

DANIEL CAMILO DE OLIVEIRA DUARTE

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO E GEOESTATÍSTICA APLICADAS NA
AVALIAÇÃO EM MASSA DE IMÓVEIS URBANOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

D812a Duarte, Daniel Camilo de Oliveira, 1983-
2019 Análise multicritério e geoestatística aplicadas na avaliação
em massa de imóveis urbanos / Daniel Camilo de Oliveira
Duarte. – Viçosa, MG, 2019.
xviii, 150f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Júlio Cesar de Oliveira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.136-145.

1. Bens imóveis - Avaliação. 2. Bens imóveis - Inventários.
3. Imposto predial e territorial urbano. 4. Sistema de informação
geográfica. 5. Processo decisório por critério múltiplo.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

II. Título.

CDD 22 ed. 336.22


DANIEL CAMILO DE OLIVEIRA DUARTE

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO E GEOESTATÍSTICA APLICADAS NA
AVALIAÇÃO EM MASSA DE IMÓVEIS URBANOS**


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 25 de fevereiro de 2019.


Marlene Salete Uberti


Marcos Vinicius Sanches Abreu


Éder Teixeira Marques


João Luiz Lani
(Coordenador)


Júlio Cesar de Oliveira
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Matosinho e a minha mãe Léa (*in memoriam*).

À minha amada esposa Aline,

À minha filha Helena e ao Pedro,

Ao meu irmão Fernando e

Às minhas irmãs Isabella e Maria Eduarda,

Dedico esta obra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força, fé e esperança renovada a cada dia, de modo a tornar possível esta pesquisa. Agradeço por ter me dado oportunidades que me guiaram na realização deste grande sonho.

Agradeço ao meu pai Matosinho, a minha mãe Léa (*in memoriam*), pelo amor, carinho, dedicação e todo esforço para me educar, ensinando-me os caminhos da verdade. Vocês foram os propulsores na minha formação acadêmica e como pessoa de bem. Gratifico ao meu irmão Fernando e as minhas irmãs Isabella e Maria Eduarda, por serem companheiros em todos os momentos de minha vida e sempre me apoiarem.

Agradeço à família que Deus enviou na minha vida para me completar como homem. Aline, você é o grande amor da minha vida. Ao Pedro por tomar meu coração mais doce como de uma criança e pelo companheirismo, pode sempre contar comigo. Meus completos agradecimentos a minha filha Helena, por te me mostrando o verdadeiro sentido da vida e por ter me ensinado que o amor pode ser incondicional.

À Universidade Federal de Viçosa pelos ensinamentos e pelos bons momentos durante os anos de minha na graduação, no mestrado, no doutorado e agora como docente. Ao Departamento de Engenharia Civil em especial ao Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica e ao Programa de Pós-Graduação na área de concentração de Informações Espaciais. Aos meus orientadores: Prof. Joel, Prof. Júlio, Prof. Jugurta e Prof. Lani que sempre me direcionaram no caminho da ética e profissionalismo. A todos os professores e técnico que colaboraram para minha formação e para esta pesquisa de maneira direta ou indireta, refletida nos anos de ensinamentos. Um agradecimento especial aos amigos Victor Alvarenga e Letícia Pinheiro pela ajuda técnica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por subsidiar esta pesquisa, por tornar realidade o sonho de muitos pesquisadores e por desempenhar o importante papel de expansão e consolidação da pesquisa no Brasil.

Agradeço a Prefeitura Municipal de Goiânia – GO, por ter disponibilizado parte dos dados que foram utilizados nesta pesquisa, viabilizando a participação e integração efetiva entre as universidades, governos municipais e sociedade.

Por fim, sou muito grato a todos que colaboraram para o sucesso desta pesquisa, seja de maneira direta ou indireta, sejam eles familiares, amigos ou simplesmente pessoas que passaram na minha vida só para ajudar. Muito obrigado a todos e saibam que esta vitória é de vocês também.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADROS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 Objetivo Geral	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 JUSTIFICATIVAS E HIPÓTESES	5
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	7
2.2 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS	8
2.3 MULTI-CRITERIA EVALUATION.....	12
2.4 CADASTRO TERRITORIAL MULTIFINALITÁRIO.....	20
2.5 IMPOSTO SOBRE A PROPRIEDADE TERRITORIAL URBANA	23
2.6 PLANTA GENÉRICA DE VALORES.....	27
2.7 MÉTODO COMPARATIVO DIRETO DE DADOS DE MERCADO	30
2.8 MODELO CLÁSSICO DE REGRESSÃO LINEAR	34

2.9	MODELO GEOESTATÍSTICO	37
2.10	MÉTODOS DE VALIDAÇÃO PARA AVALIAÇÃO EM MASSA.....	41
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
3.1	ÁREAS DE ESTUDO	43
3.1.1	Localização e caracterização.....	43
3.1.1	Análise da legislação municipal.....	45
3.2	MATERIAIS	48
3.3	METODOLOGIA.....	49
3.3.1	MODELAGEM DE BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS PARA ESTRUTURAÇÃO DO CADASTRO TÉCNICO MULTIFINLITÁRIO.....	50
3.3.2	MULTI-CRITERIA EVALUATION PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE ADEQUABILIDADE À VALORIZAÇÃO IMOBILIÁRIA	61
3.3.3	MODELOS ESTATÍSTICOS APLICADOS PARA ELABORAÇÃO DE PLANTA GENÉRICA DE VALORES.....	68
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
4.1	MODELAGEM DO BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO	76
4.1.1	O Modelo do Pacote Global CTM-GO.....	76
4.1.2	Modelos Conceituais do Pacote	77
4.2	<i>MULTI-CRITERIA EVALUATION</i>	87
4.2.1	<i>Multi-Criteria Evaluation</i> Booleana.....	87
4.2.2	<i>Multi-Criteria Evaluation</i> Fuzzy	90
4.3	MODELAGEM ESTATÍSTICA.....	105
4.3.1	Modelo Clássico de Regressão Linear.....	105

4.3.2	Modelo Geoestatístico	118
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	132
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	136
	APÊNDICE A	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de classes UML-GeoFrame.....	9
Figura 2: Estereótipos do Modelo UML-GeoFrame.....	10
Figura 3: Exemplo de Padrão de Análise no ArgoCASEGEO - UML-GeoFrame.	11
Figura 4: Fluxograma da modelagem de uma MCE.....	14
Figura 5: Conjunto de Funções Fuzzy.	16
Figura 6: Espaço Estratégico de Decisão.	18
Figura 7: Exemplo de semivariograma.	39
Figura 8: Modelos teóricos de semivariograma. Exponencial, Gaussiano e Esférico....	40
Figura 9: Mapa de localização do município de Goiânia – GO.	44
Figura 10: Arrecadação anual do IPTU e do ITBI para o município de Goiânia – GO .47	
Figura 11: Principais etapas do processo metodológico.	49
Figura 12: Esquema Multi-Criteria Evaluation.	62
Figura 13: Esquema da análise MCE.....	62
Figura 14: Fluxograma de normalização das variáveis por meio da lógica Fuzzy.	64
Figura 15: Processamento utilizando os métodos de agregação para elaboração de cenários de adequabilidade à valorização imobiliária.	66
Figura 16: Fluxograma da modelagem estatística para elaboração da Planta Genérica de Valores do município de Goiânia – GO.....	69
Figura 17: Mapa da distribuição espacial das AMT e AMV de Goiânia – GO.	73
Figura 18: Esquema de Pacotes Globais do Cadastro Territorial Multifinalitário de Goiânia – GO.....	76

Figura 19: Pacote Imageamento do CTM Goiânia – GO.....	77
Figura 20: Pacote Zoneamento do CTM Goiânia – GO.	78
Figura 21: Pacote Mapeamento Urbano Básico do CTM Goiânia – GO.	79
Figura 22: Pacote Geomorfologia do CTM Goiânia – GO.....	81
Figura 23: Pacote Meio Ambiente do CTM Goiânia – GO.	82
Figura 24: Pacote Transporte e Mobilidade do CTM Goiânia – GO.	83
Figura 25: Pacote Educação do CTM Goiânia – GO.....	83
Figura 26: Pacote Patrimônio Histórico e Cultural do CTM Goiânia – GO.....	84
Figura 27: Pacote Saúde e Assistência Social do CTM Goiânia – GO.	84
Figura 28: Pacote Infraestrutura Urbana do CTM Goiânia – GO.	85
Figura 29: Pacote Serviços Urbanos do CTM Goiânia – GO.	85
Figura 30: Pacote Planta Genérica de Valores do CTM Goiânia – GO.....	86
Figura 31: Mapa de restrições à valorização imobiliária da Multi-Criteria Evaluation Booleana do município de Goiânia – GO.	87
Figura 32: Porcentagem por Macrozonas e tipo de adequabilidade booleana para o município de Goiânia – GO.	88
Figura 33: Porcentagem para as Sete Regiões Administrativas e tipo de adequabilidade booleana para o município de Goiânia – GO.	88
Figura 34: Porcentagem para as Regiões e tipo de adequabilidade booleana para o município de Goiânia – GO.	89
Figura 35: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PGEOi.	93
Figura 36: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PGEOahp.....	93
Figura 37: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PMOBi.	93

Figura 38: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PMOBahp.....	93
Figura 39: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PEDCi.	94
Figura 40: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PEDCahp.....	94
Figura 41: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PSASi.....	94
Figura 42: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PSASahp	94
Figura 43: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PINFi.....	95
Figura 44: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PINFahp.	95
Figura 45: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PPHCi.....	95
Figura 46: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PSERi.....	95
Figura 47: Mapa adequabilidade à valorização imobiliária CLP-Gi do município de Goiânia – GO.....	97
Figura 48: Mapa adequabilidade à valorização imobiliária CLP-Gahp do município de Goiânia – GO.....	98
Figura 49: Mapa adequabilidade à valorização imobiliária MOP-Gahp-RB do município de Goiânia – GO.....	99
Figura 50: Mapa adequabilidade à valorização imobiliária MOP-Gahp-RA do município de Goiânia – GO.....	99
Figura 51: Histograma da CLP-Gi.....	100
Figura 52: Histograma da CLP-Gahp.	100
Figura 53: Histograma da CLP-Gahp-RB.....	100
Figura 54: Histograma da CLP-Gahp-RA.....	100
Figura 55: Estatísticas descritivas básicas dos valores de adequabilidade a valorização imobiliária para Macro Zonas do município de Goiânia – GO.....	101

Figura 56: Estatísticas descritivas básicas dos valores de adequabilidade a valorização imobiliária para Regiões Administrativas do município de Goiânia – GO.	102
Figura 57: Estatísticas descritivas básicas dos valores de adequabilidade a valorização imobiliária para Regiões do município de Goiânia – GO.	103
Figura 58: Mapa adequabilidade à valorização imobiliária do município de Goiânia – GO.	104
Figura 59: Histograma do VUT das amostras brutas. Fonte:	105
Figura 60: Gráfico QQ para o VUT em relação a uma distribuição normal padrão. ...	106
Figura 61: Estatísticas descritivas e Box Plot do VUT.	107
Figura 62: Gráficos de dispersão entre a variável dependente e as variáveis independentes.	108
Figura 63: Histograma dos resíduos padronizados.	115
Figura 64: Gráfico de dispersão entre os resíduos e os valores estimados para analisar a homocedasticidade do MCRL.	116
Figura 65: Gráficos de verificação de outliers.	117
Figura 66: Histograma dos Valores Unitário de Terreno estimados pelo MCRL ₂ e suas estatísticas descritivas.	118
Figura 67: Mapa da distribuição espacial das amostras sobre a classificação dos quartis.	119
Figura 68: Mapa Variográfico Isotrópico dos valores estimados pelo MCRL ₂	120
Figura 69: Semivariograma do modelo Esférico.	121
Figura 70: Semivariograma do modelo Exponencial.	121
Figura 71: Semivariograma do modelo Gaussiano.	122
Figura 72: Gráfico da Validação Cruzada para o modelo Esférico. Fonte:	124

Figura 73: Gráfico QQ Plot de distribuição normal para o modelo Esférico.....	124
Figura 74: Gráfico da Validação Cruzada para o modelo Exponencial.....	124
Figura 75: Gráfico QQ Plot de distribuição normal para o modelo Esférico.....	124
Figura 76: Gráfico da Validação Cruzada para o modelo Exponencial.....	124
Figura 77: Gráfico QQ Plot de distribuição normal para o modelo Esférico.....	124
Figura 78: Mapa da Krigagem Ordinária do modelo Esférico.....	126
Figura 79: Mapa do Erro da Krigagem Ordinária do modelo Esférico.	126
Figura 80: Mapa da Krigagem Ordinária do modelo Exponencial.	126
Figura 81: Mapa do Erro da Krigagem Ordinária do modelo Exponencial.....	126
Figura 82: Mapa da Krigagem Ordinária do modelo Gaussiano.....	126
Figura 83: Mapa do Erro da Krigagem Ordinária do modelo Gaussiano.	126
Figura 84: Estatísticas dos Valores Unitários de Terrenos para as Sete Regiões Administrativas.....	129
Figura 85: Estatísticas dos Valores Unitários de Terrenos para as Regiões.	130
Figura 86: Proposta de Planta Genérica de Valores para o município de Goiânia – GO.	131
Figura 87: Proposta de Planta Genérica de Valores classificada para o município de Goiânia – GO.....	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Escala Fundamental de Saaty.....	17
Quadro 2: Parâmetros analisados na determinação do grau de fundamentação.....	34
Quadro 3: Classes da Nuvem de Pontos	55
Quadro 4: Resumo das variáveis selecionadas.....	72
Quadro 5: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Geomorfologia do município de Goiânia – GO.....	91
Quadro 6: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Transporte e Mobilidade do município de Goiânia – GO.....	91
Quadro 7: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Educação do município de Goiânia – GO.	91
Quadro 8: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Patrimônio Histórico e Cultural do município de Goiânia – GO.	91
Quadro 9: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Saúde e Assistência Social do município de Goiânia – GO.....	92
Quadro 10: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Infraestrutura Urbana do município de Goiânia – GO.	92
Quadro 11: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Serviços Urbanos do município de Goiânia – GO.	92
Quadro 12: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para as Multi-Criteria Evaluation Globais dos Cenários 2, 3 e 4 do município de Goiânia – GO.....	98
Quadro 13: Estatísticas básicas e parâmetros utilizados para elaboração dos cenários de adequabilidade a valorização imobiliária do município de Goiânia – GO	100
Quadro 14: Valores das estatísticas descritivas para o VUT	106

Quadro 15: Variáveis independentes selecionadas e suas características.....	107
Quadro 16: Estimativas e significância dos Regressores.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Percentual de municípios com cadastro imobiliário, planta genérica de valores e que cobram IPTU, segundo as Grandes Regiões e as classes de tamanho da população dos municípios 2012-2015.	5
Tabela 2: Alíquotas aplicadas no município de Goiânia – GO	46
Tabela 3: Estatísticas descritivas das Multi-Criteria Evaluation de adequabilidade à valorização imobiliária dos pacotes em relação ao limite municipal de Goiânia – GO .	96
Tabela 4: Resultados gerais sobre a qualidade do modelo de regressa.	109
Tabela 5: Análise da variância - ANOVA	113
Tabela 6: Matriz de Correlações Parciais.....	114
Tabela 7: Distribuição do Resíduos Normalizados.	115
Tabela 8: Valores calculados e de referência para avaliação em massa de imóveis terrenos urbanos.	117
Tabela 9: Parâmetros dos semivariogramas para os valores estimados do $MCRL_2$	122
Tabela 10: Valores da Validação Cruzada dos modelos teórico para o $MCRL_2$	125
Tabela 11: Estatísticas Descritivas das superfícies de Krigagem Ordinária para os modelos esférico, exponencial e gaussiano.....	127
Tabela 12: Resultado das métricas para a avaliação de desempenho dos valores estimados pela Krigagem Ordinária.....	128

RESUMO

DUARTE, Daniel Camilo de Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Análise Multicritério e Geoestatística aplicadas na avaliação em massa de imóveis urbanos.** Orientador: Júlio Cesar de Oliveira. Coorientadores: João Luiz Lani e Jugurta Lisboa Filho.

O Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) é o inventário territorial oficial e sistemático do município e desempenha função importante na municipalidade, entre elas, auxiliar a tributação imobiliária por meio do Imposto sobre a Propriedade Territorial Urbana (IPTU). Porém, a atualização da base de cálculo do imposto, especificamente, o Valor Unitário de Terreno (VUT) nem sempre é realizada de forma satisfatória. Assim, o objetivo geral da pesquisa é aplicar a técnica da *Multi-Criteria Evaluation* (MCE) na modelagem estatística para a avaliação em massa de imóveis urbanos na elaboração de Planta Genérica de Valores (PGV). O estudo foi desenvolvido no município de Goiânia – GO – Brasil, a partir de dados cartográficos presentes no CTM municipal (SIGGO Versão 25) e de amostras de ofertas de valores de terreno obtidas por meio de um algoritmo de busca *Web Scraping*. Foram desenvolvidos modelos conceituais de Banco de Dados Geográficos (BDG) utilizando o modelo Orientado a Objetos (O-O) e o *framework UML-GeoFrame*. Com base no BDG foram realizadas modelagens MCE para definição de áreas de adequabilidade à valorização imobiliária, onde foram utilizadas variáveis normalizadas pela lógica *Fuzzy*, ponderadas pelo método *Analytical Hierarchy Process* e integradas por meio dos métodos *Weighted Linear Combination* e *Ordered Weighted Average*. A partir das variáveis elaboradas pelas análises MCE e da redução da dimensionalidade dos dados pelo algoritmo *Random Forest Recursive Feature Elimination*, foi realizada a estimativa do VUT pelo Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL). Os valores estimados foram interpolados utilizando a Krigagem Ordinária da Geoestatística e consistidos pelo método da Validação Cruzada. Além disso, todos os resultados foram validados por indicadores da *International Association Assessing Officers* (IAAO). Entre os principais resultados desta pesquisa citam-se os modelos conceituais de BDG para as temáticas: Imageamento, Zoneamento Urbano, Mapeamento Urbano Básico, Geomorfologia, Meio Ambiente, Transporte e Mobilidade, Educação, Patrimônio Histórico e Cultural, Saúde e Assistência Social, Infraestrutura Urbana, Serviços Urbanos e a Planta Genérica de Valores. Para todos os temas foram elaboradas MCE e produtos cartográficos relacionados à identificação de área de adequabilidade à

valorização imobiliária. O Modelo Clássico de Regressão Linear apresentou como indicadores de ajuste um Coeficiente de Correlação (R) de 76%, Coeficiente de Determinação (R^2) de 58% e o Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2 ajustado) de 57% com todos os pressupostos definidos na NBR14653-2 atendidos. O Modelo Geoestatístico melhorou as estimativas, apresentando um Erro Médio de R\$2,04, Erro Médio Quadrático de R\$59,63, Erro Padrão Médio de R\$71,39 e um ajuste por meio do Erro Médio Quadrático Padronizado de 98%. Na validação pelos indicadores da IAAO, o Modelo Geoestatístico apresentou melhoras em relação ao MCRL, onde foram obtidos: Mediana das Razões de (MRA) 0,91, Diferencial Relativo ao Preço (PRD) de 0,88 e Coeficiente de Dispersão (COD) de 17%. Desta forma foi possível verificar que a MCE melhorou as estimativas do MCRL e da Krigagem Ordinária e que a metodologia apresentada pode ser replicada em municípios de pequeno, médio e grande porte com ajustes locais.

ABSTRACT

DUARTE, Daniel Camilo de Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Multi-Criteria Evaluation and Geostatistical in the mass evaluation of urban lands applied to the elaboration of Generic Values Plants.** Adviser: Júlio Cesar de Oliveira. Co-Advisers: João Luiz Lani and Jugurta Lisboa Filho.

The Multipurpose Technical Cadastre (MTC) is the official and systematic territorial inventory of the county and plays an important role in the municipality, among them, the real estate taxation through the Tax on Urban Territorial Property. However, the updating of tax calculation basis, specifically the Land Unit Value (LUV), is not always satisfactorily carried out. Thus, the general aim of the research is to apply the Multi-Criteria Evaluation (MCE) in statistical modeling for mass evaluation of urban properties in the elaboration of Generic Values Plant (GVP). The study was developed in Goiânia – GO - Brazil, based on cartographic data present in the municipal Cadastre (SIGGO Version 25) and samples of land values offer obtained through a Web Crawler search algorithm. Conceptual models of the Geographic Database (DBG) were developed using the Object-Oriented model (O-O) and the UML-GeoFrame framework. Based on the DBG, MCE modeling was performed in order to define areas of suitability for real estate valuation, using Fuzzy normalized variables, balanced by the Analytical Hierarchy Process and integrated through the Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Average methods. From the variables elaborated by the AME, and the reduction of the dimensionality of the data by the Random Forest Recursive Feature Elimination algorithm, the LUV estimative was made by the Classical Linear Regression Model (CRLM). The estimated values were interpolated using the Ordinary Kriging of Geostatistical and composed of the Cross Validation method. Moreover, all results were validated by indicators from the International Association Assessing Officers (IAAO). Among the main results of this research are the conceptual DBG models for the themes: Imaging, Urban Zoning, Basic Urban Mapping, Geomorphology, Environment, Transportation and Mobility, Education, Historical and Cultural Heritage, Health and Social Assistance, Infrastructure Urbana, Urban Services and the Generic Plant of Values. MCE and cartographic products were elaborated for all themes related to the identification of area of suitability for real estate valuation. The Classical Regression Model presented a Correlation Coefficient (R) of 76%, Determination Coefficient (R²) of 58% and Adjusted Coefficient of Ratio (R² adjusted) of 57% with all the assumptions

defined in NBR14653 -2 attended. The Geostatistical Model improved the estimates, presenting an average error of R\$ 2.04, a mean square error of R\$ 59.63, an average standard error of R\$ 71.39 and an adjustment by means of a mean squared error of 98%. In the validation by the IAAO indicators, the Geostatistical Model presented improvements in relation to the CRLM, where were obtained: Median of Ratios of (R) 0,91, Price-Related Differential to (PRD) of 0.88 and Coefficient of Dispersion (COD) of 17%. Thereby, it was possible to verify that the AME improved the estimates of the MCRL and the Ordinary Kriging and that the presented methodology can be replicated in small, medium and large cities with local adjustments.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O conhecimento da informação geográfica é fundamental para a tomada de decisão no âmbito da Gestão Pública. Contudo, o armazenamento, a manipulação e a apresentação destas informações exigem cada vez mais uma modelagem robusta e genérica do Banco de Dados Geográficos (BDG) (NOGUERAS, 2005). Além disso, as modelagens de BDG podem auxiliar projetistas a elaborar estruturas de dados mais eficientes, que tem a capacidade de integrar dados de diversas fontes, formatos e temáticas em uma única abordagem, de modo a reduzir custos e duplicação de esforço (GONÇALVES, 2008).

Associado ao BGD o Sistema de Informação Geográfica (SIG) vem sendo cada vez mais utilizado em várias áreas da ciência (BURROUGH, 1987; BURROUGH & MCDONELL, 1998; CÂMARA, et al., 2003; LONGLEY, et al., 2013). Na esfera administrativa dos municípios brasileiros, o SIG tem sido amplamente utilizado para gerenciar dados e informações cadastrais acerca dos imóveis e de diversas temáticas relacionadas ao Planejamento Urbano, transformando-se em um dos principais instrumentos de Gestão Territorial (SILVA, 2006; CUNHA & ERBA., 2010; AMORIM, et al., 2018).

Entre as várias ferramentas de Análises Espaciais presentes em um SIG, a *Multi-Criteria Evaluation* (MCE), possui um conjunto de métodos e ferramentas para a transformação e integração de variáveis, de modo a obter informações para a tomada de decisão (SAATY, 1980; SILVERMAN, 1986; MALCZEWSKI, 1999; CALIJURI, et al., 2002). No contexto da Gestão Territorial, a MCE pode ser utilizada para definir áreas homogêneas de adequabilidade à valorização imobiliária, tanto no contexto econômico quanto nas questões jurídicas e ambientais. Além disso, a integração de modelos estatísticos de avaliação com variáveis formuladas por meio de processos de Análise Espacial permite explorar, com maior eficiência, a influência da localização espacial sobre a composição dos valores imobiliários praticados, de modo a aperfeiçoar o sistema de tributação territorial municipal (FARIA FILHO, et al., 2014; CESARE, et al., 2015).

A tributação imobiliária urbana tem a capacidade de exercer a função de distribuir o ônus e benefícios da urbanização de forma justa e promover o desenvolvimento econômico (CESARE, et al., 2015). Porém, existem grandes dificuldades estruturais, políticas e econômicas na gestão e administração da tributação imobiliária, o que

compromete a capacidade do município de gerar receita e, conseqüentemente, de assegurar a equidade tributária, resultando em injustiças fiscais e sociais, prejudicando o planejamento urbano, a gestão territorial e o monitoramento de ações (CESARE & CUNHA, 2010).

Neste contexto, o Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) é um instrumento fundamental para o apoio a tomada de decisão dentro dos municípios, pois integra de forma espacial informações do meio fiscal, social, econômico, jurídico e ambiental (AMORIM, et al., 2018). Especificamente, no âmbito fiscal, o CTM armazena informações geométricas e descritivas sobre os imóveis, sendo fundamental para tributação imobiliária, como por exemplo, a cobrança do Imposto sobre a Propriedade Territorial Urbana (IPTU) (CESARE & CUNHA, 2010; CESARE, 2012; CESARE, et al., 2015).

Teoricamente, a base de cálculo do IPTU é o valor venal dos imóveis, ou seja, seu valor de venda em condições de estabilidade dos atores em negociação (DANTAS, 2005). No caso do IPTU, existe a necessidade de avaliar toda a população dos imóveis do município, procedimento conhecido como avaliação em massa de imóveis. Segundo Cesare et al. (2015, p. 56), a “avaliação em massa de imóveis é o processo de estimar o valor de um grande número de bens na mesma data, usando métodos normatizados e análises estatísticas, com base em modelos genéricos de avaliação”. Ainda segundo a autora, no Brasil o termo coloquial para avaliação em massa de imóveis é a denominada Planta Genérica de Valores (PGV) ou Planta de Valores Genérica.

Historicamente, os municípios brasileiros utilizam o Método Evolutivo para fins de cálculo IPTU, onde os valores venais dos imóveis são obtidos pela soma do valor do terreno com o valor das benfeitorias (CUNHA & ERBA, 2010). No cálculo do valor do terreno é utilizada a componente unitária do valor da terra nua, ou seja, o Valor Unitário de Terreno (VUT) dados em reais por metro quadrado (R\$/m²) (AVERBECK, 2003; CUNHA & ERBA, 2010; AVERBECK & CESARE, 2010; AFONSO, et al., 2013)

Normalmente o VUT é estimado pelo Método Comparativo Direto de Dados de Mercado (MCDDM) aplicando técnicas de avaliação em massa de imóveis por meio da inferência estatística, conforme metodologia e parametrizações definidas na NBR 14653-2 Avaliação de bens Parte 2: Imóveis urbanos (ABNT, 2011). Além disso, a norma recomenda que os modelos utilizados para inferir sobre os valores dos imóveis, tenham seus pressupostos explicitados e testados (FARIA FILHO, 2015; UBERTI, 2016).

Neste contexto, o Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL) tem sido amplamente utilizado para avaliações individuais (DANTAS, 2005). Contudo, nas

avaliações em massa de imóveis urbanos, geralmente, os dados são escassos e esparsos sendo um desafio realizar estimativas de toda população de imóveis. Além disso, quando se trata de dados geográficos, a heterogeneidade e a auto correlação espacial não são tratadas adequadamente no MCRL (TRIVELLONI, 2005; DANTAS, et al., 2007; DIGGLE & RIBEIRO, 2007; FARIA FILHO, 2015; UBERTI, 2016; UBERTI, 2018).

Para modelar adequadamente a localização geográfica nos preços dos imóveis pode-se utilizar diversos métodos da Estatística Espacial (TRIVELLONI, 2005; UBERTI, 2016). Entre os métodos disponíveis, destaca-se a Geoestatística, que tem se mostrado especialmente útil em avaliações em massa para elaboração da PGV e desapropriações de imóveis (ABNT, 2011; FARIA FILHO, 2015; UBERTI, 2016; UBERTI, 2018).

A ABNT (2011), ainda recomenda que a análise da dependência espacial seja realizada pelo semivariograma, que é um gráfico da semivariância versus distância (LANDIM, 2006). Verificada a auto correlação espacial entre as observações pelo semivariograma, pode-se empregar métodos para determinar os pesos necessários a uma interpolação local, como, por exemplo, o método Geoestatístico da Krigagem Ordinária (LANDIM, 2006; DIGGLE & RIBEIRO, 2007; YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Aplicar a técnica *Multi-Criteria Evaluation* na modelagem estatística para avaliação em massa de imóveis urbanos na elaboração de Planta Genérica de Valores.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver modelos conceituais de banco de dados geográficos para avaliação em massa de imóveis urbanos do município de Goiânia - GO.
- Modelar análises *Multi-Criteria Evaluation* para definição de áreas de adequabilidade à valorização imobiliária.
- Desenvolver um algoritmo de busca *Web Scraping* para rastrear, coletar e armazenar dados de valores de ofertas imobiliárias.
- Utilizar a técnica *Random Forest Recursive Feature Elimination* para a identificação preliminar das variáveis independentes que influenciam os valores dos imóveis.
- Integrar a técnica *Multi-Criteria Evaluation* com métodos de modelagem estatísticos para elaboração de Planta Genérica de Valores.
- Elaborar um modelo matemático para avaliação em massa de imóveis urbanos utilizando o Modelo Clássico de Regressão Linear.
- Elaborar um modelo matemático para avaliação em massa de imóveis urbanos utilizando o Modelo Geoestatístico.
- Comparar o Modelo Clássico de Regressão Linear com o Modelo Geoestatístico por meio de indicadores normatizados pela por indicadores da *International Association Assessing Officers*.

1.3 JUSTIFICATIVAS E HIPÓTESES

A Constituição Federal de 1988 em seu artigo 156 Inciso I prevê a cobrança do IPTU oferecendo assim mais autonomia aos municípios para instituir impostos, taxas e contribuições de melhoria e ao mesmo tempo o dever de assumir adequadamente temas relacionados à política e à gestão urbana, como a justa tributação (AFONSO, et al., 2013).

A Tabela 1 demonstra que nem todos os municípios dispõem de cadastro mobiliário, cobrança de IPTU e principalmente de uma PGV (IBGE, 2016). Além disso, a tarefa de gerir o espaço municipal tem se demonstrado um desafio para a administração pública, pois os dados apresentados em IBGE (2016) revelam que 20,7% (1152) dos municípios brasileiros dispõem de base cartográfica municipal no formato digital, mas apenas 10,3% (572) dos municípios utilizam a tecnologia do SIG.

Tabela 1: Percentual de municípios com cadastro imobiliário, planta genérica de valores e que cobram IPTU, segundo as Grandes Regiões e as classes de tamanho da população dos municípios 2012-2015.

Grandes Regiões e classes de tamanho da população dos municípios	Percentual de municípios com (%)					
	Cadastro imobiliário		Planta genérica de valores		Cobram IPTU	
	2012	2015	2012	2015	2012	2015
Brasil	93,9	95,0	78,0	80,7	94,1	94,8
Norte	84,4	87,8	71,5	78,9	82,2	86,2
Nordeste	88,3	89,1	60,2	63,0	87,2	88,2
Sudeste	98,2	99,3	84,1	86,8	99,2	99,5
Sul	98,9	99,4	94,3	95,4	100,0	99,9
Centro-Oeste	96,1	97,4	89,7	91,9	98,1	98,5
Até 5 000 hab.	93,8	94,0	74,7	77,7	94,5	94,9
De 5 001 a 10 000 hab.	91,9	94,1	72,6	75,5	92,7	93,5
De 10 001 a 20 000 hab.	91,9	93,2	74,5	77,2	92,1	93,0
De 20 001 a 50 000 hab.	95,4	96,7	83,2	86,1	94,5	95,6
De 50 001 a 100 000 hab.	99,4	98,9	93,9	93,2	98,8	98,9
De 100 001 a 500 000 hab.	100,0	99,6	95,6	96,2	100,0	100,0
Mais de 500 000 hab.	100,0	100,0	97,4	97,6	100,0	100,0

Fonte: (IBGE, 2016).

No tocante à PGV, o que se percebe é que os municípios muitas vezes usam métodos subjetivos para a sua elaboração e conseqüentemente negligenciam a tributação do IPTU e do Imposto de Transmissão de Bens Imóveis (ITBI) (AFONSO, et al., 2013). Em contrapartida, o uso de metodologia científica em prol de uma objetividade tributária, possibilita a tomada de decisões sobre uma base mais técnica e, por consequência maior racionalização no uso de recursos, um planejamento mais adequado de políticas públicas e melhor qualidade de gestão (DUARTE, 2014).

Um dos grandes gargalos para a elaboração de um PGV mais justa e eficiente, é a

existência de um CTM bem elaborado e abrangente, que subsidie os trabalhos de avaliação em massa (SILVA, 2006). A definição dos modelos de avaliação implica na existência de dados que permitam a construção de relações entre atributos cadastrais e o valor dos imóveis (CESARE & CUNHA, 2010). Neste contexto, a elaboração de modelos de Banco de Dados Geográficos pode ser uma ferramenta que minimiza os custos de aquisição e armazenamento de dados, facilita a recuperação e manutenção das informações e melhora a capacidade de gestão cadastral em termos de disponibilidade de informações (BOOCH, 1991; ELMASRI, et al., 1994; LISBOA FILHO & IOCHPE, 1999; GONÇALVES, 2008).

O SIG vem se destacando como uma ferramenta qualificada para integrar dados geográficos e cadastrais em procedimentos de Análises Espaciais para aplicações que envolvam a localização espacial dos dados (LONGLEY, et al., 2013). Neste âmbito, uma das maiores dificuldades para manter a PGV atualizada é definir como a localização do imóvel pode influenciar no VUT (TRIVELLONI, 2005; SILVA, 2006; DANTAS, et al., 2007; CESARE, 2012; DUARTE, 2014; FARIA FILHO, 2015; UBERTI, 2016).

Neste contexto, a técnica *Multi-Criteria Evaluation* pode ampliar a capacidade de modelagem da influência geográfica no valor dos imóveis (COMINO, et al., 2014). Além disso, a MCE permite a construção de variáveis de localização mais robustas, nas quais a influência de diferentes atributos individuais pode ser mensurada de forma conjunta e com mais eficiência que nos métodos tradicionais de avaliação e assim melhorar as estimativas na acurácia da PGV (DUARTE, 2014).

Outro fator que limita as avaliações em massa de imóveis urbanos é a aplicação do Modelo Clássico de Regressão Linear para dados espaciais, visto que, geralmente, os dados geográficos apresentam heterogeneidade e autocorrelação espacial (DANTAS, et al., 2007; ALMEIDA, 2012; UBERTI, 2016). Neste contexto, a Geoestatística é uma ferramenta capaz de realizar a modelagem espacial de forma mais robusta e conseqüentemente gerar resultados mais acurados (MARQUES, et al., 2012).

Assim, o presente trabalho apresenta como hipótese que é possível realizar a integração entre Banco de Dados Geográficos e análise *Multi-Criteria Evaluation* com o Modelo Clássico de Regressão Linear e o Modelo Geoestatístico, de modo a melhorar a precisão das estimativas do Valor Unitário de Terreno para aplicação na avaliação em massa de imóveis urbanos na elaboração de Planta Genérica de Valores.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Os Sistema de Informação Geográfica (SIG) são sistemas computacionais usados para armazenar e manipular informações geográficas (ARONOFF, 1989). O SIG está presente em várias áreas do conhecimento, pois de alguma forma, os dados coletados para determinado projeto tem alguma relação com o espaço (BURROUGH & MCDONELL, 1998; CÂMARA, et al., 2003; LONGLEY, et al., 2013).

Segundo Longley et al. (2013), de modo simplificado, pode-se dividir a operacionalização do SIG em seis elementos básicos: rede, softwares, hardwares, dados, procedimentos e recursos humanos.

I – Rede: os SIG baseiam-se fortemente em redes como a internet. A internet oferece um padrão aceito mundialmente para interagir com informações de vários tipos e também uma boa relação custo-benefício para reunir usuários dispersos.

II – Hardwares: são as plataformas computacionais, com os quais o usuário interage diretamente na realização de operações de SIG, incluindo os computadores, servidores, *smartphones*, *scanners*, *plotters*, impressoras, entre outros.

III – Softwares: são utilizados nas várias fases de implantação do sistema, podendo ser softwares livres ou comerciais (Ex.: QGIS, ArcGIS e o IDRISI).

IV – Dados: um dos processos mais onerosos é a obtenção e implantação do banco de dados geográficos que compõe o sistema, visto que, a aquisição de uma base de dados consistente e bem documentada é de fundamental para a validação das informações.

V – Procedimentos: são os métodos que geram informações úteis para a tomada de decisão nas diversas áreas do conhecimento, por exemplo, a *Multi-Criteria Evaluation*. Assim, após todos os dados estarem organizados e integrados, é possível gerar novas informações que atendam a objetivos que se complementam no planejamento e na gestão do espaço físico.

VI – Recursos Humanos: o elemento mais importante do SIG são os recursos humanos, ou seja, as pessoas responsáveis pelo projeto, administração e uso do SIG. Em um projeto de SIG, geralmente encontramos uma diversidade enorme de modelos teóricos, assim é necessário que seja estruturada uma equipe multidisciplinar.

Dentre as principais capacidades do SIG, destaca-se a possibilidade de integrar e analisar espacialmente diversas variáveis, o que é de grande valia para a Gestão Pública, em especial para a elaboração de PGV (DANTAS, et al., 2007; CESARE, 2012; DUARTE, 2014; FARIA FILHO, 2015; UBERTI, 2016; UBERTI, 2018).

2.2 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

O conhecimento da informação espacial ou geoinformação, tornou-se parâmetro importante para tomada de decisão em vários níveis e em diversas instituições. Além disso, o volume de dados espaciais cresce rapidamente devido ao grande avanço em tecnologias de obtenção de dados, como o Sensoriamento Remoto, Aerofotogrametria, Topografia e Geodésia (NOGUERAS, 2005).

Contudo, armazenar, manipular, atualizar e administrar toda esta informação são tarefas que requerem tecnologias cada vez mais inovadoras e robustas. Neste contexto, Lisboa Filho (2000), define Bancos de Dados Geográficos como uma coleção de dados georreferenciados, manipulados por um SIG e que tem a melhor capacidade de realizar estas tarefas de cunho espacial. De modo geral, um BDG pode ser projetado com base em metodologias tradicionais de projetos de banco de dados, ou seja, as fases de projeto dos modelos conceitual, lógico e físico devem ser contempladas (ELMASRI, et al., 1994).

Segundo Booch (1991) e Câmara (2003), o modelo Orientado a Objetos (O-O) fornece um ambiente robusto e adequado para dados geográficos, por oferecer mecanismos de abstração mais complexos no quesito representação, pois apresentam semânticas e notações específicas para este tipo de dado.

Tendo em vista a realidade que se pretende representar, são definidas e abstraídas do mundo real as informações que se deseja modelar por meio de um esquema conceitual. Os fenômenos definidos no modelo conceitual são associados a diferentes representações geométricas, que podem variar conforme a finalidade, escala, acurácia dos dados, sistema de referência e de projeção cartográfica, entre outros (RUMBAUGH, 1994).

Segundo Booch (1991), Rumbaugh (1994) e Câmara (2003), de acordo com o modelo O-O, o objeto ou instância é um elemento do mundo real que pertence a uma classe de objetos similares, que possui atributos e operações (Ex.: quadras, lotes, amostras). As classes ou camadas podem ser organizadas hierarquicamente em subclasses e superclasses. O modelo traz ainda o conceito de herança, ou seja, compartilhamento pela subclasse dos atributos e operações da classe pai. As classes são relacionadas através de associações com multiplicidade, cardinalidade, agregação, classificação, especialização e generalização. Todo esquema pode ser particionado através de pacotes, ou seja, um conjunto de classes de características similares.

Uma das principais metodologias de modelagem O-O é a *Unified Modeling Language* ou Linguagem de Modelagem Unificada (UML). A linguagem está se tornando cada vez mais popular em projeto para aplicações geográficas, pois utiliza mecanismos de interação geográfica, através de diagramas de classes (NOGUERAS, 2005). O modelo

conceitual *UML-GeoFrame* tem sido utilizado para a especificação de projetos conceituais de BDG (LISBOA FILHO & IOCHPE, 1999; LISBOA FILHO, 2000; LISBOA FILHO, et al., 2004; LISBOA FILHO, 2012).

