3.5. Modelo de Regressão Espacial

Inicialmente, foram gerados quatro modelos de regressão múltipla a partir das variáveis dependentes $\ln(VT)$ e $\ln(VU)$. As variáveis independentes utilizadas foram as relativas às características construtivas das edificações e a todas as variáveis disponíveis. Portanto, foram geradas quatro combinações de modelos de regressão linear conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Combinações dos modelos de regressão linear e suas variáveis

Denominação do Modelo	Variáveis	
	Dependente	Independente
M ₃	Logaritmo do valor total dos imóveis (Ln(VT))	Construtivas
M ₅	Logaritmo do valor unitário dos imóveis (Ln(VU))	Construtivas
M ₈	Logaritmo do valor total dos imóveis (Ln(VT))	Todas variáveis disponíveis
M ₁₀	Logaritmo do valor unitário dos imóveis (Ln(VU))	Todas variáveis disponíveis

Fonte: elaborado pelo autor.

Na sequência, foi gerada a matriz dos pesos espaciais (W) por meio do *software GeoDaSpace*. A definição do valor da distância máxima para que dois imóveis fossem considerados vizinhos foi realizada a partir do valor do alcance do semivariograma da variável homogeneizada (o qual representa o fator de localização). Este valor foi de, aproximadamente, 1350 m, que é uma distância que não representa a realidade da área estudada. Assim, este valor foi sendo reduzido até chegar ao valor de 800 m o qual representa de forma mais fidedigna a realidade de São Gotardo. Portanto, a matriz de pesos espaciais foi determinada utilizando a distância geográfica, na qual imóveis até a distância de corte (800 m) são considerados vizinhos e recebem o valor unitário (um) e a partir da distância de corte não são considerados vizinhos recebendo, valor zero. Esta matriz foi padronizada pelo somatório da linha.

Utilizando os modelos M₃, M₅, M₈, M₁₀ e a matriz dos pesos espaciais, foi realizada a verificação da existência de autocorrelação espacial por meio do Multiplicador de Lagrange Robusto (LM) da defasagem espacial e do erro. No intuito de analisar a aplicação de todos os modelos possíveis, quando o teste LM indicou significância na defasagem espacial e no erro, foram gerados dois modelos, diferentemente do que se vê na literatura, que utiliza apenas o que for mais significativo.

Quando gerou-se o modelo espacial do erro, buscou-se determinar uma nova variável homogeneizada que englobasse o fator localização. Para isso, foi determinado um novo valor homogeneizado (VH) de cada amostra a partir da divisão do VT ou VU pelo resultado do modelo espacial do erro sem a sua constante e sem o Lambda.

Esta nova variável homogeneizada que representa o fator localização foi utilizada como variável independente de um novo modelo de regressão linear (MQO). Este modelo foi gerado utilizando a técnica *stepwise*. Posteriormente, foi realizada uma nova verificação da existência de autocorrelação espacial por meio dos testes Multiplicador de Lagrange Robusto (LM) da defasagem espacial e do erro.

Para a determinação da variável homogeneizada (VH) para qualquer imóvel presente na área de estudo foi realizada a interpolação da mesma utilizando-se a krigagem.

3.6. Análise do desempenho dos modelos gerados

Foi analisado o desempenho dos modelos $M_{1, 2, 4, 7, 9 \text{ e } 12}$. Aplicou-se a metodologia recomendada pela *International Association of Assessing Officers*. Essa associação diz que a medida de variabilidade ou uniformidade de uma avaliação deve ser realizada por meio do Coeficiente de Dispersão (COD). Foram gerados dois valores de COD para cada modelo, sendo um para as 166 amostras utilizadas na geração dos modelos e outro para as 18 amostras separadas para análise da performance de cada modelo de regressão gerado.

Assim, a determinação do COD seguiu os seguintes passos: 1) foi estimado o valor do imóvel para cada amostra por meio do modelo de regressão gerado; 2) procedeu-se a divisão do valor dos imóveis estimados pelo modelo de regressão (P_c) pelo valor observado (P_o), obtendo-se uma razão (R) entre estes valores; 3) foi realizada a subtração da razão (R) pela mediana de todas as razões; 4) determinou-se a média dos valores absolutos da subtração da

razão realizado no passo anterior; 5) a média (passo 4) foi dividida pela mediana das razões; e 6) o resultado do passo 5 foi multiplicado por 100.

Neste trabalho as propriedades avaliadas são do tipo residencial unifamiliar localizados em áreas heterogêneas. Portanto, de acordo com IAAO (2013), o valor de COD aceitável vai até 15.

3.7. Escolha do melhor modelo de regressão gerado

A escolha do melhor modelo de regressão se deu a partir da análise do menor COD resultante das 18 amostras não utilizadas na geração dos modelos de regressão, bem como pelo atendimento aos pressupostos do modelo de regressão linear. Assim, foi elaborada uma tabela comparativa de todos os modelos gerados com intuito de facilitar essa comparação.

3.8. Análise do modelo de regressão final

Para o modelo identificado como mais ajustado aos dados foram gerados gráficos para validar o resultado dos testes formais quanto à existência de heterocedasticidade, normalidade e pontos atípicos. Na sequência foi realizado um estudo dos sinais de todas as variáveis independentes, analisando a coerência de cada uma.

Para Gazola (2002) o fato do modelo atender aos pressupostos não é garantia de qualidade nas predições, sendo necessária uma avaliação prática do mesmo, a qual demonstra se realmente há qualidade de ajuste e capacidade preditiva. Portanto, a porcentagem de erro, pode ser determinada por:

$$Erro(\%) = \frac{abs(Valor\ Observado - Valor\ Estimado)}{Valor\ Observado} * 100 \quad (23)$$

Valores de erro até 5% são considerados excelente resultado, entre 5 e 10% ótimo resultado, entre 10 e 15% bom resultado e entre 15 e 20% aceitável (GAZOLA, 2002).

Para realizar uma análise espacial do erro de predição nos valores do m² de área construída de São Gotardo foram gerados dois mapas, por meio da aplicação da krigagem, sendo eles: o mapa dos valores do m² de construção avaliados pela CEF e dos valores do m² de construção estimados pelo modelo de regressão M₁₂, para os 184 imóveis utilizados neste estudo.

Posteriormente, foi realizada a álgebra destes dois mapas, visando determinar os locais de maior e menor acerto por meio da Equação 24:

$$Erro(\%) = \frac{abs(Mapa\ do\ Valor\ Observado - Mapa\ do\ Valor\ Estimado)}{Mapa\ do\ Valor\ Observado} * 100 \quad (24)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estatística descritiva das variáveis

Na Tabela 5 está apresentada a análise de frequência de todas as variáveis qualitativas utilizadas no trabalho. A partir dessa tabela é possível verificar que na maioria dos imóveis pesquisados predominam as seguintes características dos terrenos: forma retangular ou trapezoidal (73,4%); localização no nível acima da rua (54,3%); terrenos planos (62,5%) e localização no meio da quadra (86,4%).

No que se refere às características das construções, Tabela 5, a maior parte dos imóveis pesquisados possuem: 1 pavimento (91,3%); padrão de acabamento entre baixo e normal; estado de conservação bom (89,7%); garagem (83,7%) e foram avaliados em 2012 (59,8%).

A Tabela 6 apresenta as estatísticas descritivas dos dados (mínimo, máximo, média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação). A partir dessa tabela é possível verificar que o maior valor de imóvel utilizado nesse trabalho foi de R\$500.000,00 e o menor de R\$50.000,00. Em termos unitários, observa-se que o valor variou de R\$510,73/m² a R\$2.083,33/m². A área do terreno variou de 125,08 a 619,00 m², enquanto que, área construída de 38,32 à 343,00 m². Portanto, somente analisando os dados supracitados pode-se

dizer que esses possuem amplitude considerável, o que possibilita a aplicação do modelo em um universo grande de imóveis.

Tabela 5 - Frequência das variáveis qualitativas dos imóveis analisados no período de 2012 e 2013

Variáveis	Frequência	Porcentagem
Forma do terreno - FO		
Irregular ou Triangular	49	26,6
Retangular ou Trapezoidal	135	73,4
Cota/Greide do terreno - CT		
Abaixo do nível da rua	32	17,4
No nível da rua	52	28,3
Acima do nível da rua	100	54,3
Inclinação do terreno - IT		
Acidentado	9	4,9
Active/Declive > 10%	60	32,6
Plano/semi-plano	115	62,5
Situação do terreno - ST		
Esquina	25	13,6
Meio de quadra	159	86,4
Número de pavimentos - NP		
2 ou 3 pavimentos	16	8,7
1 pavimento	168	91,3
Padrão de acabamento - PA		
Alto	4	2,2
Mínimo ou Entre baixo e mínimo	4	2,2
Normal ou Entre normal e alto	74	40,2
Baixo ou Entre normal e baixo	102	55,4
Estado de conservação do imóvel - EC		
Ruim	2	1,1
Regular	17	9,2
Bom	165	89,7
Garagem - GA		
Não possui garagem	30	16,3
Possui garagem	154	83,7
Data da avaliação - DA		
2013	74	40,2
2012	110	59,8

Fonte: elaborado pelo autor com base nas avaliações imobiliárias fornecidas pela CAIXA de São Gotardo/MG.

Também pode ser destacado, conforme Tabela 6, que a idade dos imóveis avaliados, variou de 0 à 35 anos e o número de banheiros e quartos que variaram de 1 a 5. A partir da idade do imóvel foi possível criar uma nova variável independente, a idade do imóvel elevada ao quadrado. Essa variável visa identificar alguma melhora ou reforma realizada no imóvel ao longo do tempo (BOURASSA et al. 1999; BERON et al. 2004). Assim, um imóvel mais antigo receberia uma compensação por essa possível reforma realizada.

Tabela 6 - Estatística descritiva das variáveis quantitativas dos imóveis analisados no período de 2012 e 2013

Variável	Sigla	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Valor total imóvel (R\$)	VT	50.000,00	500.000,00	126.593,26	90.000,00	92.834,20	73,33
Valor unitário do imóvel (R\$/m ²)	VU	510,73	2.083,33	1.268,67	1.220,63	249,33	19,65
Área do terreno (m ²)	AT	125,08	619,00	237,31	240,00	76,98	32,44
Frente do terreno (m)	FT	4,50	33,00	11,68	12,00	2,92	25,00
Idade	ID	0,00	35,00	2,42	0,00	5,19	214,46
Idade ²	ID2	0,00	1.225,00	32,67	0,00	123,70	378,63
Área construída (m ²)	AC	38,32	343,00	97,66	69,91	57,27	58,64
Número de Quartos/Suítes	NQ	1,00	5,00	2,84	3,00	0,59	20,77
Número de Banheiros	NB	1,00	5,00	1,54	1,00	0,93	60,39

Fonte: elaborado pelo autor com base nas avaliações imobiliárias fornecidas pela CAIXA de São Gotardo/MG.

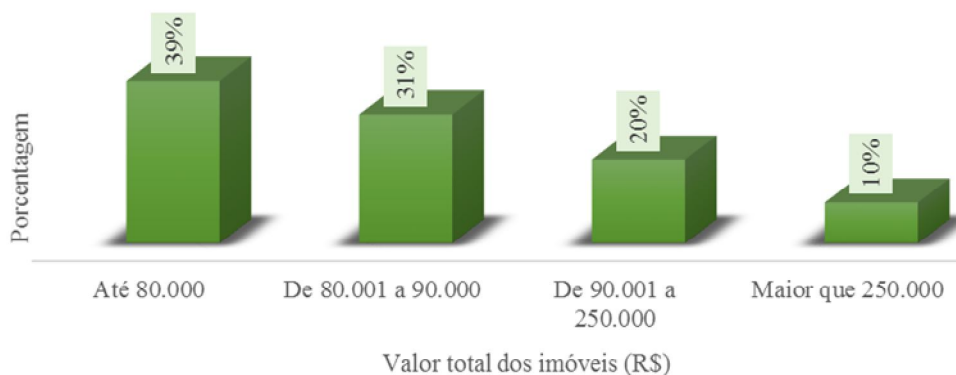
4.1.1. Análise das variáveis independentes em relação ao valor total dos imóveis

No intuito de realizar a análise descritiva das variáveis disponíveis fez-se a divisão dos dados em quatro classes de valores totais da amostra de imóveis. Na primeira classe foram considerados os imóveis com valores abaixo de R\$ 80.000, que correspondia ao valor máximo para financiamento no programa Minha Casa Minha Vida até a data de publicação do Decreto Nº 7.825/12 em 15 de outubro de 2012, para os municípios com menos de 50.000 habitantes.

O Decreto Nº 7.825/12 ampliou o limite de financiamento para R\$ 90.000, sendo gerada nesse estudo uma classe entre R\$ 80.000 e R\$ 90.000. As demais classes foram divididas de forma a verificar as características dos imóveis com valores mais altos.

Os valores de cada faixa, bem como a porcentagem de ocorrência de cada uma estão apresentados na Figura 11. A partir desta é possível verificar que a maioria dos imóveis avaliados (70%) tem valor menor que R\$ 90.000, o que significa que estão inseridos no programa Minha Casa Minha Vida. Do total de 184 imóveis utilizados nesse trabalho 10% possuem valor acima de R\$ 250.000, atingindo um valor máximo de 500.000,00, conforme Tabela 5 apresentada anteriormente.

Figura 11 - Porcentagem do número de imóveis por faixas de valores de financiamento da CEF, no período de 2012 a 2013



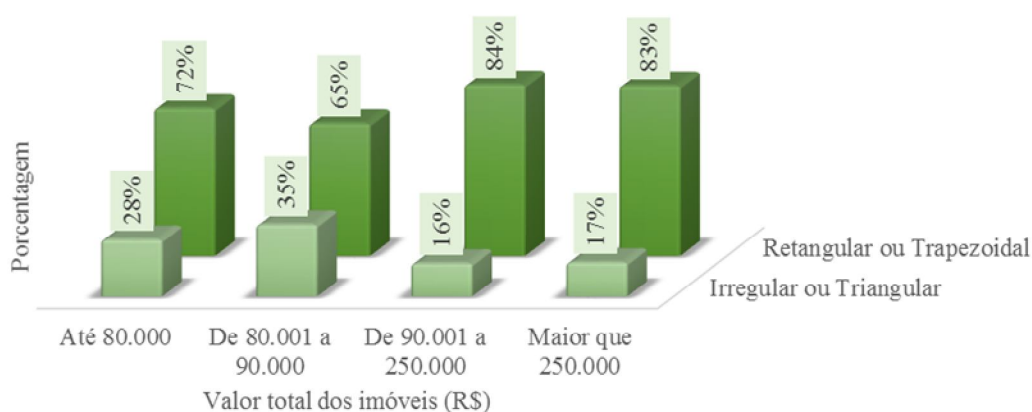
Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise descritiva das variáveis frente do terreno (FT), idade (ID), idade² (ID2), número de quartos (NQ) e data da avaliação (DA) não serão apresentadas visto que seus gráficos não apresentaram características distintas conforme o valor do financiamento. Os nomes dados às variáveis foram os mesmos apresentados nos laudos de avaliação da CEF.