O *UML-GeoFrame* é um *framework* conceitual que fornece um diagrama de classes para auxiliar o projetista durante a modelagem conceitual e lógica dos dados de uma aplicação de SIG. O diagrama é composto de três níveis, Planejamento, Metamodelo e Representação Espacial e está esquematizado na Figura 1 (LISBOA FILHO, 2000).

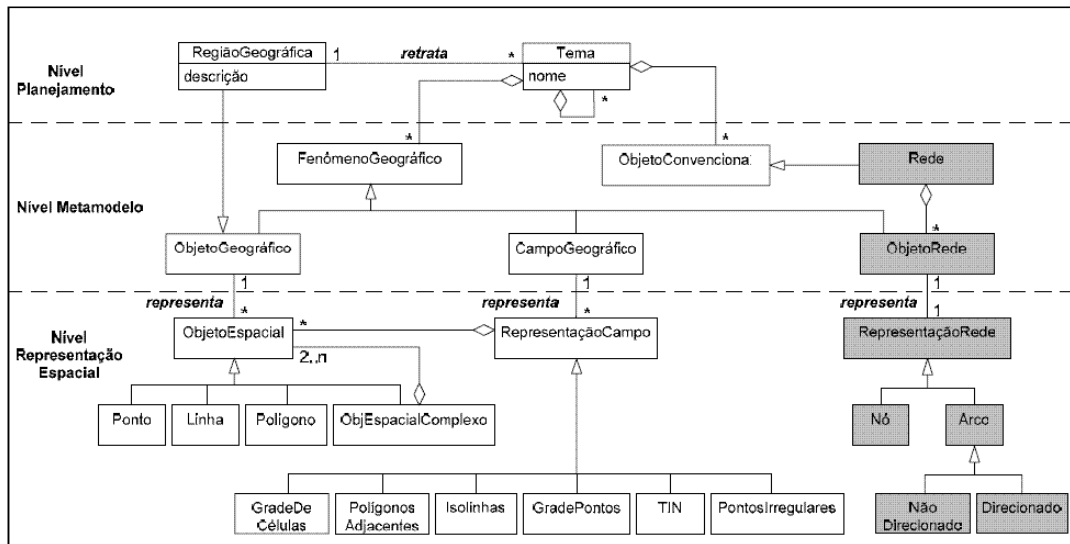


Figura 1: Diagrama de classes UML-GeoFrame.

Fonte: (LISBOA FILHO, 2000).

O tema do projeto e região geográfica são os pilares para a construção de um sistema de BDG. O tema reflete a regra de negócio, a aplicação para quais os dados serão coletados e a região geográfica é a área ou limite de interesse no estudo.

De acordo com Lisboa Filho (2000), os requisitos de modelagem que devem ser suportados por modelos conceituais de banco de dados geográficos, são:

- Fenômenos geográficos e objetos convencionais: possibilidade de diferenciação entre fenômenos geográficos. Exemplo de Fenômeno Geográfico: imóvel urbano que apresenta uma localização espacial. Os Objetos Convencionais não apresentam referência espacial e são geralmente conceituados descritivamente, como o IPTU;
- Visões geográficas de campo e objetos: possibilidade de modelagem dos fenômenos nas visões de campo (distribuição contínua no espaço), como exemplo, o Modelo Digital de Elevação. As visões de objetos consistem em fenômenos discretos com suas propriedades individuais, como quadras, lotes e logradouros;

- Aspectos temáticos: necessidade de organizar os fenômenos por tema, por exemplo, hidrografia, vegetação e pontos de referência. Tais fenômenos apresentam características, ou temáticas bem distintas;
- Aspectos espaciais: possibilidade de modelagem das características espaciais dos dados; múltiplas representações - um fenômeno geográfico pode ter mais de um tipo de representação espacial. Por exemplo, a hidrografia pode ter representações lineares como um rio, ou por um ponto, as nascentes;
- Relacionamentos espaciais: apresenta relacionamentos espaciais (Ex.: intercepta, está contido) e inclui restrições de integridade espacial.
- Aspectos temporais: representados pelo tempo de validação, sua granularidade temporal, como hora, data e período de tempo.

Um esquema conceitual de dados geográficos construídos com base no modelo *UML-GeoFrame* inclui, por exemplo, a modelagem dos aspectos espaciais da informação e a diferenciação entre objetos convencionais e objetos/campos geográficos. A especificação desses elementos está ilustrada nos estereótipos mostrados na Figura 2.














Fenômeno geográfico e Objeto convencional	Componente espacial de objetos geográficos	Componente espacial de campos geográficos
 Objeto geográfico  Campo geográfico  Objeto não geográfico	 Ponto  Linha  Polígono  Obj. espacial complexo	 Pontos irregulares  Grade de pontos  Polígonos adjacentes  Isolinhas  Grade de células  TIN
<<função>> função categórica		

Figura 2: Estereótipos do Modelo *UML-GeoFrame*.

Fonte: (LISBOA FILHO, 2000).

A modelagem conceitual de um BDG, com base na linguagem O-O e no modelo *UML-GeoFrame* tem a capacidade de produzir um esquema conceitual de BDG que melhora a interoperabilidade entre projetistas e usuários (LISBOA FILHO, 2000).

Atualmente, existem ferramentas CASE (*Computer Aided Software Engineering*), que auxiliam nas fases de um projeto de banco de dados, e entre as ferramentas disponíveis pode-se citar o software *ArgoCASEGEO*, que é uma aplicação de código aberto e está sendo desenvolvida desde 2004 pelo Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa (UFV), e podendo ser obtida gratuitamente via internet.

O software permite a modelagem de BDG para aplicações em SIG, realizado a geração automática de esquemas lógicos. Além disso, apresenta um módulo de catálogo que permite armazenar diagramas de classes para servir de Padrões de Análise, ou seja, a reutilização de esquemas que obtiveram sucesso em aplicações passadas (LISBOA FILHO, 2000). A Figura 3 ilustra um diagrama de classes, resultado de um Padrão de Análise, para o pacote CTM no modelo *UML-GeoFrame*.

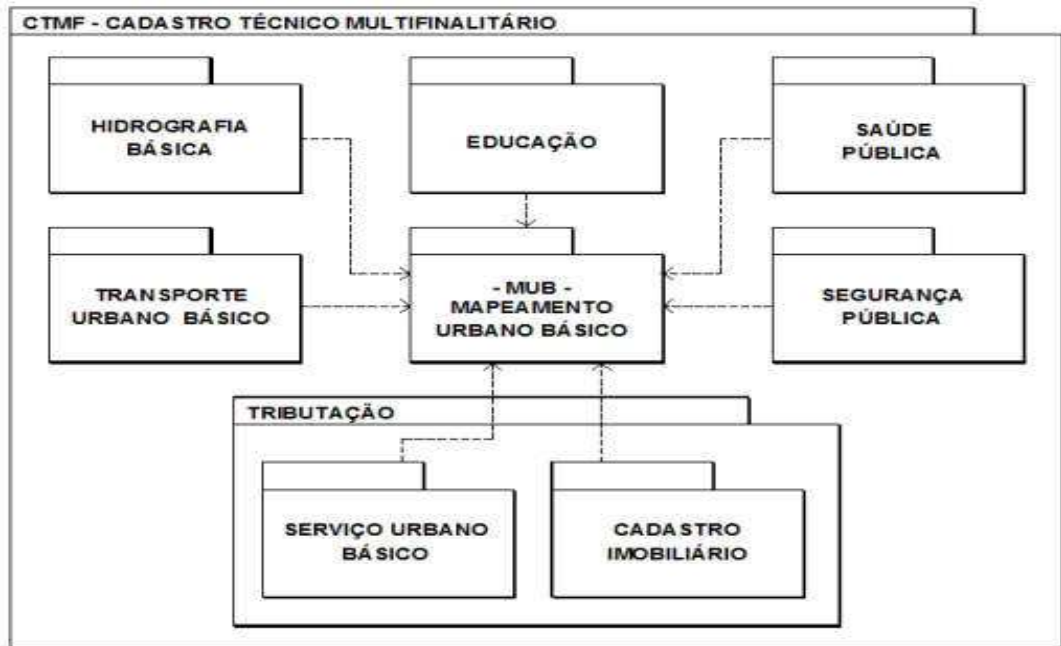


Figura 3: Padrão de Análise no ArgoCASEGEO - UML-GeoFrame.

Fonte: (GONÇALVES, 2008)

Após a modelagem conceitual de um BDG, o próximo passo é o projeto lógico, que consiste na transformação do esquema de dados conceitual em um esquema de dados compatível com o modelo de dados do software de SIG que será utilizado, geralmente, na forma de tabelas.

Nesta fase são definidos os Sistemas de Referência Geodésicos e de Projeção Cartográfica, de modo a compatibilizar e sobrepor todas as informações. Esta etapa de transformação de um esquema conceitual em um esquema lógico-espacial pode ser realizada de forma automática pelo *ArgoCASEGEO* para sua implantação em um software de SIG (LISBOA FILHO, et al., 2004).

2.3 MULTI-CRITERIA EVALUATION

As Análises Espaciais (AE) são características importantes de um SIG, utilizam ferramentas baseadas na localização geográfica e integram transformações, manipulações e métodos que aplicados aos dados agregam valor e geram informações confiáveis, de modo gráfico, sobre padrões e anomalias. Além disso, as AE, tanto em dados nos formatos vetorial quanto matricial, tornam possível comparar diferentes temas para um mesmo local e também permitem inferir sobre suas relações e possíveis explicações acerca dos fenômenos geográficos (LONGLEY, et al., 2013).

Entre as várias possibilidades de AE, as baseadas na distância têm grande destaque, pois, a separação espacial entre lugares e fenômenos sobre a Terra é de interesse em várias áreas das ciências (BURROUGH, et al., 1998). Segundo Longley et al. (2013), a avaliação da distância é importante na medição de comprimentos e perímetros, construção de faixas de distância, detecção de agrupamentos, verificação da dependência espacial, estimativa da densidade, interpolação espacial, entre outras.

As medições de comprimentos, a partir de sistema de projeção cartográfica, são calculadas pela distância euclidiana, sendo o cálculo da distância no plano bidimensional obtida pela Equação 1, onde: X e Y são as coordenadas bidimensionais dos pontos i e j separados por uma distância D .

$$D = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2} \quad (1)$$

Nos SIG, as faixas de distâncias são calculadas pela distância euclidiana, como uma expansão a partir de feições estabelecidas e quantificadas em uma superfície bidimensional que determina a distância de cada célula até a fonte mais próxima. Além disso, a superfície calculada pode ser ponderada por taxas determinadas pelo atrito, como valores de custo (LONGLEY, et al., 2013).

Outro fator de destaque em AE são as estimativas da densidade, que consistem em um estimador quantitativo da distribuição das amostras em termos de densidade. Neste sentido, a função de estimativa da densidade de Kernel é um estimador probabilístico, não paramétrico, baseada na função do núcleo quártico, que tem como premissa básica a aleatoriedade da distribuição espacial das amostras (SILVERMAN, 1986).

De modo geral, um estimador de densidade por Kernel calcula uma superfície de densidade por unidade de área, com base na configuração espacial de conjunto de amostras em relação a sua vizinhança, definida por uma largura de banda, ou seja, um

Raio de Pesquisa Padrão (*RPP*), conforme Equação 2, onde (*SD*) é a distância padrão, (*Dm*) é a mediana ponderada para a média central dos dados de entrada (*n*) (ESRI, 2014).

$$RPP = 0,9 + \text{Min} \left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)}} \times D_m \right) \times n^{0,2} \quad (2)$$

Segundo Silverman (1986), ao se escolher o tamanho do raio de busca para a estimativa da densidade, deve se levar em conta o grau de suavização que será produzido, pois o valor da superfície é mais alto na localização do ponto e diminui com o aumento da distância, chegando a zero na distância do raio de pesquisa do ponto, ou seja, valores maiores do raio de busca produzem uma superfície mais generalizada e mais suave, enquanto valores menores produzem uma superfície mais detalhada.

Tanto a análise espacial de faixas de distâncias quanto a de densidade são realizadas individualmente para cada variável definida. Contudo, para tomadas de decisões mais completas, embasadas e assertivas, é necessário realizar uma análise em conjunto, ou seja, considerando vários critérios (CÂMARA, et al., 2003).

Neste contexto, um Sistema de Apoio à tomada de Decisão Multicritério Espacial, ou *Multi-Criteria Evaluation*, fornece um conjunto de métodos e ferramentas para a transformação e integração de dados geográficos a fim de obter informações para a tomada de decisão e parametrizar uma avaliação global das alternativas de decisão (MALCZEWSKI, 1999).

De acordo com Malczewski (1999), a integração de SIG com a MCE é uma poderosa ferramenta que envolve um grande conjunto de alternativas viáveis para processos de tomada de decisão, que pretendem satisfazer a múltiplos objetivos e são desenvolvidos com base na avaliação de um ou vários critérios (EASTMAN, 1997).

A forma de combinar os critérios (restrições e fatores) e a forma como podem influenciar (pesos) no resultado final, assumem grande importância nas decisões (CALIJURI, et al., 2002). O fluxograma utilizado na modelagem da MCE, encontra-se na Figura 4.

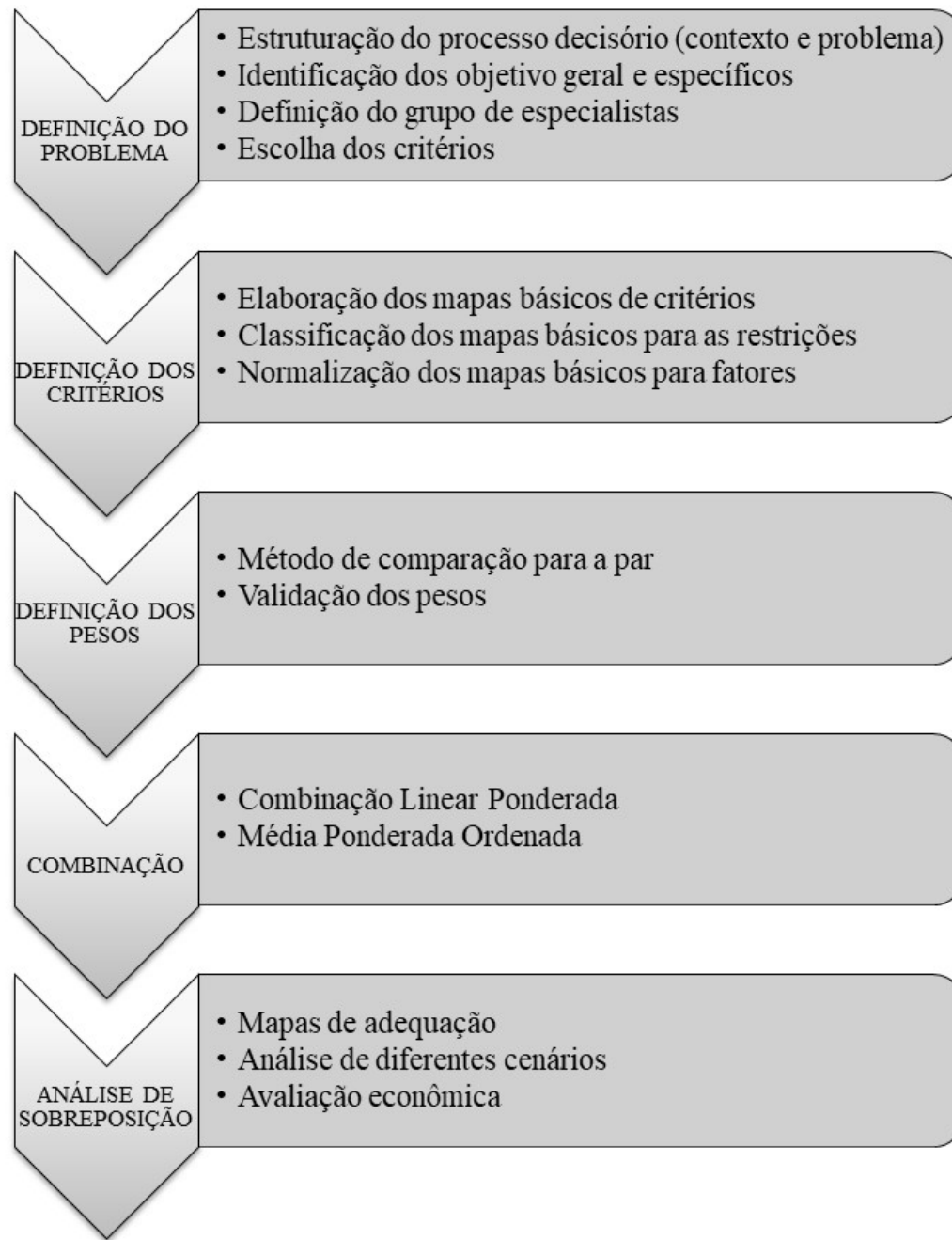


Figura 4: Fluxograma da modelagem de uma MCE.

Fonte: Adaptado de Comino (2014).

Segundo Calijuri et al. (2002), as restrições são impostas geralmente pela a legislação e em prol do bem coletivo e estão fundamentadas em critérios booleanos (aptas com o valor 1, das não aptas com valor nulo) que limitam a análise a regiões geográficas.

Os fatores são critérios que definem algum grau de aptidão ou valorização para a área considerada, definindo áreas ou alternativas em termos de uma medida contínua de adequabilidade que realçam ou diminuem a importância de uma alternativa a ser considerada nos locais fora das restrições (BAPTISTA, 2009).

Geralmente, os valores de diferentes critérios não podem ser comparados entre si, pois podem apresentar distintas unidades de medidas, o que inviabiliza a agregação. Para resolver este problema, é necessário padronizar ou reclassificar cada um dos critérios para uma mesma escala de valores que varia de 0 a 255 (EASTMAN, 1997).

A reclassificação é um processo de conversão dos valores dos dados originais em níveis de adequabilidade (BAPTISTA, 2009; COMINO, et al., 2014). Diversos métodos clássicos de reclassificação podem ser utilizados, como Intervalos Iguais, Quartis e Desvio Padrão. Porém, o Método dos Intervalos Geométricos e do Método de Quebras Naturais (*Jenks*) vem se destacando pela sua eficiência e robustez (ESRI, 2014).

- O Método dos Intervalos Geométricos é idealizado conforme o conceito de uma classificação por meio de progressão e é utilizado em dados que não são distribuídos normalmente (FYER, 2007).
- O *Jenks* é baseado no agrupamento natural e inerente aos dados, e procura minimizar o desvio médio dentro das classes e maximizar o desvio médio entre as classes. O método é utilizado para classificação de valores que não estão uniformemente distribuídos (JENKS & CASPALL, 1971).

Além disso, pode-se utilizar a lógica *Fuzzy*, segundo a qual um conjunto de valores expressos numa dada escala é convertido em outra comparável (ZADEH, 1965), utilizando para isto três funções de pertinência ao conjunto *Fuzzy* como a *Sigmoidal*, *J-Shaped*, *Linear*. Estas funções podem ser da forma Monotonicamente Crescente, Monotonicamente Decrescente ou Simétrica. Além disso, para que o usuário tenha a possibilidade de regular o comportamento matemáticos do fenômeno, são definidos quatro pontos de controle (a, b, c e d).

Segundo Zadeh (1965), a teoria do conjunto *Fuzzy* é, em suma, o passo seguinte de aproximação entre a precisão da matemática clássica e a imprecisão do mundo real. A Figura 5 apresenta o conjunto das funções *Fuzzy*.

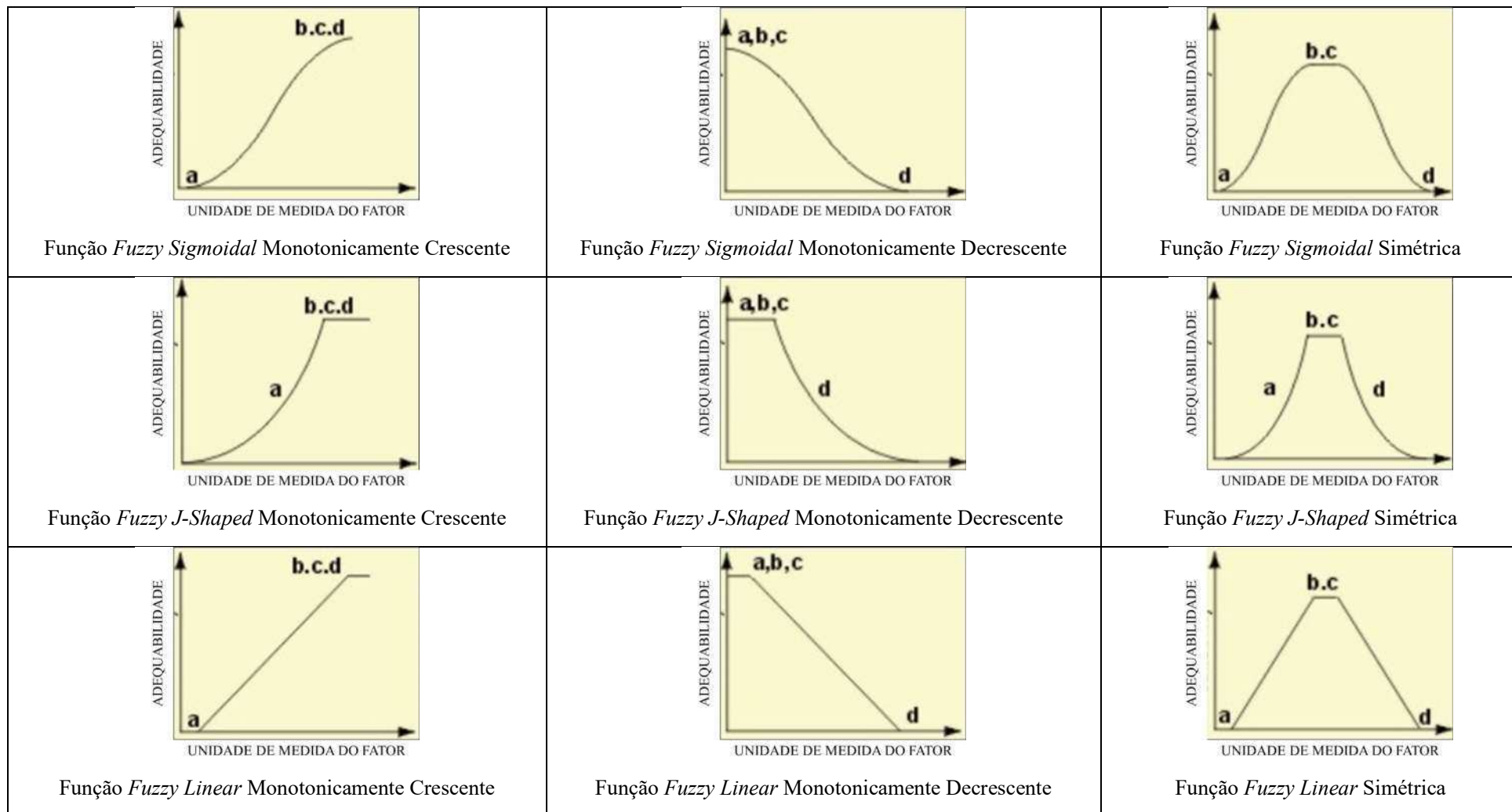


Figura 5: Conjunto de Funções Fuzzy.

Fonte: (SILVERMAN, 1986)

Uma das grandes vantagens da MCE é a possibilidade de atribuir pesos a cada um dos fatores no processo de agregação. Tem-se, portanto, a importância relativa dos fatores, o que regula a compensação entre eles (CALIJURI et al., 2002). Dentre as formas para definição destes pesos, destaca-se o método *Analytical Hierarchy Process* (AHP) aplicado à matriz de comparação par-a-par, conforme Quadro 1 (SAATY, 1980).

Quadro 1: Escala Fundamental de Saaty

Valor	Definição	Explicação
1	Igualmente importante	Dois elementos de decisão igualmente influenciam a realização do objetivo
3	Moderadamente mais importante	Um elemento de decisão é moderadamente mais influente do que o outro
5	Forte mais importante	Um elemento decisão tem mais influência que o outro
7	Muito forte mais importante	Um elemento decisão tem significativamente mais influência sobre o outro
9	Extremamente mais importante	A diferença entre dois elementos de decisão é extremamente significativa
2, 4, 6 e 8	Importância intermediária	Intermediários entre igualmente, moderadamente forte, muito forte e extremamente

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Segunda Baptista (2009), todo processo de ponderação pode ser validado por meio da Razão de Consistência (RC), sendo necessário o cálculo do autovalor e do correspondente auto vetor. Para que a matriz de comparação seja considerada consistente, é necessário que seu autovalor máximo seja aproximadamente igual à sua ordem. Desde modo, são calculados os Índice de Consistência (IC) e a Razão de Consistência (RC), a partir das Equações 3 e 4.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$RC = \frac{IC}{CA} \quad (4)$$

Em que: λ_{max} é o maior autovalor (ordem da matriz), n é o número de fatores e CA consistência aleatória randômica. Assim, quando o valor da RC for menor que 0,1, trata-se de uma consistência aceitável, valores acima de 0,1 indicam que a matriz requer revisão (BAPTISTA, 2009).

As restrições, fatores e pesos são combinados por meio de processos algébricos e estatísticos, respeitando uma regra de decisão de agrupamento. Na agregação dos critérios

são utilizados diversos métodos. Pode-se citar a Combinação Linear Ponderada (CLP), ou *Weighted Linear Combination* (WLC), e a Média Ordenada Ponderada (MOP) ou *Ordered Weighted Average* (OWA) (EASTMAN, 1997).

A WLC assume que o risco é médio e a compensação é máxima, ou seja, qualquer fator pode compensar qualquer outro de acordo com seu peso. Na OWA o risco e a compensação são controlados pelo usuário, podendo variar entre o mínimo risco e o máximo risco, variando, assim, a compensação através de pesos ordenados, onde valores maiores nas primeiras posições representam menor risco e valores maiores nas últimas posições representam maior risco (EASTMAN, 1997; CALIJURI, et al., 2002). O resultado é um espaço estratégico de decisão triangular, definido por um lado pelo risco e, por outro lado, pela compensação (EASTMAN, 1997), como se observa na Figura 6 e por meio das Equações 5 e 6.

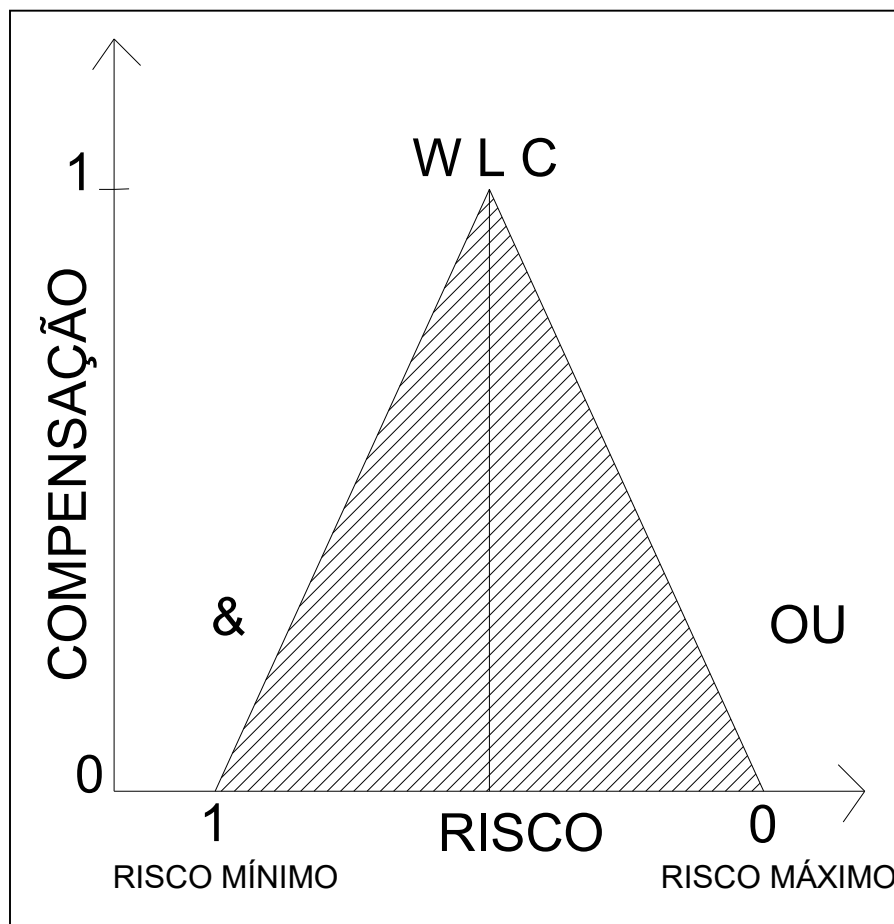


Figura 6: Espaço Estratégico de Decisão.

Fonte: Adaptado de Calijuri et al., (2002).

$$Risco = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_i [(n-1)O_i]} \quad (5)$$

$$Compensação = 1 - \sqrt{\frac{n \sum_i (O_i - \frac{1}{n})^2}{n-1}} \quad (6)$$

Em que n é o número total de fatores, i é a ordem do fator e O_i é o peso ordenado para o fator de ordem i .

É importante destacar que na definição das restrições, fatores e pesos, o estabelecimento de um grupo de especialistas multidisciplinares é crucial para o desenvolvimento da avaliação e para o sucesso da análise.

Os resultados da MCE são mapas, gráficos e tabelas, elaborados por meio da combinação de restrições, fatores e pesos que inferem sobre a adequabilidade ou susceptibilidade de determinada variável. A MCE vem sendo utilizada em diversos trabalhos para modelar a influência da localização dos dados em diversas análises relacionadas a:

- Meio Ambiente: Calijuri et al. (2002), Zambon et al. (2005), Caixeta et al. (2012), Comino et al. (2013), Silva et al (2014) e Pinto (2014).
- Agricultura: Agrell et al. (2004), Chen et al. (2010), Akinci et al. (2013).
- Urbanização: Santos et al. (2012), Faria Filho et al (2014) e Santos et al (2017).

No contexto de avaliação em massa de imóveis, a integração dos modelos de avaliação com ferramentas de análise espacial permite, por exemplo: explorar a influência da localização sobre a formação dos preços praticados; contribuir nos processos de auditoria sobre os valores estimados; visualizar geograficamente as variações entre valores estimados e cadastrados; viabilizar mapeamento de variações das estimativas em relação a preços praticados superiores ao aumento médio (CESARE, et al., 2015).

2.4 CADASTRO TERRITORIAL MULTIFINALITÁRIO

De acordo com Santos (2004), o território é determinado pelas diferentes funções espaciais, não é possível compreendê-lo sem considerar as relações políticas e econômicas. Neste contexto, a sua gestão traz grandes desafios para a administração municipal. Assim, o sucesso da Gestão Territorial depende de ações organizadas e planejadas, de modo que possam subsidiar os diagnósticos necessários para dar suporte à tomada de decisão nos vários níveis da municipalidade. Entre os instrumentos de planejamento e gestão territorial, destaca-se o Cadastro Territorial Multifinalitário (AMORIM, et al., 2018).

A *International Federation of Surveyors* (FIG), define o CTM como um sistema de informações territoriais, baseado em parcelas de terra, projetado para servir tanto ao órgão público como ao privado, bem como a toda sociedade (FIG, 1995).

O CTM é o inventário territorial oficial e sistemático do município e é embasado no levantamento dos limites das parcelas cadastrais, que recebe uma identificação numérica única e inequívoca. A parcela cadastral é a menor unidade do cadastro e é definida como uma parte contígua da superfície terrestre com regime jurídico único, sendo definido os seus direitos, restrições e responsabilidade (BRASIL, 2009).

No Brasil, o levantamento cadastral para a identificação geométrica das parcelas deve ser referenciado a partir do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), ou seja, o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000). Além disso, o CTM, a nível nacional, utiliza o sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) (BRASIL, 2009). Outra projeção cartográfica poderá ser admitida para o levantamento das parcelas, contudo, Abreu (2017) ressalta que, a adoção do Sistema de Projeções UTM é adequada para o levantamento cadastral e a sua utilização em diversos outros mapeamentos temáticos facilita a integração ao CTM.

Todo processo de levantamento da parcela é realizado tendo como referência uma Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM), que é considerada como um importante instrumento para a gestão urbanística, ambiental e fiscal municipal de acordo com as recomendações da “ABNT NBR 14.166 - Rede de Referência Cadastral - Procedimentos” (ABNT, 1998).

A RRCM deve fornecer apoio para todos os levantamentos geodésicos destinados à determinação de coordenadas no município, possibilitando assim: apoiar a elaboração e a atualização de plantas cadastrais municipais; integrar os levantamentos topográficos, às plantas cadastrais do município; referenciar os levantamentos topográficos referentes à demarcação, de anteprojetos, de projetos, de implantação e acompanhamento de obras

de engenharia, de urbanização, de levantamentos de obras como construídas e de cadastros imobiliários para registros públicos e multifinalitários; registrar imagens de satélite e fotos aéreas (ABNT, 1998).

O CTM pode ser estabelecido para finalidades físicas (Ex.: avaliação e tributação), legais (Ex.: transferências e certidões), administrativas (Ex.: planejamento e controle do uso da terra), ambiental (Ex.: desenvolvimento sustentável e proteção ambiental) (AMORIM, et al., 2018). Logo, apresenta-se como uma ferramenta com caráter multifinalitário, ou seja, apresenta multifinalidades e potencial para fornecer dados dos diferentes segmentos sociais e econômicos e, conseqüentemente, informações para os vários níveis de planejamento urbano (CUNHA & ERBA, 2010; DUARTE, 2014).

A multifinalidade é um processo evolutivo, onde a integração de diferentes temas ocorre gradativamente ao longo dos anos, tendo como referência o CTM e feito pela integração de informações de outros sistemas ao sistema básico comum, de conteúdo mínimo¹, que favoreça a atualização. De acordo com a necessidade social, econômica e administrativa, o município define novos cadastros temáticos (BRASIL, 2009).

Uma das temáticas mais populares do CTM é a fiscal, sendo ferramenta básica na avaliação de imóveis para fins de cálculo do IPTU. Além disso, as prefeituras podem identificar os bens imobiliários, seus proprietários, direitos e restrições para finalidade de outros tributos imobiliários como o ITBI, Taxas de Serviços Urbanos e as Contribuições de Melhorias (BRASIL, 2009). A maioria dos cadastros implementados atualmente nos municípios brasileiros ainda têm esse objetivo. Porém, com surgimento de métodos de avaliação em massa baseados em modelos econométricos e na Geoestatística que usam a localização espacial dos terrenos, exigiu-se que as bases de dados fossem ampliadas e a utilização fosse otimizada com o uso do SIG (CUNHA & ERBA, 2010).

Uma das estratégias que vêm se destacando em diversos municípios para a coleta e atualização dos dados do cadastro fiscal é a estruturação de Observatórios Urbanos de Valores (OUV). Os OUV são instituições que monitoram o mercado imobiliário, tais como bancos de crédito hipotecário e associações de avaliadores e imobiliárias. Os dados do OUV normalmente estão disponíveis em uma plataforma da Internet e são compartilhados com fins comerciais e fiscais (CUNHA & ERBA, 2010).

A instituição do cadastro fiscal é um instrumento que vem sendo utilizado pelos municípios com a finalidade de garantir maior autonomia financeira e pode auxiliar as

¹Considera-se como conteúdo mínimo do CTM a caracterização geométrica da parcela, seu uso, identificador único, localização e proprietário, detentor do domínio útil ou possuidor (BRASIL, 2009).

questões que permeiam a análise da sustentabilidade financeira dos municípios brasileiros (IBGE, 2016). Assim, o objetivo principal do CTM fiscal é dotar os municípios de um instrumento que oriente, sustente e dê apoio às tomadas de decisões para o sistema de tributação imobiliária municipal (BRASIL, 2009).

No Brasil, a legislação fez avanços com o Decreto 6.666 de 27/11/2008, que institui na esfera do Poder Executivo Federal a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) (BRASIL, 2008), com a Portaria Ministerial nº 511, de 07/12/2009 que dispõe sobre as diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário nos municípios brasileiros. Outra normatização de destaque é o Decreto nº 8.764, de 10 de maio de 2016, que institui o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (Sinter) (BRASIL, 2016).

O Sinter, administrado pela Secretaria da Receita Federal, é uma ferramenta de gestão compartilhada que integrará, em um banco de dados geográfico, os serviços de registros públicos aos fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios brasileiros (BRASIL, 2016). As questões técnicas em relação à valorização imobiliária serão tratadas por meio de um Manual Operacional e são explicitadas no Art. 13:

Art. 13. As informações estatísticas, conjunturais e estruturais relativas aos mercados mobiliário e imobiliário e aquelas relativas às garantias constituídas em operações de crédito serão processadas pelo Sinter, em conformidade com os dados remetidos pelos serviços de registros públicos, de forma a possibilitar ao Banco Central do Brasil a consulta unificada, em âmbito nacional, das informações relativas ao crédito e ao acesso às informações necessárias ao desempenho de suas atribuições (BRASIL, 2016).

No mundo existem várias iniciativas de padronização e fortalecimento de conceitos, metodologias e tecnologias para o CTM. Uma delas é a padronização adotada pela *International Organization for Standardization* (ISO) em 2012, que formulou e publicou a ISO 19.152 - *Land Administration Domain Model* (LADM). Esta normativa tem como finalidade proporcionar uma linguagem formal para descrever os sistemas de administração territorial, de maneira que suas similaridades e diferenças possam ser mais bem compreendidas. Trata-se de um padrão descritivo, com foco na identificação dos direitos, responsabilidades e restrições dos componentes geoespaciais (SANTOS, 2013).

A gestão do CTM é de responsabilidade e competência do município. Para isso, é importante constituir uma equipe técnica capacitada para manter a integridade, atualização e continuidade da gestão do CTM. Em específico, recomenda-se que a avaliação de imóveis do município deve ser baseada na informação cadastral atualizada (BRASIL, 2009).

2.5 IMPOSTO SOBRE A PROPRIEDADE TERRITORIAL URBANA

A Constituição de 1934 transferiu aos municípios o poder de tributar os imóveis urbanos e, na ocasião, foram estabelecidos dois tributos, o imposto predial e o territorial, cuja unificação ocorreu na Constituição de 1946 (CESARE, et al., 2015).

A Lei nº 5.172 de 1966, intitulada de Código Tributário Nacional (CTN), no seu Art. 5º, define que os tributos são impostos, taxas e contribuições de melhoria (BRASIL, 1966). Já os Art. 32, 33 e 34 estabelecem o IPTU:

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 (BRASIL, 1966).

O Art. 145 da Constituição Federal de 1988 permite que a União, Estados e Municípios instituem tributos, entre eles os impostos, as taxas ou contribuição de melhorias, decorrentes de obras públicas. O § 1º do referido artigo destaca que sempre que possível, os impostos terão caráter pessoal, e serão graduados conforme a capacidade econômica do contribuinte, respeitados os direitos individuais, o patrimônio, os rendimentos e as atividades econômicas do contribuinte (BRASIL, 1988). Em relação ao IPTU e ao ITBI, que são impostos que recaem sobre a propriedade territorial, dispõe:

Art. 156. Compete aos Municípios instituir impostos sobre:

I - propriedade predial e territorial urbana;

II - transmissão “inter vivos”, a qualquer título, por ato oneroso, de bens imóveis, por natureza ou acessão física, e de direitos reais sobre imóveis, exceto os de garantia, bem como cessão de direitos a sua aquisição; [...] (BRASIL, 1988).

Antes da Constituição Federal de 1988, a atuação das prefeituras na tributação imobiliária era mais limitada, pois ocorria a centralização dos recursos públicos no âmbito dos governos estadual e federal, o que ocasionava a dependência excessiva dos municípios ao governo federal. A promulgação da Constituição Federal de 1988 promoveu a descentralização entre os níveis governamentais, transferindo para os governos municipais novas responsabilidades e atribuições, gerando uma ampliação das competências tributárias e das responsabilidades de gastos municipais (BRASIL, 1988).

É importante ressaltar que o Estatuto da Cidade, Lei 10.257 de 2001, regulamenta os Arts. 182 e 183 da CF, estabelecendo “normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental”. Além disso, o IPTU é identificado na alínea “a”, inciso IV do Art. 4 do Estatuto da Cidade como um instrumento de política urbana, na modalidade dos instrumentos tributários e financeiros (BRASIL, 2001).