A partir da Figura 12 é possível verificar que a maioria dos imóveis avaliados possuem forma do terreno retangular ou trapezoidal. Este fato pode ser explicado devido a maior parte

desses imóveis estarem localizados em loteamentos recentes que priorizam formatos de terrenos mais regulares por facilitarem a construção, bem como a organização do espaço urbano. É possível observar também que nos imóveis de valor mais alto existe uma porcentagem bem maior de terrenos retangulares ou trapezoidais.

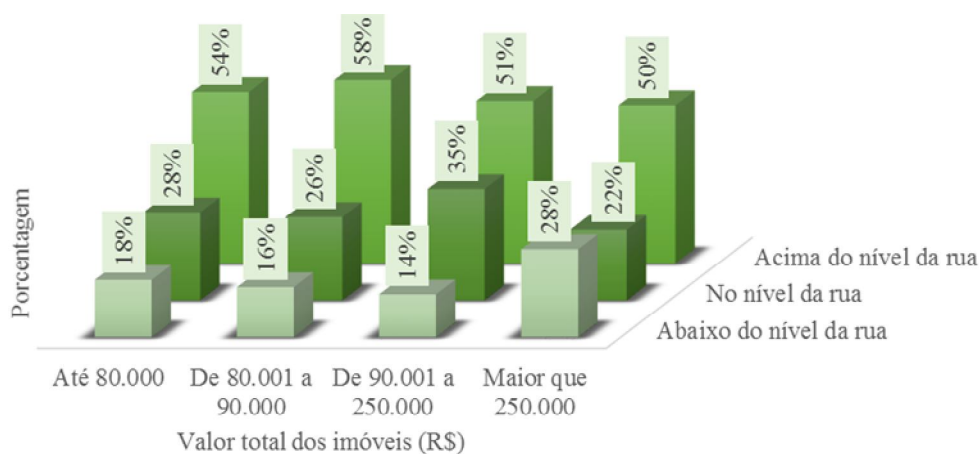
Figura 12 - Porcentagem do número de imóveis por formato do terreno dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise da variável posição do terreno em relação à rua (denominado “Cota/Greide do terreno” pela CEF), demonstrou que mais de 50% dos imóveis analisados em todas as faixas estão no nível acima da rua (exceto para imóveis acima de R\$ 250.000), seguidos por imóveis no nível da rua e abaixo do nível da rua (Figura 13), respectivamente. Terrenos que estão no nível da rua requerem menor movimentação de terra na construção dos imóveis. Por outro lado, terrenos acima do nível da rua podem exigir movimentação de terra, mas de menor custo em comparação com terrenos que estão no nível abaixo da rua que, na maioria dos casos, necessitam ser aterrados, o que é mais oneroso que as duas outras situações.

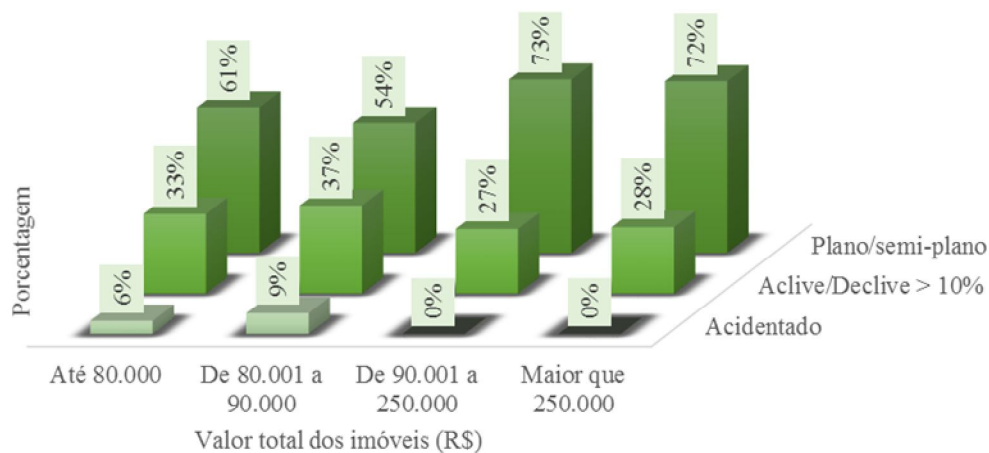
Figura 13 - Porcentagem do número de imóveis por cota do terreno dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 14 evidencia que a maior parte dos terrenos analisados possuem inclinação plana e poucos são acidentados. Nos imóveis de maior valor (acima de R\$ 90.000) não há nenhum terreno acidentado nas amostras utilizadas. Portanto, esta variável está confirmando a teoria de que terrenos acidentados requerem mais recursos para nivelá-los sendo desvalorizados em comparação aos imóveis em terreno plano ou com inclinação baixa.

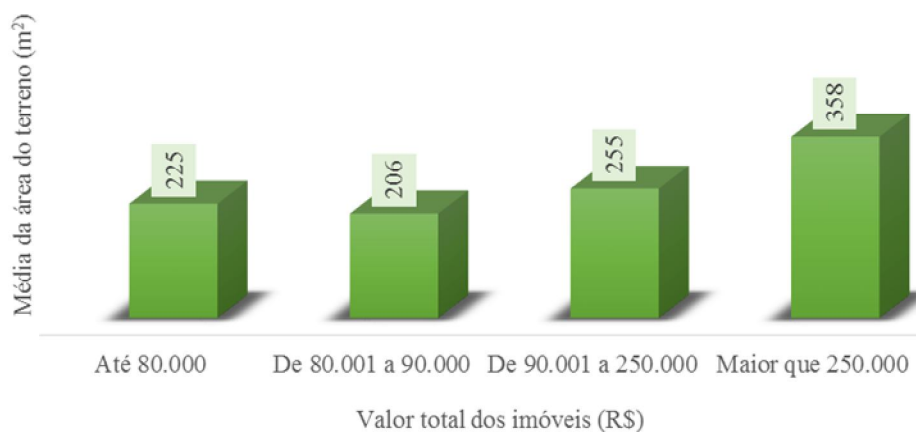
Figura 14 - Porcentagem do número de imóveis por inclinação do terreno dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como era de se esperar à medida que aumenta o valor dos imóveis aumenta-se a área do terreno, conforme apresentado na Figura 15. A área média de um imóvel com valor acima de R\$ 250.000 é aproximadamente 1,6 vezes maior que um imóvel com valor abaixo de R\$ 80.000.

Figura 15 - Área média dos terrenos dos imóveis conforme faixas de valores dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013

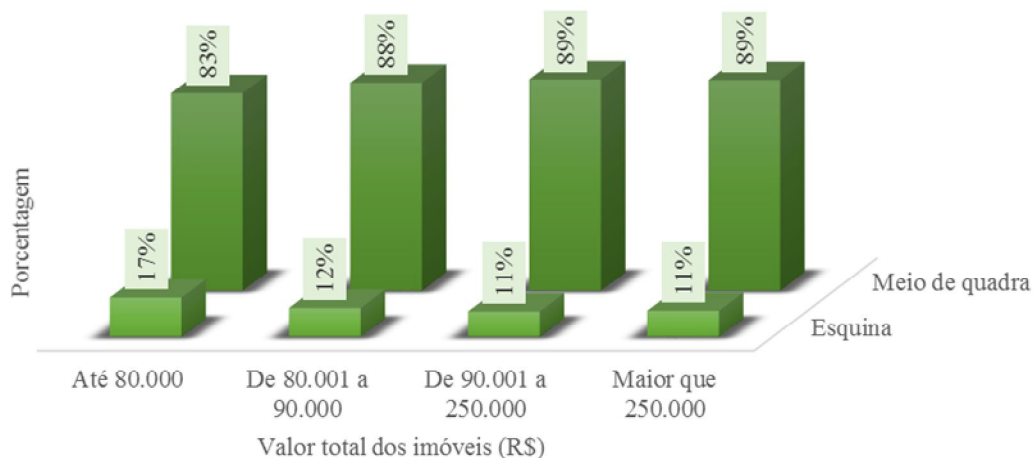


Fonte: Elaborado pelo autor.

A posição do lote em relação à quadra (denominado “Situação do terreno” pela CEF) não apresentou relação diferente entre as faixas de valores dos imóveis, visto que todas as faixas de valores tem acima de 80% dos imóveis avaliados situados no meio da quadra (Figura 16).

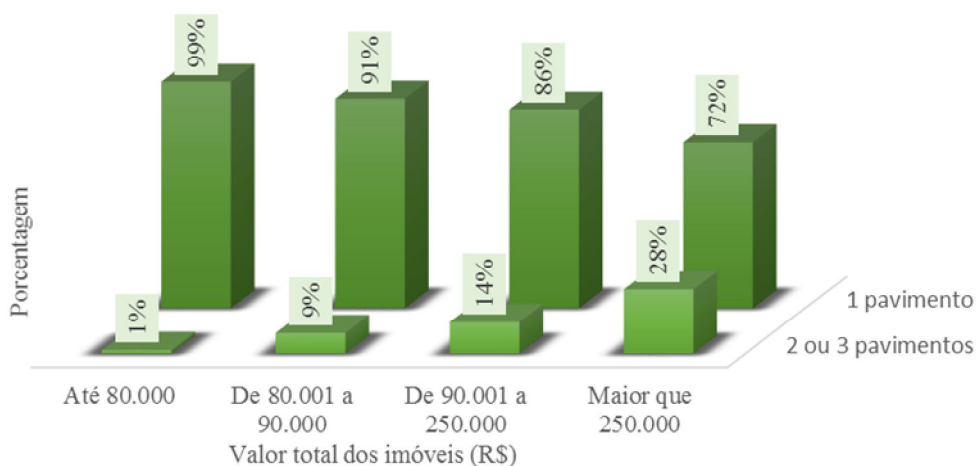
No que se refere ao número de pavimentos é possível verificar a partir da Figura 17 que à medida que aumenta o valor dos imóveis aumenta-se a quantidade de pavimentos, embora em todas as faixas predominem imóveis de 1 pavimento.

Figura 16 - Porcentagem do número de imóveis pela situação do terreno dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Porcentagem do número de imóveis por número de pavimentos dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

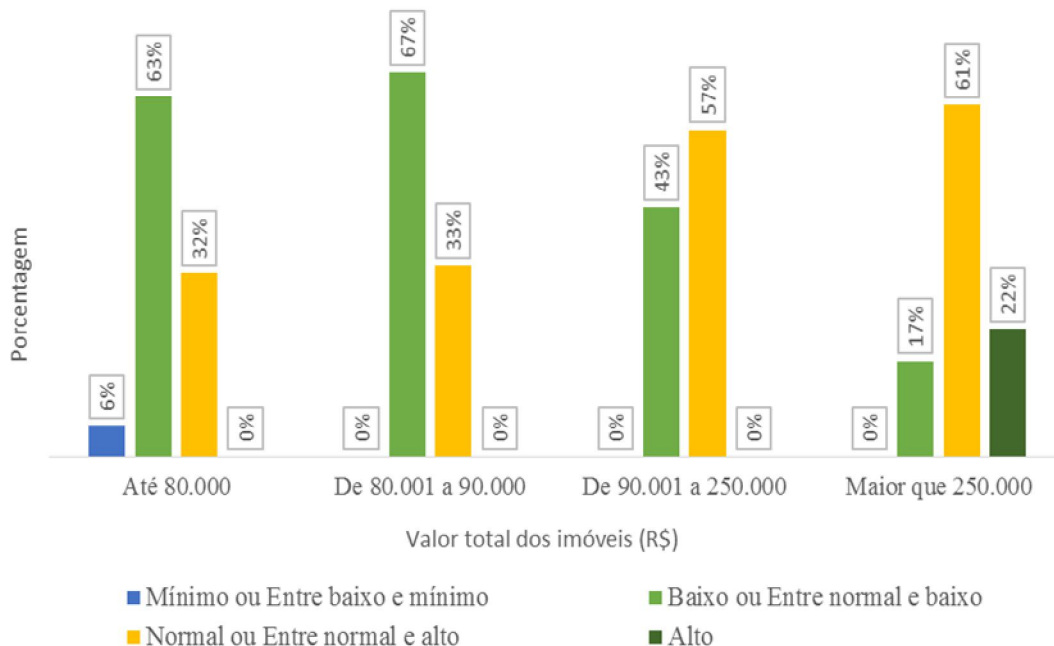
A CEF subdivide o padrão de acabamento das construções em sete classes. Nesse trabalho, para se obter um número de observações representativo em cada classe, foi realizado um agrupamento, sendo procedida a análise de quatro classes de padrão de acabamento: mínimo ou entre baixo e mínimo; baixo ou entre normal e baixo; normal ou entre normal e

alto; e alto. No Anexo A está apresentada uma tabela com as características de cada padrão de acabamento citado.

Em termos percentuais é possível verificar, por meio da Figura 18, que o padrão de acabamento normal e entre normal e alto se fez presente em todas as faixas de financiamento, apresentando percentuais mais elevados para os imóveis mais valorizados.

O padrão de acabamento mínimo, que possui características como piso de cimento comum e paredes pintadas com cal ou sobre bloco de concreto, foi encontrado somente nos imóveis com valores abaixo de R\$ 80.000. Já o padrão de acabamento alto, no qual os pisos são de mármore, madeira, tapete ou cerâmica esmaltada especial, foi encontrado somente nos imóveis com financiamento acima de R\$ 250.000, representando 22% dos imóveis.

Figura 18 - Porcentagem do número de imóveis por padrão de acabamento dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013

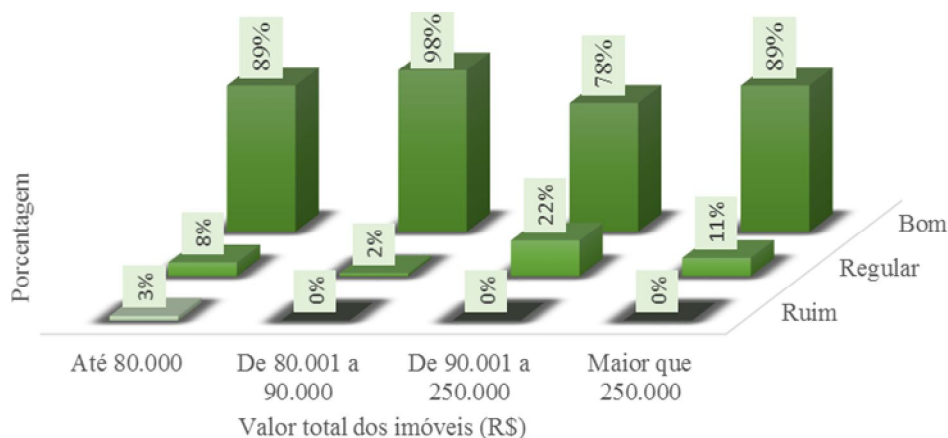


Fonte: Elaborado pelo autor.

O estado de conservação é bom para a maioria dos imóveis avaliados. Somente 3% dos imóveis até R\$ 80.000 possui estado de conservação ruim (Figura 19). Este fato ocorreu

porque a maioria dos imóveis avaliados são imóveis novos, ou seja, a maior parte dos financiamentos foi destinada para a construção de casas e não para aquisição imóveis prontos.

Figura 19 - Porcentagem do número de imóveis por estado de conservação dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013

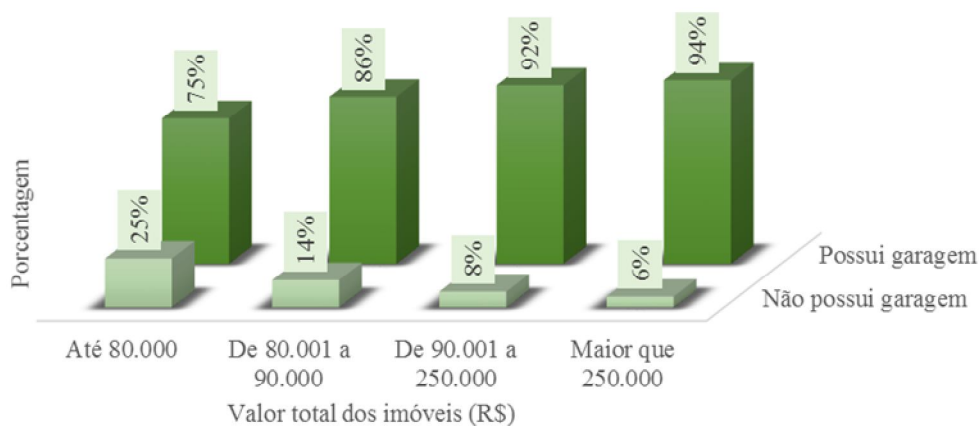


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 20 mostra a relação entre o valor do imóvel e a existência ou não de garagem. Verifica-se, que à medida que aumenta o valor do imóvel ocorre uma redução no número de imóveis que não possuem garagem. Observa-se, na Figura 20 que 6% dos imóveis avaliados com valor acima de R\$ 250.000 não possuem garagem.

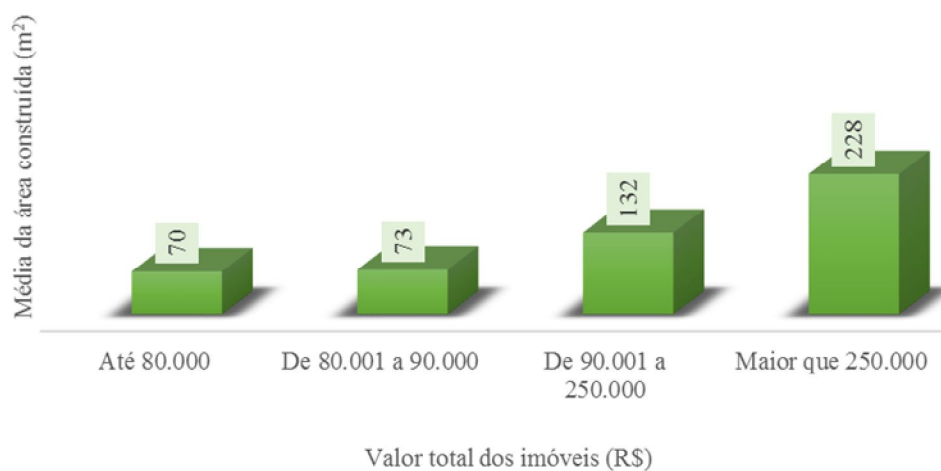
A Figura 21 apresenta a média da área construída conforme as faixas de valores dos imóveis. Verifica-se que os imóveis mais caros possuem maior área construída, sendo possível inferir que o aumento no valor dos imóveis de até R\$ 90.000 para maiores que R\$ 250.000 aumenta a área média em, aproximadamente 3,1 vezes.

Figura 20 - Porcentagem do número de imóveis por presença ou não de garagens dos financiamentos da CEF, no período de 2012 a 2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 - Média da área construída dos imóveis por faixa de financiamento da CEF, no período de 2012 a 2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

A variável número de banheiros apresentou relação direta com o valor total dos imóveis, visto que é possível verificar na Figura 22 que imóveis com valores mais altos possuem mais banheiros e imóveis com valores menores possuem menos banheiros. O número de banheiros está relacionado ao número de suítes em um imóvel, demonstrando a relação com a valorização do imóvel.

Figura 22 - Média do número de banheiros dos imóveis por faixa de financiamento da CEF, no período de 2012 a 2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL)

4.2.1. Modelo de regressão linear com variável dependente VT

Inicialmente foi gerada a matriz de correlação das variáveis dependentes valor total dos imóveis (VT) e logaritmo do valor total dos imóveis $\ln(VT)$ e todas as variáveis quantitativas independentes. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 7. De acordo com a classificação⁹ de Barbetta (2006), verifica-se que para a variável dependente Valor Total (VT) as variáveis independentes estão classificadas como: (a) relação fraca – FT, $\ln(FT)$, ID, ID2, DA; (b) relação moderada – AT, $\ln(AT)$, NQ, NB; e (c) relação forte – AC e $\ln(AC)$. A classificação das variáveis independentes em relação a variável dependente logaritmo do Valor Total ($\ln(VT)$) difere da anterior somente para a variável idade do imóvel que passou de relação fraca para moderada. No geral os valores de correlação das duas variáveis dependentes geradas foram próximos.

⁹ Valores de correlação acima de 0,70 indicam uma correlação forte, entre 0,30 e 0,70, correlação moderada e valores menores que 0,30 são classificados como correlação fraca.

Tabela 7 - Correlação entre as variáveis dependentes valor total dos imóveis (VT) e logaritmo do valor total dos imóveis Ln(VT) e as variáveis independentes quantitativas

<i>Variáveis</i>	VT	Ln(VT)	<i>Variáveis</i>	VT	Ln(VT)	<i>Variáveis</i>	VT	Ln(VT)
VT	1,00		FT	0,15	0,13	AC	0,91	0,91
Ln(VT)	0,96	1,00	Ln(FT)	0,18	0,16	Ln(AC)	0,87	0,91
AT	0,63	0,58	ID	0,29	0,31	NQ	0,43	0,44
Ln(AT)	0,58	0,55	ID2	0,18	0,21	NB	0,64	0,68

Fonte: resultados da pesquisa.

Nota: as variáveis Ln(AT), Ln(FT) e Ln(AC) é a transformação logaritmica das variáveis área do terreno, frente do terreno e área construída, respectivamente.

Foram gerados 3 modelos de regressão conforme relatado anteriormente na Tabela 3, utilizando a técnica *stepwise* e o software SPSS. Destes três modelos somente será apresentado neste trabalho o que teve melhor resultado no que se refere aos parâmetros R^2 ajustado e estatísticas de Akaike e Schwarz. Portanto, o aqui denominado, M_1 , apresentou maior valor de R^2 ajustado (0,87) em comparação aos outros 2 modelos testados. Esse modelo apresentou menor valor de Akaike e Schwarz, demonstrando, portanto um melhor ajuste que os outros dois modelos gerados.

O modelo M_1 tem como variável dependente o logaritmo do valor total dos imóveis e o logaritmo das variáveis independentes, exceto as dicotômicas. As variáveis que se apresentaram significativas estão na Tabela 8. É possível observar que as variáveis inclinação do terreno plano/semi-plano (IT2) e logaritmo da área do terreno (Ln(AT)) foram significativas a 5%, enquanto que, o logaritmo da área construída (Ln(AC)), o padrão de acabamento alto (PA3), a data da avaliação (DA) e o padrão de acabamento normal ou entre normal e alto (PA2) foram significativos a 1%.

No que se refere aos pressupostos do MCRL, o modelo M_1 , não atendeu aos pressupostos da normalidade e homocedasticidade, visto que os testes de Jarque-Bera, Breusch-Pagan e Koenker-Bassett foram significativos. Já o teste do Fator de Inflação de Variância

(FIV)¹⁰, o qual verifica a multicolinearidade, apresentou que este efeito não é significativo para o modelo. Os outros dois modelos gerados apresentaram os mesmos resultados quanto aos pressupostos.

Tabela 8 - Modelo de regressão (M₁) log-log referente à variável dependente logaritmo do valor total dos imóveis (VT)

Variável	Coefficiente	Erro-Padrão	Estatística t	Valor-p	FIV
Constante	6,4907	0,28	22,91	0,00	
Ln(AC)	0,9095	0,04	22,66	0,00	1,61
PA3	0,4983	0,10	5,05	0,00	1,19
DA	0,1287	0,03	4,40	0,00	1,06
PA2	0,0985	0,03	3,26	0,00	1,14
Ln(AT)	0,1648	0,06	2,81	0,01	1,39
IT2	0,0602	0,03	2,06	0,04	1,03

R² ajustado: 0,87

F: 185,42 P-valor: 0,00

Teste de normalidade

Jarque-Bera: 72,18 P-valor: 0,00

Testes de heterocedasticidade

Breusch-Pagan: 87,64 P-valor: 0,00

Koenker-Bassett: 35,19 P-valor: 0,00

Akaike: -93,41

Schwarz: -71,62

Fonte: resultados da pesquisa.

4.2.2. Modelo de regressão linear com variável dependente VU

A Tabela 9 apresenta os valores de correlação das variáveis dependentes valor unitário dos imóveis (VU) e logaritmo do valor unitário dos imóveis Ln(VU) e todas as variáveis quantitativas independentes. De acordo com classificação de Barbetta (2006) observa-se que todas as variáveis apresentaram relação fraca. A classificação das variáveis independentes em relação a variável dependente logaritmo do Valor Unitário (VU) apresentou todas as variáveis independentes com relação fraca.

¹⁰ De acordo com Gujarati (2000), os valores de FIV menores que 10 possuem grau aceitável de correlação e não oferecem efeitos danosos ao modelo.

Tabela 9 - Correlação entre as variáveis dependentes valor unitário dos imóveis (VU) e logaritmo do valor unitário dos imóveis Ln(VU) e as variáveis independentes quantitativas

<i>Variáveis</i>	VU	Ln(VU)	<i>Variáveis</i>	VU	Ln(VU)	<i>Variáveis</i>	VU	Ln(VU)
VU	1,00		FT	0,02	0,02	AC	0,19	0,11
Ln(VU)	0,98	1,00	Ln(FT)	0,01	0,01	Ln(AC)	0,15	0,06
AT	0,24	0,20	ID	-0,02	-0,06	NQ	-0,04	-0,09
Ln(AT)	0,22	0,18	ID2	0,02	-0,01	NB	0,19	0,14

Fonte: resultados da pesquisa.

Nota: as variáveis Ln(AT), Ln(FT) e Ln(AC) é a transformação logaritmica das variáveis área do terreno, frente do terreno e área construída, respectivamente.

Igualmente realizado no tópico anterior foram gerados 3 modelos de regressão seguindo as características relatadas na Tabela 3. Dos três modelos gerados está apresentado na Tabela 10 somente o que apresentou melhor resultado no que se refere às estatísticas de Akaike e Schwarz. O R^2 ajustado (0,25, 0,22 e 0,21) para os três modelos foi próximo. As variáveis que se apresentaram significativas foram idênticas, portanto a escolha do M_2 se deu pelo menor valor da estatística de Akaike e Schwarz, bem como pelo fato do teste de Koenker-Bassett para heterocedasticidade ter-se apresentado não significativo a 1%.

O modelo M_2 foi gerado utilizando a técnica *stepwise* e o software SPSS, tem como variável dependente o logaritmo do valor unitário dos imóveis e como independentes o logaritmo das demais variáveis. As variáveis que se apresentaram significativas a 1% foram o padrão de acabamento alto (PA3), a data da avaliação (DA) e o padrão de acabamento normal ou entre normal e alto (PA2), ao passo que, as variáveis garagem (GA) e logaritmo da área do terreno (Ln(AT)) apresentaram significância de 5%, conforme apresentado na Tabela 10.

O valor do R^2 ajustado foi de 21%. Os pressupostos do MCRL de normalidade e multicolinearidade não foram atendidos. No que se refere à heterocedasticidade apresentou-se não significativo a 1% no teste de Koenker-Bassett, sendo, entretanto, significativo para o teste de Breusch-Pagan.

Tabela 10 - Modelo de regressão (M_2) log-log referente à variável dependente o logaritmo do valor unitário dos imóveis (VU)

Variável	Coefficiente	Erro-Padrão	Estatística t	Valor-p	FIV
Constante	6,4961	0,28	22,82	0,00	
PA3	0,4454	0,10	4,69	0,00	1,08
DA	0,1360	0,03	4,59	0,00	1,07
PA2	0,1028	0,03	3,40	0,00	1,12
GA	-0,0904	0,04	-2,24	0,03	1,09
Ln(AT)	0,1098	0,05	2,10	0,04	1,08

R^2 ajustado: 0,21

F: 9,97 P-valor: 0,00

Teste de normalidade

Jarque-Bera: 116,49 P-valor: 0,00

Testes de heterocedasticidade

Breusch-Pagan: 23,04 P-valor: 0,00

Koenker-Bassett: 8,13 P-valor: 0,15

Akaike: -91,82

Schwarz: -73,15

Fonte: resultados da pesquisa.

Visto que o MCRL não apresentou resultados confiáveis, os dados foram estimados mediante o modelo de regressão espacial, em busca de melhor ajuste do modelo aos dados.

4.3. Modelo de Regressão Espacial

Os modelos seguintes, que utilizam técnicas de regressão espacial, foram gerados de forma independente dos modelos estimados pelo MCRL, permitindo analisar as diferenças e/ou similaridades entre os métodos. Assim, nos modelos indicados anteriormente, M_1 ou M_2 , não foram verificadas a existência da dependência espacial, uma vez que optou-se por gerar novos modelos com todas as variáveis disponíveis, conforme será descrito nos tópicos subsequentes.

4.3.1. Utilização das variáveis construtivas como independentes

4.3.1.1. Variável dependente: $\ln(VT)$

Inicialmente, gerou-se um MCRL no qual a variável dependente utilizada foi o logaritmo do valor total ($\ln(VT)$) dos imóveis e as variáveis independentes foram todas as correspondentes às características construtivas das edificações (NP, ID, ID2, PA1, PA2, PA3, EC1, EC2, GA, AC, NQ e NB). Esse modelo (M_3) foi gerado pelo método dos mínimos quadrados, e o resultado está apresentado a seguir:

$$\begin{aligned} \ln(VT) = & 10,5638 - 0,1310 * NP - 0,0086 * ID + 0,0005 * ID2 + 0,0449 * PA1 + \\ & 0,1187 * PA2 + 0,4275 * PA3 + 0,1716 * EC1 + 0,2436 * EC2 - 0,0204 * GA + 0,0072 * AC \\ & - 0,0206 * NQ + 0,0601 * NB \end{aligned}$$

Na sequência, gerou-se a matriz de pesos espaciais, utilizando como distância de corte para que dois imóveis fossem considerados vizinhos o valor de 800 m. Este valor foi obtido a partir de alguns testes no qual o valor do alcance do semivariograma da variável Valor Total (1347 m) foi reduzido até que fosse verificada autocorrelação na defasagem espacial ou no erro. Portanto, a matriz resultante possui valor um para um imóvel considerado vizinho e zero caso contrário.

Para verificar a existência de autocorrelação espacial, foram realizados os testes Multiplicador de Lagrange Robusto do erro e da defasagem espacial utilizando a matriz de pesos espaciais gerada. Os resultados desses testes estão apresentados na Tabela 11. Nessa tabela é possível verificar que o modelo gerado somente com as variáveis construtivas como independentes apresentou efeito, significativo a 1%, somente na defasagem espacial.

Tabela 11 - Testes de autocorrelação espacial de VT

Teste	Estatística	Valor-p
LM robusto (lag)	11,8050	0,0006
LM robusto (error)	0,1650	0,6847

Fonte: resultados da pesquisa.