O Estatuto das Cidades criou uma série de instrumentos para que o administrador possa buscar o desenvolvimento urbano, sendo o principal o Plano Diretor. O Plano Diretor está definido como “um conjunto de princípios e regras orientadoras da ação dos agentes que constroem e utilizam o espaço urbano”, estando entre elas parâmetros para o estabelecimento dos Códigos Tributários Municipais (BRASIL, 2001).

Como visto no CTN, a base do cálculo do IPTU é o Valor do Imóvel (VI). O VI é uma estimativa do Valor de Mercado (VM), que incorpora imperfeições, sendo dessa forma fornecido pelo mercado local sujeito à lei da oferta e da procura (DANTAS, 2005), com a seguinte definição:

Valor de Mercado é aquele encontrado por um vendedor desejoso de vender, mas não forçado, e um comprador desejoso de comprar, mas também não forçado, tendo ambos plenos conhecimentos das condições de compra e venda e da utilidade da propriedade (DANTAS, 2005).

Cunha & Erba. (2010) e Afonso et al. (2013), expõem que o VI, Equação 7, é determinado na maioria dos municípios brasileiros pelo Método Evolutivo (ABNT, 2011), ou seja, o valor total do imóvel avaliando pode ser obtida através da conjugação de métodos, a partir do Valor do Terreno (Equação 8), considerados o custo de reprodução das benfeitorias devidamente depreciado e o fator de comercialização.

$$VI = (VT + VB) \times FC \quad (7)$$

Onde: VI = Valor do Imóvel, VT = Valor do Terreno, VB = Valor das Benfeitorias e FC = Fator de Comercialização.

$$VT = AT \times VUT \times FT \quad (8)$$

Onde: VT = Valor do Terreno, AT = Área do Terreno e VUT = Valor Unitário do metro quadrado do terreno, FT = Fatores de valorização ou desvalorização dos terrenos.

O Valor Unitário de Terreno (VUT) é fixado por meio da Planta Genérica de Valores e, geralmente, é estabelecido por face de quadra em áreas homogêneas quanto à valorização imobiliária (AFONSO, et al., 2013). É importante destacar, que a determinação de zonas homogêneas de valorização imobiliária, em função do seu potencial urbanístico, é um dos requisitos desejáveis para estabelecimento da equidade fiscal na elaboração da PGV. Portanto, fatores como índices de aproveitamento, zoneamento econômicos, usos permitidos, restrições no direito de construir e outros parâmetros urbanísticos são atributos a serem considerados para a estimativa de valor dos imóveis para fins tributários. (CESARE, et al., 2015).

Os fatores de valorização ou desvalorização dos terrenos são definidos nos códigos tributários municipais de acordo com as características urbanísticas de cada município. Alguns exemplos são condições do passeio (Ex.: cimento, cerâmica, ladrilho), a presença de limitação física do terreno (muro, cerca, sem limite), a situação do terreno em relação à quadra (Ex.: meio de quadra, esquina, encravado), a topografia, inclinação ou perfil do terreno (Ex.: plano, aclave, declive), a pedologia (Ex.: argiloso, arenoso, normal, inundável, alagadiço), entre outros (DUARTE, 2016).

Os valores das benfeitorias são obtidos por tabelas que estimam o custo do projeto-padrão das edificações de acordo com sua tipologia (Ex.: casa, apartamento, sala, loja, galpão), por meio dos Custos Unitários Básicos de Construção (CUB/m²). Os quais são calculados de acordo com a Lei Federal nº. 4.591, de 16 de dezembro de 1964 (Art. 53 e 54), seguindo a metodologia da norma NBR 12.721 de 28 de agosto de 2006, que estabelece os critérios para avaliação de custos unitários, cálculo do rateio de construção e outras disposições correlatas (ABNT, 2006).

Os Sindicatos da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON) de todo o País, calculam e divulgam, mensalmente, o CUB/m². Além disso, o Sistema de Recuperação Automática (SIDRA) do IBGE, por meio do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e

Índices da Construção Civil (SINAPI) também apresenta um valor para CUB/m².

É importante destacar que os valores fixados pelo SINDUSCON e pelo SINAPI são os valores das construções recém-concluídas, sendo necessário calcular a depreciação de acordo com fatores aplicados ao custo total estimado, a fim de contemplar a redução do custo das benfeitorias causada pela idade, obsolescência física ou funcional, e estado de conservação das construções (CUNHA & ERBA, 2010).

Os fatores de valorização ou desvalorização das edificações são aplicados ao cálculo do valor das benfeitorias. Alguns exemplos são relativos ao alinhamento da edificação em relação ao lote (Ex.: alinhada ou recuada), situação das edificações em relação à contiguidade (Ex.: isolada, conjugada, geminada), situação da edificação em ao lote (Ex.: frente ou fundos), cobertura (Ex.: telha metálica, laje), paredes (Ex.: alvenaria, madeira, metálica), revestimento da fachada (Ex.: reboco, cerâmica, tinta), piso (Ex.: cerâmica, madeira, cimento), forro (Ex.: madeira, gesso), instalações sanitárias e elétricas, presença de elevadores e piscinas entre outras.

De modo geral, para determinação da base de cálculo do IPTU, a administração pública estima o valor provável do imóvel nas condições de mercado tendo em vista os atributos registrados no cadastro imobiliário da prefeitura.

Finalmente, o imposto é apurado mediante a aplicação de uma alíquota ao VI, com valores que variam entre 0,2% e 2%, sendo os maiores percentuais aplicados aos terrenos que não cumpre sua função social, e as menores alíquotas para residências populares (AFONSO, et al., 2013). Além disso, a Constituição Federal de 1988 no Art. 182 e o Art. 7 do Estatuto da Cidade expõe a aplicação do IPTU progressivo no tempo, mediante a majoração da alíquota pelo prazo de cinco anos consecutivos, de modo penalizar imóveis que não cumprem as funções sociais da cidade.

Cesare et al. (2015), assevera que a alíquota é o elemento que determina a magnitude do IPTU e recomenda que as alíquotas sejam extraídas da relação entre a receita esperada do orçamento municipal que será financiado por meio do imposto e sua base de cálculo, ou seja, a soma do valor cadastral dos imóveis sujeitos à tributação.

Ressalta-se que o IPTU é uma obrigação do município. A Lei Complementar nº 101 de 04 de maio de 2000, que estabelece normas de finanças públicas, voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal, em seu Art. 11, determina que a instituição, previsão e a efetiva arrecadação de todos os tributos da competência constitucional do ente federado são requisito essencial da responsabilidade na gestão fiscal. Além disso, é vedada a realização de transferências voluntárias para o ente que não cumprir a responsabilidade fiscal (BRASIL, 2000).

Logo, é imperativo que os municípios possam sofrer sanções, como não receber transferências voluntárias do governo federal e estadual, estando os administradores sujeitos às punições como: indenização monetária, perda de direitos políticos e até prisão por improbidade administrativa (BRASIL, 2000).

De modo geral, a finalidade do IPTU é fiscal, mas pode ser utilizado também como um instrumento para promover o desenvolvimento urbano sustentável e a construção de cidades. O IPTU segue os princípios de equidade, eficiência e efetividade, e apresenta grande potencial para contribuir com a construção das cidades, com serviços públicos de qualidade, sustentáveis do ponto de vista financeiro e atrativas para a moradia e trabalho (CESARE, et al., 2015).

2.6 PLANTA GENÉRICA DE VALORES

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é responsável pelo estabelecimento das normas técnicas que fornecem as diretrizes orientadoras para os trabalhos de avaliação de bens. Assim, em 2001, a ABNT editou as normas da série NBR 14653 que especificam os conceitos, métodos e procedimentos a serem utilizados nos laudos e pareceres relativos à avaliação mercadológica de bens (ABNT, 2001).

A primeira norma da série é a NBR 14653-1 - Avaliação de bens Parte 1: Procedimentos gerais. Esta norma fixa as diretrizes para avaliação de bens de forma geral. A NBR 14.653-2 - Avaliação de bens Parte 2: Imóveis urbanos. Fornecem os procedimentos para a avaliação de imóveis urbanos e está na segunda edição. De modo geral, as normas fixam as diretrizes quanto à classificação dos imóveis, terminologias, definições, símbolos, abreviaturas, descrição metodológica para avaliação e elaboração de peças técnicas, como laudos e pareceres (ABNT, 2011).

É quase sempre inviável em termos de custo e tempo realizar avaliações individuais para toda a população de imóveis em um município. De tal forma, são utilizados processos de avaliação em massa de imóveis nos trabalhos desenvolvidos para fins tributários, principalmente, no caso de desenvolvimento da PGV (CESARE, 2012).

Segundo Averbeck (2003, 2010) e Cesare et al. (2015), a avaliação em massa de imóveis é o processo de estimar o valor de um grande número de imóveis, em uma mesma data ou período², usando métodos normatizados e análises estatísticas, com base em modelos matemáticos genéricos de avaliação, considerando as características destes imóveis armazenadas no CTM e agrupando-os em zonas homogêneas de valor.

² Em que não ocorra flutuações significativas no mercado imobiliário no transcorrer do período.

Cunha & Erba (201) destacam que os métodos de avaliação em massa são empregados para estimar o valor dos imóveis para fins de IPTU, pois é um tipo de avaliação genérica, na qual nem todas as particularidades dos bens são consideradas.

Para fins fiscais, o documento que regulamenta o valor venal dos imóveis para todo o município é a Planta Genérica de Valores. A ABNT (2011, p. 06) define a PGV como uma “representação gráfica ou listagem dos valores genéricos do metro quadrado ou do imóvel em uma mesma data”.

Para Dantas (2005, 2007) a PGV é um documento no qual estão indicados os valores do metro quadrado (m²) dos terrenos de uma cidade e dos diversos tipos de edificações que constam no Código Tributário Municipal ou decreto regulamentador.

Segundo Cesare et al. (2015), a Planta Genérica de Valores ou Planta de Valores Genéricos são termos coloquialmente empregados no Brasil para descrever os trabalhos de avaliação que são realizados para fins tributários, muito embora, conceitualmente PGV seja apenas a representação espacial de valores unitários médios do terreno em um mapa.

O IMAPE (1998) ressalta que a finalidade principal da PGV é fornecer os valores de m² (R\$/m²) de terreno e edificação para o cálculo do VI no lançamento de tributos imobiliários municipais, como o IPTU.

A PGV é composta por diversas peças técnica. A representação gráfica é construída por meio de mapas e plantas em escala apropriada, tendo como base cartográfica os dados provenientes do CTM. Geralmente é espacializada de forma categorizada, por setores administrativos, bairros, logradouros, faces de quadra e por superfície contínua de valores. Além disso, deve ser representada de maneira descritiva, sendo a mais usual, a tabular em forma de banco de dados relacional, facilitando a integração com as aplicações do sistema de gestão tributária (IMAPE, 1998).

Segundo Cesare (2012) as principais etapas de um processo de avaliação de imóveis para elaboração de uma PGV são descritas abaixo:

1. Definição dos objetivos e da abrangência do trabalho.
2. Estabelecimento de parcerias intergovernamentais e na iniciativa privada.
3. Vistoria e análise do perfil imobiliário da jurisdição, identificando as características reais das diferentes zonas.
4. Seleção do método e das técnicas avaliativos para cada segmento imobiliário.
5. Coleta de dados sobre transações, operações e ofertas envolvendo todos os tipos de imóveis.
6. Análise estatística preliminar dos dados e formulação das hipóteses que

serão consideradas no modelo de avaliação.

7. Desenvolvimento e análise dos modelos de avaliação que melhor se ajustam aos dados amostrais, além de verificar a consistência da interpretação dos seus componentes.
8. Validação dos resultados, por meio de amostras independentes que não foram utilizadas no modelo.
9. Aplicação dos modelos estatísticos a fim de determinar o valor venal de todos os imóveis do município.
10. Publicidade dos trabalhos através de confecção de manuais, boletins informativos e relatório de avaliação.

A PGV pode ser elaborada em conjunto com uma comissão de representantes do município em estudo, que deverão acompanhar a pesquisa e análise dos dados pesquisados para chegar a valores definitivos do custo de metro quadrado de terreno e de edificações. Esta comissão deverá ser criada através de portarias do Executivo Municipal e deverá ser composta por pessoas que representem as diversas classes da sociedade (IMAPE, 1998; DUARTE, 2014).

Como sugestão de componentes da comissão, podem-se mencionar: funcionários municipais diretamente ligados à área tributária; pessoas com cargo de chefia (cargo de confiança) na Prefeitura; vereadores (pelo menos dois); corretores de imóveis; cartorários; engenheiros agrimensores, cartógrafos, civis; arquitetos; representantes do comércio e da indústria; representantes de segmentos da sociedade (clubes de serviços, Associações) e cidadãos do município de modo geral (DUARTE, 2014).

A valorização imobiliária não é uniforme em uma cidade, podendo haver áreas que desvalorizam enquanto outras sofrem valorização acentuada. Assim, é fundamental a manutenção periódica das avaliações (CESARE, et al., 2015). É importante destacar que manter a PGV atualizada possui várias vantagens (CUNHA & ERBA, 2010), como:

- Lançamento e aplicação da política tributária para o Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU), o Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis e de Direitos a eles relativos (ITBI), Imposto de Renda e determinação das Contribuições de Melhoria;
- Aplicação de instrumentos de política urbana, previstos no Estatuto da Cidade, como o IPTU progressivo, outorga onerosa do direito de construir, direito de preempção e transferências de potencial construtivo, entre outros;
- Determinação de indenizações para fins de desapropriações ou outras compensações;

- Geração de informação para operações imobiliárias em geral, tais com a compra, venda leilão, locações, partilhas e arrendamentos imobiliários;

A atividade de avaliação dos imóveis e a necessidade de manter os seus valores atualizados são de responsabilidade da administração municipal. Para manter atualizada a base de cálculo do IPTU e demais tributos imobiliários, recomenda-se que o ciclo de avaliação dos imóveis seja de, no máximo, quatro anos (BRASIL, 2009).

2.7 MÉTODO COMPARATIVO DIRETO DE DADOS DE MERCADO

Entre os métodos descritos na ABNT (2001) para identificar o valor de um bem, seus frutos e direito, citam-se: Método Comparativo Direto de Dados de Mercado (MCDDM), Método Involutivo, Método Evolutivo, Método da Capitalização da Renda, Método Comparativo Direto de Custo e Método da Qualificação do Custo. O MCDDM é o método recomendado pela norma e aplicado por meio de modelos matemáticos que determinam o valor dos imóveis com base em um levantamento de dados de mercado representados por amostras de transação ou ofertas imobiliárias.

A amostra é um subconjunto de valores do fenômeno, que de modo representativo em tamanho e distribuição, tem a capacidade de reproduzir a distribuição e variabilidade da população (YAMAMOTO & LADIM, 2013). Segundo os autores, existem diversos métodos de amostragem, como por exemplo, a amostragem aleatória simples, aleatória estratificada e a sistemática. A escolha do método de amostragem é dependente da disponibilidade e do acesso às informações (DANTAS, et al., 2007).

A amostra de valores imobiliários para a formação de modelos estatísticos para elaboração de PGV deve conter, preferencialmente, preços confiáveis sobre imóveis ofertados ou transacionados no mercado imobiliário local, referentes ao segmento de imóveis que se pretende avaliar (CESARE, 2012). Contudo, a coleta destas amostras é uma atividade onerosa em tempo e custo (BOEING & WADDELL, 2016).

Entre os parceiros potenciais para a formação de um banco de dados sobre transações ou ofertas imobiliárias estão: os municípios, os agentes que financiam bens imóveis, a Secretaria do Patrimônio da União, as áreas de avaliações dos Estados, os cartórios de registros de imóveis, Sindicatos das Empresas do Setor Imobiliário e Condomínios (SECOVI), Sindicatos da Indústria da Construção (SINDUSCON), Conselho de Corretores de Imóveis (CRECI), Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA), e institutos e associações de avaliação de imóveis, tais como Instituto Brasileiro de Avaliação e Perícia de Engenharia (IBAPE) e Sociedade Brasileira de Engenharia de Avaliações (SOBREA) (IMAPE, 1998; DANTAS, 2005).

As fontes de dados sobre transações imobiliárias incluem cartórios de registro de imóveis; jornais, classificados e revistas especializadas; leilões; anúncios no local; agências de corretagem ou corretores autônomos; agentes financeiros; construtores e incorporadores e as guias de impostos de transmissão, produzidas pelos próprios municípios. Além disso, uma nova tendência para coletar e formar um banco de dados de amostras de valores imobiliários é a utilização de ofertas disponíveis na internet.

Neste contexto, o *Web Scraping* ou *Web Crawler* são softwares desenvolvidos para navegar em uma rede de computadores, como a *World Wide Web (WWW)*, com objetivo de rastrear, coletar e armazenar dados estruturados de forma metódica e automatizada (MORIMOTO, et al., 2003; WANG, et al., 2012; MYERS & MCGUFFEE, 2015)

Segundo Boeing e Waddell (2016), essa técnica de extração de dados tem se demonstrado muito útil para o mercado imobiliário, pois preenche a necessidade de alimentar um banco de dados com vasta amostragem em um curto intervalo de tempo e com custos reduzidos.

Conforme estudo de caso da FIPE (2011), geralmente as informações disponíveis em imobiliárias virtuais envolvem características dos imóveis como: o tipo de transação (Ex.: venda ou aluguel), tipo de imóvel (Ex.: casa, apartamento, lote), informações de endereços (Ex.: rua, bairro), geometria (Ex.: testada, área útil, área construída), preço do imóvel entre outras informações, que podem variar de acordo com a imobiliária virtual.

É importante destacar que, como os dados são de fontes colaborativas e geograficamente relacionadas, podem ser classificados como, *Volunteered Geographic Information (VIG)*. A VIG de dados imobiliários provenientes da *Web* tem origem em duas principais fontes, que são os anúncios de imobiliárias ou de pessoas físicas, de forma que ambos possam conter erros e inconsistências de ordem lógica e de preenchimento dos usuários (JIANG, et al., 2015). Além disso, as informações dos anúncios estão condicionadas às estruturas dos sites, sendo alguns dados obrigatórios e outros opcionais.

Como explicitado por Myers e McGuffee (2015) e Boeing e Waddell. (2016), uma questão a ser considerada é a dinâmica da *WWW* e do setor imobiliário, pois o quantitativo de amostras é variável com tempo, ou seja, os anúncios são ofertados e atualizados constantemente pelos usuários, sendo uma estrutura em constante crescimento e mudança.

Outro fator de grande importância na avaliação de imóveis é a definição das variáveis que influenciam no valor dos imóveis. Assim, é importante realizar a identificação das variáveis dependentes e independentes do MCDDM. As variáveis dependentes geralmente são o Valor Total (VT) ou Valor Unitário (VU) dos imóveis

(FARIA FILHO, 2015). As variáveis independentes são intrínsecas ou extrínsecas ao imóvel (ABNT, 2001). Segundo IMAPE (1998) e Dantas (2005), o valor de um imóvel é fortemente influenciado por parâmetros extrínsecos e intrínsecos.

Os parâmetros extrínsecos são características próprias da região onde se localiza o imóvel pesquisado, tais como: condições físicas e ambientais (Ex.: relevo; declividade; uso e ocupação do solo, tipo de solo e pedologia); presença de equipamentos comunitários (Ex.: segurança, educação, saúde, cultura e lazer); presença de equipamentos urbanos (Ex.: abastecimento de água, serviços de esgotos, energia elétrica, coletas de águas pluviais, rede telefônica, cabeamento de Internet e televisão e gás canalizado); presença de mobiliário urbano (Ex.: abrigos e pontos de ônibus, pontos de táxi, caixas de coleta de correio, hidrantes, armários da rede telefônica, armários da rede elétrica, cabines de bancos, lixeiras); transporte e mobilidade urbana (Ex.: transporte coletivo, acessibilidade para deficientes físicos, ciclovias); condições socioeconômicas (Ex.: renda e capitalização, tipo de sociedade, parâmetros populacionais, valores históricos e culturais, presença de polos de influência comerciais, industriais e de serviços); zoneamento urbano (Ex.: residenciais, comerciais e industriais), entre outras.

Os parâmetros intrínsecos são as características próprias de cada imóvel, terrenos ou edificações, tais como: geométricas (Ex.: área, testada, profundidade e forma); físicas e ambientais (Ex.: topografia, pedologia e geologia); uso do imóvel (Ex.: residencial, comercial, industrial e misto); tipo de imóvel (Ex.: terreno, apartamento, casa, escritório, loja, galpão, vaga de garagem, misto, hotéis e motéis, hospitais, escolas, cinemas e teatros, clubes recreativos, prédios industriais); agrupamento (Ex.: loteamento, condomínio de casas, prédio de apartamentos, conjunto habitacional, conjunto de salas comerciais, prédio comercial, conjunto de prédios comerciais, conjunto de unidades comerciais, complexo industrial); características das edificações (Ex.: idade, alinhamento, posição vertical, situação em relação ao lote, situação em relação aos vizinhos, infraestrutura coletiva, estrutura, acabamento, revestimento interno e externo, cobertura, número de tipo de instalações sanitárias e elétricas), entre outras.

A 146532 que trata da avaliação de Imóveis Urbanos, recomenda a adoção de variáveis independentes quantitativas. Contudo, as diferenças qualitativas podem ser especificadas na ordem: variáveis dicotômicas, variáveis proxy, códigos ajustados e códigos alocados (ABNT, 2011).

De forma geral, o tratamento dos dados pode ser realizado das seguintes formas:

- Tratamento por fatores: homogeneização por fatores e critérios, fundamentados por estudos e posterior análise estatística dos

resultados homogeneizados;

- Tratamento científico: tratamento de evidências empíricas pelo uso de metodologia científica que leve à indução de modelo validado para o comportamento do mercado.

Na aplicação do MCDDM para a obtenção do valor de mercado, é recomendável o tratamento por fatores apenas em amostras homogêneas, onde são observadas as condições de semelhança nos dados. Para amostras heterogêneas, é recomendável a utilização de inferência estatística, desde que as diferenças sejam devidamente consideradas (ABNT, 2011).

A caracterização de zonas homogêneas de adequabilidade à valorização imobiliária é fundamental nas avaliações em massa, pois os valores dos imóveis são influenciados por sua localização (DANTAS, et al., 2007). Dessa maneira, na determinação do VUT em zonas homogêneas são considerados atributos físicos e locacionais (FARIA FILHO, 2015). A segmentação da cidade em zonas homogêneas é uma prática comum nas avaliações realizadas para fins fiscais, assim como a categorização de imóveis conforme as suas principais características (CUNHA & ERBA, 2010).

Segundo a ABNT (2011), no que se refere ao tratamento científico, são vários os modelos para a determinação do valor de mercado de um determinado bem, cuja escolha está diretamente ligada à pesquisa efetuada e à natureza do bem avaliando, podendo-se citar: Regressão Linear Multivariada; Regressão Espacial; Análise Envoltória de Dados; Redes Neurais Artificiais; Apuração de Custos do Bem, entre outros.

O CTM está diretamente relacionado ao processo de avaliação em massa de imóveis urbanos para fins tributários. Independentemente do método ou modelo de avaliação empregado, as estimativas de valor para fins de tributos imobiliários são realizadas com base nos dados armazenados no CTM, ou seja, sobre as características físicas, de localização e seus direitos reais (CUNHA & ERBA, 2010).

A qualidade da avaliação em massa é um fator importante para a validação dos trabalhos. Dito isto, são utilizados os graus de fundamentação e de precisão da NBR 14653-2 como parâmetros. Para o MCDDM são três graus, onde o III é o mais restritivo, e seis itens, dos quais três (3, 5 e 6) são de destaque no âmbito da avaliação em massa para fins tributários, conforme Quadro 2.

Quadro 2: Parâmetros analisados na determinação do grau de fundamentação.

Item	Descrição	Grau		
		I	II	III
3	Quantidade mínima de dados de mercado efetivamente utilizados.	$6 \times (k + 1)$	$4 \times (k + 1)$	$3 \times (k + 1)$
5	Nível de significância α (somatório do valor das duas caudas) máximo para a rejeição da hipótese nula de cada regressor (teste bicaudal).	10%	20%	30%
6	Nível de significância máximo admitido nos demais testes estatísticos realizados.	1%	2%	5%

Onde k é o número de variáveis do modelo.

Fonte: Adaptado de Faria Filho (2015) e Brasil (2011).

2.8 MODELO CLÁSSICO DE REGRESSÃO LINEAR

A inferência estatística aplicada à avaliação em massa de imóveis, realizada por meio da regressão múltipla, tem como objetivo eleger um modelo matemático que melhor represente o mercado imobiliário (FARIA FILHO, 2015). No Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL), a variável dependente é expressa por uma combinação linear das variáveis independentes, em escala original ou transformada, acrescida de um erro aleatório (ABNT, 2011). A Equação 10 ilustra um MCRL.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_j X_{ji} + \mu_i, \quad \text{sendo } i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

Onde: Y_i : é a variável dependente; X_{1i} a X_{ji} : são as (k -1) variáveis independentes; β_0 : é o intercepto do modelo; β_1 a β_j : são os coeficientes parciais de inclinação estimados pelo MMQ³; μ_i : erro aleatório e i : observações representadas por n amostras.

O modelo de regressão linear empregado para a estimativa dos valores imobiliários está inerentemente associado a um erro aleatório, o qual reflete a incerteza intrínseca do fenômeno analisado. Entre as possíveis causas destes erros, estão as variáveis omitidas no modelo, as imperfeições nos dados, as variações no comportamento humano relacionadas às motivações, preferências, aspirações e expectativas das partes envolvidas que resultam em variações de caráter aleatório nos preços praticados (CUNHA & ERBA, 2010; FARIA FILHO, 2015).

A qualidade da avaliação está relacionada com o desempenho do modelo

³ O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) busca um conjunto de coeficientes que minimize o quadrado dos resíduos do modelo.

matemático, ou seja, com grau de aderência entre os valores calculados pelos modelos e os valores observados no mercado. As medidas de desempenho referem-se a dois tipos de qualidade: medidas de desempenho global da avaliação e medidas relacionadas com a equidade e uniformidade (TRIVELLONI, 2005; UBERTI, 2016). Segundo Dantas (2005), para verificar a qualidade do modelo são utilizados indicadores consagrados como o Coeficiente de Correlação (R), Coeficiente de Determinação (R^2) e o Coeficiente de Determinação Ajustado (R_a^2) e teste de hipóteses.

Ao utilizar modelos de regressão, é imprescindível observar os seus pressupostos básicos, com o objetivo de obter estimativas eficientes, consistentes e não-tendenciosas. A norma 14653-2 destaca que os pressupostos a serem atendidos, são:

I – Micronumerosidade: Ocorre quando o número de amostras é reduzido em relação ao número de variáveis independentes. Logo, para evitar este problema, pode-se aumentar o número de dados na amostra ou reduzir o número de variáveis independentes.

II – Linearidade: Pode ocorrer nas variáveis dependentes ou nas independentes. Nos parâmetros, a não-linearidade pode provocar tendências nos resíduos (UBERTI, 2016). Já nas variáveis independentes, a linearidade garante uma melhor eficiência do estimador do MMQ na determinação dos coeficientes do MCRL (FARIA FILHO, 2015). A linearidade pode ser verificada pelos gráficos da variável dependente versus cada variável independente. Ressalta-se que é possível realizar transformações de variáveis que resultem em um modelo satisfatório (ABNT, 2011)

III – Não-Multicolinearidade: Está relacionada à dependência linear entre duas ou mais variáveis independentes. A Multicolinearidade implica na existência de diversos modelos com o mesmo grau de ajustamento, degenerando os modelos e restringindo a interpretação dos coeficientes. Para sua verificação, é recomendado elaborar a matriz de correlações e analisar os resultados superiores a 0,80, sendo ideal valores inferiores 0,5 (UBERTI, 2016).

IV – Normalidade: Esta hipótese propõe que a análise de regressão é baseada numa distribuição gaussiana dos resíduos. Este pressuposto é importante para garantir a validade dos testes de hipótese e a estimativa dos intervalos de confiança. A NBR 14653-2 apresenta diversos métodos para a verificação da normalidade, entre eles: elaboração e verificar se o histograma dos resíduos padronizados⁴ segue a distribuição normal; por

⁴ O Resíduo Padronizado (R_p) é dado por: $R_p = \frac{P_o - P_c}{s_R}$, onde: P_o são os valores observados, P_c os valores calculados e s_R o desvio padrão dos resíduos.

meio da comparação da frequência relativa dos resíduos padronizados nos intervalos de $[-1;+1]$, $[-1,64;+1,64]$ e $[-1,96;+1,96]$, com as probabilidades da distribuição normal padrão nos mesmos intervalos, ou seja, 68%, 90% e 95%; pela análise do gráfico dos resíduos ordenados padronizados *versus* quartis da distribuição normal padronizada, que deve se aproximar da bissetriz do primeiro quadrante e pelo teste de aderência não-paramétricos de Kolmogorov-Smirnov. É importante destacar que pequenos desvios podem ser considerados, pois os testes de hipóteses são baseados na distribuição *t de Student*, que não é sensível a pequenos desvios (UBERTI, 2016).

V – Homocedasticidade: Os erros são variáveis aleatórias com variância constante. As consequências da Heterocedasticidade são que as estimativas da regressão são pouco eficientes, ou seja, a variância não é mínima, possui tendências e os testes *t de Student* e *F de Snedecor* fornecem resultados incorretos (UBERTI, 2016). A verificação da Homocedasticidade pode ser feita pela análise gráfica dos resíduos *versus* valores ajustados, que devem apresentar pontos dispostos aleatoriamente, sem nenhum padrão definido ou pelos testes de Park e de White, Breusch–Pagan e Koenker Bassett (ABNT, 2011; UBERTI, 2016).

VI – Não-Autocorrelação: Refere-se à ausência de correlações entre os erros, isto é, são independentes sob condições de normalidade. Existindo correlação, os estimadores do MMQ e os testes *t de Student* e *F Snedecor* são ineficientes e indicam conclusões incorretas. Para verificação do pressuposto pode ser realizada pelo gráfico dos resíduos *versus* valores ajustados ou pelo *Teste de Durbin-Watson* (ABNT, 2011).

VII – Inexistência de *outliers*: São observações extremas, atípicas ou espúrias que claramente não estão adaptadas ao modelo. Os *outliers* provocam distorções nos coeficientes calculados pelo MMQ e podem ser verificados pelo gráfico *Box Plot*.

Dentre os pressupostos acima citados, na maioria das vezes a heterogeneidade e a dependência espacial não são garantidas quando se trabalha com dados espaciais na estimativa do valor do imóvel, visto que o valor do imóvel é dependente da sua localização (DANTAS, et al., 2007; DIGGLE & RIBEIRO, 2007; CESARE & CUNHA, 2010; CESARE, 2012). Segundo Uberti (2016), o MCRL não modela adequadamente o espaço geográfico nos modelos estatísticos, ou seja, a heterogeneidade e a dependência espacial recebem um tratamento limitado.

Trivelloni (2005) e Faria Filho (2015) afirmam que a heterogeneidade espacial está relacionada com a falta de estabilidade do comportamento da variável ao longo do espaço. E a dependência espacial, também chamada de autocorrelação espacial, é caracterizada quando as propriedades de um local *i* estão correlacionadas com as

propriedades de outros locais vizinhos j , sendo que $i \neq j$.

É importante destacar que o exame da autocorrelação espacial deve ser precedido do georeferenciamento dos elementos amostrais e pode ser realizada pela análise do semivariograma, que é um gráfico da semivariância versus distância. Assim, quando os efeitos de dependência espacial forem inferidos pelo semivariograma, podem ser empregados métodos para determinar os pesos necessários a uma interpolação local, como, por exemplo, o método Geoestatístico da Krigagem.

2.9 MODELO GEOESTATÍSTICO

A inferência espacial é o processo de estimar as características de um fenômeno geográfico baseado em amostras e por meio de técnica de interpolação que realizam ajustes de funções matemáticas aos dados amostrais (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

Segundo Trivelloni (2005) e Uberti (2016), a interpolação utilizando inferência espacial pode ser realizada por modelos determinísticos ou estatísticos que consideram efeitos locais ou globais. De modo simplificado, os modelos de interpolação seguem a formulação matemática apresentada na Equação 11.

$$Z_{(k)} = \sum (\rho_{(i)} \times Z_{(i)}) \quad (11)$$

Onde: $Z_{(k)}$ é o valor a ser interpolado, $\rho_{(i)}$ são os pesos espaciais para os valores $Z_{(i)}$ que foram amostrados.

Neste contexto, a Geoestatística destaca-se como a ciência utilizada para analisar, inferir e interpolar valores para locais onde não foram coletadas amostras, estando associada a fenômenos espaciais ou espaço-temporais (BURROUGH, 1987). Diferentemente dos métodos de interpolação determinísticos, que têm por base critérios apenas geométricos, a Geoestatística, por meio da Krigagem, faz uso de modelos estocásticos provenientes de processos aleatórios que tem o objetivo de modelar uma variável por meio de sua distribuição e variabilidade, apresentado as incertezas associadas ao modelo de inferência espacial (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

A Geoestatística está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas (MATHERON, 1971), a qual pressupõe que a oscilação de uma variável pode ser expressa pela soma de três componentes, conforme Equação 12.

$$z(x) = m(x) + \gamma(x) + \varepsilon \quad (12)$$

- $z(x)$: é a variação de uma variável x no espaço.
- $m(x)$ = é uma função determinística que descreve a componente estrutural de z em x , associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante.
- $\gamma(x)$ = é um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de $m(x)$, representado pelo variograma;
- ε = um ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal, com média zero e variância σ^2 .

A hipótese mais comum é chamada de estacionaridade de 2ª ordem (BURROUGH, 1987), tendo os seguintes pressupostos:

- . A componente determinística, $m(x)$, é constante (não há tendências na região).
- . As variâncias das diferenças entre duas amostras dependem somente da distância h entre elas.

O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de interpolação da Krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (BURROUGH, 1987; LANDIM, 2006). A Equação 13 e a Figura 7 fazem a representação matemática e gráfica do semivariograma e seus parâmetros.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_i [Z_{(x_i)} - Z_{(x_i+h)}] \quad (13)$$

Sendo: $\gamma(h)$, o semivariograma estimado, $N(h)$ o número de pares de pontos amostrais, $Z_{(x_i)}$ e $Z_{(x_i+h)}$, separados por uma distância h .

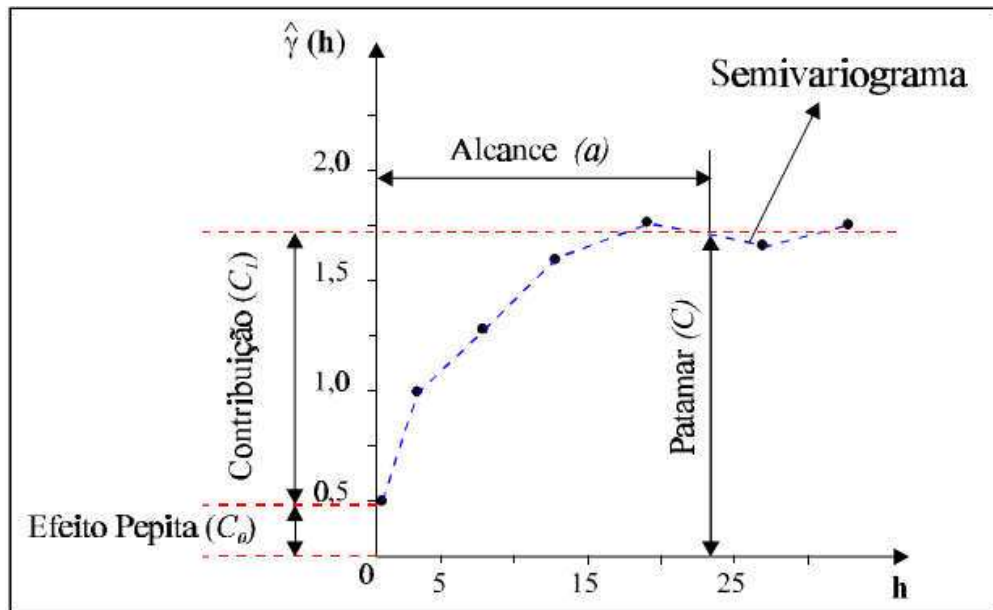


Figura 7: Semivariograma e seus parâmetros.

Fonte: (CÂMARA, et al., 1998).

Sendo que:

- Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente.
- Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente ao seu alcance. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras porque a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância.
- Efeito Pepita (C_0): idealmente, $\gamma(0) = 0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para 0, $\gamma(h)$ aproxima-se de um valor positivo chamado Efeito Pepita, que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.
- Contribuição (C_1): é a diferença entre o patamar e o efeito pepita.

Segundo Landim (2006) e Uberti (2016), o grau de dependência espacial da variável pode ser classificado de acordo com a razão entre o efeito pepita e o patamar:

- Se $\left(\frac{C_0}{C_0+C_1} < 0,25\right)$: Forte dependência espacial.
- Se $\left(0,25 < \frac{C_0}{C_0+C_1} < 0,75\right)$: Moderada dependência espacial.
- Se $\left(0,75 < \frac{C_0}{C_0+C_1} < 1,00\right)$: Fraca dependência espacial.
- Se $\left(\frac{C_0}{C_0+C_1} = 1,00\right)$: Efeito pepita puro, não existem dependência espacial.

O semivariograma pode ser construído com diferentes modelos matemáticos, estando entre eles o Modelo Exponencial, Modelo Gaussiano e Modelo Esférico, conforme ilustrado na Figura 8. Ressalta-se que existem outros modelos, mas os citados são os mais utilizados (LANDIM, 2006).

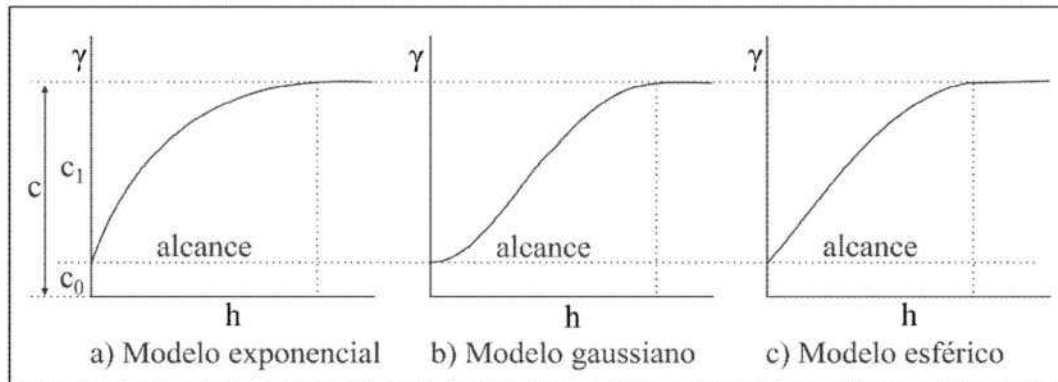


Figura 8: Modelos teóricos de semivariograma. Exponencial, Gaussiano e Esférico.

Fonte: (FARIA FILHO, 2015)

Outro fator de relevância para aplicação dos métodos Geoestatísticos é identificar se o fenômeno em estudo é isotrópico ou anisotrópico. Um fenômeno é dito isotrópico quando o seu comportamento no espaço, sua variabilidade e sua distribuição, é igual em todas as direções, ou seja, a determinação do semivariograma é dependente apenas das distâncias entre os pares de observações (YAMAMOTO & LANDIM, 2013). Este pressuposto pode ser verificado e constatado por meio de diversas técnicas, entre elas destacam-se:

- Pela observação da similaridade dos parâmetros alcance e patamar, obtidos do mesmo semivariograma construídos para diferentes direções.
- Pela construção do Mapa Variográfico, onde a ocorrência de matizes frias em todas as direções indica um comportamento isotrópico.

O semivariograma é uma ferramenta que permite verificar e modelar a dependência espacial e a amplitude da correlação espacial entre as variáveis, ou seja, até que distancia a Geoestatística conduz a uma estimativa precisa. Desse modo definem-se os parâmetros para realizar as técnicas de interpolação da Krigagem. A Krigagem engloba um conjunto de métodos de estimação, como a Krigagem Simples, Krigagem Ordinária, Krigagem Universal, Krigagem Indicativa, Co-Krigagem, entre outras (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

Segundo Landim (2006), Marques et al (2012) e Yamamoto e Landim (2013), a Krigagem Ordinária é o estimador mais utilizado em virtude da simplicidade e qualidade

dos resultados que proporciona. A Krigagem Ordinária é um método de estimativa local, ou seja, a estimativa do ponto não amostrado resulta da combinação linear dos valores encontrados na vizinhança próxima.