Diante do diagnóstico de significativo efeito na defasagem espacial, foi gerado o modelo de defasagem espacial (M_4) utilizando como variável dependente o logaritmo do valor total dos imóveis e como variáveis independentes todas as características construtivas das edificações. A Tabela 12 apresenta o modelo resultante somente com as variáveis significativas. Para isto foi utilizado o *software GeoDaSpace*.

Tabela 12 - Modelo de defasagem espacial (M_4) para Ln(VT)

Variável	Coefficiente	Erro-Padrão	Estatística t	Valor-p	FIV
Constante	7,6756	0,78	9,89	0,00	
W_Ln(VT)	0,2647	0,07	3,92	0,00	1,43
AC	6,58E-03	0,00	15,26	0,00	2,81
EC2	0,1045	0,05	2,14	0,03	1,14
NB	0,0610	0,02	2,84	0,01	1,91
NP	-0,1459	0,06	-2,51	0,01	1,31
PA2	0,0593	0,03	1,79	0,08	1,25
PA3	0,3543	0,11	3,34	0,00	1,25

R^2 ajustado: 0,86

F: 143,15 P-valor: 0,00

Teste de normalidade

Jarque-Bera: 26,28 P-valor: 0,00

Testes de heterocedasticidade

Breusch-Pagan: 91,96 P-valor: 0,00

Koenker-Bassett: 47,54 P-valor: 0,00

Akaike: -77,22

Schwarz: -52,32

Fonte: resultados da pesquisa.

No modelo M_4 observa-se que a variável padrão de acabamento normal ou entre normal e alto (PA2) foi significativa a 10%, estado de conservação bom (EC2) significativa a 5%,

enquanto que as variáveis área construída (AC), número de banheiros (NB), número de pavimentos (NP), padrão de acabamento alto (PA3) e a variável dependente espacialmente defasada (W_Ln(VT)) são significativas a 1%. O R^2 ajustado foi de 0,86 e os pressupostos não foram atendidos exceto o da multicolinearidade.

4.3.1.2. Variável dependente: $\ln(VU)$

Na sequência utilizou-se como variável dependente o logaritmo do valor unitário $\ln(VU)$ dos imóveis mantendo as variáveis independentes correspondentes às características construtivas das edificações. Esse modelo (M_5) foi gerado pelo método dos mínimos quadrados e está apresentado a seguir:

$$\begin{aligned} \ln(VU) = & 6,9626 - 0,0597 * NP - 0,0101 * ID + 0,0004 * ID2 + 0,0698 * PA1 + \\ & 0,1475 * PA2 + 0,5027 * PA3 + 0,1985 * EC1 + 0,1954 * EC2 - 0,0630 * GA - 1,5534E-05 * \\ & AC - 0,0431 * NQ + 0,0315 * NB \end{aligned}$$

Utilizando a mesma matriz de pesos espaciais gerada no tópico anterior realizou-se os testes de autocorrelação espacial que estão apresentados na Tabela 13. Esta tabela permite observar autocorrelação na defasagem espacial e no erro, sendo a primeira com maior significância que a segunda, 1,3% e 4,7%, respectivamente.

Tabela 13 - Testes de autocorrelação espacial de VU

Teste	Estatística	Valor-p
LM robusto (lag)	6,1260	0,0133
LM robusto (error)	3,9310	0,0474

Fonte: resultados da pesquisa.

Como houve efeito significativo na defasagem espacial, foi gerado o modelo de defasagem espacial utilizando como variável dependente o logaritmo do valor unitário dos imóveis e como variáveis independentes todas as características construtivas das edificações. Este modelo apresentou ajuste ruim em termos de significância do teste Z para a variável área construída (AC), para a variável independente espacialmente defasada ($W_Ln(VU)$) e a constante, uma vez que essas não foram significativas a 10%. Portanto este modelo não será apresentado.

Entretanto, o modelo M_5 apresentou autocorrelação espacial nos seus resíduos. Portanto, aplicou-se a metodologia sugerida por Trivelloni (2005), o qual é gerada uma variável homogeneizada referente à localização do imóvel. Assim, inicialmente foi gerado o modelo espacial do erro, por meio do *software GeoDaSpace*. O resultado deste modelo (M_6) está apresentado a seguir:

$$\begin{aligned} Ln(VU) = & 6,9512 - 7,24E-05 * AC + 0,2098 * EC1 + 0,2071 * EC2 - 0,0536 * GA - \\ & 0,0102 * ID + 0,0004 * ID2 + 0,0291 * NB - 0,0533 * NP - 0,0381 * NQ + 0,0603 * PA1 + \\ & 0,1351 * PA2 + 0,4799 * PA3 + 0,3524 * LAMBDA \end{aligned}$$

O valor unitário homogeneizado (VH_U) para cada imóvel foi determinado por:

$$\begin{aligned} VH_U = & VU / \exp(- 7,24E-05 * AC + 0,2098 * EC1 + 0,2071 * EC2 - 0,0536 * GA - \\ & 0,0102 * ID + 0,0004 * ID2 + 0,0291 * NB - 0,0533 * NP - 0,0381 * NQ + 0,0603 * PA1 + \\ & 0,1351 * PA2 + 0,4799 * PA3) \end{aligned}$$

Com o valor VH_U calculado para cada imóvel foi possível gerar um novo modelo MQO com esta variável. Este modelo garante que os efeitos espaciais que influenciaram de forma negativa o modelo M_5 não estão mais presentes, pois seus efeitos estão inseridos na variável VH_U . Assim, o modelo M_7 com a variável independente VH_U está apresentado na Tabela 14.

Destaca-se que a variável dependente utilizada foi Ln(VU) e utilizou-se a técnica *stepwise* por meio do *software* SPSS.

Tabela 14 - Modelo MQO (M₇) com a variável de localização VHU

Variável	Coefficiente	Erro-Padrão	Estatística t	Valor-p	FIV
Constante	6,0180	0,03	199,01	0,00	
AC	-2,16E-04	0,00	-2,71	0,01	3,49
EC1	0,2003	0,02	8,18	0,00	9,46
EC2	0,1932	0,03	7,57	0,00	11,33
GA	-0,0494	0,01	-6,76	0,00	1,21
ID	-0,0148	0,00	-11,04	0,00	8,87
ID2	5,56E-04	0,00	11,93	0,00	6,23
NB	0,0301	0,00	8,38	0,00	1,94
NP	-0,0750	0,01	-7,78	0,00	1,31
NQ	-0,0444	0,00	-9,20	0,00	1,48
PA1	0,0391	0,02	2,19	0,03	13,55
PA2	0,1195	0,02	6,37	0,00	14,47
PA3	0,5063	0,03	19,39	0,00	2,75
VHU	9,41E-04	0,00	74,71	0,00	1,02

R² ajustado: 0,98

F: 530,89 P-valor: 0,00

Teste de normalidade

Jarque-Bera: 2381,98 P-valor: 0,00

Testes de heterocedasticidade

Breusch-Pagan: 169,68 P-valor: 0,00

Koenker-Bassett: 17,48 P-valor: 0,18

Akaike: -667,83

Schwarz: -624,26

Fonte: resultados da pesquisa.

Observa-se, na Tabela 14, que todas variáveis apresentadas foram significativas a 1%, exceto a variável padrão de acabamento baixo ou entre normal e baixo (PA1) que foi significativa a 5%. O valor do R² ajustado foi de 98%. Quanto aos pressupostos MCRL, o modelo M₇, não atendeu aos pressupostos da normalidade (teste de Jarque-Bera) e homocedasticidade para o teste de Breusch-Pagan, porém, apresentou-se não significativo a 1% para a heterocedasticidade no teste de Koenker-Bassett. Quanto ao teste FIV de multicolinearidade, as variáveis EC2, PA1 e PA2 apresentaram valores maiores que 10, o que

demonstra existência da multicolinearidade nas mesmas. Assim, testou-se a retirada dessas variáveis do modelo, mas o efeito dessa retirada sobre a significância das demais variáveis foi negativo, ou seja, variáveis importantes que se apresentaram significativas passaram a não ser. Portanto, optou-se por manter todas variáveis resultantes da aplicação da técnica *stepwise* no modelo M_7 .

Os testes de autocorrelação espacial são apresentados na Tabela 15, na qual é possível verificar que não existe mais autocorrelação espacial no modelo M_7 , o que demonstra que a variável independente VH_U abarca as características de localização no modelo de regressão calculado por MQO.

Tabela 15 - Testes de autocorrelação espacial de $\ln(VU)$ com a variável independente VH_U

Teste	Estatística	Valor-p
LM robusto (lag)	0,0170	0,8960
LM robusto (error)	1,3840	0,2395

Fonte: resultados da pesquisa.

4.3.2. Utilização de todas as variáveis disponíveis como independentes

4.3.2.1. Variável dependente: $\ln(VT)$

Para verificar a existência do modelo que melhor represente a variável dependente (logaritmo do valor total dos imóveis) foi gerado um MCRL com todas as variáveis independentes disponíveis, características construtivas, do terreno e da avaliação, conforme Tabela 1. O referido modelo (M_8) foi gerado pelo método dos mínimos quadrados e está apresentado a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Ln (VT)} = & 10,6063 + 0,0070 * \text{AC} + 5,63\text{E-}04 * \text{AT} + 0,0300 * \text{CT1} + 0,0067 * \text{CT2} \\ & + 0,1474 * \text{DA} + 0,0727 * \text{EC1} + 0,1141 * \text{EC2} + 0,0234 * \text{FO} - 0,0089 * \text{FT} - 0,0373 * \text{GA} - \\ & 0,0151 * \text{ID} + 0,0008 * \text{ID2} - 0,0359 * \text{IT1} + 0,0476 * \text{IT2} + 0,0648 * \text{NB} - 0,1262 * \text{NP} - \\ & 0,0211 * \text{NQ} + 0,0073 * \text{PA1} + 0,0968 * \text{PA2} + 0,4860 * \text{PA3} + 0,0541 * \text{ST} \end{aligned}$$

Os resultados dos testes de autocorrelação espacial de $\ln(\text{VT})$ estão apresentados na Tabela 16. Nessa tabela é possível verificar que o modelo M_8 apresentou efeito significativo a 1% somente na defasagem espacial.

Tabela 16 - Testes de autocorrelação espacial de $\ln(\text{VT})$

Teste	Estatística	Valor-p
LM robusto (lag)	11,3380	0,0008
LM robusto (error)	0,1570	0,6919

Fonte: resultados da pesquisa.

Foi gerado o modelo de defasagem espacial (M_9), por meio do *software GeoDaSpace*, o qual está apresentado na Tabela 17.

O modelo M_9 apresentou a variável frente do terreno (FT) significativa a 10%; as variáveis área do terreno (AT), inclinação do terreno plano/semi-plano (IT2), idade (ID), idade² (ID2), número de pavimentos (NP) e padrão de acabamento normal ou entre normal e alto (PA2) significativas a 5%; e as variáveis área construída (AC), data da avaliação (DA), número de banheiros (NB), padrão de acabamento alto (PA3) e a variável dependente espacialmente defasada ($W_Ln(\text{VT})$) significativas a 1%. O R^2 ajustado foi de 0,88 e o modelo não atendeu aos pressupostos exceto o da multicolinearidade.

Tabela 17 - Modelo de defasagem espacial (M₉) para Ln(VT)

Variável	Coefficiente	Erro-Padrão	Estatística t	Valor-p	FIV
Constante	8,0921	0,77	10,52	0,00	
W_Ln(VT)	0,2251	0,07	3,34	0,00	1,67
AC	6,51E-03	0,00	14,24	0,00	3,69
AT	6,49E-04	0,00	2,72	0,01	1,82
DA	0,1415	0,03	4,96	0,00	1,08
FT	-7,96E-03	0,00	-1,62	0,09	1,20
ID	-0,0182	0,01	-2,68	0,01	7,34
ID2	6,72E-04	0,00	2,50	0,01	6,70
IT2	0,0599	0,03	2,03	0,04	1,12
NB	0,0622	0,02	3,13	0,00	1,91
NP	-0,1411	0,05	-2,60	0,01	1,34
PA2	0,0727	0,03	2,40	0,02	1,22
PA3	0,4184	0,10	4,10	0,00	1,36

R² ajustado: 0,88

F: 100,48 P-valor: 0,00

Teste de normalidade

Jarque-Bera: 47,52 P-valor: 0,00

Testes de heterocedasticidade

Breusch-Pagan: 150,67 P-valor: 0,00

Koenker-Bassett: 65,92 P-valor: 0,00

Akaike: -98,81

Schwarz: -58,35

Fonte: resultados da pesquisa.

4.3.2.2. Variável dependente: ln(VU)

O modelo M₁₀, apresentado a seguir, foi resultado da aplicação do método dos mínimos quadrados tendo como variável dependente o logaritmo do valor unitário dos imóveis e como variáveis independentes todas as disponíveis.

$$\begin{aligned} \text{Ln (VU)} = & 6,9491 - 3,85\text{E-}04 * \text{AC} + 8,55\text{E-}04 * \text{AT} + 6,87\text{E-}03 * \text{CT1} - 0,0104 * \text{CT2} \\ & + 0,1509 * \text{DA} + 0,0908 * \text{EC1} + 0,0493 * \text{EC2} + 0,0153 * \text{FO} - 5,98\text{E-}03 * \text{FT} - 0,0787 * \text{GA} \\ & - 0,0201 * \text{ID} + 8,06\text{E-}04 * \text{ID2} - 0,0241 * \text{IT1} + 0,0297 * \text{IT2} + 0,0332 * \text{NB} - 0,0478 * \text{NP} - \\ & 0,0478 * \text{NQ} + 0,0620 * \text{PA1} + 0,1565 * \text{PA2} + 0,5723 * \text{PA3} + 0,0584 * \text{ST} \end{aligned}$$

Os testes de autocorrelação espacial são apresentados na Tabela 18. Nessa tabela é possível observar a existência de autocorrelação na defasagem espacial e no erro, sendo significativas a 1 e 5%, respectivamente.

Tabela 18 - Testes de autocorrelação espacial de $\ln(VU)$

Teste	Estatística	Valor-p
LM robusto (lag)	9,4160	0,0022
LM robusto (error)	6,3920	0,0115

Fonte: resultados da pesquisa.

O modelo de defasagem espacial não apresentou a variável área construída (AC) significativa a 10% e o R^2 ajustado foi de 0,30, portanto este modelo não será apresentado neste trabalho, pois a variável AC é primordial no cálculo do valor dos imóveis e além do ajuste do modelo ter sido baixo.

A partir da constatação da existência de autocorrelação espacial nos resíduos, embora menor que a autocorrelação da defasagem espacial, decidiu-se gerar o modelo espacial do erro, por meio do *software GeoDaSpace*. O resultado desse modelo (M_{11}) está apresentado a seguir:

$$\begin{aligned} \ln(VU) = & 6,9471 - 4,01E-04 * AC + 8,48E-04 * AT + 0,0066 * CT1 - 0,0103 * CT2 + \\ & 0,1503 * DA + 0,0930 * EC1 + 0,0513 * EC2 + 0,0177 * FO - 0,0059 * FT - 0,0781 * GA - \\ & 0,0199 * ID + 7,91E-04 * ID2 - 0,0241 * IT1 + 0,0292 * IT2 + 0,0326 * NB - 0,0457 * NP - \\ & 0,0467 * NQ + 0,0599 * PA1 + 0,1545 * PA2 + 0,5684 * PA3 + 0,0585 * ST + 0,1671 * \\ & LAMBDA \end{aligned}$$

Na sequência foi gerado o valor unitário homogeneizado (VH_{U1}) para cada imóvel, por meio da equação:

$$VH_{U1} = VU / \exp(- 4,01E-04 * AC + 8,48E-04 * AT + 0,0066 * CT1 - 0,0103 * CT2 + 0,1503 * DA + 0,0930 * EC1 + 0,0513 * EC2 + 0,0177 * FO - 0,0059 * FT - 0,0781 * GA - 0,0199 * ID + 7,91E-04 * ID2 - 0,0241 * IT1 + 0,0292 * IT2 + 0,0326 * NB - 0,0457 * NP - 0,0467 * NQ + 0,0599 * PA1 + 0,1545 * PA2 + 0,5684 * PA3 + 0,0585 * ST)$$

A variável VH_{U1} foi utilizada como variável independente em um novo modelo de regressão múltipla gerado por MQO. Assim, buscou a garantia de que todos os efeitos de localização não considerados no modelo M_{10} serão representadas por esta variável no modelo M_{12} . O resultado da aplicação da técnica *stepwise* apresentou as seguintes variáveis significativas a 1%: AC, AT, DA, EC1, FO, GA, ID, ID2, IT1, NB, NP, NQ, PA1, PA2, PA3, ST, VH_{U1} , entretanto, os testes de normalidade e heterocedasticidade foram significativos a 1%, o que invalida o modelo. Assim, dentre estas variáveis buscou-se uma combinação na qual estes pressupostos fossem atendidos. O resultado final do M_{12} está apresentado na Tabela 19.

Observa-se no modelo M_{12} que todas as variáveis foram significativas a 1%. O R^2 ajustado foi de 0,81 e os pressupostos da normalidade (teste de Jarque-Bera), homocedasticidade (Breusch-Pagan, Koenker-Bassett) e multicolinearidade foram atendidos.

Tabela 19 - Modelo MQO (M_{12}) com a variável de localização VH_{U1}

Variável	Coefficiente	Erro-Padrão	Estatística t	Valor-p	FIV
Constante	5,9697	0,05	122,58	0,00	
AC	-1,01E-03	0,00	-4,95	0,00	2,86
AT	6,60E-04	0,00	5,76	0,00	1,61
ID	-0,0205	0,00	-5,96	0,00	7,20
ID2	7,57E-04	0,00	5,69	0,00	6,32
IT2	0,0514	0,01	3,56	0,00	1,03
NB	0,0310	0,01	3,07	0,00	1,90
PA2	0,0785	0,02	5,19	0,00	1,17
PA3	0,4563	0,05	8,93	0,00	1,31
VH_{U1}	9,46E-04	0,00	23,35	0,00	1,01

R^2 ajustado: 0,81

F: 79,89 P-valor: 0,00

Teste de normalidade

Jarque-Bera: 0,51 P-valor: 0,77

Testes de heterocedasticidade

Breusch-Pagan: 7,41 P-valor: 0,59

Koenker-Bassett: 8,56 P-valor: 0,48

Akaike: -325,06

Schwarz: -293,94

Fonte: resultados da pesquisa.

Foram realizados os testes de autocorrelação espacial e seus resultados estão apresentados na Tabela 20. Verifica-se que não existe autocorrelação espacial no modelo M_{12} , o que demonstra que a variável independente VH_{U1} envolve as características de localização no modelo de regressão calculado por MQO.

Tabela 20 - Testes de autocorrelação espacial de $\ln(VU)$ com a variável independente VH_{U1}

Teste	Estatística	Valor-p
LM robusto (lag)	2,1000	0,1473
LM robusto (error)	0,4190	0,5172

Fonte: resultados da pesquisa.

4.4. Escolha do melhor modelo de regressão

A Tabela 21 apresenta os valores de COD, o resumo de todos os pressupostos de cada modelo gerado. Os números sobrescritos que vão de 1 a 6 indicam a qualidade do modelo, sendo 1 para o melhor modelo e 6 para o pior modelo em cada item analisado.

O coeficiente de dispersão (COD) de todos os modelos atendeu a recomendação da IAAO de um valor abaixo de 15,0. Destaca-se o M_7 que apresentou valor de 1,98 para as 166 amostras utilizadas para gerar os modelos de regressão. Por outro lado, observa-se uma discrepância em relação ao valor do COD das 18 amostras não utilizadas para gerar os modelos, o que pode indicar alguma incoerência nesse modelo. Portanto, o M_{12} parece ser mais confiável visto que o valor do COD para as amostras de validação foi o menor entre todos os demais modelos.

Quanto ao R^2 ajustado observa-se que o M_7 apresentou o melhor resultado (0,98) e o M_2 o pior (0,21), os demais modelos apresentaram valores próximos.

Por fim, verificou-se que somente o modelo M_{12} atendeu a todos os pressupostos sendo, portanto, o modelo final a ser utilizado para determinar os valores dos imóveis com a finalidade de gerar a planta de valores genéricos para a área urbana de São Gotardo.

Tabela 21 - Valores de COD e pressupostos de cada modelo gerado

Modelos	COD		R ² ajustado	Atendimento aos pressupostos			
	Todas as amostras (166)	Amostras de validação (18)		Normalidade	Heterocedasticidade		Multicolinearidade
				Jarque-Bera	Breusch-Pagan	Koenker-Bassett	
M ₁	12,65 ⁴	13,14 ⁵	0,87 ³	não	não	não	sim
M ₂	13,14 ⁵	14,04 ⁶	0,21 ⁶	não	não	sim	sim
M ₄	13,33 ⁶	10,6 ²	0,86 ⁴	não	não	não	sim
M ₇	1,98 ¹	11,23 ³	0,98 ¹	não	não	Sim	não
M ₉	11,62 ³	12,00 ⁴	0,89 ²	não	não	Não	sim
M ₁₂	7,07 ²	9,99 ¹	0,83 ⁵	sim	sim	Sim	sim

Fonte: resultados da pesquisa.

Nota: classificação do melhor (1) para o pior (6) modelo para cada parâmetro analisado.

4.5. *Análise do modelo de regressão final*

O modelo mais recomendado para gerar a planta de valores genéricos está apresentado a seguir:

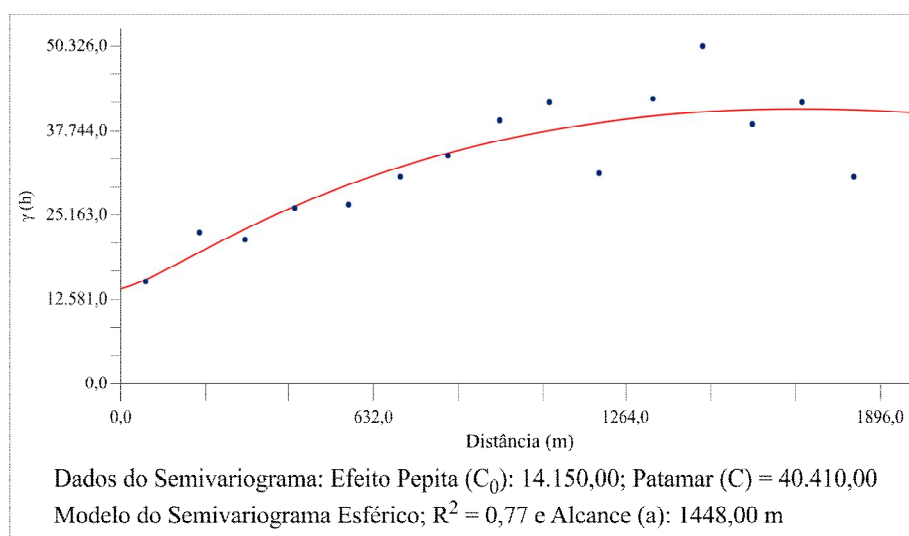
$$\begin{aligned} VU = & \exp(5,9697 - 1,01E-03 * \text{Área construída} + 6,60E-04 * \text{Área do terreno} - 0,0205 \\ & * \text{Idade do imóvel} + 7,57E-04 * \text{Idade do imóvel}^2 + 0,0514 * \text{Inclinação do terreno}^2 + 0,0310 \\ & * \text{Número de Banheiros} + 0,0785 * \text{Padrão de acabamento}^2 + 0,4563 * \text{Padrão de} \\ & \text{acabamento}^3 + 9,46E-04 * \text{Variável Homogeneizada}_{U1}) \end{aligned}$$

4.5.1. *Determinação da variável homogeneizada VH_{U1} para São Gotardo*

Para avaliar um imóvel qualquer da área urbana de São Gotardo utilizando o modelo M_{12} é necessário obter o valor da variável de localização, VH_{U1} . Assim, pode-se utilizar a divisão do VU pelo modelo M_{11} sem a constante e o Lambda, conforme descrito anteriormente. Outra forma é gerar um mapa da variável VH_{U1} interpolada, o qual possibilita a sua obtenção para qualquer imóvel na área estudada. A seguir serão descritos os procedimentos que foram utilizados para gerar o mapa espacializado de VH_{U1} .

De acordo com os autores Trivelloni (2005) e Silva (2012) a krigagem é a técnica mais recomendada para gerar o mapa espacializado da variável homogeneizada. Portanto, inicialmente, gerou-se quatro semivariogramas da variável VH_{U1} , por meio do *software* GS+, nas direções 0°, 45°, 90° e 135°, no qual verificou-se uma diferença desprezível no valor do alcance e patamar nestas direções, comprovando a isotropia. Na Figura 23 é apresentado o semivariograma isotrópico com as suas características principais.

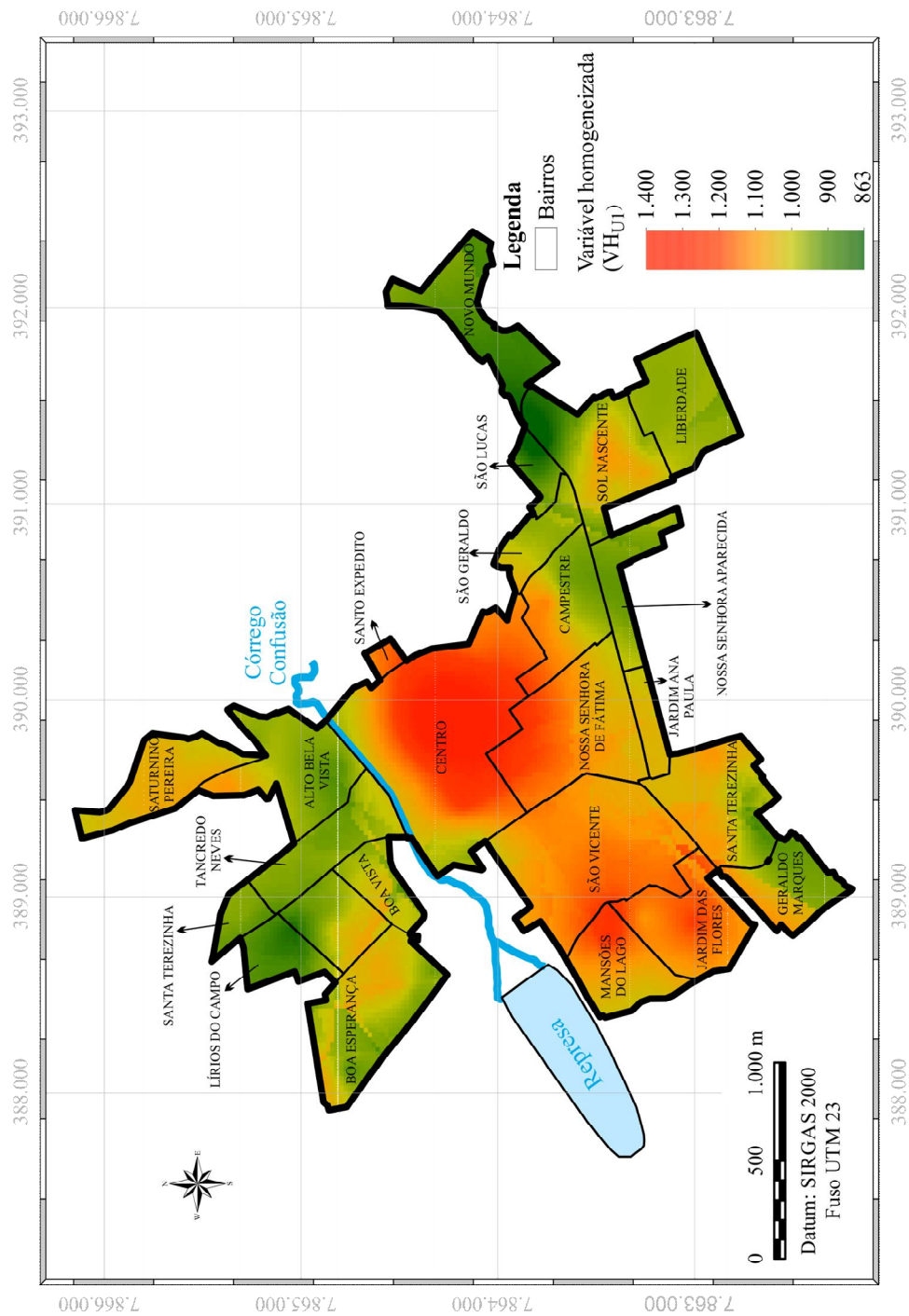
Figura 23 - Semivariograma isotrópico da variável homogeneizada VH_{U1}



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 24 apresenta-se o mapa de VH_{U1} espacializado a partir da krigagem. Observa-se neste mapa que os maiores valores da variável homogeneizada VH_{U1} estão localizados no centro da área urbana de São Gotardo, seguidas pelos bairros Mansões dos lagos, Jardins das Flores, Campestre e Nossa Senhora de Fátima. Esse resultado indica que nesses locais a variável de localização, que capta a influência da vizinhança, tem maior impacto sobre o valor unitário do imóvel.

Figura 24 - Mapa do VH_{UI} espacializado a partir da krigagem

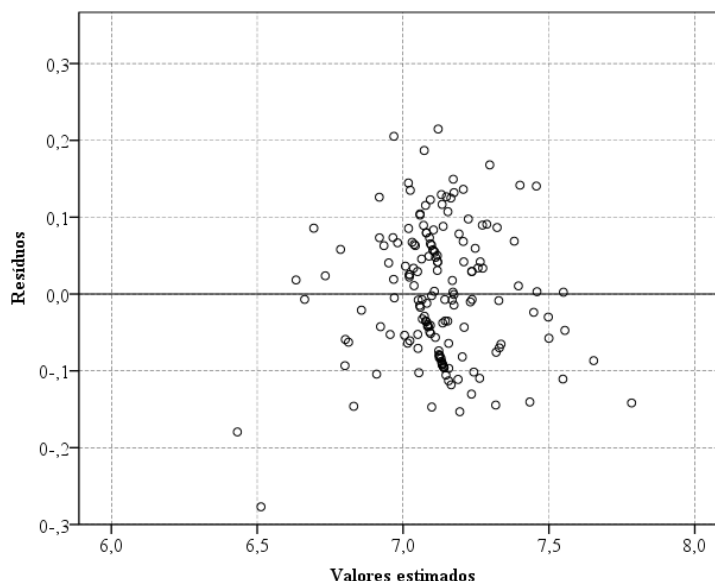


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5.2. Análise dos resíduos do modelo M_{12}

Foram analisados alguns gráficos dos resíduos do modelo M_{12} no intuito de confirmar o atendimento aos pressupostos do MCRL. Assim, Na Figura 25 apresenta-se o gráfico dos resíduos pelos valores estimados, no qual observa-se que os pontos estão distribuídos de forma aleatória, ou seja, nenhum padrão definido. Este fato confirma a hipótese de homocedasticidade (variância constante).