Para analisar a qualidade de predição do modelo, pode ser utilizada a técnica da Validação Cruzada. Esta técnica é realizada depois que foi obtido o modelo do semivariograma, onde cada valor original é removido sequencialmente do domínio espacial e os demais são utilizados para estimar um novo valor para esse ponto. Desse modo, um gráfico pode ser construído mostrando a relação entre valores reais e estimados (LANDIM, 2006). Além disso, segundo Uberti (2016), para avaliar quantitativamente a qualidade dos modelos de predição, podem ser calculadas métricas como o Erro Médio (EM), Erro Padrão Médio (EPM), Erro Médio Quadrático (EMQ), Erro Médio Quadrático Padronizado (EMQP). Assim, quando os EM, EPM e EMQ são mais próximos de zero, indicam imparcialidade e baixo desvio dos valores medidos. Já o EMQP com valores próximos de 1 indica maior precisão do modelo.

Segundo Marques et al. (2012), Faria Filho (2015) e Uberti (2016 e 2018), a aplicação da Krigagem Ordinária para avaliação em massa de imóveis urbanos e rurais, com a finalidade de elaborar a Planta Genérica de Valores, vem se tornando uma abordagem interessante do ponto de vista que espacializa os valores em uma superfície contínua, facilitando a interpretação para os gestores e auxiliando na tomada de decisão.

2.10 MÉTODOS DE VALIDAÇÃO PARA AVALIAÇÃO EM MASSA

Uma das fases mais importantes dos processos de avaliação em massa de imóveis é validar os resultados, ou seja, verificar o grau de aderência entre os valores calculados pelas modelos e os valores observados (TRIVELLONI, 2005).

De modo geral, a validação é realizada utilizando parte dos dados coletados para elaborar uma amostra de validação. Desta amostras são calculados indicadores de performance global e de uniformidade da avaliação baseados no valor de mercado observado (P_o) e no valor calculado pelo modelo (P_c) (IAAO, 2013).

A Mediana das Razões de Avaliação (MRA) é calculada por meio do *Ratio* (R_i), este valor é obtido pela razão entre o valor calculado e o valor observado. A MRA é um parâmetro de desempenho global utilizado para avaliar o nível da avaliação, conforme Equação 14.

$$MRA = \text{mediana} \left(\frac{P_{c1}}{P_{o1}}, \frac{P_{c2}}{P_{o2}}, \frac{P_{c3}}{P_{o3}} \dots \frac{P_{cn}}{P_{on}} \right) \quad (14)$$

A MRA é utilizada como um indicador para determinar a necessidade ou não de uma reavaliação do modelo (UBERTI, 2016). A IAAO (2013) recomenda que o valor do MRA fique no intervalo entre 0,90 e 1,10.

O Diferencial Relativo ao Preço (PRD) é utilizado para medir a uniformidade vertical, conforme Equação 15.

$$PRD = \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \right)}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n P_{c_i}}{\sum_{i=1}^n P_{o_i}} \right)} \quad (15)$$

Assim, para imóveis de baixo valor que tem maior porcentagem de valorização que imóveis de alto valor, a avaliação é chamada de regressiva, caso contrário, de progressiva. A IAAO (2013) recomenda que o valor do *PRD* fique no intervalo entre 0,98 e 1,03 para um nível satisfatório. Valores menores que 0,98 sugerem progressividade e maiores que 1,03 regressividade na avaliação (UBERTI, 2016).

O Coeficiente de Dispersão (COD) é utilizado para avaliar variabilidade ou a uniformidade horizontal da avaliação, conforme Equação 16.

$$COD = \left[\frac{\text{média} \left(\left| \frac{P_c}{P_o} - \text{mediana} \left(\frac{P_c}{P_o} \right) \right| \right)}{\text{mediana} \left(\frac{P_{c1}}{P_{o1}}, \frac{P_{c2}}{P_{o2}}, \frac{P_{c3}}{P_{o3}}, \dots, \frac{P_{cn}}{P_{on}} \right)} \right] \times 100 \quad (16)$$

Diferentemente da MRA, o COD é afetado por valores de razão extremos, de modo que é recomendado o saneamento destes valores (TRIVELLONI, 2005; UBERTI, 2016). Para a IAAO (2013), a variabilidade máxima do COD deve ser entre 5 e 25% e para Averbek & Cesare (2010) a ocorrência de COD superior a 30% (trinta por cento) indica falta de homogeneidade nos valores e a necessidade de atualização. Especificamente para terrenos o COD deve ser menor que 20% (TRIVELLONI, 2005).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREAS DE ESTUDO

3.1.1 Localização e caracterização

A área de estudo é o município de Goiânia – Goiás (Figura 9), localizado nas proximidades do paralelo 16°40'43" sul e do meridiano 49°15'14" oeste, com altitude média de 749 metros e área de aproximadamente 728,841 km² (IBGE, 2014).

Goiânia está localizada na Mesorregião do Centro Goiano e na Microrregião de Goiânia fazendo confrontações com os municípios de Abadia de Goiás, Aparecida de Goiânia, Aragoiânia, Bonfinópolis, Goianópolis, Goianira, Nerópolis, Santo Antônio de Goiás, Senador Canedo e Trindade (IBGE, 2014).

A Região Metropolitana de Goiânia (RMG), de acordo com a Lei Complementar nº 27 de dezembro de 1999 e suas alterações, é constituída por 20 municípios, sendo considerada a décima maior aglomeração urbana do Brasil, com um total de 2.206.134 habitantes (PMG, 2015). Os municípios conurbados de Goiânia e Aparecida de Goiânia são os dois mais populosos da RMG, e possuem as maiores áreas urbanas, que ocupam 37,17% e 43,56% de seus territórios, respectivamente (PEREIRA JÚNIOR, et al., 2015).

Aproximadamente 99% dos 1.430.687 habitantes do município vivem na área urbana, apresentando uma densidade demográfica de 1.776 habitantes/km², sendo o município mais populoso do estado e o 12º do Brasil (IBGE, 2014). O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de Goiânia equivale a 0,832, o que representa o segundo maior em todo o estado de Goiás e é considerado elevado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Entre os indicadores que compõe o IDHM de Goiânia a dimensão com maior destaque é a Longevidade com índice de 0,838, seguida de Renda, com índice de 0,824, e de Educação, com índice de 0,739 (PNUD, 2010).

O Produto Interno Bruto (PIB) goiano é de aproximadamente R\$ 151,01 bilhões e a participação de Goiânia abrange 26,8% (17º economia do Brasil), enquanto a dos demais municípios do interior representam 73,2%. O setor de serviços é responsável por 56,88% do PIB, seguindo pela indústria 17,9%, impostos 13,32% e administração e serviços público com 11,77%. O PIB per capita vem crescendo e atualmente alcançou R\$ 29.034, 21 (SEGPLAN, 2014). Segundo o IBGE (2010), a cidade contém 422 710 domicílios entre apartamentos, casas e cômodos.

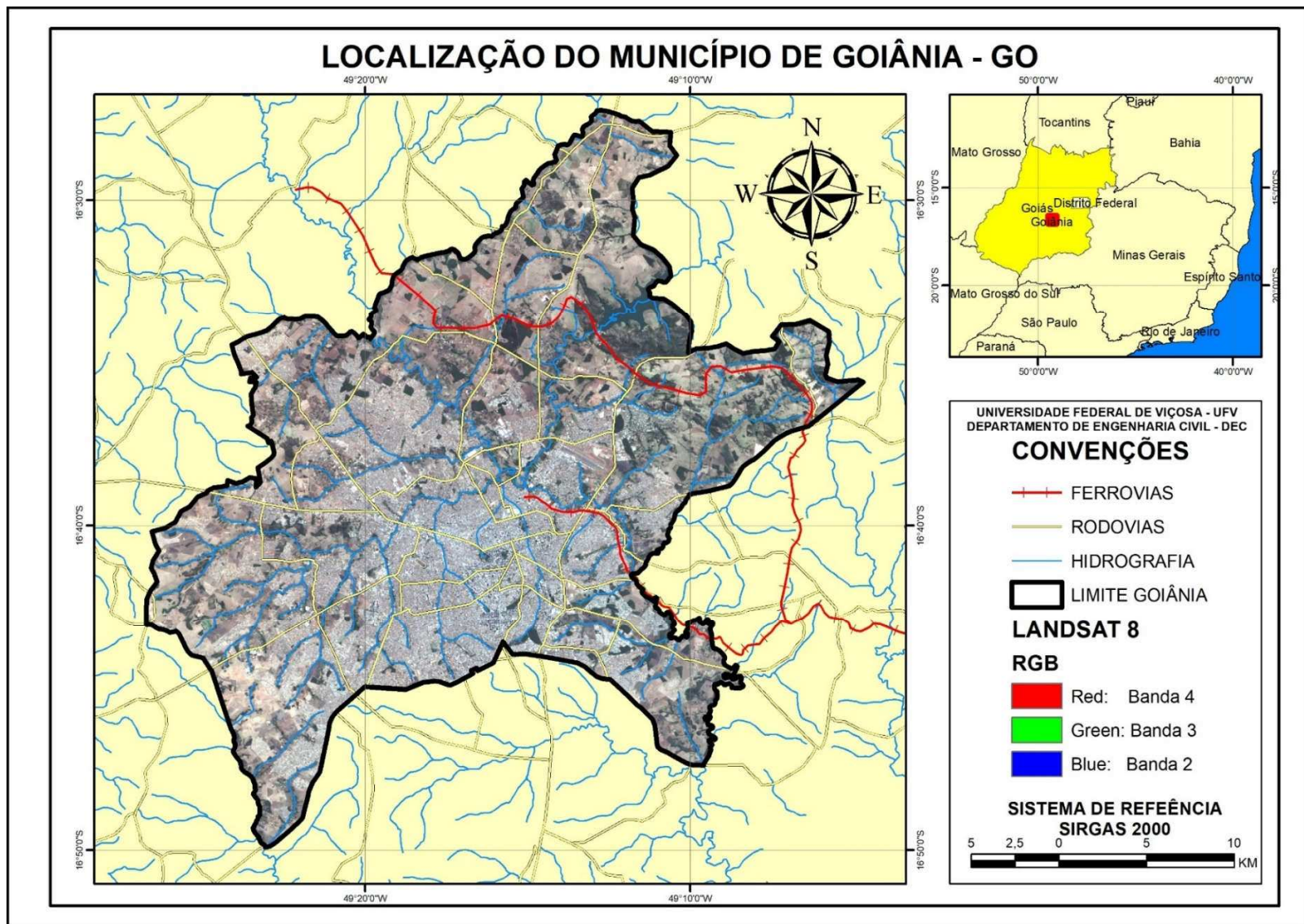


Figura 9: Mapa de localização do município de Goiânia – GO.

(Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de IBGE 2016)

3.1.1 Análise da legislação municipal

A Lei nº 5.040, de 20 de novembro de 1975, compilada a partir da Consolidação da Legislação Tributária Municipal publicada na edição do Diário Oficial do Município nº 1.667, de 28 de maio de 1996, dispõe sobre o Código Tributário do Município de Goiânia (CTMG) e dá outras providências. Os Art. 9 a 50 tratam do Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana e, em específico, os Arts. 13 e 14 dispõem sobre a Planta Genérica de Valores Imobiliários do Município.

Art. 13. O valor venal dos imóveis será apurado com base na Planta de Valores Imobiliários do Município, aprovada anualmente pela Câmara Municipal, até 20 de dezembro do exercício que antecede ao lançamento, composta dos seguintes anexos:

I - tabela dos valores genéricos, por m² (metro quadrado) dos terrenos;

II - tabela dos valores especiais em ruas e avenidas, por m² (metro quadrado) dos terrenos;

III - fatores correccionais dos terrenos, quanto à situação, topografia, pedologia, acesso, localização e grandeza em área (gleba);

IV - tabela de Avaliação das Edificações, quanto às características da estrutura, instalações hidrossanitária e elétrica, cobertura, esquadria, piso, forro, revestimentos e acabamentos internos e externos;

V - tabela de valores das edificações, por m² (metro quadrado); (Redação conferida pelo art. 5º da Lei Complementar nº 265, de 29 de setembro de 2014.)

VI - fatores correccionais das edificações, pelo seu estado de conservação.

É importante destacar que, a exigência de aprovação anual é um bom indicador para manter atualizada a base de cálculo do IPTU e demais tributos imobiliários, visto que o recomendado é que o ciclo de avaliação dos imóveis urbanos seja de, no máximo, 4 (quatro) anos para cidades (BRASIL, 2009).

O Art. 14 do CTMG estabelece que a PVG seja elaborada por comissão própria, designada pelo chefe do Poder Executivo, contendo representantes da Câmara Municipal de Goiânia, da Secretaria de Finanças, do Sindicato dos Corretores de Imóveis no Estado de Goiás, Associação Comercial e Industrial do Estado de Goiás, da Secretaria da Fazenda do Estado de Goiás, Núcleo de Avaliação do ISTI - Imposto Sobre a Transmissão de Imóveis "Inter vivos", do Instituto de Planejamento Municipal e do Órgão de Defesa do Consumidor, PROCON - Programa de Defesa do Consumidor. Além disso, exige audiências públicas para que a sociedade possa participar.

Anualmente é elaborada uma Lei para aprovar a atualização da Planta de Valores Imobiliários de Goiânia para o exercício seguinte. Além disso, é feita a designação da comissão que cuida dos trabalhos de determinar os valores vigentes para o cálculo do

IPTU. O documento apresenta ainda a amplitude de aplicações dos valores calculados, conforme descrito:

Art. 4º A Planta de Valores Imobiliários de Goiânia, aprovada por esta Lei, também será utilizada como referencial de valor mínimo para as avaliações relativas aos atos de alienação, apropriação e desapropriação de imóveis promovidos pelo Município, e, ainda, como referencial mínimo para definição da base de cálculo dos seguintes impostos:

I - Imposto Sobre a Transmissão Inter vivos (ISTI), a qualquer título, por ato oneroso, de bens imóveis, por natureza ou acessão física e de direitos reais sobre imóveis, exceto os de garantia, bem como cessão de direitos à sua aquisição.

II - Imposto Territorial Rural (ITR).

Para fins de cálculo dos impostos, o município é dividido em quatro Zonas Fiscais de acordo com os parcelamentos, bairros, condomínios, jardins, setores, vilas e outros, conforme Anexo II do Código Tributário Municipal. Desse modo, as alíquotas são diferentes, conforme com a localização e o uso do imóvel (Tabela 2).

Tabela 2: Alíquotas aplicadas no município de Goiânia – GO

Zona Fiscal	Imóveis edificados de uso residencial (%)	Imóveis edificados de uso não residencial (%)	Imóveis vagos ou não edificados (%)
1ª	0,55	1,00	4,00
2ª	0,50	0,80	3,00
3ª	0,36	0,70	2,00
4ª	0,20	0,50	1,00

Fonte: (PMG, 2015)

É importante destacar que, o CTMG penaliza o imóvel que estiver situado em logradouro público pavimentado e dotado de meio fio, localizado nas 1ª e 2ª Zonas Fiscais, que não dispuser de passeio e muro, baldrame ou gradil e pela falta de árvore plantada na calçada com aumento das alíquotas acima citadas.

Um grande avanço do CTMG é a instituição do Programa IPTU Verde (Lei complementar nº 235, de 28 de dezembro de 2012), que tem o objetivo de fomentar as ações que promovam o ideário de Cidade Sustentável, visando melhorar a qualidade de vida dos habitantes, minimizar os impactos ao meio natural, eficiente desempenho urbanístico e motivação de êxito tributário com a participação cidadã, por meio de concessão de benefícios tributários (PMG, 2007).

O contribuinte obtém desconto no IPTU se executar ações como: captação e reutilização de águas pluviais ou oriundas de outras fontes; instalar sistema de

aquecimento hidráulico solar ou aquecimento elétrico solar; construção de calçadas ecológicas; arborização no calçamento; permeabilidade do solo com cobertura vegetal; participação da coleta seletiva de resíduos sólidos em condomínios; construções com material sustentável; instalação de telhado verde, em todos os telhados disponíveis no imóvel para esse tipo de cobertura e sistema de utilização de energia eólica.

Segundo dados das contas anuais da SEPLAN (2012) e da FNBRA (2018), as receitas orçamentárias realizadas no município de Goiânia explicitam uma arrecadação crescente do IPTU e ITBI nos últimos anos, conforme ilustra a Figura 10 os valores arrecadados no período de 2002 a 2017.

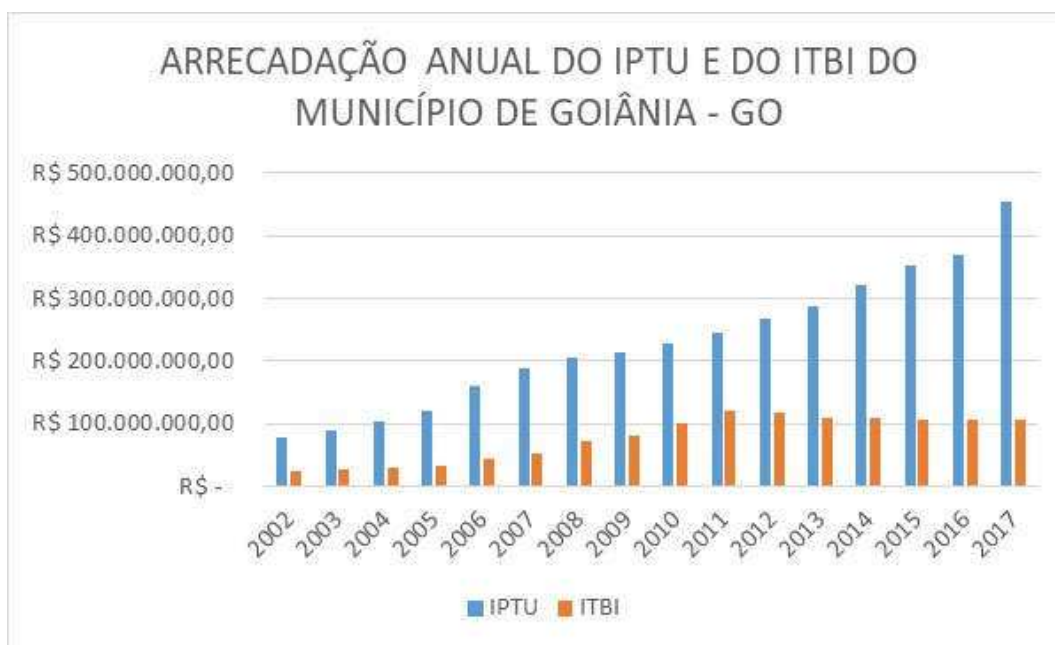


Figura 10: Arrecadação anual do IPTU e do ITBI para o município de Goiânia – GO

Fonte: (FINBRA, 2018)

A Lei Complementar nº 171, de 29 de maio de 2007, dispõe sobre o Plano Diretor e o Processo de Planejamento Urbano do Município de Goiânia e dá outras providências, aborda em seu Art. 5, o conteúdo do Plano Diretor com a seguinte descrição:

Art. 5º O Plano Diretor, abrangendo a totalidade do território, compõe-se de documentos gráficos, tabelas e representações espaciais contendo a representação do modelo espacial adotado, baseado em relatório preliminar contendo subsídios técnicos norteadores do cenário a ser adotado na construção da Política Urbana do Município.

Para a revisão do Plano Diretor, é fundamental conhecer a realidade de todo o município, tanto da área urbana como a da rural. Isto inclui a infraestrutura urbana, o cadastro imobiliário, as redes de transporte, água e esgoto, os serviços públicos, os pontos turísticos, o uso do solo, as áreas de preservação, dentre outras variáveis consideradas na gestão municipal.

3.2 MATERIAIS

Parte dos dados e informações foi obtida através do Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG) no Banco de Dados Estatísticos de Goiás (BDE). O SIEG tem como objetivo aperfeiçoar e promover a integração das áreas de produção de Geoinformação dos órgãos estaduais (SEGPLAN, 2014).

O SIEG configura-se como ferramenta que possibilita uma análise de vários temas importantes para a sociedade a partir de dados espaciais e estatísticos que caracterizam todo o território goiano. Esta ferramenta reúne um conjunto de informações de aspectos político-administrativos, demográficos, socioeconômicos, físicos e territoriais, que visam tanto subsidiar o planejamento público estadual e municipal, como a disponibilizar estas informações para toda a sociedade. A divulgação das informações permite o monitoramento, a avaliação e o aperfeiçoamento de políticas públicas de maneira mais eficaz, uma vez que considera o território em sua complexidade (SEGPLAN, 2014).

Os dados referentes ao Cadastro Territorial Multifinalitário e os cadastros temáticos foram concedidos pela Prefeitura Municipal de Goiânia (PMG) por meio da Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo (SEPLAM) e da Secretaria de Finanças (SEFIN) com apoio da Associação Goiana dos Municípios (AGM).

O município mantém o Sistema de Informação Geografia de Goiânia de Banco de Dados Espaciais (SIGGO) compilados e mantidos pela SEPLAM, e outras secretarias. O SIGGO, em sua Versão nº 25 de 2014, foi idealizado para disponibilizar dados e informações não só para órgãos governamentais e concessionários de serviços públicos, mas também a organizações privadas e instituições de ensino e pesquisa (PMG, 2014).

O SIGGO contém o Mapa Urbano Básico Digital do Município de Goiânia (MUBDG) com bairros, quadras, lotes, logradouros e equipamentos urbanos. Além disso, a base de dados espaciais apresenta dados de altimetria, hidrografia, pedologia, zoneamento urbano; transporte e mobilidade, saúde e assistência social, educação, segurança pública, socioeconômica e outras entidades e seus aplicativos (PMG, 2014).

No presente estudo, o CTM de Goiânia subsidiou diversas análises. Para isso, foram selecionadas algumas classes para construção de um SIG, com objetivo de subvencionar a avaliação em massa dos imóveis da área urbana do município, conforme apresentado no Apêndice 1. Em relação aos softwares foram utilizados: ArcGIS 10.3, IDRISI Selva 17, Infer 32, ArgoCase Geo.

3.3 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste trabalho pode ser agrupada em três fases, como ilustrado na Figura 11.

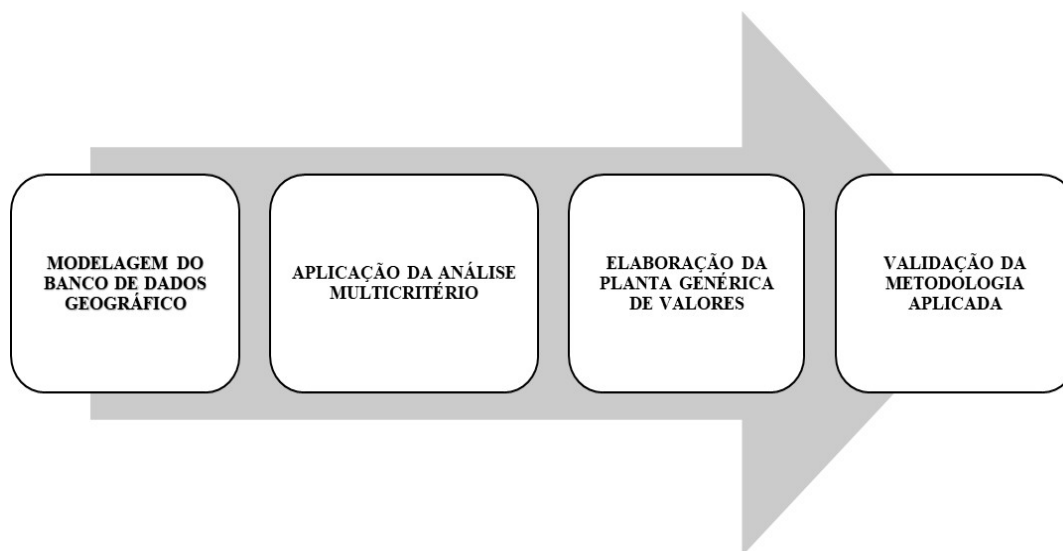


Figura 11: Principais etapas do processo metodológico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os processos descritos acima são dependentes de forma sistemática e cronológica nesta pesquisa. No primeiro momento foi realizada uma modelagem conceitual e lógica de uma Banco de Dados Geográficos utilizando as classes disponíveis no CTM. Em seguida, estas classes foram integradas em vários processos de análises *Multi-Criteria Evaluation* de modo a verificar a adequabilidade à valorização imobiliária em termos normalizados em uma escala quantitativa. Os produtos cartográficos elaborados na etapa anterior foram integrados ao Modelo Clássico de Regressão Linear e em seguida os valores estimados são utilizados no Modelo Geoestatístico para elaboração da Planta Genérica de Valores do município de Goiânia. Por fim, toda a metodologia é validada por indicadores internacionais de qualidade de avaliação em massa.

3.3.1 MODELAGEM DE BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS PARA ESTRUTURAÇÃO DO CADASTRO TÉCNICO MULTIFINLITÁRIO

Geralmente as propostas de modelagem de um BDG para CTM, no que tange à avaliação em massa de imóveis urbanos, para fins de elaboração de PGV, devem se basear na parcela cadastral como a principal entidade modelada do cadastro (BRASIL, 2009). Contudo, o município em estudo ainda não apresenta um mapeamento cadastral que seja capaz de subsidiar a modelagem da parcela cadastral, como preconiza a Portaria 511 e a ISO 19.115 - LADM. Sendo assim, a modelagem realizada no presente estudo tomou por base as entidades disponíveis no banco de dados do município e informações coletadas ao longo desta pesquisa.

Na modelagem um de BDG, com o propósito de armazenar, manipular, consultar e disponibilizar informações imobiliárias, deve ser levada em consideração uma série de parâmetros entre eles: disponibilidade de dados; infraestrutura computacional; análise da legislação tributária; análise de normas e diretrizes nacionais e internacionais; ferramentas e aplicações disponíveis, disponibilidade de recursos humanos, entre outros. Porém, a modelagem de dados geográficos é um processo de abstração, onde somente os elementos essenciais da realidade observada são enfatizados, compreendendo sua descrição, estruturas e regras aplicáveis (LISBOA FILHO, 2000).

Diante da complexidade desta tarefa, a metodologia utilizada na fase de modelagem conceitual foi a modelagem Orientada a Objetos (O-O), por apresentar ferramentas mais robustas para a representação espacial (BOOCH, 1991). Especificamente, foi utilizada a linguagem UML por meio do *GeoFrame* utilizando o software *ArgoCASEGEO* (LISBOA FILHO, et al., 2004).

De acordo com o diagrama *UML-GeoFrame*, o processo de elaboração de um modelo conceitual abrange os seguintes níveis:

- Nível do Planejamento: São definidas a Região Geográfica, o Tema e os insumos que são utilizados, ou seja, a abstração dos dados.
- Nível do Metamodelo: É definido se a abstração é um fenômeno Geográfico ou um Objeto Convencional. Em se tratando de Fenômeno Geográfico, determina se será um Objeto Geográfico ou um Campo Geográfico.
- Nível da Representação: Faz-se a representação de Objetos Espaciais ou de Campos Espaciais.

A seguir, são detalhadas cada etapa da modelagem conceitual implementada na metodologia desta pesquisa.

3.3.1.1 Modelagem Conceitual

3.3.1.1.1 Nível do Planejamento

De modo geral, o trabalho de modelagem foi realizado utilizando técnicas de engenharia reversa, ou seja, de posse de dados pré-existentes, foi elaborado um modelo conceitual e lógico para dar melhor suporte à aplicação requerida. Este procedimento foi necessário, visto que alguns dados foram coletados de forma independente e estavam descentralizados em várias secretarias e instituições do município, além dos dados complementares terem sido obtidos durante a pesquisa.

No Nível de Planejamento do modelo conceitual, foi definido como tema do projeto o Cadastro Territorial Multifinalitário, considerado como principal ferramenta para elaboração da Planta Genérica de Valores. A região geográfica de interesse foi o município de Goiânia – GO, com ênfase na área urbana, ou seja, Macro Zona Construída.

Tendo em vista a realidade a ser modelada, foi desenvolvido um esquema conceitual global, chamado de CTM-GO. Esta etapa é importante para ter uma ideia global e do direcionamento da modelagem final. Dentro do CTM-GO, foram elaborados 12 pacotes temáticos principais para abstração do CTM do municipal. Além disso, cada pacote principal pode apresentar sub-pacotes de modo que, os principais pacotes definidos e suas respectivas siglas foram: Imageamento (IMG), Zoneamento Urbano (ZOU), Mapeamento Urbano Básico (MUB), Geomorfologia (GEO), Meio Ambiente (AMB), Transporte e Mobilidade (MOB), Educação (EDC), Patrimônio Histórico e Cultural (PHC), Saúde e Assistência Social (SAS), Infraestrutura Urbana (INF), Serviços Urbanos (SER) e a Planta Genérica de Valores (PGV). Os sub-pacotes são especificados na descrição de cada pacote.

3.3.1.1.1 Imageamento

O Pacote Imageamento (IMG) foi utilizado para visualizar a ocupação e cobertura do solo a partir de imagens oriundas de sensores orbitais e aerotransportados.

A nível orbital foram utilizadas as imagens do satélite *Landsat 8*, sensor *Operacional Terra Imager (OLI)*, com resolução espacial de 30 metros para imagens multiespectrais, e de 15 metros para imagem pancromática. As imagens foram obtidas no site do *Earth Explorer do United States Geological Survey (USGS)* em formato *Georeferenced Tagged Image File Format (GeoTIFF)*, nível de processamento L1T, com data de captura dia 28 de julho de 2016 (USGS, 2015).

As imagens orbitais foram importantes no contexto de desempenho computacional de visualização de áreas em pequena escala, pois com a Composição RGB

(COMP) foi possível identificar diversas feições de forma rápida. Além disso, contém bandas espectrais na região do infravermelho, o que facilitou a identificação de diversas classes de cobertura e ocupação do solo no âmbito urbano, por meio do cálculo do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (ROUSE, et al. 1974).

Grande parte dos dados e informações disponíveis no SIGGO foi elaborada utilizando como referência o Mosaico Aerofotogramétrico Digital 2006 (MOS06), obtido em 2006 e cobrindo toda a área do município. A resolução espacial é de sessenta centímetros, resolução radiométrica de oito bits, bandas espectrais RGB, formato *Multi-resolution Seamless Image Database* (MrSID). O MOS06 foi registrado utilizando os dados vetoriais do Mapeamento Urbano Básico (MUB).

Em 2011 o município adquiriu outros produtos fotogramétricos para dar suporte ao imageamento do município, entre eles o Mosaico Aerofotogramétrico Digital 2011 (MOS11) obtido com a câmera *Ultracam-Xp* nas bandas RGB, com resolução espacial de dez centímetros e resolução radiométrica de oito bits. O MOS11 trouxe avanços significativos na acurácia e produtividade de dados geográficos para o município. Na mesma campanha foi realizado o Perfilamento a Laser do município utilizando a tecnologia *Light Detection and Ranging* (LIDAR), por meio do equipamento *Airborne LIDAR Sensor60* (ALS) com frequência de 200 MHz e tecnologia *Multiple Pulse in Air*.

3.3.1.1.2 Zoneamento Urbano

O Pacote Zoneamento Urbano (ZOU) foi idealizado para entidades que tem o objetivo de delimitar zonas homogêneas para gestão administrativa do município.

A entidade Limites dos Municípios (MUN) representa a subdivisão da jurisdição administrativa municipal em relação aos municípios do estado de Goiás e foi utilizada neste trabalho para delimitar a área de estudo a nível municipal. A camada que representa o limite municipal (LIM) foi adquirida da especialização da camada (MUN).

Quanto à determinação das Áreas Urbanas, de Expansão Urbana e Rural foi utilizada a entidade Macro Zonas (MZO) que classifica as áreas como: Macro Zona Construída, Macro Zona Rural do Barreiro, Macro Zona Rural do Dourados, Macro Zona Rural do Lajeado, Macro Zona Rural da Capivara, Macro Zona Rural do João Leite, Macro Zona Rural do São Domingos e Macro Zona Rural do Alto Anicuns.

A Macro Zona Construída (MZO) especifica a área de estudos no contexto urbano, visto que o foco do trabalho são as Áreas Urbanas do município. A MZO é dividida em sete Regionais Administrativas (RE7): Centro, Leste, Nordeste, Norte, Oeste, Sudoeste e Sul. Além disso, as Divisas de Região (REG) especializam a MZO e a RE7 nas seguintes

regiões: Região Campinas, Região Central, Região Leste, Região Macambira-Cascavel, Região Mandanha, Região Noroeste, Região Norte, Região Oeste, Região Sudeste, Região Sudoeste, Região Sul e Região Vale Do Meia Ponte.

Os Distritos (DIS) representam uma agregação espacial de algumas áreas da Zona Urbana, Expansão Urbana e Unidades Territoriais de Planejamento do município, foram divididos em 81 (oitenta e uma) microrregiões administrativas.

Em relação ao Zoneamento do Plano Diretor Municipal (ZPDM), contido dentro do Pacote Zoneamento, foram definidas áreas de intervenção como a entidade Zonas (ZON) que são trechos do solo urbano do município com peculiaridades próprias e para os quais são legalmente estabelecidos critérios de uso de ocupação. São exemplos: zonas aeroportuárias; zonas de atividades econômicas; zonas de desenvolvimento regional e local; zonas residências de alta, média e baixa densidade; zonas de proteção ambiental, zonas de revitalização ambiental, cultural, funcional, histórica, urbanística, entre outras.

No mesmo contexto das Zonas, as Áreas de Desenvolvimento Econômico (DES) são áreas de interesse econômico pelo Plano Diretor de Goiânia, nas diretrizes da Diretoria de Planejamento e Gestão Sustentável (DRPGS). Esta entidade abrange: Área de Adensamento Básico (AAB); Área Adensável (AA); Área de Desaceleração de Densidade (ADD) e Área Especial de Interesse Social (AEIS).

Além disso, o Pacote ZPDM leva em consideração características comuns às cidades brasileiras, como a presença da informalidade, ilegalidade e irregularidade, a qual se manifesta de diferentes formas. A Ocupação Ilegal (OCI) é a entidade que representa qualquer tipo de ocupação do solo urbano ou rural que infrinja a legislação relacionada às portarias, decretos, leis e outros documentos utilizados para identificar uma ocupação ilegal. Além disso, foram mapeadas as Áreas de Posse (POS) e as Áreas de Habitações Subnormais (INV) que determinam áreas invadidas e de favelas.

3.3.1.1.3 Mapeamento Urbano Básico

O Pacote Mapeamento Urbano Básico (MUB) apresenta diversas entidades, em vários níveis de informações, no que tange que a representação imobiliária municipal.

As Divisas de Bairro (BAI) são limites de origem cultural, que separam os loteamentos do município em: bairros, chácaras, conjuntos residenciais, colônias, condomínios, glebas, vilas e vilarejos. Além disso, a classe apresenta sua situação documental e os discriminam de acordo com o órgão responsável pelo parcelamento, decreto regulamentador e sua condição de atualização perante o Registro de Imóveis.

Os Setores Cadastrais (SCD) são conjuntos de Divisas de Quadra (QDR), com

características homogêneas, para identificar as inscrições cadastrais. As QDR são agrupamento das Divisas de Lote (LOT), de acordo com a estruturação do loteamento. Os lotes são parcelamentos com divisas legais que podem ser ou não contíguos e, destinados a edificações.

Os Segmentos de Logradouro (SEG) são trechos de um logradouro, como as ruas, avenidas, praças, rodovias, ferrovias, etc. Assim, cada logradouro é composto por um ou mais Segmentos de Logradouro. Os Segmentos de Logradouros são delimitados por cruzamento de dois logradouros ou por um cruzamento com a divisa de um bairro.

A Lei Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, estabelece em seu Art. 2º, § 5º que a infraestrutura básica é constituída pelos equipamentos urbanos de escoamento das águas pluviais, iluminação pública, esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, energia elétrica pública e domiciliar e vias de circulação. Neste contexto, a modelagem conceitual apresenta equipamentos urbanos em forma de atributos dentro da classe SEG.

O Cadastro Imobiliário Municipal (CIM) é um objeto do tipo convencional em forma de tabela, onde estão armazenados todos os dados e informações acerca dos imóveis do município. O município de Goiânia apresenta um cadastro imobiliário deficiente em alguns aspectos. Por exemplo, as edificações são representadas apenas por tabelas, contendo informações declaradas pelos contribuintes, não sendo representadas cartograficamente. As informações presentes no CIM são sobre:

- Proprietários ou posseiros: nome, endereço, documentação e etc.;
- Localização: logradouro, quadra, setor, bairro e etc.;
- Características geométricas: área, perímetro, testada e etc.;
- Uso e ocupação: residencial, comercial, casa, apartamento, etc.
- Características do terreno: esquina, encravado, plano, ao nível da rua, números de frentes, alagadiço, inundável, e etc.;
- Características das edificações: estrutura, instalação elétrica e sanitária, esquadrias, piso, forro, revestimento, entre outros;
- Valores: valor venal, IPTU, taxas e etc.

É importante ressaltar que em um processo de modelagem, bem planejado, as várias temáticas presentes em uma única tabela seriam fragmentadas em várias tabelas de modo a facilitar a atualização e integração.

3.3.1.1.4 Geomorfologia

O Pacote Geomorfologia (GEO) é constituído por classes com objetivo de representar a forma do relevo, bem como a paisagem natural e artificial sobre ele.

A Nuvem de Pontos (NUV) foi obtida pelo Perfilamento a Laser realizado em 2011 cobrindo toda a área urbana municipal. O mapeamento a laser está estruturado em 711 quadros com densidade média de um ponto por metro quadrado, totalizando aproximadamente 650.000.000 de pontos. A NUV contém como atributos as coordenadas X, Y, Z, e foi classificada em cinco classes, conforme Quadro 3.

Quadro 3: Classes da Nuvem de Pontos

Descrição	Quantidade de ponto
Solo Exposto	57%
Vegetação Baixa	8%
Vegetação Média	6%
Vegetação Alta	18%
Edificações	10%
Total	100%

Fonte: Elaborado pelo autor

A representação tridimensional do relevo e dos objetos físicos como vegetação e edificações foi materializado utilizando a Nuvem de Pontos para interpolar um Modelo Digital de Superfície (MDS).

Os Pontos Cotados (PCN) representam as altitudes e aparecem, normalmente, nos cruzamentos de logradouros, declives, pontos culminantes e depressões. As Curvas de Nível (CNV) são polilinhas com equidistância de 5 em 5 metros, destinadas a retratar o relevo por meio de isolinhas, que unem todos os pontos de igual altitude.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi interpolado utilizando como dados de entrada os PCN e as CNV, conforme o algoritmo ANUDEM (HUTCHINSON, 2011). A resolução espacial foi definida em cinco por cinco metros. É importante destacar que o MDE é a base espacial geométrica para este estudo, no que tange a: extensão dos *raster* de saída, alinhamento para a sobreposição entre os *pixels* de diferentes camadas e a resolução espacial.

A interpolação pode gerar erros devido à resolução dos dados e ao arredondamento das elevações para o valor inteiro mais próximo, os quais são chamados de depressões ou picos espúrios. Para corrigir estes erros foi utilizado o algoritmo proposto por Tarboton (1991). Com o MDE corrigido, pode-se derivar diversos temas importantes para uma

Análise de Terreno. Neste sentido, a Declividade (DEC) foi calculada utilizando o algoritmo proposto por Burrough e Mcdonell (1998).

3.3.1.1.5 Meio Ambiente

O Pacote Meio Ambiente (AMB) foi criado devido o município possuir áreas consideradas importantes para a preservação e sustentabilidade ambiental.

Os Elementos da Hidrografia (HID) compõe o meio físico e são as representações dos elementos hidrográficos perenes ou itinerantes como: rios, córregos, lagos, etc. As Nascentes Hidrográficas (NSC) dos principais componentes da malha hidrográfica do município de Goiânia completam a temática da hidrografia. As Áreas de Proteção Permanente (APP) foram mapeadas de acordo com o Código Florestal, Lei 12.651, de 25 de maio de 2012, segundo o Art. 3º, II, e definida:

II - Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

As APP visam atender um direito fundamental de meio ambiente ecologicamente equilibrado, conforme assegurado no art. 225 da Constituição Federal. Assim, neste estudo foram consideradas as APP hídricas e de relevo, como: faixas marginais de curso d'água; entorno dos lagos e lagoas naturais e reservatório artificiais; nascentes e olhos d'água perenes; encostas; topos de morros, montes, montanhas e serras. As Unidades de Conservação (UCV), sub-pacotes do Meio Ambiente, foram instituídas por meio da Lei 9.985, de 18 de julho de 2000, Art. 2º, I:

Unidade de conservação: espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

As Unidades de Conservação foram representadas em três grupos. O primeiro grupo consiste nas Unidades de Proteção Integral (UPI), que possuem caráter de proteção total. O segundo grupo refere-se às Áreas de Proteção Ambiental (APA), que representam caráter de proteção controlada, como por exemplo, a APA do Morro do Medanha e os parques Areião, Bosque dos Buritis, Jardim Botânico, Botafogo, Flamboyant, Serrinha, Vaca Brava e o Lago das Rosas. Por fim as Unidades de Uso Sustentável (UUS), que possuem caráter de utilização controlada e características de uso sustentável referente à rede hídrica estrutural e as áreas verdes do município.

3.3.1.1.6 Transporte e mobilidade

O Pacote Transporte e da Mobilidade Urbana (MOB) foi idealizado devido a sua importância no desenvolvimento do mercado imobiliário e a função de abstrair e expressar a capacidade de acessibilidade em atendimento às necessidades de deslocamento das pessoas e de bens (BRASIL, 2015).

Neste contexto, a acessibilidade é a facilidade em obter a distância, custo e tempo de deslocamento entre um ponto específico no espaço urbano e os destinos desejados, como por exemplo: os mobiliários e equipamentos urbanos; serviços de transporte e seus dispositivos; instalações e equipamentos, entre outros (BRASIL, 2015).

O município conta com uma Macro Rede Viária Básica (VIA) que constitui uma parte fundamental da estrutura urbana. Ela é uma representação da estrutura geral de circulação do município, da articulação metropolitana e regional. Foi planejada, organizada, construída e mantida como suporte para a circulação das pessoas, bens e mercadorias na cidade, de acordo com os princípios de mobilidade sustentável. A Macro Rede Viária Básica é constituída por ciclovias, corredores viários, vias expressas de categorias 1, 2 e 3 e de vias arteriais (PMG, 2007).

O Sistema de Transporte Coletivo (STC), caracterizado como um sub-pacotes do Transporte e Mobilidade, é formado por rede estrutural de transporte, composta pelos corredores principais exclusivos e preferenciais, estações de integração e de conexão, terminais de ônibus, ciclovias, bicicletários e estacionamentos (PMG, 2007).

Os Corredores Principais (COR) de transporte coletivo foram definidos como elementos estruturadores do modelo de ocupação do território municipal ao longo dos anos, e são constituídos pelas vias arteriais de Categoria 1 interligadas entre si e diametrais ao tecido urbano.

Ao longo da área urbana de Goiânia existem quarenta Estações de Integração (EST) que realizam a conexão entre o transporte coletivo municipal e o transporte particular e são dotadas de estacionamento, bicicletários e atividades comerciais.

Os Terminais de Ônibus (TER) são equipamentos metropolitanos de integração do transporte coletivo do município. São onze terminais intitulados: Novo Mundo, Bandeiras, Dergo, Isidoria, Padre Pelágio, Praça A, Praça Da Bíblia, Goiânia Viva, Parque Oeste, Recando Do Bosque e Vera Cruz.

Os Pontos de Ônibus (PTO) são locais de parada dos ônibus para embarque e desembarque de passageiros, e ao longo do município de Goiânia são distribuídos aproximadamente 3618 (três mil seiscentos e dezoito) pontos de ônibus.

3.3.1.1.7 Educação

O Pacote Educação (EDC) foi elaborado pela Secretaria Municipal de Educação e Esportes (SME), que é responsável pela manutenção destes dados por meio do Sistema de Administração Escolar (SAE). No presente estudo foram utilizados dados de localização dos 1024 (mil e vinte e quatro) Estabelecimentos de Educação (EDU), representados por entidades produtoras e fornecedoras de conhecimento à sociedade goianense. Os Estabelecimentos de Educação Municipal (EDM), totalizaram 345 (trezentos e quarenta e cinco) entidades de educação e ensino fundamentais, diretamente mantidas e administradas pela Prefeitura de Goiânia ou a ela ligadas mediante convênios.

3.3.1.1.8 Patrimônio Histórico e Cultural

Os equipamentos comunitários relacionados com a temática do Pacote Patrimônio Histórico e Cultural (PHC) foram alocados em duas camadas.

Os Monumentos da Cultura (MON) são uma relação de monumentos históricos como bustos, edificações, murais, etc., que refletem um pouco da história municipal e ainda contribuem para a preservação da memória da cidade. Geralmente, eles simbolizam acontecimentos que marcaram a história local e homenageiam pessoas que foram importantes para sociedade, além de serem pontos importantes para turísticos locais.

A entidade Patrimônio Histórico (PHS) registra as construções, praças, casas, prédios e outros bens que compõem o patrimônio histórico da cidade de Goiânia. Fazem parte desta entidade inclusive os bens que não foram tombados ou protegidos, mas para os quais há interesse em registrá-los como parte integrante do patrimônio histórico.

3.3.1.1.9 Saúde e Assistência social

O Pacote Saúde e Assistência Social (SAS) foi elaborado pela Secretaria Municipal de Saúde (SMS) e pela Secretaria Municipal de Assistência Social (SEMAS).

Os Estabelecimentos de Saúde (SAU), obtidos por meio do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES), totalizaram 143 (cento e quarenta e três) entidades, entre elas os: Hospitais, Maternidades, Posto de Saúde, Centro de Atenção Integrada à Saúde (CAIS), Centro Integrado de Atenção Médico-Sanitária (CIAMS); Centro de Saúde (CS), Unidade Básica de Saúde (UBS), Centro de Saúde da Família (CSF), Centros de Atenção Psicossocial (CAPS).

A SEMAS é a responsável pela execução da Política de Assistência Social no município, visando assegurar o cumprimento da Lei Orgânica de Assistência Social consolidando às diretrizes da Política Nacional de Assistência Social e a Norma Operacional Básica de Assistência Social. As Unidades da Fundação Municipal de

Desenvolvimento Comunitário (FMD) são 96 (noventa e seis) estabelecimentos de assistência social que englobam os Centros de Referência em Assistência Social (CRAS), Centros Municipais de Assistência Social (CEMAS), Centros Comunitários e Rede de Atendimento Secundário.

É importante destacar que o município de Goiânia vem desenvolvendo ao longo dos anos estudos de alocação de equipamentos de saúde e assistência social com base em informações geográficas, aspectos demográficos (Ex.: gênero, faixas etárias, longevidade, mortalidade, fecundidade) e socioeconômicos (Ex.: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, Ocupação da população, Habitação, Vulnerabilidade Social) (PMG, 2015). Além disso, no contexto de inclusão social, estes estabelecimentos têm como objetivo amparar pessoas que não tem total acesso à cidadania, ajudando-os em problemas ligados a educação, habitação, emprego e saúde.

3.3.1.1.10 Infraestrutura Urbana

O § 2º, do Art. 4º da Lei Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, dispõe que equipamentos comunitários são os equipamentos públicos de educação, cultura, saúde, lazer e similares. Assim, no cenário da valorização imobiliária, os equipamentos urbanos desempenham um papel importante perante a sociedade, e conseqüentemente, a qualidade ao acesso, pode ser considerada um fator de demanda no mercado imobiliário.

O Pacote Infraestrutura Urbana (INF) é representado pelas seguintes entidades: Praças (PRC), localizadas ao longo da área urbana; os Grandes Equipamentos (GRE), representados por edifícios e instalações de grande porte, voltados para funções ou atividades estruturais da cidade; os Prédios Públicos (PRP) são locais onde funcionam órgãos públicos para atividades administrativas; os Pontos de Coleta (PTC) são unidades distribuídas da Companhia de Urbanização de Goiânia destinadas à administração de pessoal e de ferramentas, veículos, maquinário e utensílios; os Pontos Notáveis (PTN) são construções de grandes proporções, sedes de governo, aeroportos e outros pontos de grande interesse público como aeroportos, estádios, autódromos, etc.

3.3.1.1.11 Serviços Urbanos

O Pacote Serviços Urbanos (SER) foi idealizado para suprir a disponibilidade dos serviços ofertados por parte do poder público e da iniciativa privada, pois é um fator que tem grande relevância para a valorização imobiliária, visto que a facilidade de acesso a serviços e produtos traz comodidade para a sociedade.

A segurança pública é um tema destaque no que diz respeito à valorização imobiliária, pois imóveis localizados em regiões consideradas seguras, com a presença de

constante policiamento e delegacias, sistemas de monitoramento, controle de entrada e saída de condomínios, podem ter seus valores de mercado influenciados pela segurança disponível em seu entorno. Assim, o tema Segurança Pública foi elaborado pela Secretaria de Segurança Pública do Estado de Goiás - Polícia Civil (Departamento de Polícia Judiciária - Gerência de Planejamento) em parceria com a SEPLAN. A entidade Delegacia de Polícia (DDP) representa as sedes das 26 Circunscrições da Polícia do município.

A classe Cadastro de Atividade Econômica (CAE) foi obtida em parceria com Secretaria da Receita Federal no âmbito da Comissão Nacional de Classificação (CONCLA) e da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE). São exemplos: agentes econômicos que estão engajados na produção de bens e serviços, podendo compreender estabelecimentos de empresas privadas ou públicas, estabelecimentos agrícolas, organismos públicos e privados, instituições sem fins lucrativos e agentes autônomos.

No contexto da CAE, as Utilidades Públicas (UTP) são as instituições que prestam serviços à coletividade, como por exemplo: feiras; igrejas; hotéis, grandes lojas e supermercados; shoppings; cemitérios; teatros; cinemas; pontos de táxi; farmácias.

3.3.1.1.12 Planta Genérica de Valores

O Pacote Planta Genérica de Valores (PGV), foi implementado para a estruturação das atualizações anuais necessárias à tributação municipal, no que tange ao IPTU.

Geralmente, a PGV é elaborada por meio de técnicas da inferência estatística aplicando o MCDDM. O método utiliza amostras de valores de transações ou ofertas de imóveis para elaborar modelos matemáticos de avaliação. Neste contexto, foi necessário criar duas classes, uma para treinar e outra para validar os modelos, as quais foram denominadas de Amostras de Valores Imobiliárias para Treinamento (AMT) e Amostras de Valores Imobiliárias para Validação (AMV). Por fim, foi idealizada uma classe para comportar a PGV no tocante aos Valores Unitários de Terrenos, chamada de Superfície Unitária de Valores (SUV).

3.3.1.1.13 Nível do Metamodelo

No Nível do Metamodelo são identificadas as abstrações da realidade desenvolvidas no Nível do Planejamento, como Fenômenos Geográficos ou Fenômenos Convencionais. Foram utilizadas no total 59 classes, e destas, apenas 2 classes foram identificadas como Fenômeno Convencional.

As 57 classes de Fenômenos Geográficos foram classificadas como Objetos

Geográficos ou Campos Geográficos, sendo 12 Campos Geográficos (21%) e 45 Objetos Geográficos (79%). O critério para enquadramento das classes em Objetos ou Campos foi definido de acordo com recomendações de Longley et al. (2013).

3.3.1.1.14 Nível da Representação

No Nível da Representação, os Objetos ou Campos Geográficos são representados por Objetos ou Campos. Assim, foram utilizados parte dos estereótipos presente no *UML GeoFrame*, onde destacaram-se os pontos (33%), pontos irregulares (2%), linhas (6%), isolinhas (2%), polígonos (36%), polígonos adjacentes (5%) e a grade de células (16%).

A maioria das classes foi relacionada por meio de associações como a multiplicidade, cardinalidade, agregação, classificação, especialização e generalização. Na fase de definição de atributos das classes, foram reaproveitados os atributos qualitativos (Ex.: nome, tipo, classe) e os quantitativos (Ex.: perímetro, área, altitudes), pertinentes a pesquisa e, além disso, foram propostos e criados atributos de modo a realizar um modelo genérico.

3.3.1.2 Modelagem Lógica

Na Modelagem Lógica a aplicação SIG utilizada para gerenciar grande parte das análises foi o *ArcGIS 10.3*. O banco de dados utilizado foi o formato do *Geodatabase*, onde as feições vetoriais foram armazenadas em um *Feature Dataset* como *Feature Class* e os dados de imagem em formato *Raster Dataset* (ESRI, 2014).

O sistema de referência geodésico utilizado foi o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) e a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), sendo que o município está no fuso 22 do hemisfério sul.

3.3.2 MULTI-CRITERIA EVALUATION PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE ADEQUABILIDADE À VALORIZAÇÃO IMOBILIÁRIA

Do ponto de vista metodológico, uma ferramenta de suporte à decisão espacial é composta por sistema de computador interativo projetado para ajudar o usuário alcançar altos níveis de eficácia no processo de tomada de decisão, ao resolver desafios e problemas de tomada de decisão espaciais (MALCZEWSKI, 1999).

De modo geral, a *Multi-Criteria Evaluation* (MCE) permite a integração de diversos critérios em uma única análise. Para isso são definidos restrições, fatores, pesos e métodos de agrupamentos estatísticos para elaborar um mapa de adequabilidade imobiliária. Neste contexto, a Figura 12 representa esquematicamente a metodologia aplicada na MCE.

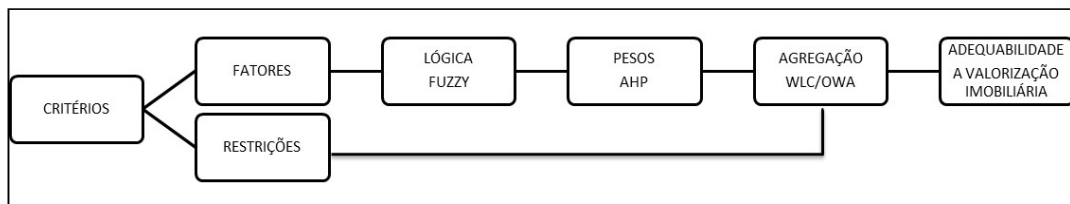


Figura 12: Esquema Multi-Criteria Evaluation. Fonte: Elaborado pelo autor.

No presente estudo, a MCE destinada à valorização imobiliária foi realizada em blocos com o intuito de sistematizar todo o procedimento. Primeiramente, foi realizada a análise de restrições. Em seguida, foram realizadas análises multicritério individuais para os pacotes Geomorfologia, Transporte e Mobilidade, Educação, Patrimônio Histórico e Cultura, Saúde e Assistência Social, Infraestrutura Urbana e Serviços urbanos. E por fim todas as análises foram integradas em uma MCE Global, conforme Figura 13.

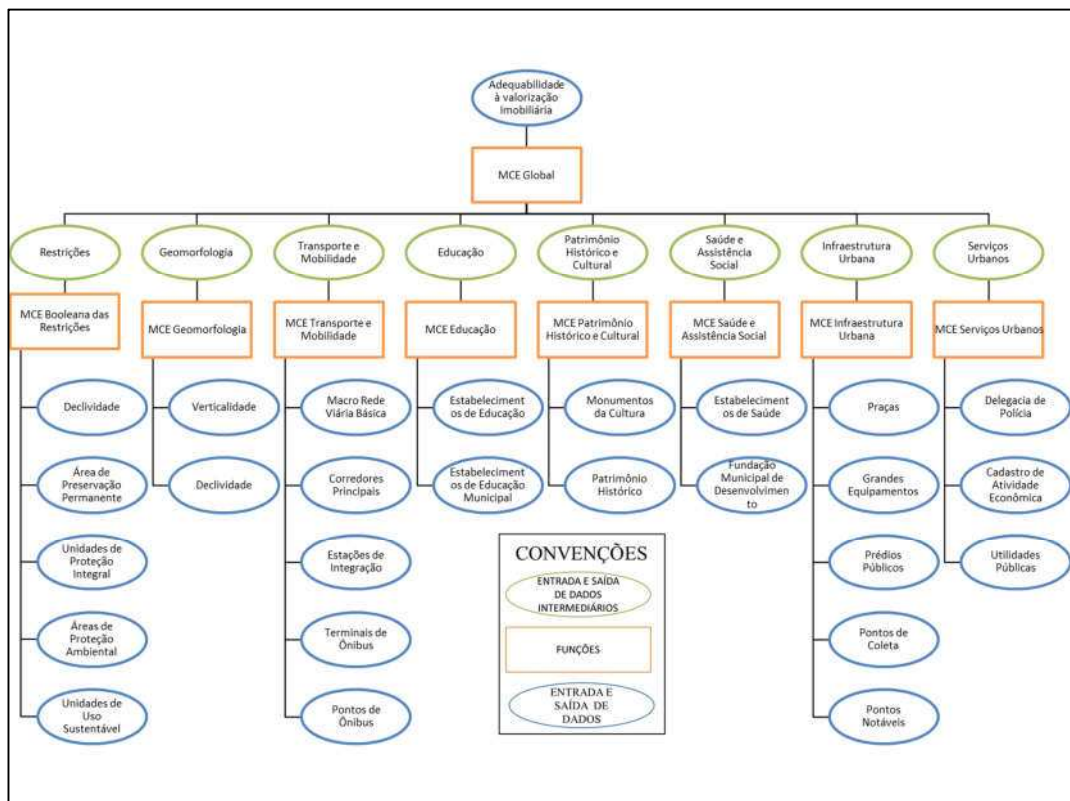


Figura 13: Esquema da análise MCE. Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.2.1 Multi-Criteria Evaluation das Restrições

As restrições à valorização imobiliária são elaboradas por uma *Multi-Criteria Evaluation* Booleana, onde os critérios aptos são assinalados com o valor 1 (um) e os critérios não aptos com o valor 0 (zero).

No contexto desta pesquisa, as restrições foram extraídas dos pacotes temáticos Meio Ambiente e Geomorfologia, em consonância com o Plano Diretor Municipal e as

legislações ambientais e de parcelamento do solo vigentes no município.

O inciso III do Art. 3º da Lei nº 6.766/79, estabelece “em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), não será permitido o parcelamento do solo”. Assim, áreas com esta característica foram consideradas inaptas, ou seja, classificadas como restrições (DEC_REST) para fins imobiliários.

Com base no Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12651 de 25 de maio de 2012), as Áreas de Preservação Permanente (APP_REST), Unidades de Proteção Integral (UPI_REST), Áreas de Proteção Ambiental (APA_REST) e Unidades de Uso Sustentável (UUS_REST) foram consideradas, inaptas para empreendimentos imobiliários.

O conceito de álgebra de mapas foi utilizado para sobrepor e integrar as cinco camadas selecionadas em um único mapa de restrições, cujo resultado final é a elaboração de uma classe de restrições no formato matricial. A classe foi convertida para o formato vetorial para realizar uma análise estatística de sobreposição e interseção espacial entre a classe de restrições e as diversas classes do pacote temático Zoneamento.

3.3.2.2 Multi-Criteria Evaluation dos Fatores

Os fatores podem estar associados aos dados intrínsecos dos imóveis ou aos dados extrínsecos, os quais são relativos à sua localização. Neste estudo, apenas os fatores extrínsecos foram utilizados na análise, e para isso foram padronizados em um mesmo intervalo de valores em termos de sua adequabilidade de valorização imobiliária. A padronização dos diferentes temas utilizados, geralmente expressos em grandezas variadas, é realizada para que possam ser comparados e integrados

Para padronização dos dados em um mesmo intervalo foram utilizados os conceitos que envolvem a lógica *Fuzzy*. Na lógica *Fuzzy* a variação entre um membro e um não membro de uma localização é gradual. Assim, não há mais a rigidez da análise booleana, mas sim um valor que indique o quão valorizado é uma área, em termos de sua adequabilidade, que varia de 0 a 255.

No contexto da valorização imobiliária, a verticalização urbana associada à densidade de edificações locais tem se demonstrado um fator condicionante de demanda por imóveis (SOMEKH, 2015). Assim, para levar esta premissa em consideração na MCE, foi idealizado um fator de Densidade de Verticalização (VERT). Para determinar seus valores foram filtrados e extraídos da NUV os pontos classificados como Edificações e posteriormente foi elaborado um *raster* com os valores de variação de altitude para cada pixel das edificações. Em seguida, o raster foi convertido para pontos para o cálculo da densidade (VERT_KERNEL) O fator foi normalizado utilizando a lógica *Fuzzy* por meio

dos três tipos de funções presentes no software IDRISI (*J shaped, Linear e Sigmoidal*). A forma da função de associação foi estipulada de acordo com o coeficiente de correlação sendo Monotonicamente Crescente no caso do coeficiente de correlação positivo e Monotonicamente Decrescente para coeficiente de correlação negativo.

A declividade é um critério importante em relação à valorização imobiliária, pois, terrenos planos pressupõem menor movimentação de terra e conseqüentemente menor custo para empreendimentos imobiliários. Assim, declividades variando entre 0% e 30% foram consideradas como um fator na análise (DEC). Para a padronização do fator declividade, foram empregados os três tipos de função *Fuzzy* Monotonicamente Decrescente.

Na MCE dos fatores foram utilizados alguns pacotes elaborados no BDG e a Figura 14 ilustra os procedimentos aplicados para os fatores dos pacotes Transporte e Mobilidade, Educação, Patrimônio Histórico e Cultural, Saúde e Assistência Social, Infraestrutura Urbana e Serviços Urbanos.

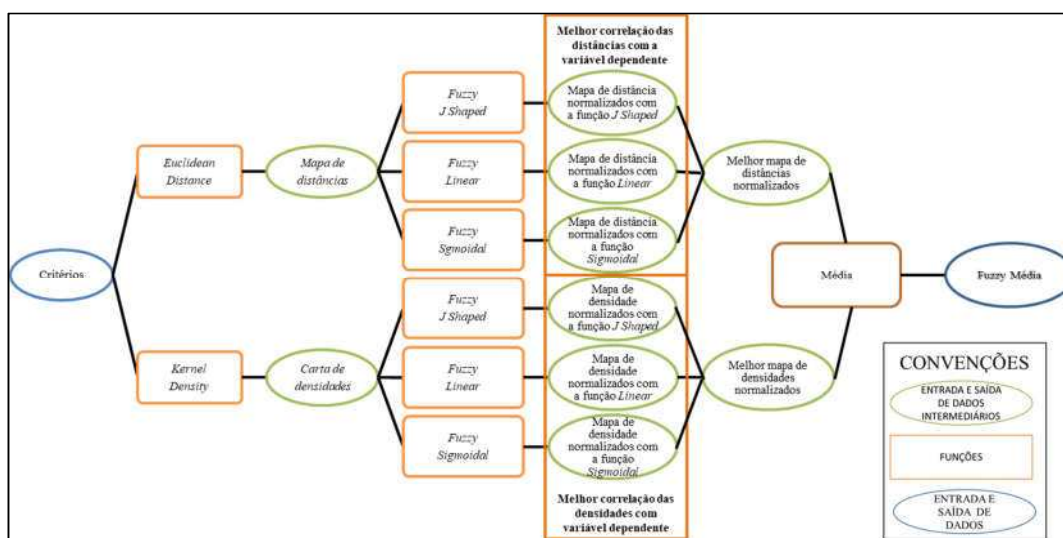


Figura 14: Fluxograma de normalização das variáveis por meio da lógica Fuzzy.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeiramente, foram calculadas, para cada critério, as faixas de distâncias e as densidades de Kernel. É importante ressaltar que apenas para as classes Patrimônio Histórico e Grandes Equipamentos não foi calculada a densidade, visto que são polígonos, mas as faixas de distâncias fizeram parte da Análise Multicritério.

De modo a explorar toda capacidade MCE, no que tange a lógica *Fuzzy*, foram definidas, para cada fator, as três funções *Fuzzy* de normalização, *J-Shaped, Linear e Sigmoidal*, onde os fatores provenientes das faixas de distâncias assumiram a forma de associação Monotonicamente Decrescente e os fatores relacionados com as densidades

assumiram a forma Monotonicamente Crescente conforme coeficiente de correlação. Para cada fator foram elaboradas três opções *Fuzzy*, ou seja, seis fatores para cada critério.

Como visto no capítulo de modelagem do BDG, o Pacote PGV apresenta amostras de valores imobiliários em forma de pontos. Desta forma, foram extraídos para cada amostra, os valores padronizados de cada mapa provenientes das funções *Fuzzy*, referentes aos fatores de distâncias e densidades. Em seguida, foi calculado o coeficiente de correlação entre o VUT e cada fator para identificar e selecionar a melhor correlação. Para cada critério foram selecionados dois fatores, faixas de distância e densidade, com a melhor correlação com o VUT e utilizando conceitos de estatística e álgebra de mapas foi calculada a média entre os fatores gerando um mapa *Fuzzy Média* para cada critério.

3.3.2.3 Definição dos Pesos Relativos

Uma das grandes vantagens da MCE é a capacidade de atribuir diferentes pesos aos fatores. Contudo, a atribuição de pesos é um processo complexo e por essa razão em algumas aplicações são utilizados pesos iguais. Nesta pesquisa, uma das formas de atribuição de pesos utilizada foi o método dos pesos iguais.

Na prática existem fatores mais importantes que os outros para a valorização imobiliária. Assim, dentre as diversas formas de definição de pesos, destaca-se o método AHP aplicado à matriz de comparação par-a-par (SAATY, 1980). O método leva em consideração um critério de importância relativa entre os vários fatores. Quando todos os fatores são comparados aos pares, pesos relativos são calculados para cada fator.

Na matriz de comparação par-a-par do método AHP, os analistas avaliam quantas vezes um fator é mais importante do que o outro, o que muitas vezes se torna subjetivo ou dependente da experiência do grupo. Assim, para minimizar as subjetividades inerentes ao processo, foi proposto realizar esta avaliação por meio do coeficiente de correlação entre o Valor Unitário de Terreno e os mapas *Fuzzy Médias*.

Os coeficientes de correlação de cada fator para cada pacote temático, foram ordenados da menor correlação para a maior correlação e calculadas as razões entre os coeficientes de correlação subsequentes. O resultado da razão determina quantas vezes o coeficiente de correlação de um fator é maior que o outro, de modo que foi possível realizar o preenchimento da matriz de comparação pareada e calcular os pesos relativos.

É importante destacar que, devido ao método AHP ser aplicado somente para análises com três ou mais fatores, este método foi utilizado integralmente para os pacotes Transporte e Mobilidade e o Infraestrutura Urbana. Para os pacotes de Serviços Urbanos e Patrimônio Histórico e Cultural, os coeficientes de correlação apresentaram valores

semelhantes, de modo que a matriz de comparação apresentou somente valores 1 (um), ou seja, com pesos iguais. Para os pacotes Geomorfologia, Educação e Saúde e Assistência Social, que apresentaram apenas dois fatores, foram calculados os percentuais a serem aplicados como pesos por meio da razão entre os coeficientes de correlação.

A validação do processo se deu por meio da Razão de Consistência, ou seja, pela comparação da matriz de pesos com uma matriz aleatória de consistência lógica. Como parâmetro foi utilizado o valor menor que 10% (0,1), garantindo assim que os pesos definidos no processo de análise pareada foram obtidos de forma consistentes.

3.3.2.4 Combinação e Agregação

Na combinação e agregação dos fatores foram utilizados os métodos da *Weighted Linear Combination* (Combinação Linear Ponderada – CLP) e ou *Ordered Weighted Average* (Média Ordenada Ponderada – MOP) para elaborar diferentes cenários de adequabilidade à valorização imobiliária. Para sobrepor os fatores em um único mapa de adequabilidade, foi utilizada a álgebra de mapa presente na *Multi-Criteria Evaluation*. A Figura 15 apresenta o esquema de métodos de agregação.

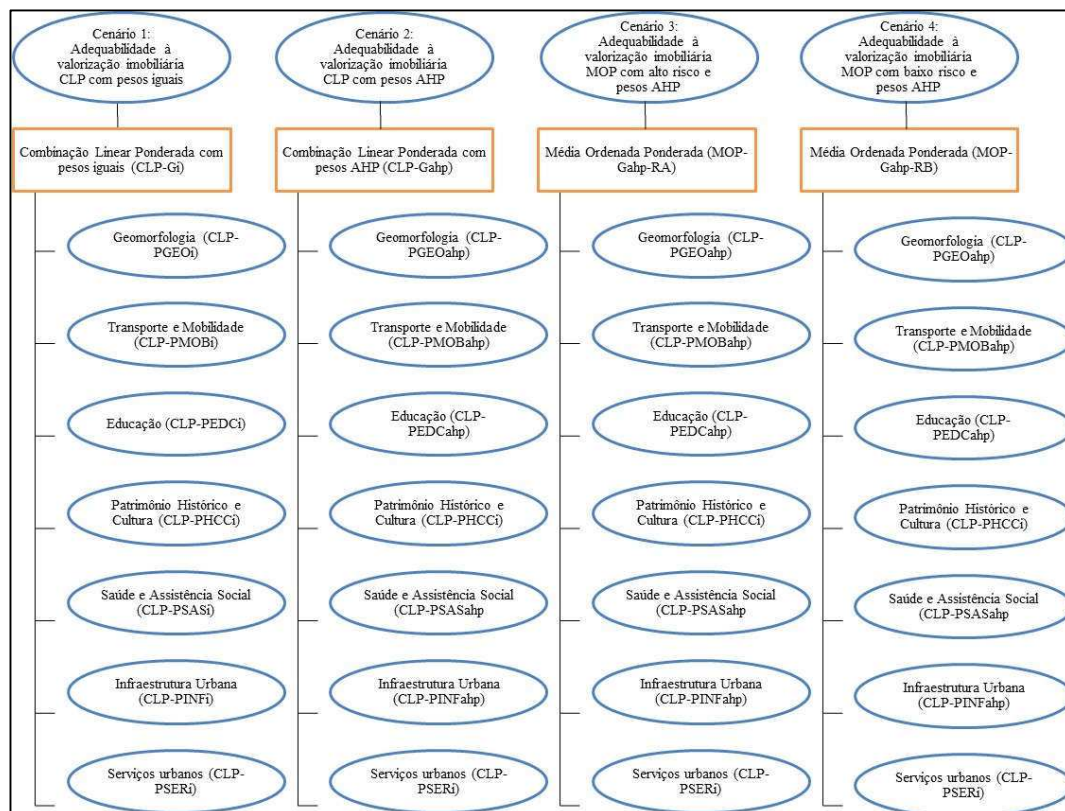


Figura 15: Processamento utilizando os métodos de agregação para elaboração de cenários de adequabilidade à valorização imobiliária. Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram realizadas duas análises baseadas na Combinação Linear Ponderada por Pacote temático (CLP-P). A primeira CLP considerou os pesos iguais para cada fator, a segunda CLP utilizou os valores de pesos obtidos por meio do método AHP. Foram obtidos sete mapas de adequabilidade que utilizaram pesos iguais, referentes aos pacotes Geomorfologia (CLP-PGEOi), Transporte e Mobilidade (CLP-PMOBi), Educação (CLP-PEDCi), Patrimônio Histórico e Cultural (CLP-PHCCi), Saúde e Assistência Social (CLP-PSASi), Infraestrutura Urbana (CLP-PINFi) e Serviços urbanos (CLP-PSERi). Foram obtidas também cinco mapas de adequabilidade utilizando o método AHP com os pacotes Geomorfologia (CLP-PGEOahp), Transporte e Mobilidade (CLP-PMOBahp), Educação (CLP-PEDCahp), Saúde e Assistência Social (CLP-PSASahp) e Infraestrutura Urbana (CLP-PINFahp). Os pacotes Patrimônio Histórico e Cultura e Serviços urbanos não apresentaram variações significativas nas razões de correlação e nos pesos relativos e não foram utilizadas no método AHP.

Em seguida foram realizadas duas Combinações Lineares Ponderadas Globais (CLP-G), ou seja, com os resultados das CLP-P. O primeiro mapa de adequabilidade à valorização imobiliária (CLP-Gi) foi obtida a partir da CLP-P com pesos iguais, onde também foram utilizados pesos iguais. A segunda mapa de adequabilidade à valorização imobiliária (CLP-Gahp) foi obtida por meio das CLP-P que utilizam o método AHP, da CLP-PHCCi e da CLP-PSERi. De modo análogo ao apresentado anteriormente, os pesos da CLP-Gahp foram obtidos pela razão entre os coeficientes de correlação das CLP-P.

De acordo com Calijuri et al. (2002), dentre as atitudes conservadoras e as mais arriscadas nas análises multicritérios, pode haver lugar para cenários que sejam mais compatíveis com as condições que contextualizam a tomada de decisão. Assim, foi utilizada a técnica MOP para atribuir pesos ordenados que determinem o grau com o qual os fatores têm influência no procedimento de agregação. Assim, foram elaborados dois cenários variando os pesos ordenados e conseqüentemente os riscos e a compensação. O primeiro com risco baixo e alta compensação (MOP-Gahp-RB) e o segundo com risco alto e alta compensação (MOP-Gahp-RA).

Com o resultado, foram elaborados mapas de adequabilidade à valorização imobiliária no formato matricial que representam cenários que variam entre modelos conservadores e os mais ousados do ponto de vista da valorização imobiliário.

Em seguida foram realizadas análises estatísticas para determinar o cenário que melhor representa a valorização imobiliária. O algoritmo *Jenks* foi utilizado para estratificar os valores em classes de adequabilidade a valorização imobiliária.

Por fim, é importante destacar que as hipóteses estabelecidas na análise para

definição da importância relativa dos fatores, dentro do modelo e os riscos assumidos, foram propostas por meio de uma série de definições e sugestões, elaboradas por uma equipe multidisciplinar de especialistas, por meio de revisões de literatura de trabalhos semelhantes e de índices e indicadores estatísticos normatizados.

3.3.3 MODELOS ESTATÍSTICOS APLICADOS PARA ELABORAÇÃO DE PLANTA GENÉRICA DE VALORES

De modo geral, o processo de avaliação em massa de imóveis é realizado por meio da definição dos objetivos e níveis de tolerância, da identificação de fontes de dados para formação das amostras, análise exploratória clássica e espacial dos dados, modelagem matemática e validação de todas as informações (CESARE, et al., 2015).

Um dos objetivos específicos desta pesquisa consiste em realizar a avaliação em massa dos imóveis urbanos para elaboração de PGV da Macro Zona Construída do município de Goiânia – GO. Especificamente, o escopo da pesquisa foi embasado na avaliação da componente unitária do Valor do Terreno para o cálculo do IPTU, ou seja, na determinação do Valor Unitário Terreno. Além disso, foram utilizados diferentes modelos matemáticos para efetuar uma comparação quantitativa de ajuste. Para realização de todos os procedimentos da avaliação em massa desta pesquisa foram estabelecidos os níveis de significâncias e confianças utilizadas na NBR 14653-2.

É importante destacar que as tipologias de imóveis urbanos referentes às residências unifamiliares, apartamentos, lojas e salas comerciais e galpões, não estão no escopo da pesquisa desenvolvida neste trabalho.

O CTM é um dos elementos primordiais para a avaliação em massa de imóveis, pois armazena dados e informações sobre as características dos imóveis, sua localização, e os direitos reais que incidem sobre os mesmos (CUNHA & ERBA, 2010).

Primeiramente, foi realizado um exame dos dados que integram o CTM municipal. Sendo o SIGGO um dos pilares da avaliação por meio de todos os pacotes modelados no BDG. Além disso, foi realizada uma análise da legislação municipal como: Código Tributário, Plano Diretor, Lei de Parcelamento do Solo e Código de Obras.

De modo geral, para elaborar a Planta Genérica de Valores, foi utilizada uma sequência de processamento que abrange a obtenção das amostras de valores, a definição das variáveis, a análise exploratória de dados, a elaboração de modelos matemáticos pelo Modelo Clássico de Regressão Linear, a validação do modelo MCRL, aplicação da Geoestatística, validação da Geoestatística e, por fim, a elaboração de cenários de Planta Genérica de Valores. A Figura 16 apresenta o fluxograma utilizado.

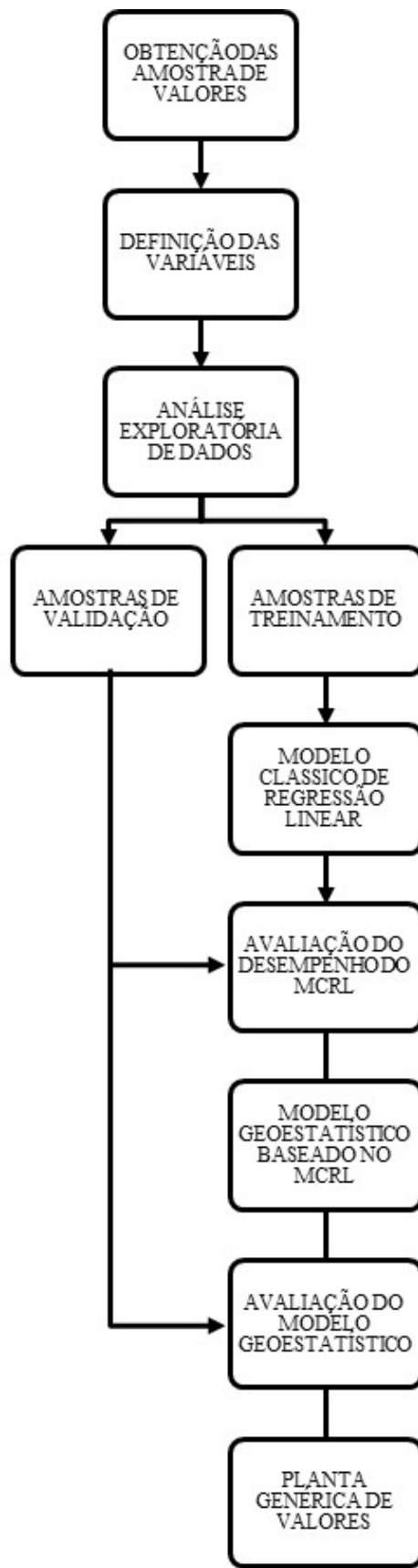


Figura 16: Fluxograma da modelagem estatística para elaboração da Planta Genérica de Valores do município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.3.1 Obtenção da amostra

Para proceder a avaliação de acordo com Método Comparativo Direto de Dados de Mercado, são necessárias amostras de valores de imóveis provenientes de transações ou ofertas na área de estudo (ABNT, 2011). Tradicionalmente, a coleta de amostras para formação de modelos matemáticos de avaliação é um processo oneroso e moroso.

Neste contexto, foi proposto elaborar um algoritmo de busca *Web Scraping* para rastrear, coletar e armazenar informações voluntárias de ofertas de valores provenientes de imobiliárias virtuais. Para isso, foram utilizadas as ferramentas *Scrapy* e *Selenium Web Driver*, ambos, são *frameworks* de código aberto, colaborativos e programáveis em linguagem *Python* (SCRAPY, 2016).

O produto foi uma estrutura de códigos, que ao serem executados, acessaram e percorreram, de forma autônoma, as páginas com informações públicas de imóveis para extração e arquivamento de dados relacionados às ofertas de imóveis.

Foram coletados 1059 dados de ofertas de terrenos, no dia 12 de junho de 2018. Contudo, estes dados são apresentados de forma textual e não estão georreferenciados. Assim, para integrar as amostras ao banco de dados geográfico foi realizado o procedimento de georreferenciamento por meio da técnica de Geocodificação. Na realização da geocodificação das amostras de valores, obtidas por meio da *Web Scraping*, utilizou-se as ferramentas da *API do Google Maps*. Para a execução do algoritmo, é preciso introduzir alguns parâmetros obrigatórios, que são: o endereço, o elemento separador, e a chave disponibilizada pela Google.

O resultado da geocodificação possibilitou acrescentar as informações de latitude e longitude a cada amostra de valor coletada pela *Web Scraping*. Porém, as informações geográficas não são acuradas ao nível de confiança posicional⁵ desejado para algumas aplicações, pois existem variações no endereço, como abreviações e omissão de componentes, como relatado também por Wang (2012), Myers & McGuffee (2015) e Boeing e Waddell (2016).

O próximo passo foi verificar a coerência espacial entre a posição geográfica de cada lote, obtidas por meio do SIGGO, em relação à posição geográfica das informações obtida pela geocodificação. Os pontos discrepantes foram ajustados com o propósito de garantir que as informações obtidas pela *Web Scraping* estejam especializadas para o respectivo lote.

⁵ O nível de confiança para o projeto foi definido como a interseção da amostra gerada pela codificação com a camada de lotes do CTM municipal.

3.3.3.2 Definição das variáveis

A partir das amostras relativas aos imóveis de interesse, foram definidas as variáveis dependentes e independentes para comporem os modelos matemáticos de avaliação. Neste estudo a variável dependente foi o Valor Unitário de Terreno (VUT) em R\$/m², ou seja, a razão entre o preço e a área de cada terreno amostrado. As variáveis independentes foram obtidas por meio da *Web Scraping*, do Cadastro Imobiliário Municipal e por técnicas de Análises Espaciais.