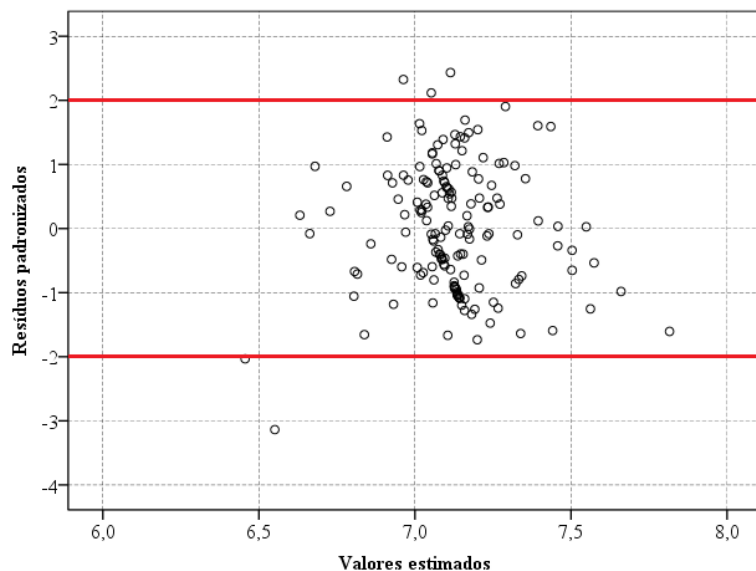
Figura 25 - Homocedasticidade: gráfico dos resíduos versus valores estimados



Fonte: Elaborado pelo autor.

A verificação de pontos atípicos (*outliers*) e da hipótese de normalidade foi feita por meio da Figura 26 no qual foram plotados os valores dos resíduos padronizados pelos valores estimados. Nesta observa-se que maior parte dos pontos estão dispostos aleatoriamente e com a maioria dos pontos no intervalo de $[-2, +2]$, confirmando a hipótese de normalidade. Para Draper & Smith (1998) a existência de pontos atípicos ocorre quando se tem pontos afastados de zero, no gráfico, de três ou mais desvios padrões, o que não foi verificado na Figura 26.

Figura 26 - Normalidade e pontos atípicos: gráfico dos resíduos padronizados pelo valor estimado



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5.3. Estudo dos sinais das variáveis independentes do modelo M_{12}

O modelo M_{12} possui como variável dependente o valor unitário dos imóveis, portanto o valor total pode ser obtido pela multiplicação do resultado deste modelo pela área construída do imóvel.

As variáveis área construída e idade do imóvel apresentaram sinais negativos, o que está de acordo com a expectativa inicial, pois a primeira variável retrata que o aumento do valor da área construída gera uma diminuição no valor do m^2 , e a segunda variável envolve o parâmetro depreciação do imóvel em que à medida que se aumenta a idade da construção diminui-se o valor do imóvel.

A variável idade do imóvel ao quadrado tem o sinal positivo, refletindo a tendência dos imóveis mais velhos terem passado por reformas que geram um aumento no seu valor. A variável inclinação do terreno representa a classe de terrenos planos o que também gera um aporte positivo no valor dos imóveis.

O aumento do número de banheiros gera um aumento no valor dos imóveis. Na Figura 22 já havia indícios dessa relação positiva, uma vez que o número de banheiro se elevava à medida em que cresciam as faixas de financiamento. Por fim, o padrão de acabamento mais elevado aumenta o valor do imóvel. Este fato ficou evidente quando se compara os coeficientes destas variáveis no qual o padrão alto (0,4563) gera um aumento muito maior que um imóvel de padrão normal (0,0785).

Para realizar uma análise em termos percentuais de valorização ou desvalorização relacionada a cada variável, o modelo M_{12} está representado a seguir na forma antilogaritma:

$$\begin{aligned}
 VU = & 391,3871 * 0,9990^{\text{Área construída}} * 1,0007^{\text{Área do terreno}} * 0,9797^{\text{Idade do imóvel}} * \\
 & 1,0008^{\text{Idade do imóvel}^2} * 1,0527^{\text{Inclinação do terreno}^2} * 1,0315^{\text{Número de Banheiros}} * 1,0817^{\text{Padrão de acabamento}^2} * \\
 & 1,5782^{\text{Padrão de acabamento}^3} * 1,0009^{\text{Variável HomogeneizadaU1}}
 \end{aligned}$$

De acordo com o modelo apresentado acima é possível inferir, conforme a variável idade do imóvel, que a cada ano o valor unitário do imóvel desvaloriza-se 2,03%. Já a variável área construída indicou que a cada m^2 construído o valor unitário reduz em 0,10%.

Por outro lado, a maior parte das variáveis encontradas no modelo contribui para a valorização do valor unitário do imóvel. A variável área do terreno mostra que a cada m^2 de terreno o valor unitário se eleva em 0,07%.

O efeito das reformas foi captado pela variável idade do imóvel ao quadrado, indicando que a cada ano de construção ao quadrado aumenta-se o valor unitário do imóvel em 0,08 %, comprovando a hipótese inicial que à medida que o imóvel fica mais velho maior é a chance de ter passado por uma reforma.

A variável dicotômica inclinação do terreno mostra que se o terreno é plano o valor unitário do imóvel é acrescido em 5,27% em relação à forma acidentado, considerada como categoria base.

O número de banheiros no imóvel também demonstrou influência significativa sobre a valorização do imóvel, indicando que o valor unitário do imóvel se eleva em 3,15% a cada banheiro existente.

Quando os imóveis possuem padrão de acabamento normal ou entre normal e alto seu valor unitário se eleva em 8,17% em relação àqueles imóveis com padrão de acabamento mínimo ou entre baixo e mínimo. Já imóveis com o padrão de acabamento alto tem seu valor unitário elevado em 57,82% em comparação com imóveis com padrão de acabamento mínimo ou entre baixo e mínimo, dado o uso de materiais mais refinados, considerados de luxo.

Características da localização elevam o valor unitário do imóvel, uma vez que, conforme resultados do modelo, a cada unidade da variável homogeneizada ocorre um aumento de 0,09%.

4.5.4. Avaliação prática do modelo M_{12}

Na Tabela 22 estão apresentados os valores de erro calculados para esse trabalho. Nesta é possível observar que quando utilizou-se as 184 amostras 94,6% dos pontos apresentaram valores de erro abaixo de 15%, enquanto que para as 18 amostras de validação foi de 77,8%. Portanto, levando-se em consideração este parâmetro pode-se dizer que o resultado do modelo foi bom e pode ser empregado no cálculo do valor dos imóveis na área urbana de São Gotardo. Gazola (2002) encontrou que 70,6% das amostras de validação (17 amostras) dos valores preditos se encontravam abaixo de 15 % de erro.

Esse estudo apresentou 88,9% das amostras de validação abaixo da faixa de erro aceitável, com o limite de até 20%, o que reforça a qualidade de predição do mesmo.

Tabela 22 - Erro para todas as amostras e somente para as amostras de validação

Faixas de Erro	Número de valores preditos		% dos valores preditos		% acumulada dos valores preditos	
	Todas amostras	Amostras de validação	Todas amostras	Amostras de validação	Todas amostras	Amostras de validação
0 - 5%	63	5	34,2	27,8	34,2	27,8
5 - 10%	81	3	44,0	16,7	78,3	44,4
10 - 15%	30	6	16,3	33,3	94,6	77,8
15 - 20%	6	2	3,3	11,1	97,8	88,9
20 - 30%	4	2	2,2	11,1	100,0	100,0
Total	184	18	100,0	100,0		

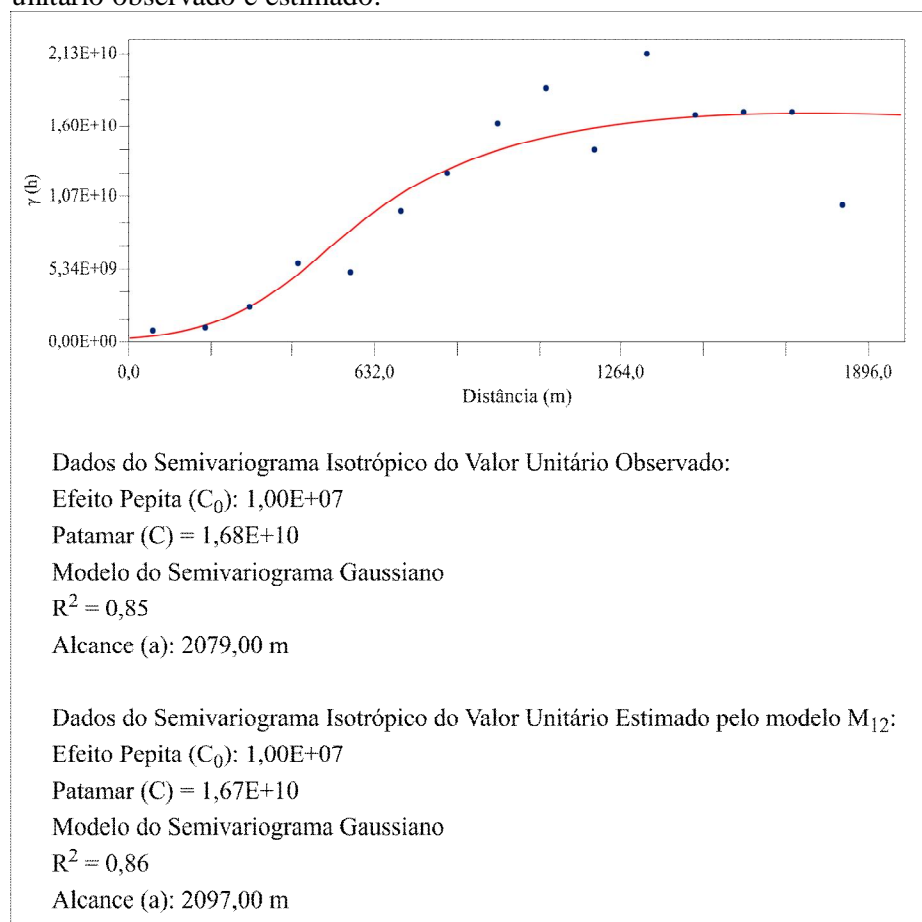
Fonte: resultados da pesquisa.

Para análise espacial do erro foram gerados dois mapas, por meio da aplicação da krigagem. Na Figura 27 é apresentado o semivariograma isotrópico e suas características principais para a variável valor unitário observado. Apresenta-se ainda, as características principais do semivariograma isotrópico para a variável valor unitário estimado. Observa-se nesta figura que as características dos dois semivariogramas são próximas.

A Figura 28 (a) apresenta o mapa dos valores unitários dos imóveis avaliados pela CEF e a Figura 28 (b) os valores unitários dos imóveis estimados pelo modelo de regressão M_{12} . É possível verificar que na faixa que vai do Centro ao bairro Jardim das Flores são os locais mais valorizados. Observa-se também que a amplitude do valor unitário foi maior no mapa estimado.

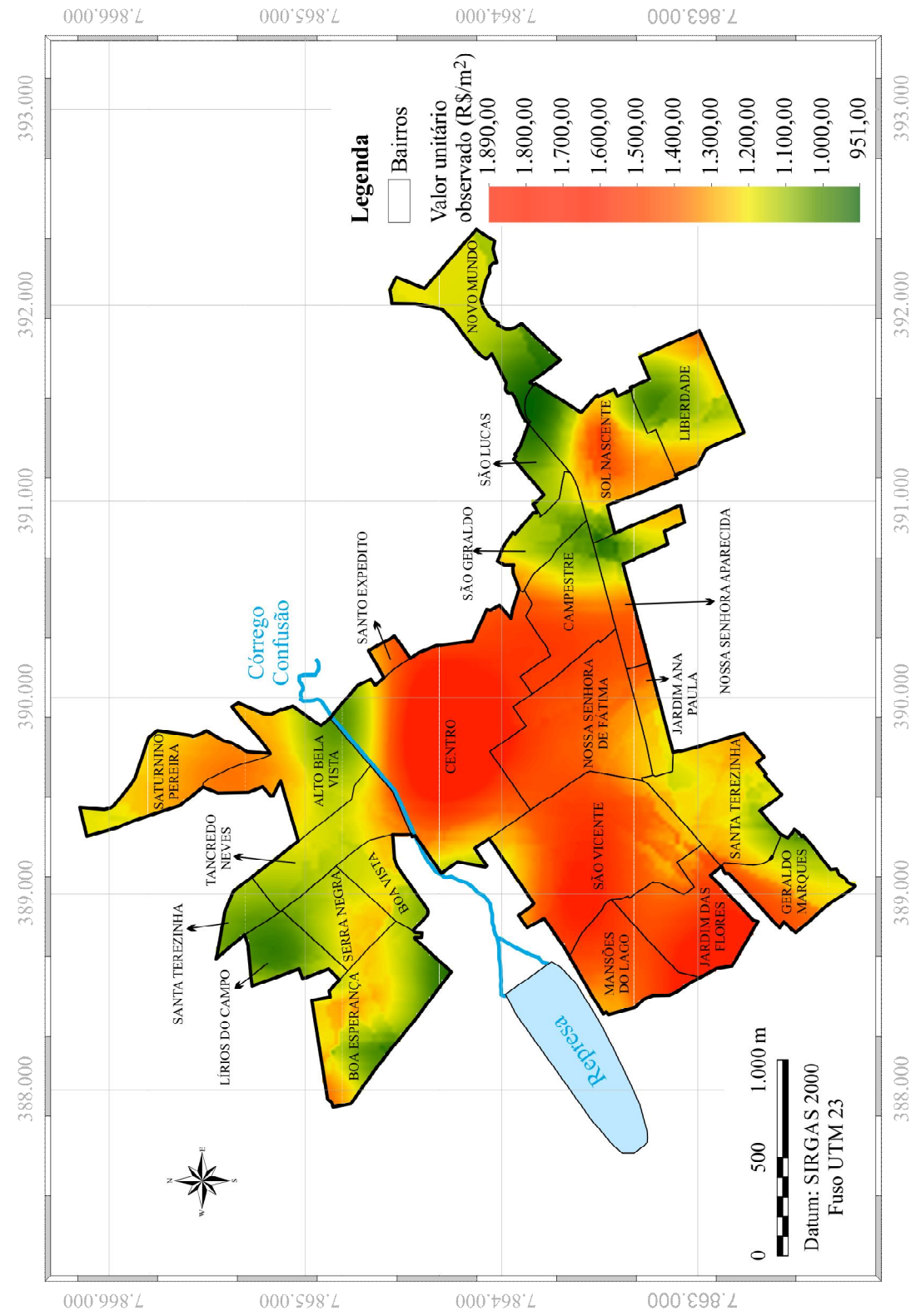
A análise visual dos dois mapas não permite inferir grandes diferenças entre os valores observados e estimados. Portanto, foi realizada a álgebra dos mapas de acordo com a Equação 24.