- Área do Terreno (AT): Área do terreno, foi obtida por meio do Cadastro Imobiliário Municipal.
- Testada do Terreno (TA): Testada do principal do terreno
- Topografia (TP): Inclinação do terreno em relação à testada.
- Solo (SL): Condição pedológica do terreno.
- Situação (ST): Situação do terreno em relação à quadra.
- Nível (NV): Nível do terreno em relação ao logradouro.
- Limitação (LM): Tipo de limitação física do terreno.
- Calçada (CA): Tipo de calçada do terreno.
- Declividade (DEC): Inclinação em porcentagem média do terreno.
- Declividade *Fuzzy* (DECF): Normalização *Fuzzy* da variável declividade.
- Faixas de Distância (FD): Faixas de distâncias em relação aos polos de valorização e desvalorização imobiliária.
- Faixas de Distância *Fuzzy* (FDF): Normalização *Fuzzy* das variáveis Faixas de Distâncias nos tipos *Linear*, *Sigmoidal* e *J-Shaped*.
- Densidade de Kernel (DK): Densidade de Kernel em relação aos polos de valorização e desvalorização imobiliária.
- Densidade de Kernel *Fuzzy* (DKF): Normalização *Fuzzy* das variáveis Densidades de Kernel nos tipos *Linear*, *Sigmoidal* e *J-Shaped*.
- *Fuzzy* Médias (FM): Média entre as Faixas de Distância *Fuzzy* e as Densidades de Kernel *Fuzzy*.
- Combinação Linear Ponderada (CLP): Resultado da *Multi-Criteria Evaluation* utilizado o método da Combinação Linear Ponderada.
- Média Ordenada Ponderada (OWA): Resultado da *Multi-Criteria Evaluation* utilizado o método da Média Ordenada Ponderada.

As variáveis qualitativas analisadas no presente estudo foram codificadas pelo método dicotômico, conforme previsto na NBR 14653-2. No total, foram definidas 193

variáveis independentes, conforme Quadro 4.

Quadro 4: Resumo das variáveis selecionadas

Sigla	Descrição	Tipo	Quantidade	Unidade
VUT	Valor Unitário do Terreno	Quantitativa	1	Reais/m ²
AT	Área Total do Terreno	Quantitativa	1	m ²
TA	Testada Total do Terreno	Quantitativa	1	m
TP	Topografia: Horizontal = 1 ou Aclive/Declive = 0	Qualitativa	1	Booleana
SL	Solo: Normal = 1 ou Rochoso/Inundável = 0	Qualitativa	1	Booleana
ST	Situação: Esquina = 1 ou Meio de Quadra/Gleba = 0	Qualitativa	1	Booleana
NV	Nível: Ao Nível = 1 ou Abaixo/Acima = 0	Qualitativa	1	Booleana
LM	Limitação: Murado/Cercado = 1 ou Sem nada = 0	Qualitativa	1	Booleana
CA	Calçada: Com Calçada = 1 ou Sem calçada = 0	Qualitativa	1	Booleana
DEC	Declividade	Quantitativa	1	Porcentagem
DECF	Declividade Fuzzy	Quantitativa	3	Byte
FD	Faixas de distâncias	Quantitativa	19	m
FDL	Faixas de distâncias Fuzzy	Quantitativa	57	Byte
DK	Densidade de Kernel	Quantitativa	18	Pontos/km ²
DKF	Densidade de Kernel Fuzzy	Quantitativa	54	Byte
FM	Fuzzy Médias	Quantitativa	17	Byte
CLP	Combinação Linear Ponderada dos Pacotes	Quantitativa	14	Byte
OWA	Média Ordenada Ponderada com Rico Baixo	Quantitativa	2	Byte

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dantas (2005) destaca que para que a avaliação reflita da melhor maneira possível o valor de mercado imobiliário, é necessária uma identificação preliminar das variáveis independentes que influenciam os valores dos imóveis.

De modo a evitar a Multicolinearidade e identificar as variáveis mais influentes, foi utilizada a técnica *Random Forest Recursive Feature Elimination* (RF-RFE), implementada no software R por meio do pacote *Caret* (KHUN, 2008; KUHN, 2012).

A técnica realiza a redução da dimensionalidade dos dados por meio da remoção de variáveis altamente correlacionadas e consequentemente com redundância na formação dos modelos. Além disso, as variáveis independentes consideradas influentes pelo RF-RFE foram testadas tanto por meio da estatística *t* de *Student* ao nível de confiança de 10%, como pela Matriz de Correlações Parciais utilizando o limiar de 0,8 conforme estabelecido pelo NBR 14653-2.

O critério de eliminação das variáveis correlacionadas verificou qual das variáveis apresenta o menor coeficiente de correlação com a variável dependente. De modo geral, este procedimento teve o objetivo de reduzir o número de variáveis independentes e utilizar somente as variáveis que apresentam a melhor capacidade de explicar os valores dos imóveis.

Por fim, para realizar a análise da qualidade e validação das estimativas de predição dos modelos, a amostra foi dividida em dois grupos, Amostra de Valores Imobiliários para Treinamento (AMT) e Amostra de Valores Imobiliários para Validação (AMV), conforme idealizado no pacote PGV. Para tanto, foram selecionados aleatoriamente aproximadamente 10%, para serem utilizadas na amostra de validação. A Figura 17 apresenta a distribuição espacial das AMT e AMV.

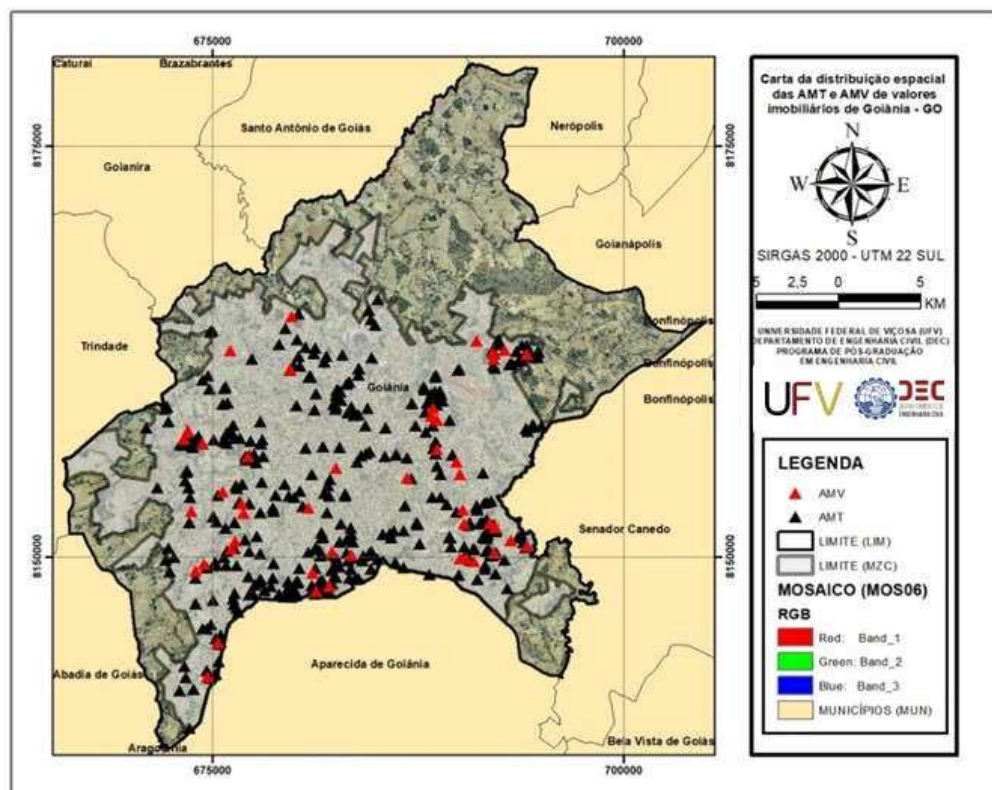


Figura 17: Mapa da distribuição espacial das AMT e AMV de Goiânia – GO.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.3.3 Modelo Clássico de Regressão Linear

Para realizar a modelagem dos valores imobiliários pelo MCRL com AMT foi utilizado o software Infer32 específico da Engenharia de Avaliações (ÁRIA, 2004). Os valores de significância e confiança estipulados nas análises estatísticas foram definidos conforme os padrões preconizados na NBR 14653-2 com o Grau de Fundamentação III.

O procedimento de transformação de escala das variáveis foi realizado com o objetivo de garantir o pressuposto da linearidade das variáveis do modelo de regressão linear. Sendo assim, o presente estudo avaliou as seguintes transformações para linearização: Proporcional (V), Logarítmica ($\ln V$), Exponencial (e^V), Quadrática (V^2), Raiz Quadrada (\sqrt{V}), Cúbica (V^3), Raiz Cúbica ($\sqrt[3]{V}$), Inversa ($\frac{1}{V}$), Inversa Logarítmica ($\frac{1}{\ln V}$), Inversa Exponencial (e^{-V}), Inversa Quadrática (V^{-2}), Inversa Raiz Quadrada ($\frac{1}{\sqrt{V}}$), Inversa Cúbica (V^{-3}) e Inversa Raiz Cúbica ($\frac{1}{\sqrt[3]{V}}$).

Como estratégia para elaborar um modelo de referência, a metodologia desenvolvida nesta pesquisa utilizou um processo iterativo de formulação de modelos estatísticos, de modo que os pressupostos básicos do MCRL fossem garantidos. Para isso, foram especificados os seguintes parâmetros:

- Regressores testados a um nível de significância de 10,00%.
- Critério de identificação de *Outliers*: Intervalo de +/- 2,00 desvios padrão em torno da média.
- Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, a um nível de significância de 1%.
- Teste de autocorrelação de Durbin-Watson, a um nível de significância de 1,0%
- Intervalos de confiança de 80,0% para os valores estimados.

Para realizar a validação do MCRL foram utilizadas amostras de valores imobiliárias selecionadas especificamente para a validação. A partir destas amostras de validação, e sobre o MCRL gerado foram calculados os indicadores de performance global e de uniformidade da avaliação, Mediana das Razões, Diferencial Relativo ao Preço e o Coeficiente de Dispersão, conforme recomendando pela (IAAO, 2013).

É importante ressaltar que Trivelloni (2005), IAAO (2013) e Uberti (2016), recomendam o saneamento de valores extremos da amostra de validação para o cálculo do COD. Desde modo, foram retiradas da amostra de validação sete observações.

3.3.3.4 Modelo Geoestatístico

Para elaborar a Superfície Unitária de Valores (SUV), prevista no modelo conceitual do banco de dados geográfico, foram empregadas as técnicas da Krigagem Ordinária da Geoestatística. Para isso foi utilizada uma amostra de treinamento com os valores homogeneizados estimados pelo MCRL. É importante ressaltar que este conjunto de dados foi menor que o conjunto das Amostras de Valores Imobiliárias para Treinamento proposto inicialmente, pois para formulação do MCRL foram retirados diversos *outliers*.

Os Valores Unitários de Terreno estimados pelo MCRL foram submetidos a uma Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), de modo a verificar os pressupostos para aplicação da técnica de interpolação por meio da Krigagem Ordinária no ArcGIS.

Em seguida foram elaborados e testados semivariogramas empíricos baseados nos modelos Esférico, Exponencial e Gaussiano para ajustar um ou mais modelos teóricos, pelos parâmetros: alcance (a), patamar (C), efeito pepita (C_0) e o grau de dependência espacial. Segundo Yamamoto & Landim (2013) e Uberti (2016), os três modelos utilizados são os mais citados na literatura e explicam a maioria dos fenômenos espaciais.

Para verificar o modelo de predição que melhor explica os Valores Unitários de Terreno foi utilizada a técnica da Validação Cruzada. De forma gráfica, foram elaborados gráficos e mapas para avaliar os ajustes e de forma quantitativa foram calculadas métricas de ajuste, conforme os seguintes critérios:

- As previsões são imparciais, indicadas por um Erro Médio de previsão próximo de 0.
- Os erros padrão são precisos, indicados por um Erro Médio Quadrático Padronizado próximo de 1.
- As previsões não se desviam muito dos valores medidos, indicados pelo Erro Médio Quadrático e pelo Erro Padrão Médio que são tão pequenos quanto possível.

Com os parâmetros obtidos por meio dos modelos teóricos e verificadas as condições de qualidade por meio da Validação Cruzada, foram geradas as superfícies de Valores Unitários de Terreno e as Superfícies do Erro de Predição.

Visando verificar a capacidade da Superfície de Valores Unitários de gerar resultados aceitáveis para a população dos imóveis do município, foi realizada a avaliação de desempenho entre os valores preditos pela Krigagem Ordinária e a Amostra de Valores de Terreno para Validação. Foram calculados e comparados com os indicadores estabelecidos na norma da IAAO.

4.1.2 Modelos Conceituais do Pacote

4.1.2.1 O Pacote Imageamento

O Pacote Imageamento (IMG) é composto por três sub-pacotes, intitulados de LANDSAT8, MOS06 e MOS11, e representam as diferentes imagens ou aerofoto que o município utiliza para realizar o mapeamento do uso e ocupação do solo (Figura 19).

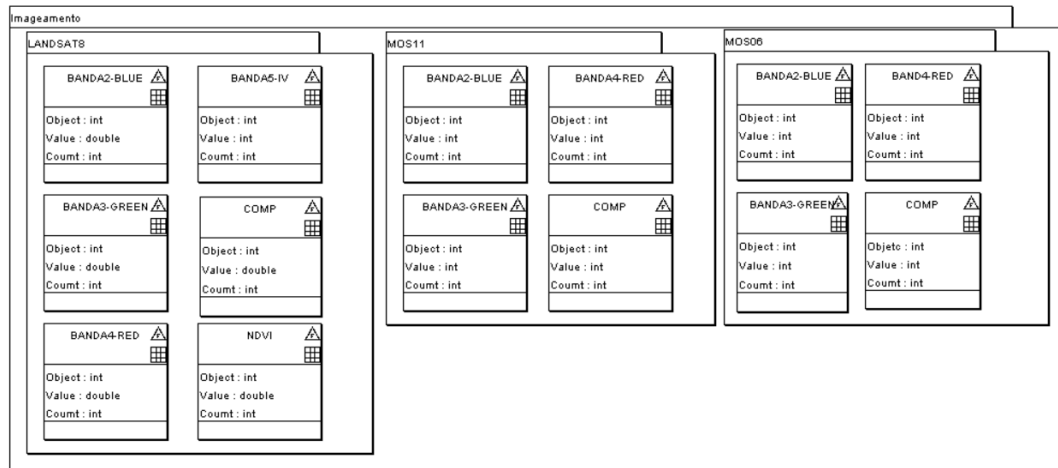


Figura 19: Pacote Imageamento do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

O sub-pacotes LANDSAT8 é composto pelas bandas B2, B3, B4 e B5 do sensor OLI e pelas classes relativas a composição RGB e o NDVI, ambos elaborados por um processo de especialização. Os sub-pacotes MOS06 e MOS11 apresentaram as bandas B1, B2 e B3 e classes relativas à composição das bandas por processo de especialização.

Destaca-se que a representação clássica de imagens é realizada por meio de um único valor em cada pixel (grade de células) e que o mesmo não pode conter informações textuais ou de atributos. Entretanto, o modelo O-O permite realizar a implementação de atributos e por isso foram idealizados para todas as grades de célula. Os atributos são: o identificador (*Object*), valor do pixel (*Value*) e o número de pixels com o mesmo valor (*Count*). De modo geral, o Pacote Imageamento permitiu a visualização e validação das entidades mapeadas, além de conter os dados primários para a vetorização e restituição da maioria dos temas utilizados neste estudo.

4.1.2.2 O Pacote Zoneamento

O Pacote Zoneamento Urbano (ZOU) é composto do sub-pacotes Zoneamento do Plano Diretor Municipal (ZPDM) e de diversas classes que fazem a delimitação o município de acordo com parâmetros administrativos (Figura 20).

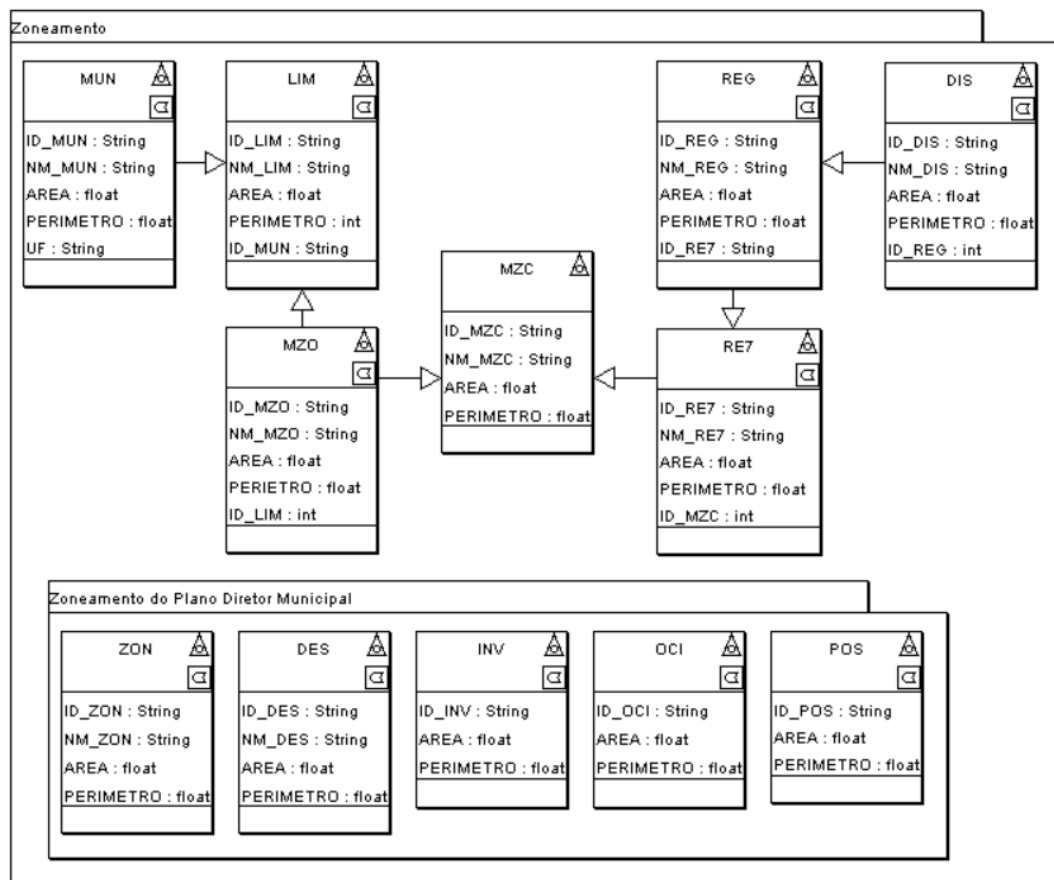


Figura 20: Pacote Zoneamento do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

A classe MUN representa todos os municípios do Estado de Goiás o que permite especializar o município de trabalho desta pesquisa por meio da classe LIM. A MZO apresenta os limites e a definição das áreas urbanas, de expansão e rural. A MZC pode ser generalizada espacialmente na classe LIM, ou pode ser especializada na MZC, que é a região para qual é modela a PGV.

Além disso, é possível observar que as classes RE7, REG e DIS são zonas administrativas do município e podem realizar uma generalização encadeada e abstrair a MZC, que no contexto da modelagem minimiza e evita a redundância de atributos.

O sub-pacotes ZPDM é constituído por cinco classes importantes para o Plano Diretor Municipal pois, estas áreas apresentam características únicas, previstas legalmente que estabelece critérios de uso e ocupação, desenvolvimento econômico e presença da informalidade. Em relação à adequabilidade à valorização ou desvalorização imobiliária, estas classes são de interesse irrestrito da administração pública e por isso, foram realizadas diversas análises espaciais sobre a temática.

4.1.2.3 O Pacote Mapeamento Urbano Básico

O Pacote Mapeamento Urbano Básico (MUB), é composto por sete classes, que apresentam relacionamentos diversificados do ponto de vista cadastral (Figura 21).

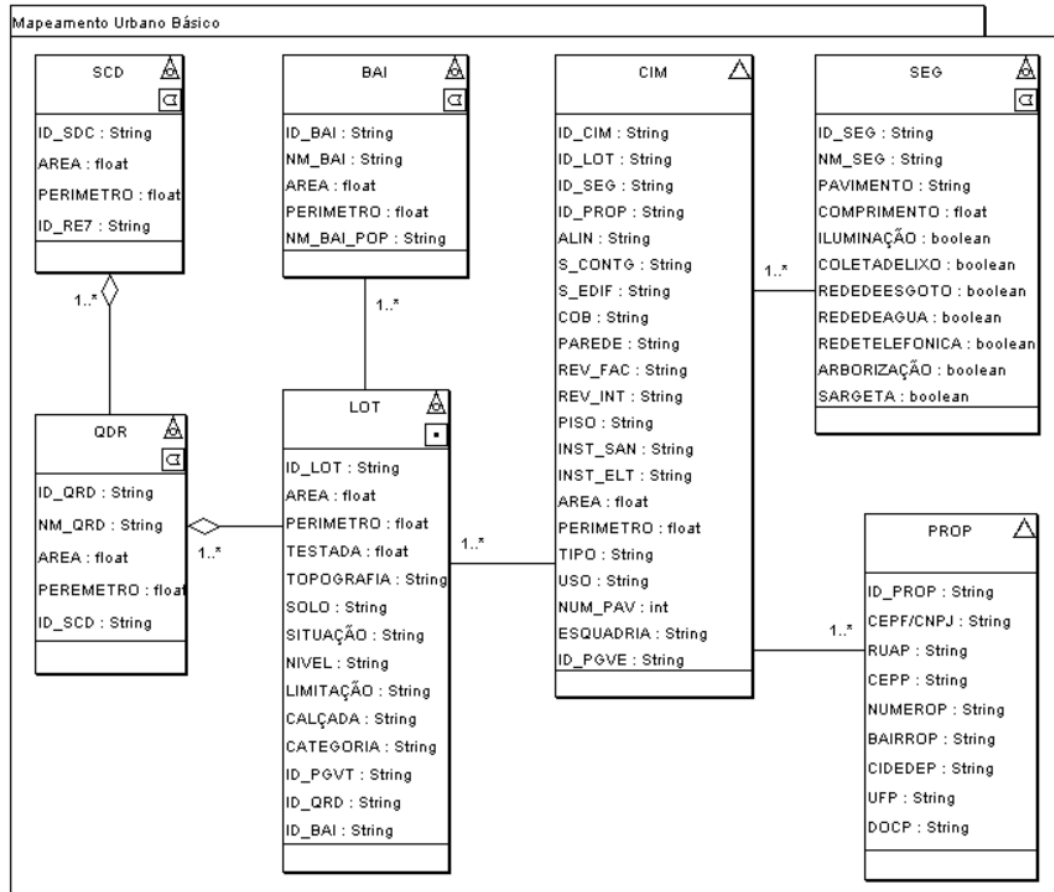


Figura 21: Pacote Mapeamento Urbano Básico do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os setores cadastrais (SCD) estão associados às RE7 do Pacote Zoneamento Urbano, por uma chave estrangeira chamada ID_RE7, promovendo assim uma integração entre os pacotes. Além disso, estão conectados às quadras (QRD) por uma relação de cardinalidade e de agregação, onde um setor pode ter várias quadras, mas uma quadra pode estar em apenas um setor⁶. Já o setor pode ser realizado por um agregado de quadras.

A relação de quadras com os lotes (LOT)⁷ é uma associação onde uma quadra pode ter vários lotes, mas um lote pode estar em apenas uma quadra. A classe lotes

⁶É importante esclarecer que o software *ArgoCASEGEO V3* apresenta a regra de cardinalidade 1...1 em seu sistema, mas não a torna visível no modelo devido a simplificação notacional.

⁷Ressalva-se que a classe LOT representa uma parte contígua de terreno para os quais há direitos de uso, propriedade, usufruto e etc., mas no contexto do trabalho não é a representação formal da parcela cadastral.

apresenta diversos atributos para o cálculo do IPTU, como por exemplo, os fatores intrínsecos ao terreno e o ID_PGVT, que é uma chave estrangeira para obter o Valor Unitário de Terreno (VUT) do Pacote Planta Genérica de Valores.

É possível observar que existe uma relação de cardinalidade entre a classe LOT e a classe bairros (BAI), onde um bairro pode conter vários lotes, mas um lote pode estar em apenas um bairro. Como os bairros são abstrações de cunho cultural, em uma mesma quadra pode haver lotes em bairros diferentes. Além disso, os lotes estão associados ao Cadastro Imobiliário Municipal (CIM), pela relação de um para muitos, ou seja, um lote pode ter mais de um imóvel, mas um imóvel pode estar em apenas um lote.

O CIM está relacionado com as classes Proprietários (PROP) e Segmento de Logradouro (SEG), de forma que um imóvel pode ter um proprietário (podendo estar condomínio ou outro regime tributário), mas um proprietário pode ter vários imóveis. Além disso, um imóvel pode estar em apenas um logradouro principal, mas um logradouro pode apresentar vários imóveis.

Ressalta-se que apenas as camadas CIM e PROP do MUB foram definidas como um Objeto Convencional. Esta definição trouxe limitações à pesquisa, uma vez que neste trabalho as edificações não foram representadas como objetos geográficos, logo a modelagem da parcela torna-se inviável do ponto de vista cartográfico.

A classe de proprietários apresenta como principal característica a possibilidade de identificação do responsável pelo IPTU e demais tributos territoriais. Além disso, os atributos estão relacionados à documentação do sujeito passivo e ao endereço de correspondência, que não é necessariamente o mesmo do imóvel.

A classe dos segmentos de logradouro tem uma relação de cardinalidade de um para muitos com o CIM, pois lotes com mais de uma frente podem ter edificações em logradouros diferentes. A classe SEG proporciona o relacionamento de diversos atributos que podem ser utilizados para estimar os valores unitários dos imóveis, taxas de serviços urbanos e de forma mais ampla, uma contribuição para o planejamento urbano.

4.1.2.4 O Pacote Geomorfologia

O Pacote Geomorfologia (GEO) apresenta classes relacionadas à temática da representação tridimensional do relevo e de objetos artificiais que constituem a paisagem do município (Figura 22).

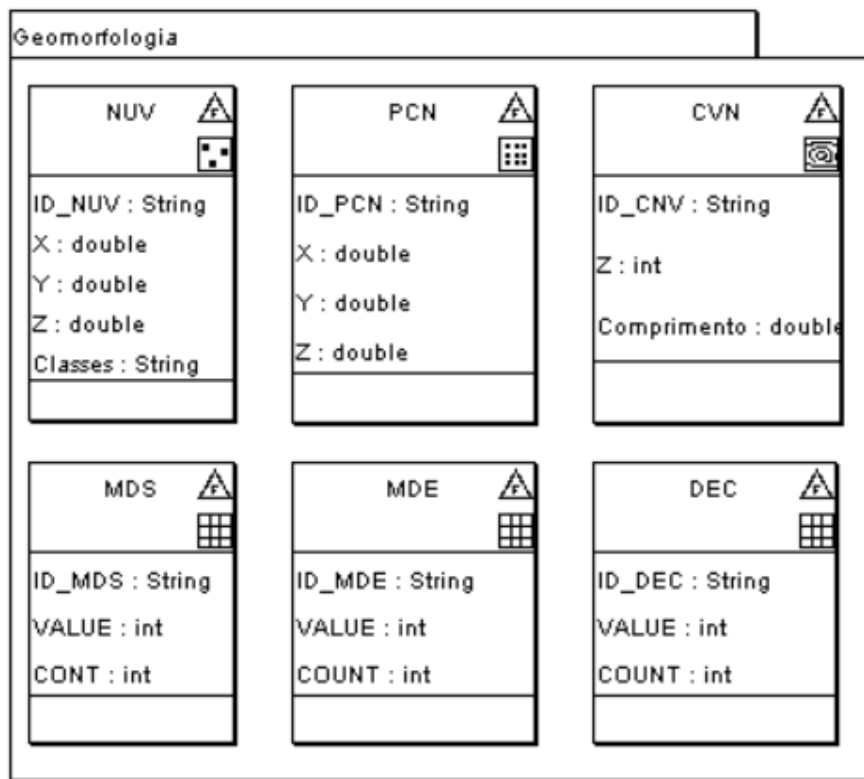


Figura 22: Pacote Geomorfologia do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

A Nuvem de Pontos (NUV) apresenta os atributos posicionais e de classificação do uso e cobertura do solo. O Modelo Digital de Superfície (MDS) apresenta as mesmas classes idealizadas nesta pesquisa para as grades de células e foi elaborado por meio de uma especialização da NUV.

Os Pontos Cotados (PCN) apresentam atributos posicionais e as Curvas de Nível (CVN) atributos relacionados com as altitudes e comprimento das feições. Os PCN e as CVN foram utilizados em uma especialização integrada para formar o Modelo Digital de Elevação (MDE), que por sua vez, especializou a Declividade (DEC).

4.1.2.5 O Pacote Meio Ambiente

O Pacote Meio Ambiente (AMB) é composto pelo sub-pacotes Unidades de Conservação e classes que retratam a realidade ambiental e hidrográfica do município. O modelo elaborado encontra-se na Figura 23.

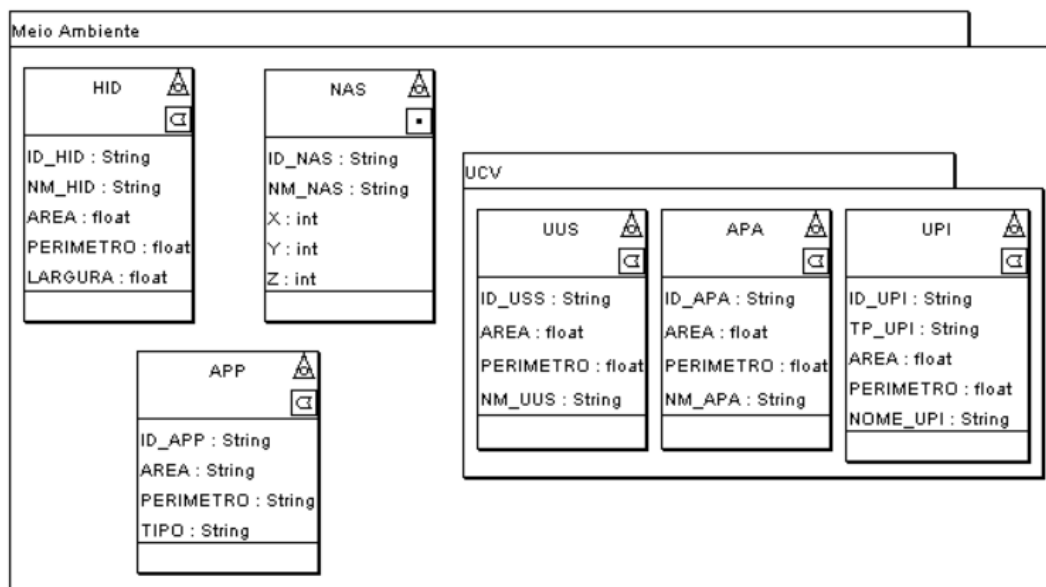


Figura 23: Pacote Meio Ambiente do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

O sub-pacotes de Unidades de Conservação apresenta três classes, Unidades de Uso Sustentável (UUS), Área de Preservação Ambiental (APA) e as Unidades de Proteção Integral (UPI) que representam áreas destinadas à preservação ambiental e seus atributos estão relacionados a questões geométricas, de tipologia e o com o nome de cada área.

Em relação à classe Hidrografia (HID), destaca-se a representação na forma de polígono, pois desta forma, permite obter a largura do curso d’água para delimitar a APP. Nesse contexto, as Nascentes (NAS) representadas na forma de pontos, também forma utilizadas em conjunto para uma especificação para delimitação das APP.

4.1.2.6 O Pacote Transporte e Mobilidade

O Pacote Transporte e Mobilidade (MOB) tem grande destaque no âmbito urbano, visto que a acessibilidade pode ser considerada um indicador de valorização imobiliária. Portanto, o pacote MOB é composto pelo sub-pacotes Sistema de Transporte Coletivo (STC) e classe VIA (Figura 24).

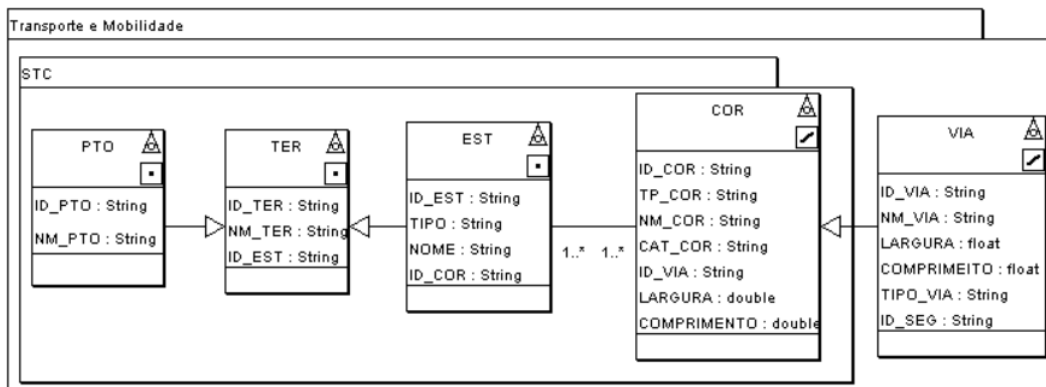


Figura 24: Pacote Transporte e Mobilidade do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

A classe VIA representa a Macro Rede Viária Básica do município e relaciona atributos como o nome da via, a largura, o comprimento e o tipo de via. Ressalta-se, que a classe VIA é uma especialização da classe SEG, conforme previsto no MUB. Enquanto a classe SEG contém um comprimento total de 9.993.127 Km, a classe VIA tem 757.690 km, ou seja, a classe VIA abrange apenas 7,5% do sistema viário municipal.

O Pacote STC possui as classes: Corredores Principais (COR), Estações de Integração (EST), Terminais de Ônibus (TER) e os Pontos de Ônibus (PTO). Os corredores são especializações da classe VIA e entre a classe COR e a EST foram realizados dois relacionamentos de um para muitos (1..*), onde: um corredor pode ter várias estações, e uma estação pode ter vários corredores. Por sua vez, as estações podem-se especializar na classe terminais e o mesmo para a classe PTO.

4.1.2.7 O Pacote Educação

O Pacote Educação apresenta duas classes, sendo que a classe EDM é uma especialização da classe EDU (Figura 25).

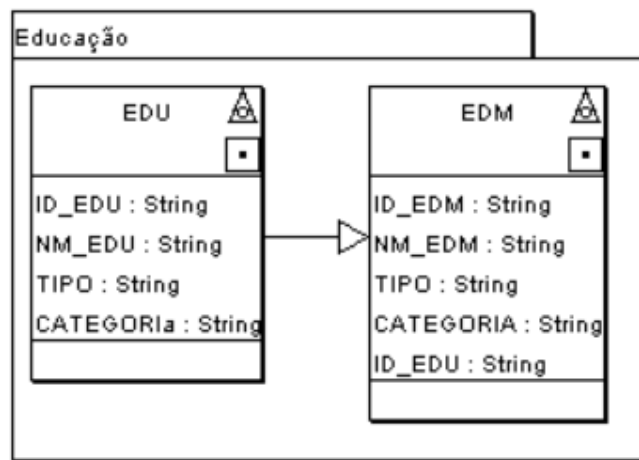


Figura 25: Pacote Educação do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

A especialização desse pacote foi realizada devido ao arranjo espacial das instituições de ensino no município de Goiânia, de forma que a classe EDU abrange as instituições privadas e públicas e a classe EDM apenas as instituições públicas

4.1.2.8 O Pacote Patrimônio Histórico e Cultural

O Pacote Patrimônio Histórico e Cultural (Figura 26) apresenta as classes que abstraem as construções que são referência para o turismo histórico e cultural de Goiânia.

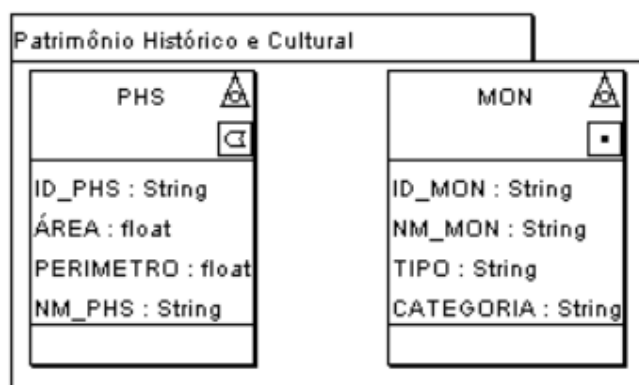


Figura 26: Pacote Patrimônio Histórico e Cultural do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2.9 O Pacote Saúde e Assistência social

O Pacote Saúde e Assistência Social apresenta duas classes, SAU e FMD, que se relacionam mutuamente em um para muitos (Figura 27). Os atributos relacionados neste pacote foram obtidos em conjunto com a Secretaria Municipal de Saúde e Secretaria Municipal de Assistência Social.

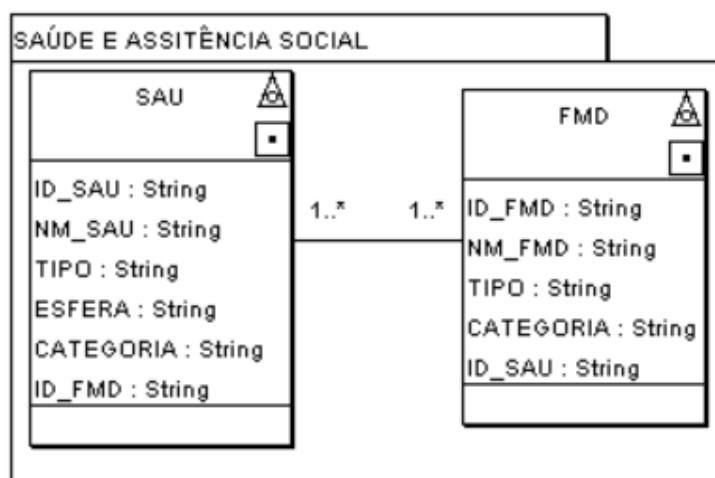


Figura 27: Pacote Saúde e Assistência Social do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2.10 O Pacote Infraestrutura urbana

O pacote Infraestrutura Urbana é composto por cinco classes, que não se relacionam entre si (Figura 28). As classes GRE, PRP, PTC, PTN e PRC contidas neste pacote foram utilizadas nas análises multicritérios desenvolvidas neste estudo.

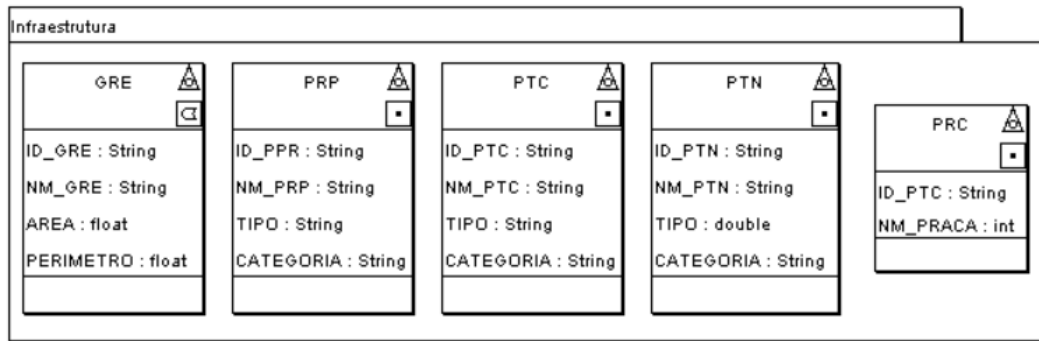


Figura 28: Pacote Infraestrutura Urbana do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2.11 O Pacote Serviços Urbanos

O Pacote de Serviços Urbanos possui três classes relativas a prestação de serviços a sociedade e consideradas como potências influenciadoras na valorização imobiliária (Figura 29). Por isso, as informações presentes neste pacote foram exploradas nas análises multicritérios e na elaboração do PGV do presente estudo.