Figura 27 - Semivariograma isotrópico e suas características para o valor unitário observado e estimado.



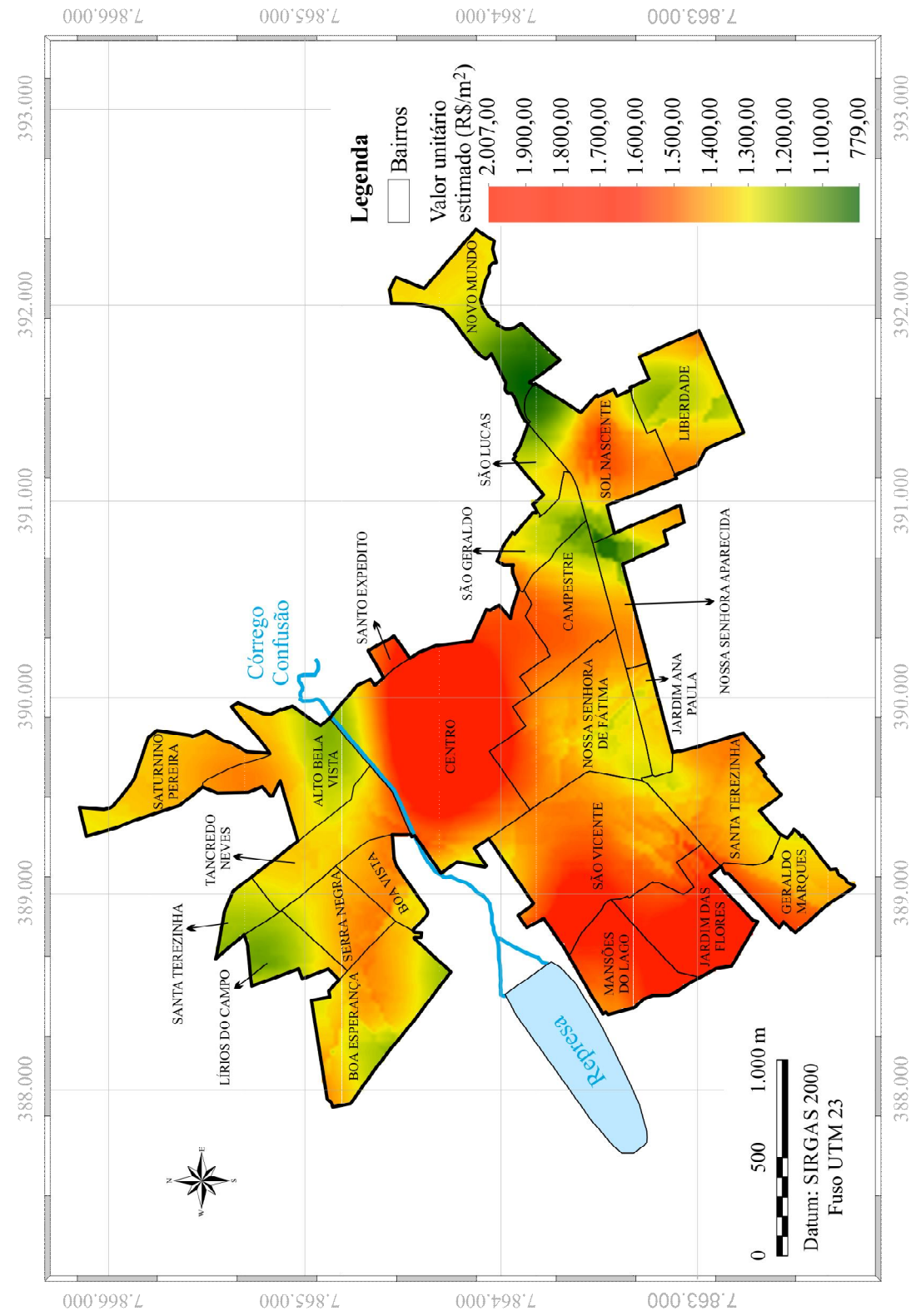
O resultado apresentado na Figura 29 mostra que os bairros Nossa Senhora de Fátima e Novo Mundo apresentaram um erro maior demonstrando que o modelo M_{12} deve ser aplicado com cautela nestes bairros. Esse fato era esperado por se tratar de áreas com menor quantidade de amostras, uma vez que o bairro Nossa Senhora de Fátima é antigo com imóveis residenciais que não passam por transações com frequência. Já o bairro Novo Mundo é recente não tendo nenhuma construção. Os demais bairros apresentaram valores de erro inferiores a 20%, o que é considerado aceitável de acordo com Gazola (2002).

Figura 28(a) - Mapa dos valores unitários avaliados pela Caixa Econômica Federal



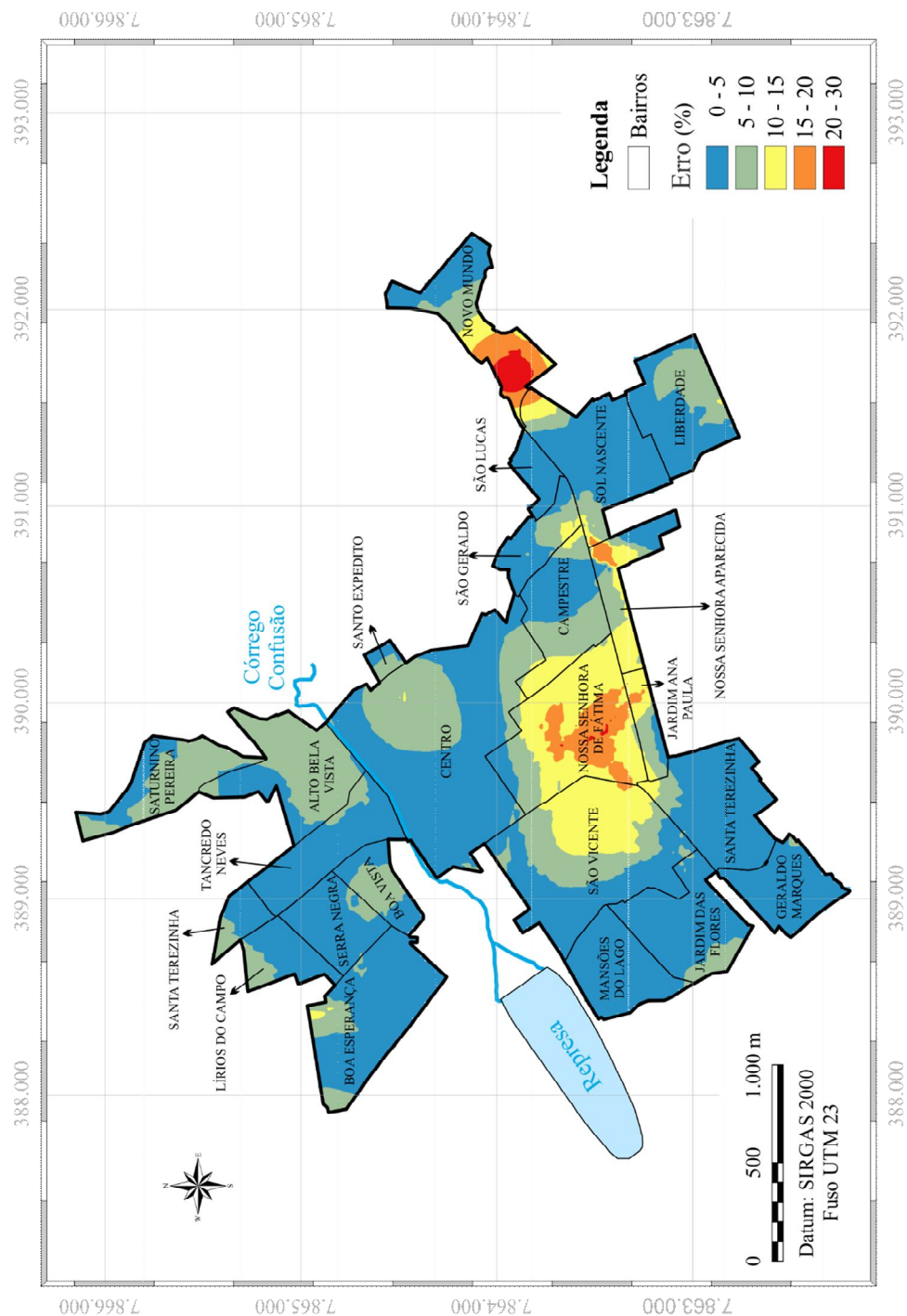
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28(b) - Mapa dos valores unitários estimados pelo modelo de regressão M_{12}



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 - Mapa do erro (em porcentagem) do valor unitário dos imóveis



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi realizada uma contagem dos pixels para cada faixa de erro, possibilitando apresentar na Tabela 23 a porcentagem de erro em cada classe. Nessa, verifica-se que 96,1% dos pixels apresentaram valores de erro abaixo de 15% o que possibilita dizer que o resultado do modelo foi bom e pode ser empregado no cálculo do valor dos imóveis na área urbana de São Gotardo. Vale ressaltar que 86% dos pixels encontram-se na faixa abaixo 10%.

Tabela 23 - Erro do mapa dos valores unitários determinados a partir do modelo M₁₂

Faixas de Erro	Número de pixels	% dos pixels	% acumulada dos pixels
0 - 5%	7.581	60,5	60,5
5 - 10%	3.199	25,5	86,0
10 - 15%	1.259	10,0	96,1
15 - 20%	412	3,3	99,3
20 - 30%	82	0,7	100,0
Total	12.803	100,0	

Fonte: resultados da pesquisa.

5. CONCLUSÃO

Ao final do trabalho foi possível concluir que:

- o modelo final pode ser aplicado para cada imóvel individualmente no município estudado, sendo necessário obter as variáveis área construída, área do terreno, idade do imóvel, inclinação do terreno, número de banheiros, padrão de acabamento e a variável homogeneizada para cada imóvel pertencente à área urbana do município;
- a inserção de características do terreno melhorou a estimativa da variável referente à localização.
- ficou evidente nesse trabalho que a utilização indiscriminada do modelo clássico de regressão linear, sem considerar uma variável de localização pode acarretar em estimativas errôneas do valor venal dos imóveis; e
- a variável dependente Valor Total apresentou resultados melhores quando se utilizou o modelo clássico de regressão, por outro lado quando é inserida a variável referente à localização, a variável dependente Valor Unitário tornou-se mais relevante.

Esse estudo se diferenciou dos demais estudos encontrados por trabalhar com maior quantidade de variáveis, incluindo além das características construtivas as características do terreno; pela aplicação da metodologia que utiliza a econometria espacial em conjunto com a determinação do fator de localização a um município de pequeno porte, os quais mais carecem de informações e técnicas que se adequem a sua realidade quanto à avaliação de imóveis; e pelo tratamento das amostras, em que foi utilizada a análise de agrupamento e o *software* ArcGis para seleção das amostras de validação.

A principal limitação do trabalho refere-se à obtenção de pequeno número de amostras nas regiões mais antigas da cidade, onde é baixa a ocorrência de transações imobiliárias, o que diminuiu a qualidade de predição do modelo para essas áreas. Outra limitação foi a impossibilidade de confrontar o valor venal obtido pelo modelo com o utilizado pela prefeitura de São Gotardo, uma vez que as informações não foram cedidas.

Para trabalhos futuros sugere-se que se façam modelos utilizando os diversos tipos de imóveis (comercial, terrenos, prédios), bem como a aplicação do modelo de regressão para cada imóvel de uma cidade.

6. REFERÊNCIAS

AFONSO, J. R. R. & ARAUJO, E. A. **Capacidade de Gastos dos Municípios Brasileiros: Arrecadação Própria e Receita Disponível**. Cadernos Adenauer, São Paulo, n.4. p.35-53. abr. 2000.

AFONSO, J. R. R.; ARAUJO E. A.; NÓBREGA, M. A. R. **Um diagnóstico sobre o grau de aproveitamento do imposto como fonte de financiamento local**. In: LINCOLN INSTITUTE OF LAND POLICY, Cambridge, Produto n. 3 - Final Paper, p. 1-48, fev. 2010.

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

ANSELIN *a*, L. **Lagrange Multiplier Test Diagnostics for Spatial Dependence and Spatial Heterogeneity**. Geographical Analysis, vol. 20, n° 1, p. 1-17, 1987.

ANSELIN, L. & REY S. **Properties of Tests for Spatial Dependence in Linear Regression Models**. Geographic Analysis, 23, 31-112, 1991.

ANSELIN, L. & LOZANO-GRACIA, N. **Errors in variables and spatial effects in hedonic house price models of ambient air quality**. Empirical Economics, 34, 5-34, 2008

ANSELIN, L. **Spatial Econometrics: Methods and Models**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988.

ARAÚJO, E. G.; PEREIRA, J. C.; XIMENES, F.; SPANHOL, C. P.; GARSON, S. **Proposta de uma metodologia para a avaliação do preço de venda de imóveis residenciais em Bonito/MS baseado em modelos de regressão linear múltipla**. P&D em Engenharia de Produção, v. 10, n. 2, p. 195-207, 2012.

AVERBECK, C. E. **Os sistemas de cadastro e planta de valores no município: prejuízos da desatualização**. 2003, 200p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

AVILA, F. M. **Regressão linear múltipla: ferramenta utilizada na determinação do valor de mercado de imóveis**. 2010, 100p. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

BARBETTA, P. Estatística aplicada as ciências sociais. Florianópolis: Editora UFSC, 2006.

BARRETO, A. F. & MARTINS, I. G. S. **Comentários ao Código Tributário Nacional**. São Paulo: Saraiva, 1998.

BASU, S. & THIBODEAU, T. Analysis of Spatial Autocorrelation in House Prices. **Journal of Real Estate and Economics**, Vol. 17, 1, pp. 61-85, 1998.

BERON, K.J.; HANSON, Y.; MURDOCH, J.C.; THAYER, M.A. Hedonic price functions and spatial dependence: implications for the demand for urban air quality. In: Anselin L, Florax RJ, Rey SJ (eds) *Advances in spatial econometrics: methodology, tools and applications*. Springer-Verlag, Berlin, pp 267–281, 2004.

BOURASSA, S.; HAMELINK, F.; HOESLI, M.; MACGREGOR, B. Defining residential submarkets. *J Housing Econ* 8:160–183, 1999.

BRANDÃO, W. Utilização de Métodos Geoestatísticos de Krigeagem Ordinária e Krigeagem por Indicação na Interpolação de Dados Geoquímicos de Solos: Uma Comparação. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Paraná, 2001.

BRASIL. **DECRETO-LEI Nº 57, DE 18 DE NOVEMBRO DE 1966**. Brasília, 1966. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4504compilada.htm>. Acesso em: 25 fev. 2014.

BRASIL. **Economia**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/impostos>>. Acesso em: 15 fev. 2013.

BRASIL. **LEI Nº 4.504, de 30 DE NOVEMBRO DE 1964**. Brasília, 1964. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4504compilada.htm>. Acesso em: 25 fev. 2014.

BRASIL. **LEI Nº 5.172, DE 25 DE OUTUBRO DE 1966**. Brasília, 1966. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5172.htm>. Acesso em: 25 fev. 2014.