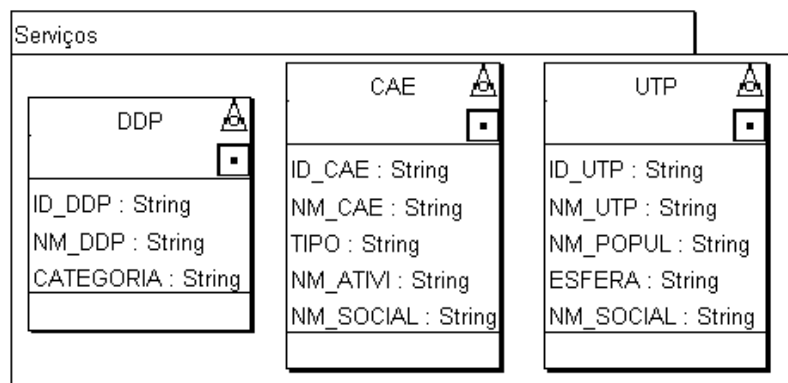


Figura 29: Pacote Serviços Urbanos do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2.12 O Pacote Planta Genérica de Valores

A composição do Pacote Planta Genérica de Valores (PGV) está ilustrada na Figura 30.

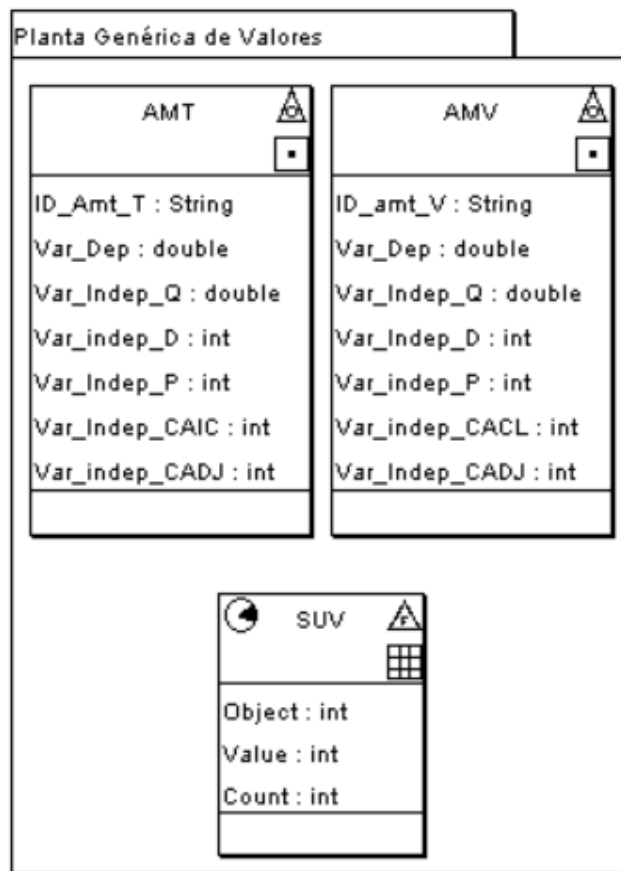


Figura 30: Pacote Planta Genérica de Valores do CTM Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor

O Pacote PGV é formado pelas classes: Amostras de Treinamento (AMT), Amostras de Validação (AMV) e Superfície Unitária de Valores (SUV). Os atributos das classes AMT e AMV do pacote PGV foram pré-definidos conforme as especificações descritas na NBR14653-2, e para a aplicação no modelo de regressão linear como variáveis independentes, sendo classificados como: Variáveis Quantitativas (Var_Indep_Q), Variáveis Dicotômicas (Var_Indep_D), Variáveis Proxy (Var_Indep_P), Códigos Ajustados (Var_Indep_CALC) e Códigos Alocados (Var_Indep_CADJ).

As amostras presentes na classe AMT foram utilizadas para elaborar modelos matemáticos que possibilitaram estimar o VUT em toda a Macro Zona Construída (MZC) do município de Goiânia. As amostras das classes AMV foram utilizadas para validar o modelo matemático. Já a classe SUV tem como função permitir a espacialização da PGV, e por este motivo esta classe apresenta uma relação de dependência com as outras duas classes amostrais do pacote PGV. Além disso, a classe SUV apresenta uma granulação temporal, pois os valores obtidos na superfície são validos em sua plenitude por um intervalo de tempo que varia conforme o mercado imobiliário local.

4.2 MULTI-CRITERIA EVALUATION

4.2.1 Multi-Criteria Evaluation Booleana

As análises booleanas foram aplicadas para caracterizar áreas como aptas ou não aptas à valorização imobiliária e conseqüentemente a elaboração da PGV. As informações presentes nos Pacotes Geomorfologia e Meio Ambiente foram utilizadas como base para análises booleanas.

Foram utilizadas as classes Declividade, Áreas de Preservação Permanente, Unidades de Proteção Integral, Áreas de Proteção Ambiental e Unidades de Uso Sustentável, que após passarem por procedimentos de análise espacial, relacionando condicionantes ambientais e legislativos, derivaram as restrições. Contudo, é prudente mencionar que as áreas de restrições apresentam valor imobiliário agregado, como por exemplo, os parques e zonas de uso sustentável. Porém, o poder público tem o dever de restringir a urbanização, como em APP de nascentes, cursos d'água e áreas com elevadas declividades. A Figura 31 ilustra o mapa de restrições de uso no contexto da valorização imobiliária do município.

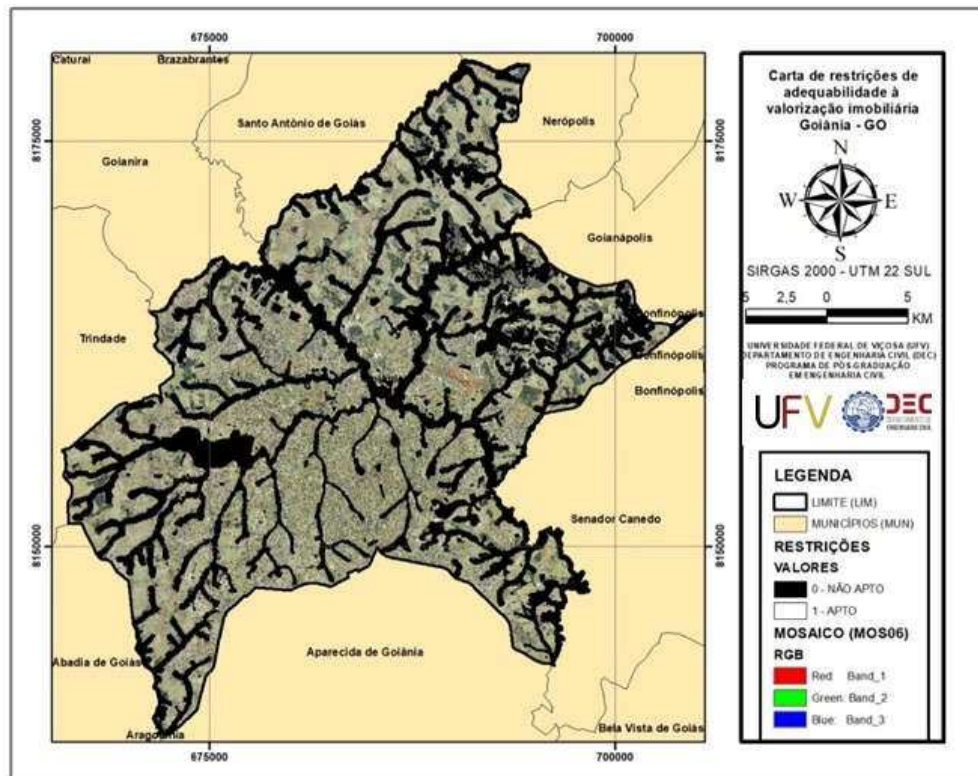


Figura 31: Mapa de restrições à valorização imobiliária da Multi-Criteria Evaluation Booleana do município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

A área total das restrições é equivalente à de 200 km², ou seja, aproximadamente 28% da área total do município. A Figura 32 ilustra o percentual de área classificada como restrição presente em cada Macro Zona analisada.

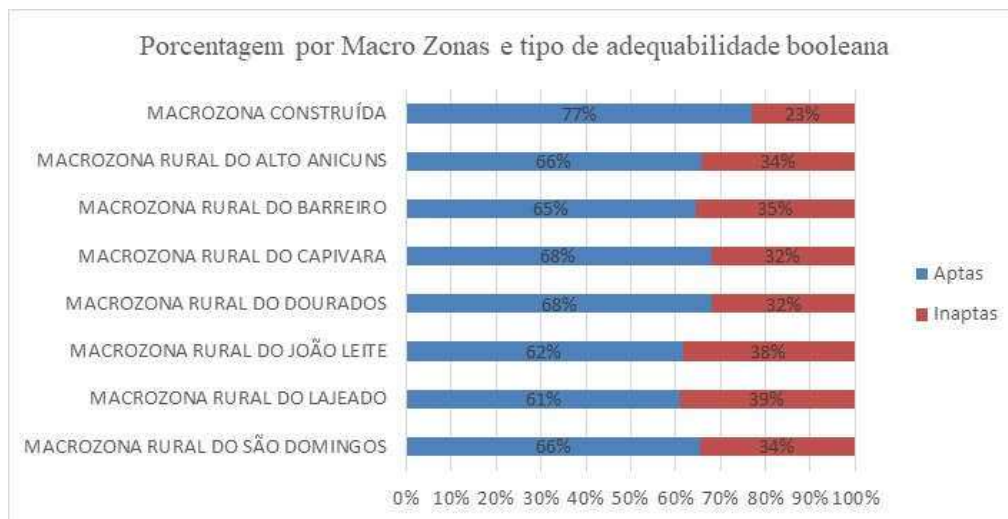


Figura 32: Macrozonas e tipo de adequabilidade booleana para o município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

A Macro Zona Construída é a que apresentou o maior percentual de áreas aptas (77% de sua área). Já as Zonas de Expansão Urbana e Rural apresentaram percentuais parecidos entre si, com uma média de 35% e desvio padrão de 3% de áreas inaptas para a valorização imobiliária. A Figura 33 apresenta o percentual de áreas consideradas aptas ou inaptas para a valorização imobiliária em cada uma das Sete Regiões Administrativas que integram a Macro Zona Construída de Goiânia.

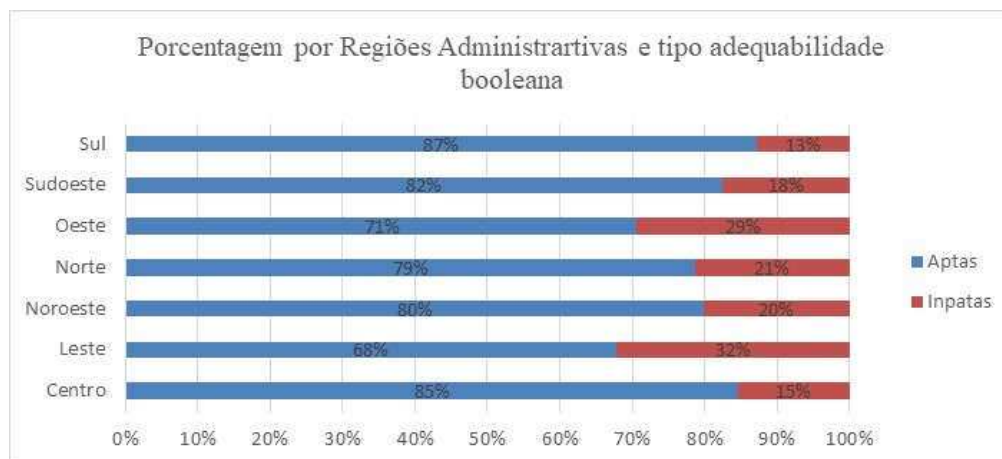


Figura 33: Sete Regiões Administrativas e tipo de adequabilidade booleana para o município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

As Regiões Administrativas Sul, Centro e Sudeste apresentaram o maior percentual de áreas aptas, com 87%, 85% e 82% respectivamente. Em termos imobiliários, a disponibilidade de áreas aptas na região central é um fator de interesse para a gestão pública, pois podem proporcionar áreas para implantação de equipamentos urbanos e comunitários. A Figura 34 demonstra o percentual das restrições nas Regiões oriundas da subdivisão das Sete Regiões Administrativas da Macro Zona Construída.

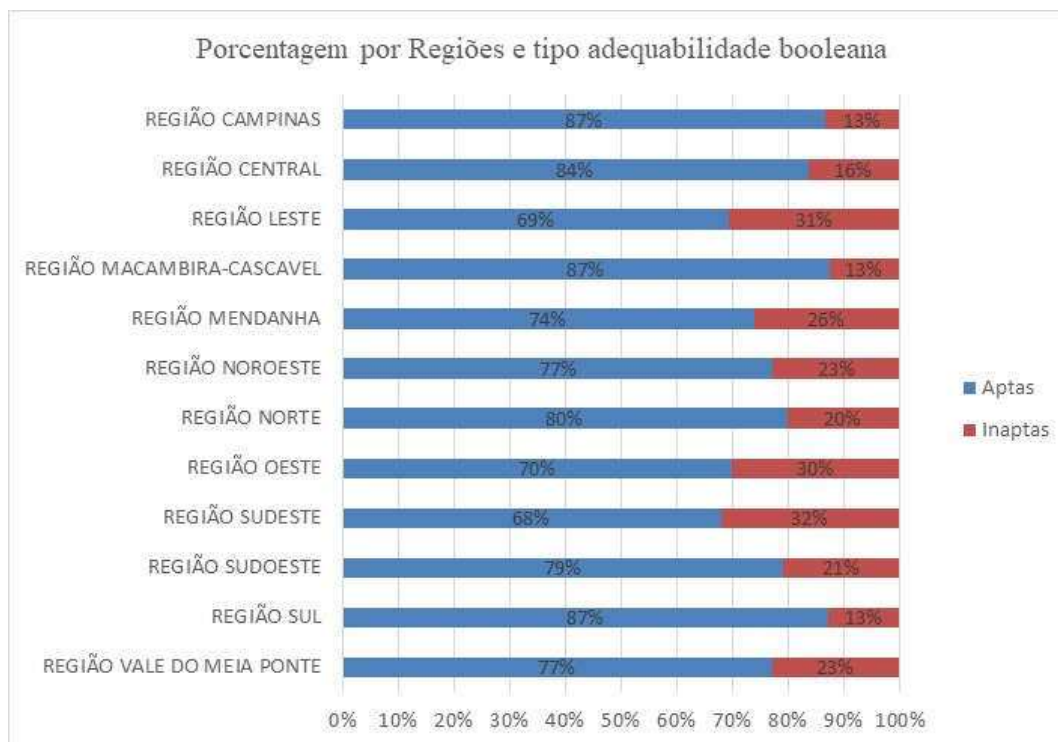


Figura 34: Regiões e tipo de adequabilidade booleana para o município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

A Região Sudeste apresentou 32% de áreas inaptas, isto, devido à grande densidade da rede hidrográfica local. Já a Região Oeste possui 30% de sua área localizada em regiões classificadas como inaptas para valorização imobiliária. Ressalta-se que nessa região está localizada a Área de Preservação Ambiental do Morro do Medanha⁸, que corresponde a 20% da área total da Região Oeste. Em relação aos Distritos localizados nas 161 Microrregiões, 16 deles possuem menos que 10% de suas como áreas inaptas e as Microrregião Jardim Petrópolis, Vila Romana, Santo Antônio e Residencial Aldeia do Vale apresentaram mais de 50% de áreas inaptas.

⁸Área de Preservação Ambiental do Morro do Medanha é o maior fragmento florestal do município.

4.2.2 *Multi-Criteria Evaluation Fuzzy*

A *Multi-Criteria Evaluation* aplicada na presente pesquisa teve como objetivo caracterizar e classificar as diversas regiões do município de Goiânia em termos de sua adequabilidade à valorização imobiliária. Para isso, a metodologia proposta foi particionada em fases operacionais, sendo que na primeira fase foram elaboradas análises multicritério por pacote definido na modelagem conceitual. Já a segunda fase consistiu em integrar os produtos obtidos na fase anterior por meio de análises multicritério globais, de forma a atender a diferentes cenários de adequabilidade à valorização imobiliária para o município em estudo.

Na primeira fase foram realizadas análises individuais para os pacotes Geomorfologia, Transporte e Mobilidade, Educação, Saúde e Assistência Social, Infraestrutura Urbana, Patrimônio Histórico e Cultural, e Serviços Urbanos, visto que, os pacotes Imageamento, Zoneamento Urbano e Mapeamento Urbano Básico não participaram diretamente na MCE. Assim, foram elaborados doze mapas de adequabilidade por meio do método da Combinação Linear Ponderada, sendo sete mapas provenientes dos fatores com pesos iguais e cinco mapas provenientes dos fatores com pesos calculados pelo método AHP (Quadro de 5 a 11), sendo que a Razão de Consistência foi menor que 10% para todas as análises. É importante ressaltar que os pacotes Patrimônio Histórico e Cultural e Serviços Urbanos apresentaram as razões entre os coeficientes de correlação semelhantes e, portanto, a matriz de comparação pareada apresentou valores iguais e pesos iguais.

Os mapas de adequabilidade à valorização imobiliária para cada pacote estão apresentados respectivamente em: Geomorfologia (Figura 35 e Figura 36), Transporte e Mobilidade (Figura 37 e Figura 38), Educação (Figura 39 e Figura 40), Saúde e Assistência Social (Figura 41 e Figura 42), Infraestrutura Urbana (Figura 43 e Figura 44), Patrimônio Histórico e Cultural (Figura 45), e Serviços Urbanos (Figura 46).

Do ponto de vista metodológico, uma MCE com a definição de pesos relativos iguais para todos os fatores da análise é menos complexo do que determinar os pesos por meio do método de análise hierárquico AHP. Entretanto, alguns fatores podem ter maior influência do que os outros em um processo de tomada de decisão, demandando assim uma análise adequada da relação entre os fatores que compõem uma MCE.

Quadro 5: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Geomorfologia do município de Goiânia – GO.

	DEC	VERT	PESOS RELATIVOS
DEC	1		33%
VERT	2	1	67%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 6: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Transporte e Mobilidade do município de Goiânia – GO

	TER	VIA	PTO	COR	EST	PESOSRELATIVOS
TER	1					4%
VIA	4	1				19%
PTO	5	1	1			20%
COR	5	1	1	1		20%
EST	9	2	2	2	1	38%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 7: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Educação do município de Goiânia – GO.

	EDM	EDU	PESOSRELATIVOS
EDM	1		33%
EDU	2	1	67%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 8: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Patrimônio Histórico e Cultural do município de Goiânia – GO.

	PHS	MOM	PESOSRELATIVOS
PHS	1		50%
MOM	1	1	50%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 9: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Saúde e Assistência Social do município de Goiânia – GO.

	SAU	FMD	PESOSRELATIVOS
SAU	1		5%
FMD	19	1	95%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 10: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Infraestrutura Urbana do município de Goiânia – GO.

	PTC	GRE	PRP	PTN	PRC	PESOSRELATIVOS
PTC	1					13%
GRE	1	1				15%
PRP	2	1	1			22%
PTN	2	2	1	1		25%
PRC	2	2	1	1	1	25%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 11: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para o Pacote Serviços Urbanos do município de Goiânia – GO.

	CAE	DDP	UTP	PESOSRELATIVOS
CAE	1			33%
DDP	1	1		33%
UTP	1	1	1	34%

Fonte: Elaborado pelo autor.

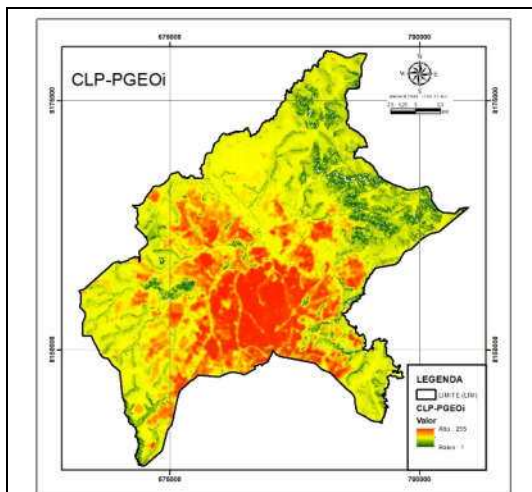


Figura 35: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PGEOi. Fonte: Elaborado pelo autor.

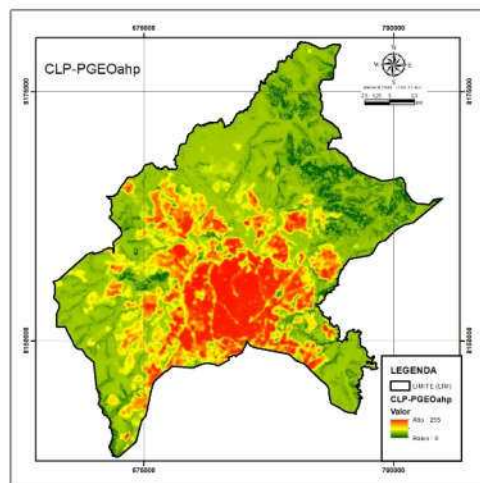


Figura 36: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PGEOahp. Fonte: Elaborado pelo autor.

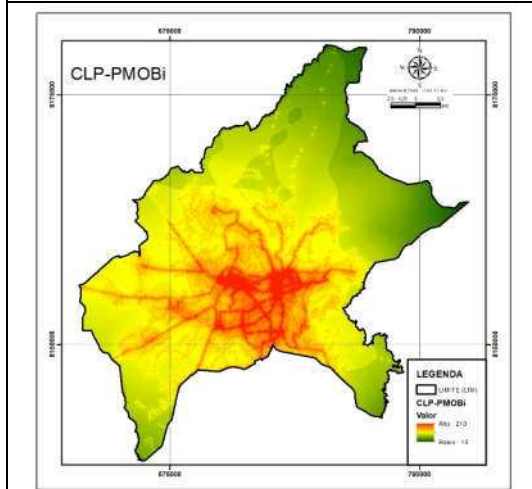


Figura 37: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PMOBi. Fonte: Elaborado pelo autor.

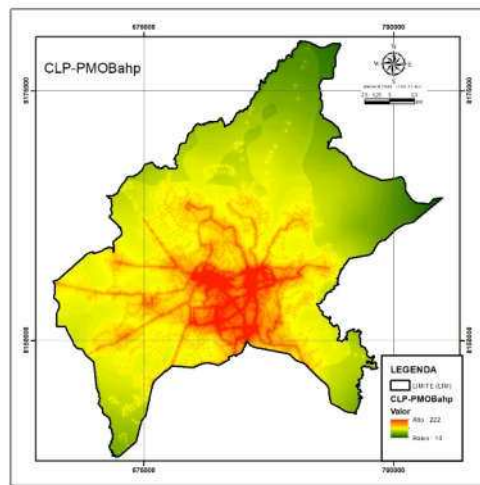


Figura 38: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PMOBahp. Fonte: Elaborado pelo autor.

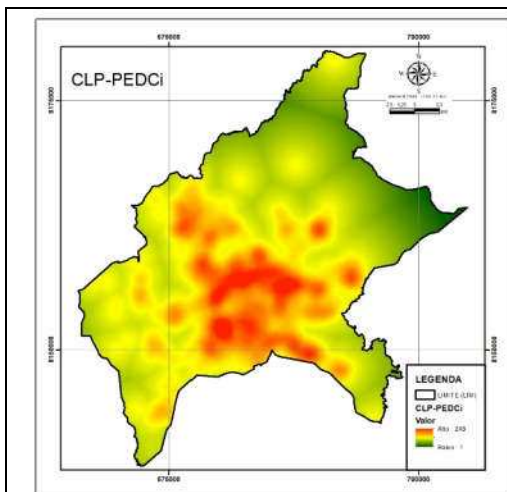


Figura 39: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PEDCi. Fonte: Elaborado pelo autor.

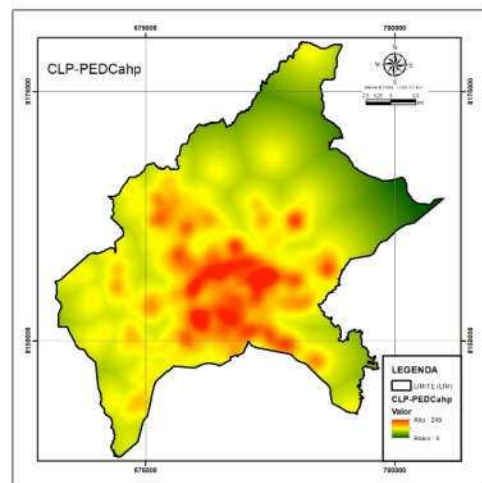


Figura 40: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PEDCahp. Fonte: Elaborado pelo autor.

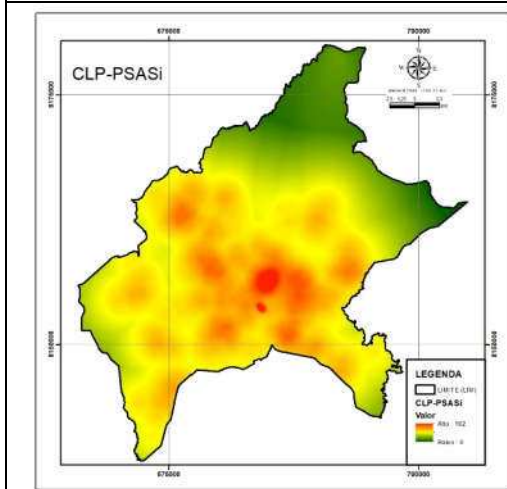


Figura 41: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PSASi. Fonte: Elaborado pelo autor.

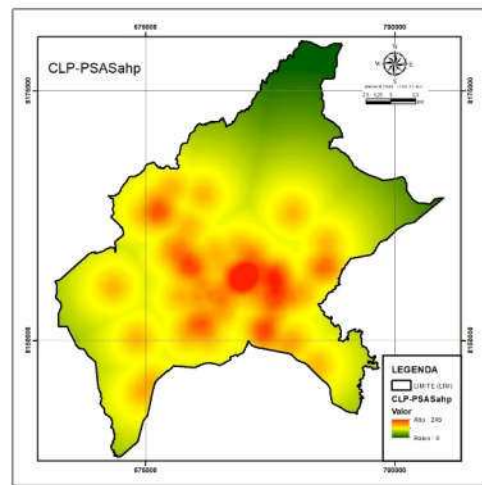


Figura 42: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PSASahp. Fonte: Elaborado pelo autor.

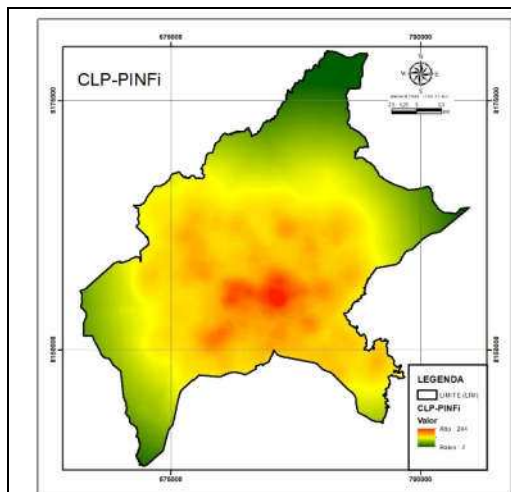


Figura 43: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PINFi. Fonte: Elaborado pelo autor.

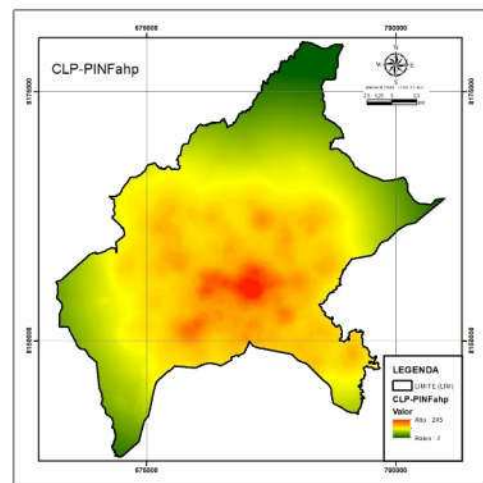


Figura 44: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PINFahp. Fonte: Elaborado pelo autor.

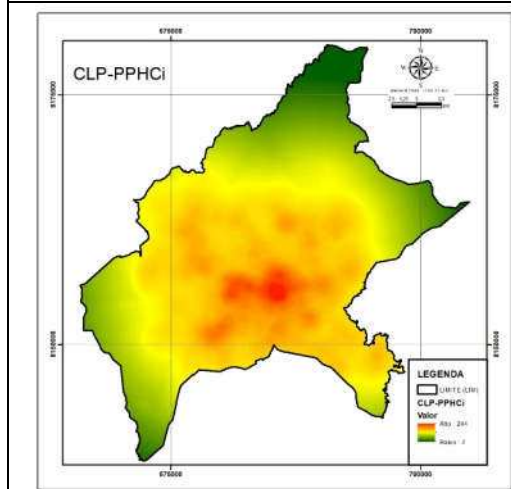


Figura 45: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PPHCi. Fonte: Elaborado pelo autor.

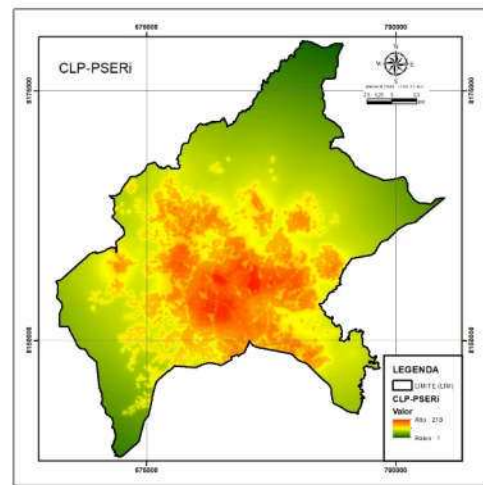


Figura 46: Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária CLP-PSERi. Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao nível do limite municipal, a Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de adequabilidade imobiliária para cada Combinação Linear Ponderada dos Pacotes utilizando os pesos iguais e utilizando os pesos provenientes do método AHP.

Tabela 3: Estatísticas descritivas das Multi-Criteria Evaluation de adequabilidade à valorização imobiliária dos pacotes em relação ao limite municipal de Goiânia – GO

PACOTE	PESOS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Geomorfologia	Iguais	1	255	142	56
	AHP	0	255	114	67
Transporte e Mobilidade	Iguais	10	210	85	28
	AHP	10	222	87	30
Educação	Iguais	1	248	125	38
	AHP	0	246	123	37
Patrimônio Histórico e Cultural	Iguais	2	244	125	35
Saúde e Assistência Social	Iguais	0	192	106	25
	AHP	0	246	109	32
Infraestrutura Urbana	Iguais	2	244	125	35
	AHP	2	245	119	34
Serviços Urbanos	Iguais	1	218	83	35

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar, visualmente e numericamente, que nas MCE realizadas com os pacotes Transporte e Mobilidade, Educação e o Saúde e Assistência Social, os valores de adequabilidade foram semelhantes, seja com pesos iguais ou pelo método AHP. Por outro lado, os pacotes Geomorfologia e Infraestrutura Urbana apresentaram variações que explicitam as diferenças entre os dois métodos de ponderação utilizados.

As análises multicritério individuais de cada pacote têm com resultado mapas temáticos relacionados com a valorização imobiliária, mas que permitem verificar questões temáticas de interesse direto da Gestão Pública.

No contexto do Planejamento Urbano, as MCE dos pacotes podem ser utilizadas de diversas maneiras, como por exemplo: indicadores espaciais do nível de qualidade dos serviços e da infraestrutura urbana; identificação de deficiências na rede de transporte e mobilidade; e na alocação geográfica de escolas, hospitais e praças.

Na segunda fase, os mapas resultantes das MCE realizadas em cada um dos sete pacotes temáticos foram integrados por meio de uma análise multicritério global. Ao final foram elaborados quatro mapas relativas a diferentes cenários com grau de risco e

compensação distintos.

A metodologia empregada para a composição do Cenário 1 foi a que exigiu menor interferência dos analistas. Foram utilizadas as MCE de cada pacote elaboradas com pesos ponderados iguais e para realizar a MCE global também foram utilizados pesos ponderados iguais (Figura 47).

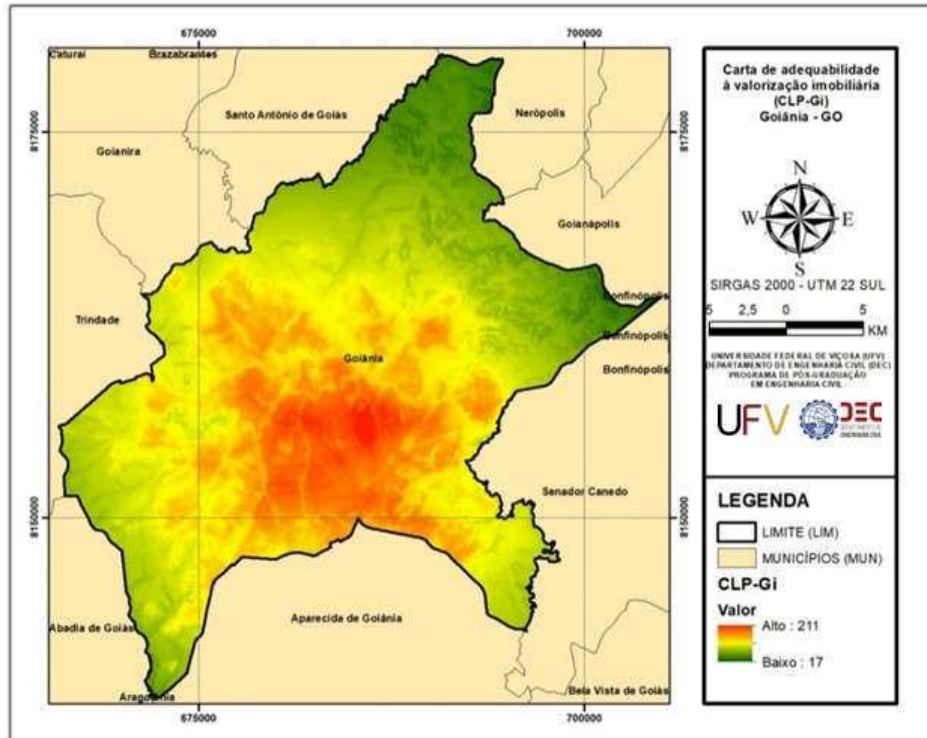


Figura 47: Mapa adequabilidade à valorização imobiliária CLP-Gi do município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Cenários 2, 3 e 4 foram construídos com as MCE dos pacotes que utilizaram pesos provenientes do método AHP. Para estes cenários também foi elaborado uma matriz de comparação par-a-par baseada na razão dos coeficientes de correlação, Quadro 12.

No Cenário 2, foi utilizado o método da Combinação Linear Ponderada, com pesos ponderados AHP e pesos ordenados iguais, ou seja, com risco médio e máxima compensação. Nos Cenário 3 e 4, foi utilizado o método de agrupamento Média Ordenada Ponderada e com pesos AHP. Sendo que no Cenário 3 foram utilizados pesos ordenados com risco baixo e alta compensação e no Cenário 4 pesos ordenados com risco alto e alta compensação. As Figura 48, 49 e 50, apresentam os mapas de adequabilidade dos Cenários 2, 3 e 4 respectivamente.

Quadro 12: Matriz de comparação par-a-par e pesos relativos calculados pelo método AHP para as Multi-Criteria Evaluation Globais dos Cenários 2, 3 e 4 do município de Goiânia – GO

	EDC	SAS	MOB	GEO	SER	PHC	INF	PESOSRELATIVOS
EDC	1							10%
SAS	1	1						11%
MOB	1	1	1					13%
GEO	1	1	1	1				14%
SER	2	1	1	1	1			15%
PHC	2	2	1	1	1	1		17%
INF	2	2	2	1	1	1	1	19%

Fonte: Elaborado pelo autor.

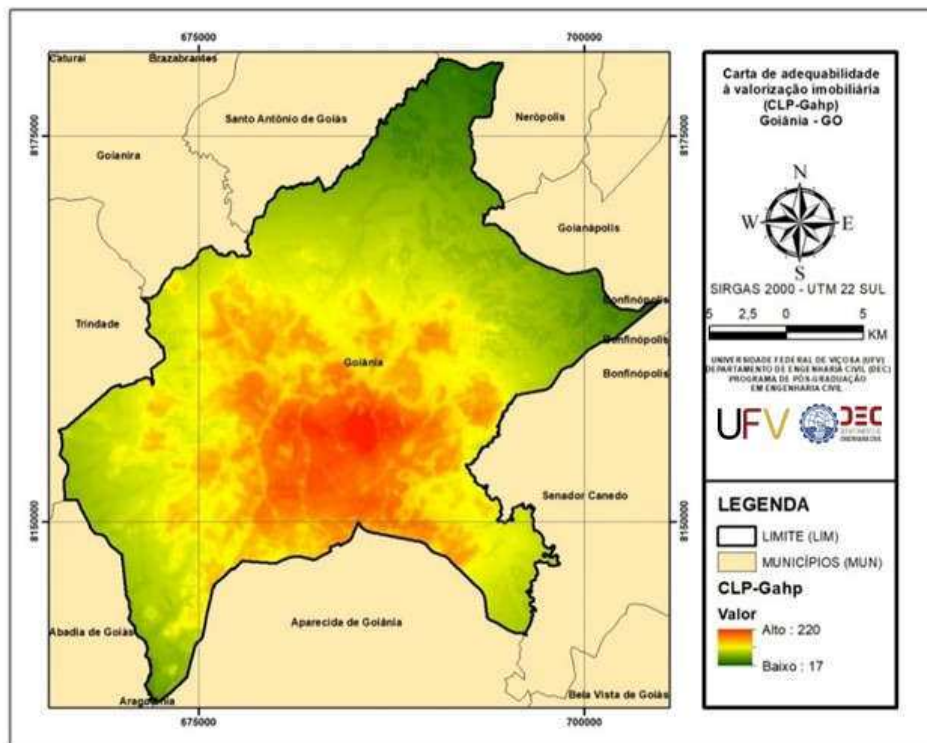


Figura 48: Mapa adequabilidade à valorização imobiliária CLP-Gahp do município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

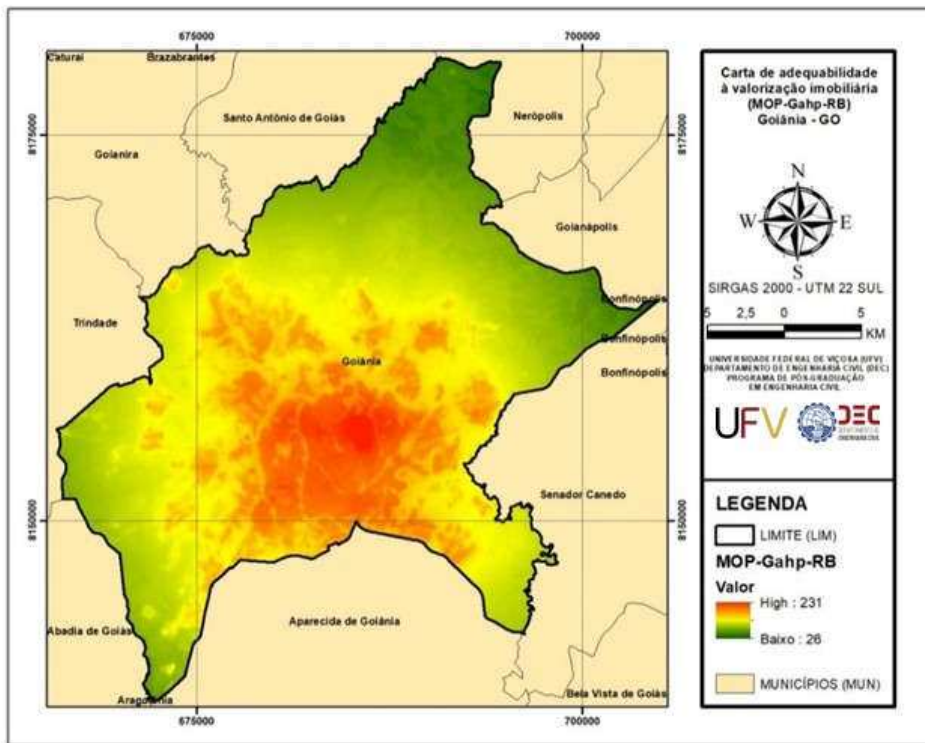


Figura 49: Mapa adequabilidade à valorização imobiliária MOP-Gahp-RB do município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

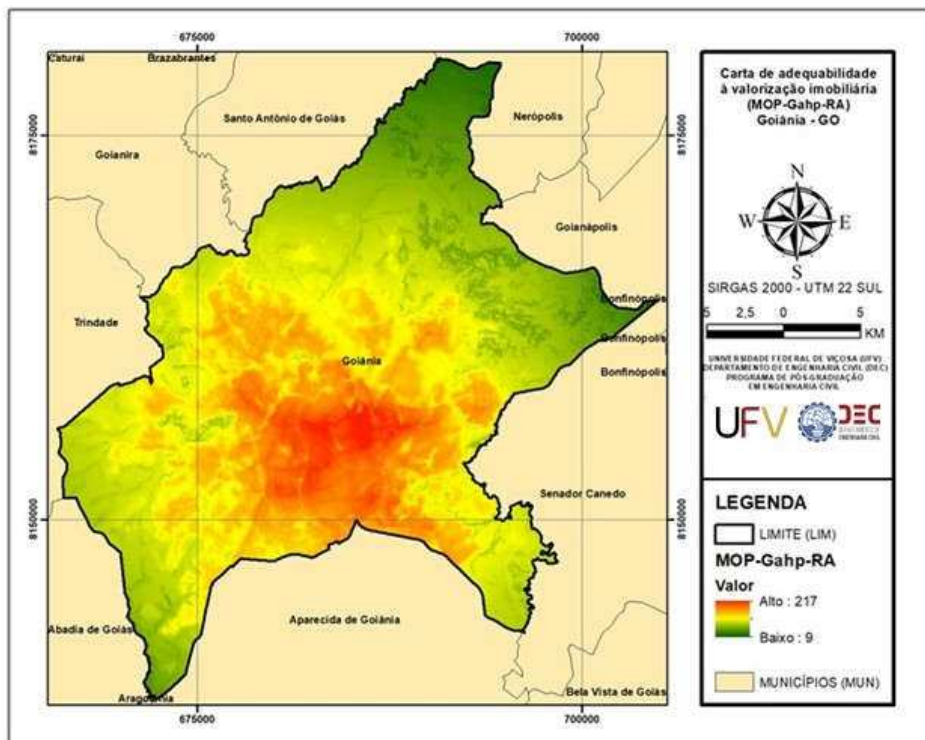


Figura 50: Mapa adequabilidade à valorização imobiliária MOP-Gahp-RA do município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar diferenças visuais nos mapas acima. Porém, ao verificar os histogramas da distribuição dos valores de adequabilidade dos quatro cenários (Figuras 51 a 54), torna-se mais evidente as diferenças entre os métodos utilizados. Além disso, o Quadro 13 apresenta uma estatística descritiva referente ao histograma de cada mapa, os valores de risco e compensação obtida em cada cenário, e a correlação com o VUT.