BRÁULIO, S. N. **Proposta de uma metodologia para a avaliação de imóveis urbanos baseado em métodos estatísticos multivariados**. 2005, 158p. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

BRONDINO, N. C. M. **Estudo da Influência da Acessibilidade no Valor de Lotes Urbanos Através do Uso de Redes Neurais**. 1999, 158p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1999.

CARNEIRO, A. F. T. **Da cartografia cadastral**. In: Manual de Apoio – CTM: Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário nos municípios brasileiros – Brasília: Ministério das Cidades, 2010. 170p.

CARVALHO Jr., P. H. B. Avaliação imobiliária para fins tributários em Curitiba, São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro. In: 10ª Conferência Internacional da Latin American Real Estate Society, 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2010. p. 1-20.

CARVALHO JR., P. H. B. **O IPTU no Brasil: Progressividade, Arrecadação e Aspectos Extra-Fiscais**. Texto para Discussão nº 1251, Brasília, Ipea, dez. 2006.

CARVALHO Jr., P. H. B. **O sistema avaliatório municipal de imóveis e a tributação do IPTU no Rio de Janeiro**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Universidade do Estado do Rio, Rio de Janeiro, 2011.

CATALÃO, A. T. M. **Estudo do Mercado Imobiliário de Aveiro**. 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado em Planeamento do Território – Inovação e Políticas de Desenvolvimento) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010.

CHICA OLMO, J. **Teoría de las Variables Regionalizadas: Aplicación en Economía Espacial y Valoración Inmobiliária**. Editora: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada. 1 ed. 1994.

COELHO, M. C. V. Uso de critérios técnicos para agrupamento de bairros de qualidade de localização similares – cluster. In: XIV Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias – COBREAP, 2007, Salvador. **Anais...** Bahia, 2007.

DALAQUA, R. R. **Aplicação de métodos combinados de avaliação imobiliária na elaboração da Planta de Valores Genéricos**. 2007. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Presidente Prudente, 2007.

DANTAS, R. A. **Engenharia de Avaliações: uma introdução à metodologia científica**. São Paulo: Pini, 2005.

DANTAS, R. A. **Modelos Espaciais aplicados ao mercado habitacional: um estudo de caso para a cidade do Recife**. 2003. 133 f. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

DANTAS, R. A., MAGALHÃES, A. M., VERGOLINO, J. R. O (a). Modelos Espaciais Aplicados ao Mercado de Apartamentos do Recife. In: XII Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias – COBREAP, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Minas Gerais, 2003.

DRAPER, N. R. & SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc, 1998.

DUBIN, R. **Estimation of Regression Coefficients in the Presence of Spatially Autocorrelated Error Terms**. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 70, 3, pp. 466-474, 1988.

DUBIN, R. Spatial autocorrelation and neighborhood quality. **Regional Science and Urban Economics**, n. 22, p. 433-452, 1992.

DUBIN, R. Spatial autocorrelation: a primer. **Journal of Housing Economics** 7, pág. 304-327, 1998.

ERBA, D. A., OLIVEIRA, F. L., LIMA JUNIOR, P. N. **Cadastro Multifinalitário como Instrumento de Política Fiscal e Urbana**, Rio de Janeiro, 2005. 144 p.

FINBRA – FINANÇAS DO BRASIL. Disponível em < <http://www.tce.mt.gov.br/conteudo/show/sid/179/cid/37220/t/Finan%E7as+do+Brasil+-+FINBRA.>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

FLORENCIO, L. de A. **Engenharia de avaliações com base em modelos GAMLSS**. 2010. 125 f. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

FREIRE A. E., AGUIAR, R. de O., MEIRELES, S. D. Auditoria da planta de valores pelos Tribunais de Contas. In: XI Simpósio Nacional de Auditoria de Obras públicas, 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** Paraná, 2006. p. 1-21.

FURTADO, B. A. **Análise quantílica-espacial de determinantes de preços de imóveis urbanos com matriz de bairros: Evidências do mercado de Belo Horizonte**. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), No. 1570, 2011.

GARCIA, R. C. **O que é preciso saber sobre Cadastro Técnico Multifinalitário**. In: Cartilha de Cadastro Técnico Multifinalitário – Brasília: Caixa Econômica Federal, 2007. 47p.

GAZOLA, S. **Construção de um modelo de regressão para avaliação de imóveis**. 2002. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

GOMES, A. E.; MACIEL, V. F.; KUWAHARA, M. Y. Determinantes dos preços de imóveis residenciais verticais no município de São Paulo. In: 40º Encontro Nacional De Economia, 2012, Porto de Galinhas. **Anais...** Pernambuco, 2012. p. 1-19.

GONZÁLEZ, M. A. S. **A engenharia de avaliações na visão inferencial**. 1. ed. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 1997.

GONZÁLEZ, M. A. S. **Aplicação de Técnicas de Descobrimento de Conhecimento em Base de Dados e de Inteligência Artificial em Avaliações de Imóveis**. 2002. 296 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

GUJARATI, D. N. **Econometria Básica**. 3ª ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

HOCHHEIM, N., UBERTI, M. S. Uso de variáveis ambientais na avaliação de imóveis urbanos: uma contribuição à valoração ambiental. In: XI Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 2001, Guarapari. **Anais...** Espírito Santo, 2001. p. 1-28.

IAAO - International Association of Assessing Officers. **Standard on Ratio Studies**. Disponível em < http://katastar.rgz.gov.rs/masovna-procena/Files/4.Standard_on_Ratio_Studies.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 13 mar. 2014a.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Perfil dos Municípios Brasileiros 2012**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2012/defaulttabzip_xls.shtm>. Acesso em: 20 ago. 2014b.

JAKOB, A. A. E. A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos. In: XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, Ouro Preto. **Anais...** Minas Gerais, 2002.

JOHNSON, R. A. & WINCHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Pearson, 2007.

JUNQUEIRA, J. R. **Análise da evolução das áreas verdes urbanas utilizando séries históricas de fotografias aéreas**. 2010. 135 f. Dissertações (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

KOSCHINSKY, J.; LOZANO-GRACIA, N.; PIRAS, G. **The welfare benefit of a home's location: an empirical comparison of spatial and non-spatial model estimates**. J Geogr Syst, n. 14, pág. 319–356, 2012.
Leopoldo: Unisinos, 1997.

LIPORONI, A. S. **Avaliação em massa com ênfase em Planta de Valores**. São Paulo: PINI, 2007.

LOCH, C. Cadastro técnico multifinalitário e gestão territorial, RS. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2001. **Anais...**, 2001.

MARQUES, J. L.; CASTRO, E. A.; BHATTACHARJEE, A. A localização urbana na valorização residencial: Modelos de autocorrelação espacial. In: 1º Congresso de Desenvolvimento Regional de Cabo Verde, Cidade da Praia. **Anais...** Cabo Verde, 2009.

MATHERON, G. **The Theory of Regionalized Variables and its Applications**. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, Fasc. 5, 1971.

MATTA, T. A. **Avaliação do valor de imóveis por Análise de regressão: Um estudo de caso para a cidade de Juiz de Fora**. 2007, 34p. TCC (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2007.

McCLUSKEY, W. J.; DEDDIS, W.; MCBURNEY, A. M. D.; BORST, R. **Interactive application of computer assisted mass appraisal and geographic information systems**. Journal of Property Valuation & Investment, v. 15, n. 5, p. 448-465, 1997.

MEDVEDCHIKOFF, T. G. **Análise da planta genérica de valores por meio de estrato de renda no município de São Carlos**. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

MICHAEL, R. **Avaliação em massa de imóveis com uso de inferência estatística e análise de superfície de tendência**. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Cadastro Técnico Multifinalitário) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MÖLLER, L. F. C. **Planta de valores genéricos – avaliação de imóveis para fins tributários**. Sagra – DC Luzzatto Editores. Porto Alegre, 1995, 79 p.

MÖLLER, L. F. C. **Planta de Valores**. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <http://www.chulipa.com.br/index.php?acao=conteudo&conteudos_id=39>. Acesso em: 15 fev. 2013.

MÖLLER, L. F. C.; HOCHHEIM, N. B. Iptu: quanto uma cidade pode cobrar?. In: XIII Congressos Brasileiros de Avaliações e Perícias de Engenharia, Fortaleza. **Anais...** Ceará, 2006.

MONTEIRO, L. L.; LEITE, L. M. **Determinantes de preços no mercado de imóveis residenciais em Vitória-ES: uma análise hedônica**. Texto para Discussão, Instituto Jones dos Santos Neves, Vitória, ES, 2011.

MOREIRA, M. D. **Planta genérica de valores: metodologia**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.consultormunicipal.adv.br/novo/admmun/0022.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

MOURA, E. M.; CARNEIRO, A. F.T. Planta de valores para municípios de pequeno porte: o caso de Salgadinho – PE. In: I Simpósio em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2004, Recife. **Anais...** Pernambuco, 2004.

NORMA Técnica da ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS): Avaliação de Bens – Imóveis Urbanos – NBR14653-2. Rio de Janeiro: 2011.

PAIXÃO, L. A. R. Externalidades de vizinhança, estruturação do espaço intraurbano e preços dos imóveis: evidências para o mercado de apartamentos de Belo Horizonte. *Ensaio FEE*, v. 31, n. 1, p. 235-258, 2010.

PELLI NETO, A. **Redes neurais artificiais aplicadas às avaliações em massa: estudo de caso para a cidade de Belo Horizonte/MG**. 2006. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

RIBEIRO, G. S. **Análise dos critérios utilizados pela Caixa Econômica Federal para Avaliação de Imóveis Residenciais Urbanos**. 2011, 116p. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2011.

SANDER, H. A.; HAIGHT, R. G. Estimating the economic value of cultural ecosystem services in an urbanizing area using hedonic pricing. *Journal of Environmental Management*, n. 113, pp. 194 – 205, 2012.

SANTORO, P. F.; COBRA, P. L.; BONDUKI, N. **Cidades que crescem horizontalmente: o ordenamento territorial justo da mudança de uso rural para urbano**. *Cadernos Metrópole*, São Paulo, v. 12, n. 24, pp. 417 - 440, 2010.

SCHIAVO, E. H. C.; AZEVEDO, M. P.; Estudo Comparativo entre Redes Neurais Artificiais e Análise de Regressão Múltipla na Avaliação de Bens, para pequenas Amostras. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Minas Gerais, 2003. p. 1-11.

SILVA, E. & VERDINELLI, M. A. Proposta de avaliação coletiva de imóveis do tipo apartamento da cidade de Blumenau, SC. In: 4º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2000. **Anais...**, 2000.

SILVA, E. **Cadastro técnico multifinalitário: base fundamental para avaliação em massa de imóveis**. 2006. 201 f. Dissertações (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SOUSA FILHO, E. H.; ARRAES, R. A. Análise da demanda e modelos de preços hedônicos no mercado imobiliário urbano: o caso de fortaleza. In: IX Encontro Regional de Economia, 2005. **Anais...** 2005. p. 1-25.

SOUSA, L. F. C. **Análise de alguns métodos para estimar a atualização do cadastro imobiliário.** 1994. 91 f. Dissertações (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

TOBLER, W. R. **A computer movie simulating urban growth in the Detroit region.** *Economic Geography*, v. 46: pp. 234–40, 1970.

TRISTÃO, J. A. M. **A administração tributária dos municípios brasileiros: Uma avaliação do desempenho da arrecadação.** 2003. 172 f. Tese (Doutorado em Organização, Recursos Humanos e Planejamento) – EAESP/FGV, São Paulo, 2003.

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. 157 f. Tese (Doutorado em Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

TYSZLER, M., A. **Econometria Espacial: Discutindo Medidas para a Matriz de Ponderação Espacial.** 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública e Governo) – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2006.

VAZQUEZ, D. A. **A Questão Urbana em Santos: uma Análise dos Processos em Marcha.** 1ª ed. Santos: Leopoldianum, 2011.

VIEIRA, A. S. M. **Preço e Características das Moradias: uma análise da disposição para pagar na ilha de S. Miguel.** 2005. 71 f. Dissertação (Mestrado em Gestão) – Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 2005.

7. ANEXO A

Conceito	Fachadas/Esquadras		Circulação Predial			Ambientes da Unidade		
	Fachadas	Esquadras	Pisos	Paredes	Forros	Pisos	Paredes	Forros
Alto	Cerâmica. Revestimento parcial com granitos e mármore especiais.	Madeira nobre com veneziana. Alumínio anodizado perfil largo. Vidro fumê.	Mármore. Cerâmica esmaltada especial. Madeira. Tapete.	Parcialmente revestidas com granitos e mármore especiais.	Rebaixados com gesso ou madeira com acabamentos tipo rodaforno.	Secos: Cerâmica esmaltada especial. Molhados: Mármore. Cerâmica esmaltada especial.	Secas: Acrílico sobre massa corrida. Molhadas: Mármore. Cerâmica esmaltada especial. Acessórios: Louças e metais de luxo	Rebaixado com gesso ou madeira.
Entre Normal e Alto	Revestimento parcial com cerâmica. Concreto aparente.	Madeira nobre. Alumínio anodizado perfil médio. Persiana.	Outras pedras. Cerâmica esmaltada especial.	Madeira. Mármore ou outras pedras. Cerâmica esmaltada.	Acrílico sobre gesso e rodaforno.	Secos: Laminado. Tapete. Molhados: Mármore branco. Cerâmica esmaltada.	Secas: PVA sobre massa corrida. Molhadas: Mármore branco. Cerâmica esmaltada.	Acrílico sobre gesso e rodaforno.
Normal	Pintura acrílica simples ou texturizada. Revestimento tipo granilha. Pastilha.	Madeira. Alumínio perfil econômico. PVC. Persiana.	Cerâmica esmaltada. Granitina/Marmorite trabalhada com filetes, cores e rodapé. Carpete.	Acrílico sobre massa corrida. Papel de parede impermeável. Tijolinho.	PVA.	Secos: Taco de madeira. Carpete. Molhados: Cerâmica esmaltada (sup.).	Secas: PVA sobre massa corrida. Molhados: Cerâmica esmaltada (sup.).	PVA.
Entre Normal e Baixo	Pintura PVA sobre reboco.	Madeira. PVC.	Granitina.	Pintura acrílica.	PVA.	Secos: Forração Molhados: Cerâmica esmaltada (inf.)	Secas: PVA sobre reboco. Molhadas: Cerâmica esmaltada (inf.). Acessórios: Louças e metais pad. popular.	PVA. Sem forro.
Baixo	Pintura sobre emboço.	Aço. PVC.	Lajota cerâmica. Cimentado liso.	PVA.	PVA.	Secos: Cimentado liso. Molhados: Lajota cerâmica.	Secas: PVA sobre emboço. Molhadas: Lajota cerâmica. Acessórios: Louças e metais pad. popular.	PVA. Sem forro.
Mínimo	Cal sobre emboço. Pintura sobre bloco de concreto.	Aço. Madeira (inf.).	Cimentado comum.	Cal. Pintura sobre bloco de concreto.	Cal.	Secos: Cimentado comum. Molhados: Cimentado liso.	Secas: Pintura sobre bloco de concreto. Molhadas: Cimentado liso. Acessórios: Acessórios plásticos de banheiro e cozinha.	Cal. Sem forro.