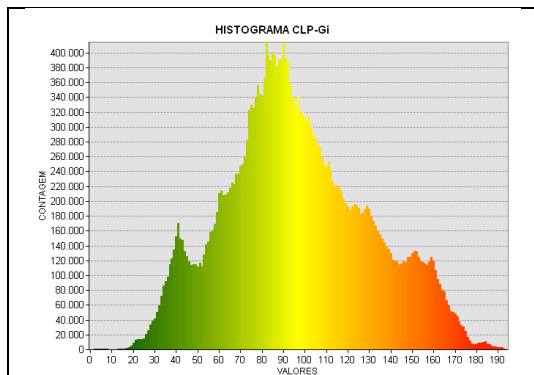


Figura 51: Histograma da CLP-Gi. Fonte: Elaborado pelo autor.

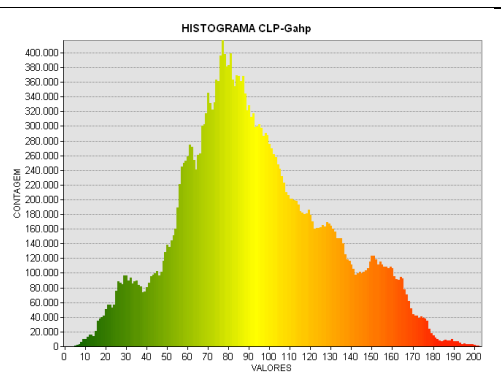


Figura 52: Histograma da CLP-Gahp. Fonte: Elaborado pelo autor.

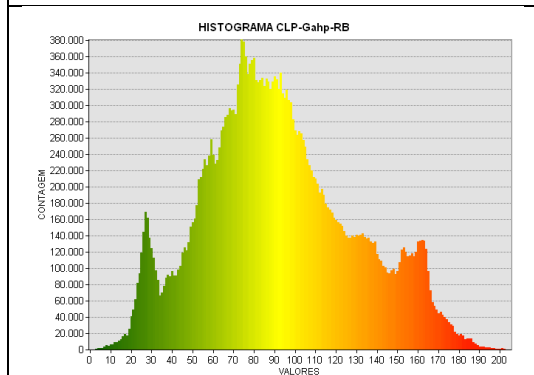


Figura 53: Histograma da CLP-Gahp-RB. Fonte: Elaborado pelo autor.

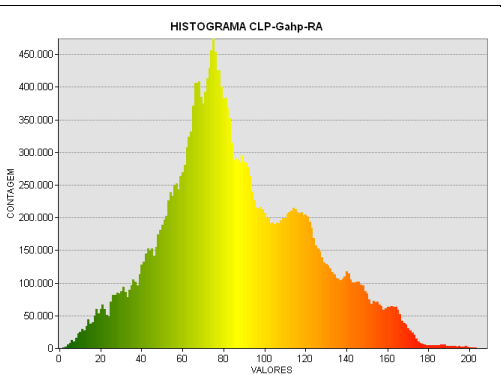


Figura 54: Histograma da CLP-Gahp-RA. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 13: Estatísticas básicas e parâmetros utilizados para elaboração dos cenários de adequabilidade a valorização imobiliária do município de Goiânia – GO

Cenário	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Risco	Compensação	Correlação com VUT
1	17	211	113	33	0,50	1,00	0,37
2	17	220	109	35	0,50	1,00	0,40
3	26	231	118	36	0,36	0,82	0,41
4	9	217	95	34	0,68	0,77	0,36

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 13, é possível analisar as estatísticas descritivas básicas dos valores de adequabilidade nos quatro cenários. Nota-se que, entre os Cenários 1 e 2 não houve grande variações das estatísticas descritivas nos valores adequabilidade. Nos Cenário 3 e 4, a atribuição de pesos ordenados e consequente variação do risco e compensação, acarretou mudanças entre os dois cenários. Além disso, é possível examinar que o coeficiente de correlação entre os cenários e o VUT, proveniente das amostras de valores, foram semelhantes nos quatro métodos.

No contexto da gestão tributária, todos os cenários são úteis para a tomada de decisão, pois permitem comparar modelos conservadores e de alto risco. Porém, devido aos parâmetros de baixo risco, alta compensação e melhor coeficiente de correlação obtidos pelo Cenário 3, o mesmo foi escolhido para realizar as análises espaciais em relação ao Pacote Zoneamento Urbano.

As análises com a estrutura administrativa municipal são utilizadas para explicitar comportamentos e relacionamentos que podem influenciar nos valores dos imóveis. E assim, determinar áreas homogêneas de adequabilidade a valorização imobiliária, que são utilizadas para setorização na elaboração da Planta Genérica de Valores.

A Figura 55 apresenta as estatísticas descritivas básicas dos valores de adequabilidade à valorização imobiliária das Macro Zonas do município.

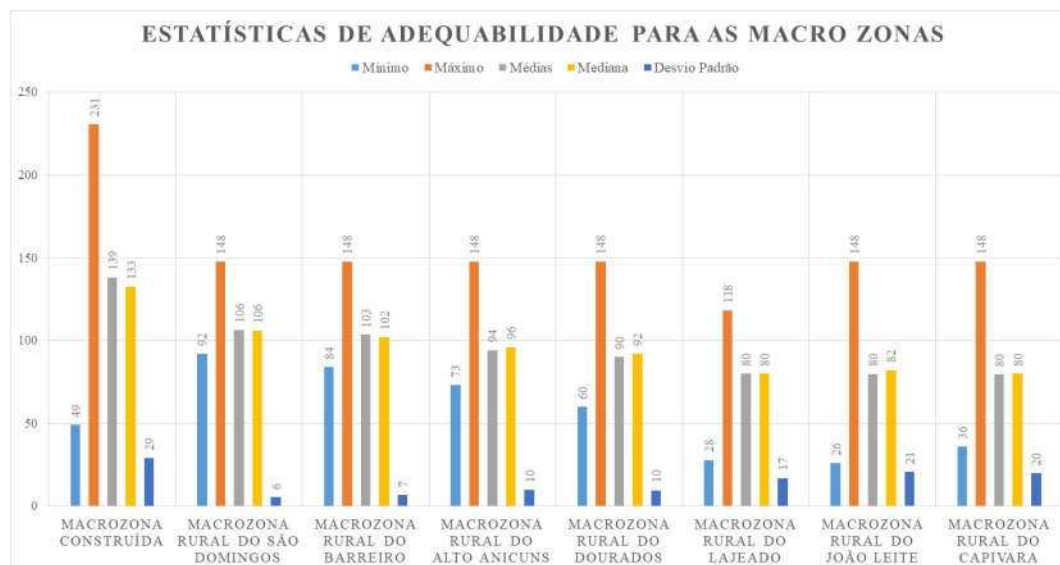


Figura 55: Estatísticas descritivas básicas dos valores de adequabilidade a valorização imobiliária para Macro Zonas do município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

Examinando o gráfico, pode-se verificar que o valor máximo (231) ocorreu na Macro Zona Construída, contra um valor praticamente constante (148) em relação às outras regiões. Além disso, a MCZ apresentou a maior média (138) e mediana (133), seguida pelas Macro Zonas Rurais do São Domingos e Barreiro. Este comportamento era esperando visto que é a MZC possui maior quantidade de equipamento urbanos e comunitários, além de que as outras duas Macro Zonas são áreas de expansão urbanas. As Macro Zonas Rurais do João Leite e do Lajeado apresentaram os menores valores médios e mínimos, evidenciando a baixa adequabilidade à valorização imobiliária. Em relação aos parâmetros avaliados

A Figura 56 expande as análises dos valores de adequabilidade para as Sete Regiões Administrativas que integram a MZC.

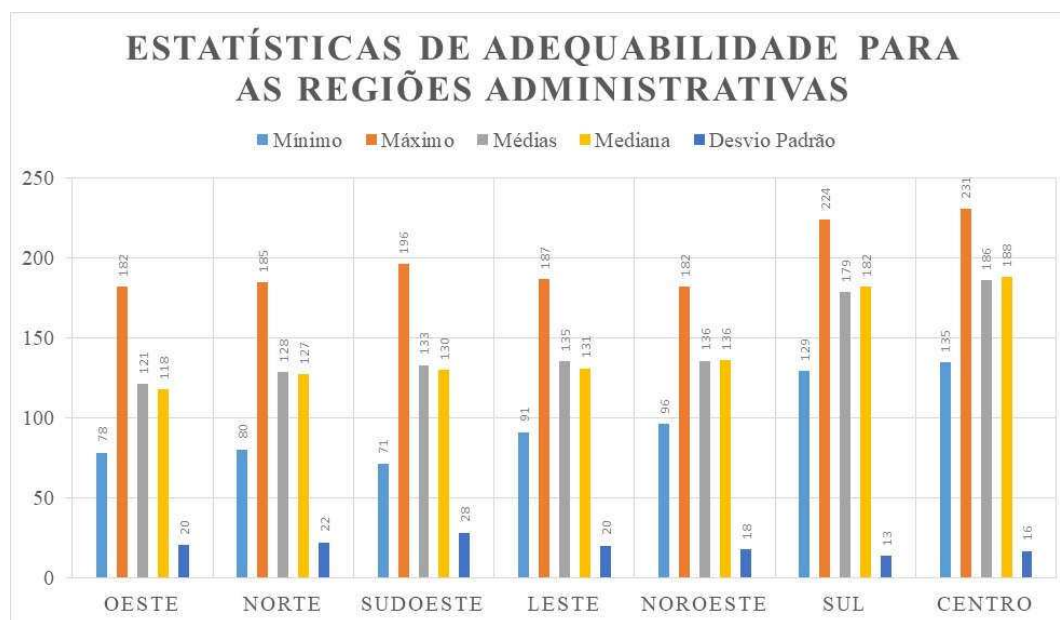


Figura 56: Estatísticas descritivas básicas dos valores de adequabilidade a valorização imobiliária para Regiões Administrativas do município de Goiânia – GO. Fonte:

Elaborado pelo autor.

As Regiões Administrativas do Centro e a do Sul apresentaram os valores de máximos, média e mediana superiores aos valores das demais regiões administrativas, bem como os menores desvio padrão. Os valores elevados de adequabilidade à valorização imobiliária nas Regiões Administrativas do Centro e a do Sul pode ser decorrente do fato que concentram os polos comerciais do município de Goiânia, e fazem conurbação com a região central do município de Aparecida de Goiânia. Em contrapartida, as Regiões Administrativas Oeste e Norte apresentaram os valores de mínimo, média e mediana inferiores entre todas as sete regiões, o que demonstra um

reflexo da baixa estrutura urbana na valorização imobiliária.

As Regiões são subdivisões das Sete Regiões Administrativas e seguem um padrão de adequabilidade a valorização imobiliária, conforme Figura 57.

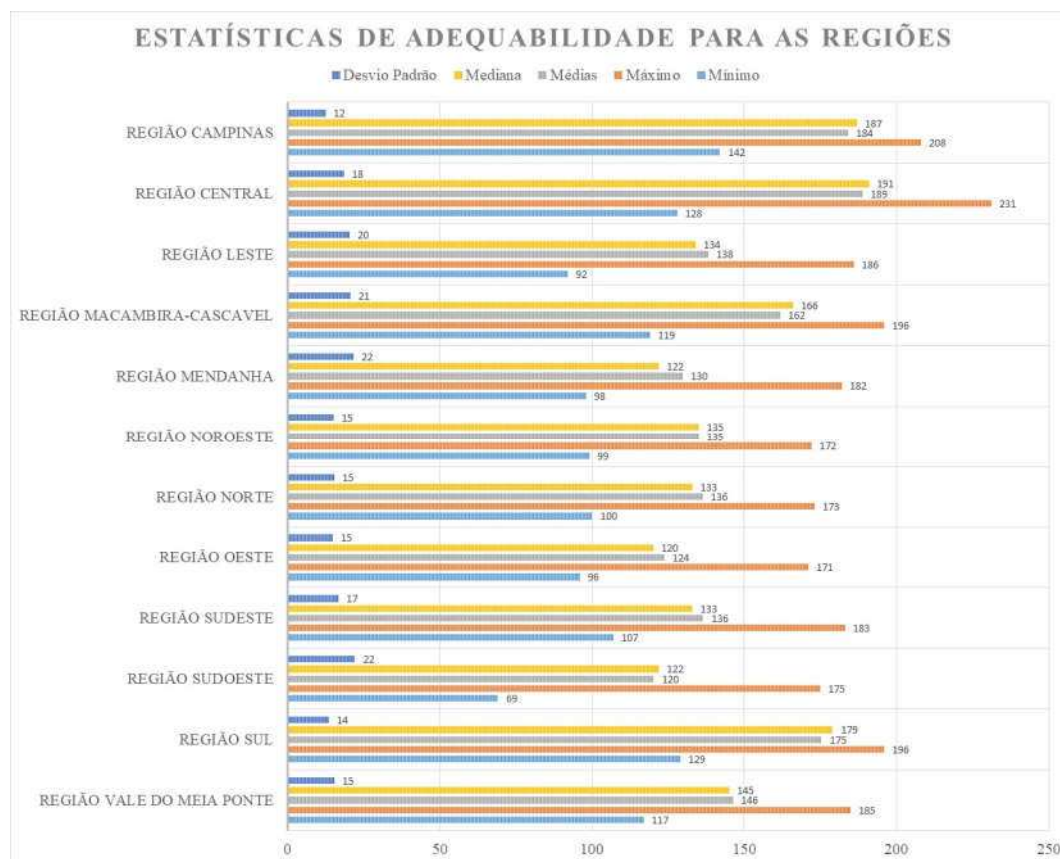


Figura 57: Estatísticas descritivas básicas dos valores de adequabilidade a valorização imobiliária para Regiões do município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

As Regiões Central e Campinas, que são especializações da Região Administrativa do Centro, são as que apresentam os valores de máximos, média e mediana superiores às demais. Em contrapartida, as Regiões Sudeste e Oeste apresentaram os valores de mínimo, média e mediana inferiores entre todas as Regiões.

Em relação aos Distritos ou Microrregiões, os maiores valores de adequabilidade seguiram a tendência geral de valorização das regiões centrais. Porém, pode-se observar que 47% dos 81 Distritos analisados apresentaram desvio padrão menor que 10, e o maior valor de desvio padrão (20) foi o da Microrregião Novo Horizonte.

De modo a integrar as análises de restrição com as de adequabilidade a valorização imobiliária, foi elaborada um mapa geral, ilustrada na Figura 58.

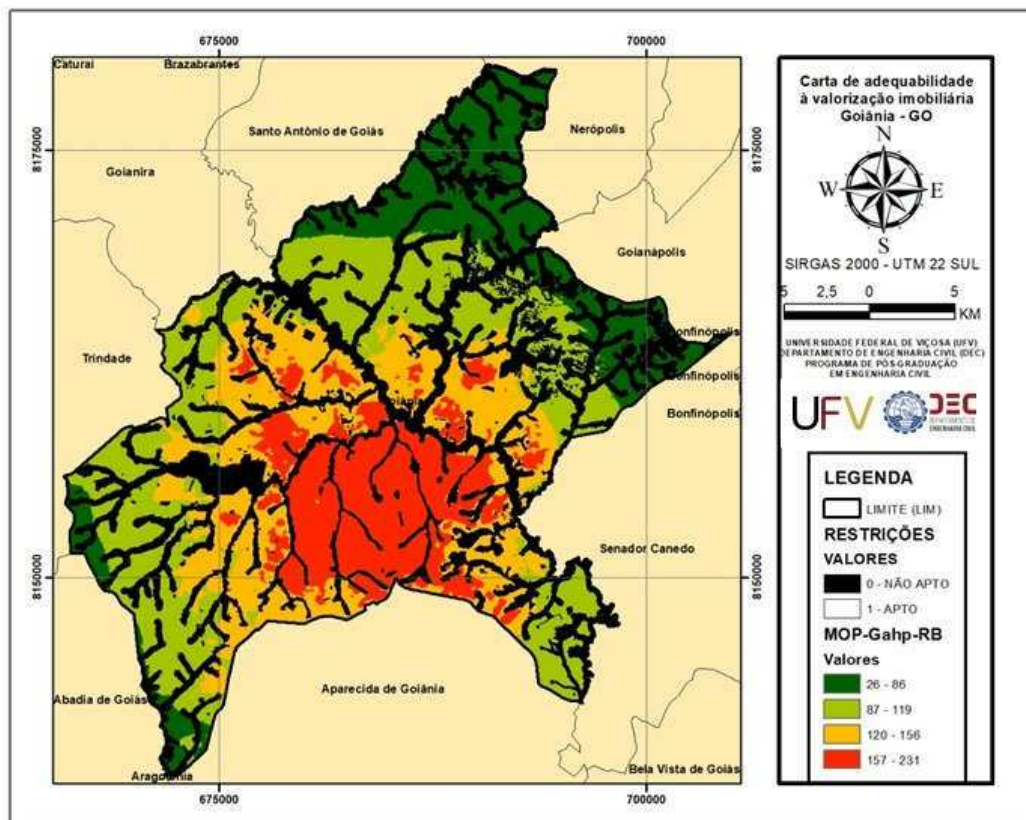


Figura 58: Mapa adequabilidade à valorização imobiliária para o cenário 3 do município de Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

A escala contínua de adequabilidade expressa os valores de forma gradual e suave. Contudo, ela apresenta limitações para realizar análises de agrupamento e a verificação de padrões. Sendo assim, foi utilizado o algoritmo de classificação *Jenks*. O algoritmo realiza a reclassificação de uma escala contínua de valores em classes discretas por meio de um agrupamento natural e inerente aos dados. Logo, ele procura minimizar o desvio médio dentro das classes e maximizar o desvio médio entre as classes.

4.3 MODELAGEM ESTATÍSTICA

4.3.1 Modelo Clássico de Regressão Linear

De modo geral, das 1059 amostras de valores imobiliários extraídas pela *Web Scraping*, foram geocodificadas e validadas 469, ou seja, um aproveitamento de 44%.

Preliminarmente ao desenvolvimento dos modelos de avaliação, foram utilizadas técnicas de Análise Exploratória dos Dados (AED). Os objetivos de uma AED consistem em detectar padrões conhecidos (ou verificar se são desconhecidos), verificar a necessidade ou não da transformação nas escalas dos dados, propiciar indicativos sobre as variáveis a serem empregadas para a segmentação dos dados e evitar quebra de pressupostos do modelo de regressão (CESARE, 2012).

O histograma é um dos gráficos estatístico mais utilizados para avaliar a distribuição de uma variável, pois possibilita uma representação discreta da função de densidade da variável. A Figura 59 ilustra o histograma do VUT das 469 amostras e sobreposto uma linha que representam curva suavizada da distribuição.

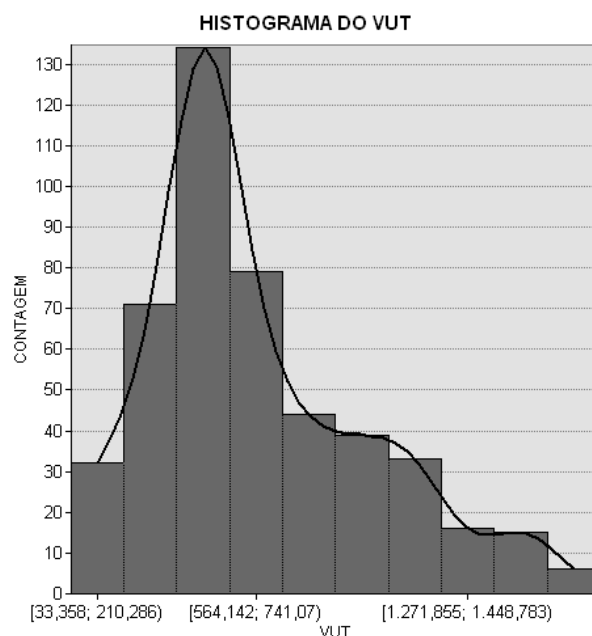


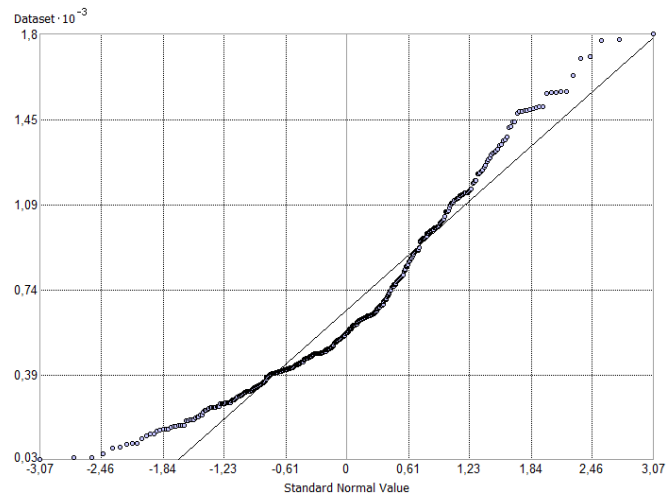
Figura 59: Histograma do VUT das amostras brutas. Fonte:

Elaborado pelo autor.

É possível observar visualmente que o histograma apresenta uma assimetria positiva e uma curtose do tipo leptocúrtica, ou seja, a distribuição apresenta uma curva de frequência mais fechada e aguda em sua parte superior.

Outra representação bastante utilizada para verificar a normalidade dos dados é o gráfico Quartil-Quartil (QQ), nos quais os quartis de duas distribuições são plotados em relação um ao outro. Se os dados forem distribuídos normalmente, os pontos recairão no

gráfico Q-Q sobre a linha de referência de 45 graus, caso contrário, os pontos se desviarão da linha de referência. A Figura 60 ilustra um gráfico QQ para a amostra do VUT.



*Figura 60: Gráfico QQ para o VUT em relação a uma distribuição normal padrão.
Fonte: Elaborado pelo autor.*

Os valores das estatísticas descritivas tornam evidentes que os valores de VUT não seguem a distribuição normal (Quadro 14), pois não apresentam características como: os valores de média, mediana e moda próximos, além da assimetria e ser mesocúrtica, entre outras (DANTAS, 2005).

Quadro 14: Valores das estatísticas descritivas para o VUT

Medidas estatísticas descritiva	VUT (R\$/m²)
Contagem	496
Mínimo	33,36
1º Quartil	404,54
Mediana	592,00
Média	785,33
3º Quartil	973,03
Máximo	10349,00
Assimetria	5,92
Curtose	58,65
Desvio Padrão	790,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

A verificação da presença de *Outliers* foi realizada utilizando o método do *Box Plot* (Figura 61). Com a aplicação dessa técnica foram detectados seis *Outliers*, os quais foram saneados da amostra.

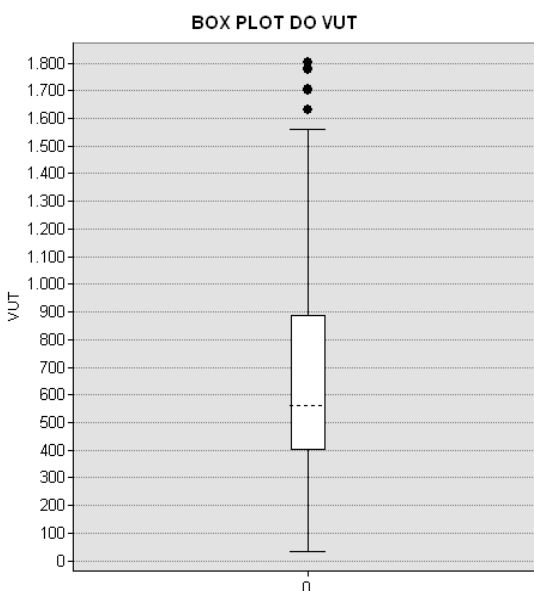


Figura 61: Estatísticas descritivas e Box Plot do VUT.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Não-Multicolinearidade foi garantida utilizando a técnica *Random Forest Recursive Feature Elimination*. Assim, das 193 variáveis independentes iniciais, foram selecionadas apenas 6, ou seja, 97% das variáveis foram eliminadas. O Quadro 15 apresenta as variáveis selecionadas.

Quadro 15: Variáveis independentes selecionadas e suas características.

Descrição	Tipo	Fuzzy	Sigla
Patrimônio Histórico	Faixas de Distância	<i>Sigmoidal</i>	PHS_DIST_FUZZY_S
<i>Multi-Criteria Evaluation</i>	Combinação Linear Ponderada	<i>Linear</i>	CLP_PGEOI
Delegacia de Polícia	Densidade de Kernel	<i>Sigmoidal</i>	DDP_KERNEL_FUZZY_S
Praças	Densidade de Kernel	<i>J-Shaped</i>	PRC_KERNEL_FUZZY_J
Estabelecimentos de Educação	Faixas de Distância	<i>J-Shaped</i>	EDU_DIST_FUZZY_J
Corredores Principais	Faixas de Distância	<i>J-Shaped</i>	COR_DIST_FUZZY_J

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida foi realizada a análise dos gráficos de dispersão entre a variável dependente e as variáveis independentes em escala original. Esta análise é importante para verificar as relações de linearidade entre as variáveis de modo a realizar uma modelagem mais coerente com a realidade do mercado local. A Figura 62 apresenta os gráficos de dispersão entre a variável dependente e as independentes.

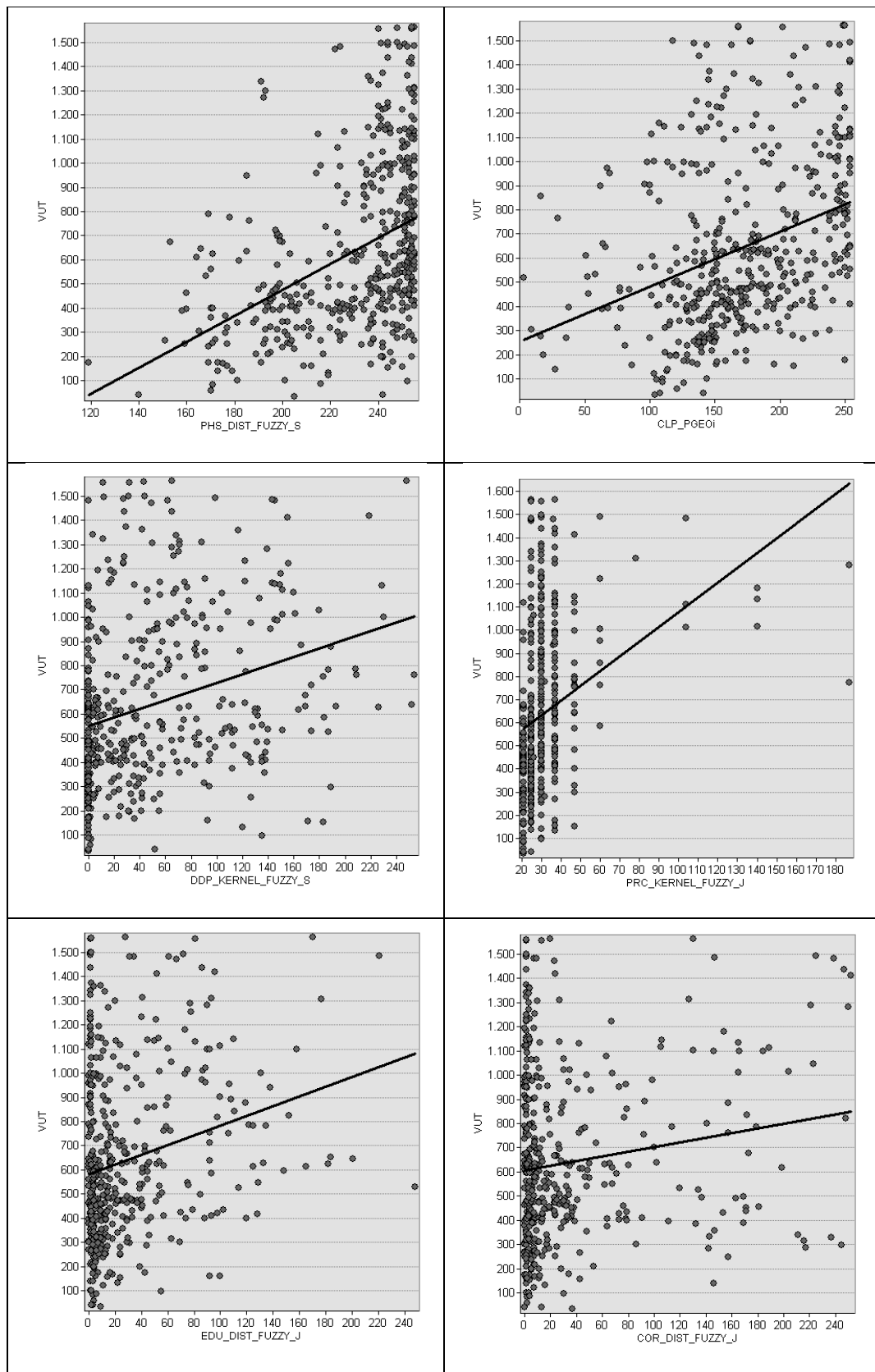


Figura 62: Gráficos de dispersão entre a variável dependente e as variáveis independentes. Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar, pelo comportamento dos gráficos de dispersão, que as variáveis independentes podem sofrer transformações para a correta formulação dos modelos de modo a evitar a quebra do pressuposto de linearidade.

O Modelo Clássico de Regressão Linear foi elaborado após diversas interações, transformações e testes estatísticos. No primeiro modelo (MCRL₀) todos os regressores foram aceitos, pois os resíduos passaram no teste de normalidade e os valores estimados ficaram dentro do intervalo de confiança. Porém, o MCRL₀ apresentou 36 *outliers* e o teste de autocorrelação foi positivo. Assim, para atender aos pressupostos estipulados foram retirados os *outliers* e elaborado um novo modelo, intitulado de MCRL₁.

O MCRL₁ apresentou melhoras de ajuste em relação ao MCRL₀, mas ainda apresentou 27 *outliers* e não passou no teste de autocorrelação. Do mesmo modo, foram retirados os *outliers* do MCRL₁ e elaborado um novo modelo, denominado de MCRL₂. Este apresentou resultados significativos de ajuste, pois os valores estimados ficaram dentro do intervalo de confiança, todos os seis regressores foram aceitos, os resíduos passaram no teste de normalidade sem autocorrelação e *outliers*.

Os resultados gerais da qualidade do modelo MCRL₂ estão apresentados na Tabela 4, e demonstram alto coeficiente de correlação, baixo desvio padrão, aprovação no teste *t de Student* e o R² ajustado revelando que 58% do modelo explica os valores dos imóveis observados. A Equação 17 apresenta o MCRL₂.

Tabela 4: Resultados gerais sobre a qualidade do modelo de regressa.

Resultados	Valor
Nº de elementos da amostra	354
Nº de variáveis independentes	6
Nº de graus de liberdade	347
Desvio padrão da regressão	6,5724x10 ⁻⁴
Coeficiente de Correlação (R)	0,7644
Valor t calculado	22,5
Valor t tabelado (t crítico)	2,590 (para o nível de significância de 10,00 %)
Coeficiente de Determinação (R ²)	0,5844
Coeficiente R ² ajustado	0,5774

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para garantir o pressuposto da Linearidade do Modelo Clássico de Regressão Linear foi necessário aplicar transformações, tanto na variável dependentes quantos nas independentes, de modo que a transformação utilizada foi a que apresentou melhor resultado no teste *t de Student*, a Equação 17, apresenta o modelo matemático na escala do inverso dos preços.

$$1/[VUT] = 3,4924 \times 10^{-3} - \{1,4586 \times 10^{-10} \times [PHS_DIST_FUZZY_S]^3\} - \{2,5541 \times 10^{-11} \times [CLP_PGE0i]^3\} + \{4,5424 \times 10^{-4} \times \text{Exp}(-[DDP_KERNEL_FUZZY_S])\} + \{8,1695 / [PRC_KERNEL_FUZZY_J]^3\} - \{1,8002 \times 10^{-3} \times \text{Exp}(-[EDU_DIST_FUZZY_J])\} + \{4,1573 \times 10^{-5} \times [COR_DIST_FUZZY_J]^{1/3}\} \quad (17)$$

Observa-se o modelo elaborado possui todas as variáveis com algum tipo de transformação. Para a variável dependente foi utilizada a transformação Inversa, já para as variáveis independentes foram utilizadas a seguintes transformações: Patrimônio Histórico (Cúbica), *Multi-Criteria Evaluation* do Pacote Geomorfologia (Cúbica), Delegacia de Polícia (Inversa Exponencial), Praças (Inversa Cúbica), Estabelecimentos de Educação (Inversa Exponencial) e Corredores Principais (Inversa Raiz Cúbica).

Para analisar a coerência das variáveis independentes em relação à variável dependente, ou seja, a influência de cada tema na valorização dos imóveis, foi aplicado um processo algébrico para isolar a variável dependente, conforme Equação 18 na escala dos preços.

$$[VUT] = 1 / (3,4924 \times 10^{-3} - \{1,4586 \times 10^{-10} \times [PHS_DIST_FUZZY_S]^3\} - \{2,5541 \times 10^{-11} \times [CLP_PGE0i]^3\} + \{4,5424 \times 10^{-4} \times \text{Exp}(-[DDP_KERNEL_FUZZY_S])\} + \{8,1695 / [PRC_KERNEL_FUZZY_J]^3\} - \{1,8002 \times 10^{-3} \times \text{Exp}(-[EDU_DIST_FUZZY_J])\} + \{4,1573 \times 10^{-5} \times [COR_DIST_FUZZY_J]^{1/3}\}) \quad (18)$$

A distância ao Patrimônio Histórico é diretamente proporcional a valorização imobiliária, ou seja, quanto maior a distância mais valorizado. Uma hipótese para este comportamento é que nestas regiões estão alocadas as principais construções históricas do município e logo apresentam tombamentos ou o interesse pelo poder público em registrá-los como parte integrante do patrimônio histórico, de modo que, são pouco atrativas para valorização imobiliária, pois a manutenção é onerosa.

A *Multi-Criteria Evaluation* do Pacote Geomorfologia é diretamente proporcional ao valor dos imóveis. Assim, locais com alta densidade de verticalização e em regiões

planas são mais valorizadas em termos de adequabilidade.

Na variável independente relacionada à densidade das Delegacias de Polícia, foi verificada a relação direta de proporcionalidade ao valor dos imóveis, ou seja, a maior densidade de delegacias traz maior segurança ao imóvel e aos cidadãos, refletindo de forma positiva no valor imobiliário.

A variável independente referente à densidade de Praças foi diretamente proporcional a variável dependente, pois este fato pode estar ligado à questão da disponibilidade de áreas de lazer e recreação destinadas à população.

A proximidade aos Estabelecimentos de Educação foi inversamente proporcional a valor unitário de terreno, ou seja, quanto maior a distância, menor valorização imobiliária. Este fato está ligado à presença de equipamento comunitários da educação.

A proximidade aos Corredores Principais também foi inversamente proporcional no modelo, ou seja, quanto maior a distância, menos valorizado foram os imóveis. A proximidade ao sistema de transporte coletivo é um fator importante para o desenvolvimento do mercado imobiliário nas grandes cidades e expressam a capacidade de acessibilidade em atendimento às necessidades de deslocamento das pessoas e de bens.

No que tange à qualidade dos regressores, o Quadro 16 apresenta um resumo dos valores estatísticos utilizados nas estimativas. Além disso, considerando o teste *t de Student Unicaudal*, com significância de 10,00%, todos os valores de *t* calculado são maiores, em módulo, que o *t* tabela do (crítico), que é de 1,2839. Logo, pode-se afirmar que todos os coeficientes são importantes na formação do modelo.

Quadro 16: Estimativas e significância dos Regressores.

Variáveis	Coefficiente	Erro padrão	Mínimo	Máximo	t Calculado	Significância
PHS_DIST_ FUZZY_S	b1 = -1,4585x10-10	1,2757x10-11	-1,6223x10-10	-1,2948x10-10	-15,31	-1,1x10-17%
CLP_PGEOi	b2 = -2,5540x10-11	8,8667x10-12	-3,6924x10-11	-1,4156x10-11	-3,58	0,04%
DDP_KERNEL_ FUZZY_S	b3 = 4,5424x10-4	8,9566x10-5	3,3924x10-4	5,6923x10-4	5,651	3,2x10-6%
PRC_KERNEL_ FUZZY_J	b4 = 8,16940000	1,31300000	6,48360000	9,85530000	7,425	8,2x10-11%
EDU_DIST_ FUZZY_J	b5 = -1,8001x10-3	1,9606x10-4	-2,0519x10-3	-1,5484x10-3	-10,62	6,0x10-17%
COR_DIST_ FUZZY_J	b6 = 4,1572x10-5	2,7228x10-5	6,6142x10-6	7,6530x10-5	1,828	6,80%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Análise da Variância (ANOVA) do modelo de regressão linear foi realizada por meio da decomposição da soma dos quadrados e utilizar o teste *F de Fisher-Snedecor* para verificar a hipótese da existência da regressão, conforme Tabela 5. Assim, o F tabelado foi de 2,852 (para o nível de significância de 1,0%) e como o F calculado foi igual 84,36, aceita-se a hipótese de existência da regressão, sendo a significância do modelo igual a $1,3 \times 10^{-63}\%$.

Tabela 5: Análise da variância - ANOVA

Fonte de erro	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	$2,1864 \times 10^{-4}$	6	$3,6440 \times 10^{-5}$	
Residual	$1,5551 \times 10^{-4}$	347	$4,3197 \times 10^{-7}$	84,36
Total	$3,7415 \times 10^{-4}$	353	$1,0222 \times 10^{-6}$	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na utilização do MCRL é importante verificar se todos os pressupostos foram atendidos de modo que as estimativas possam ser utilizadas com segurança. Assim, foram realizadas as análises da Linearidade, Micronumerosidade, Não-Multicolinearidade, Normalidade, Homocedasticidade, Não-Autocorrelação e inexistência de *outliers*.

Como visto, a Não-Linearidade entre as variáveis foi constatada pelos gráficos da variável dependentes versus cada variável independente. Contudo, na formação do modelo foram realizadas transformações de modo a garantir a linearidade.

A Micronumerosidade não foi um problema para modelagem nesta pesquisa, pois, a modelagem apresentou um grau de liberdade de 353 dados, sendo que 42 dados eram o mínimo necessário. Desse modo, com o uso do algoritmo *Scraping*, pode-se obter um grande número de amostras em um curto intervalo de tempo.

A Não-Multicolinearidade foi resguardada utilizando a técnica *Random Forest Recursive Feature Elimination* e a Matriz de Correlações Parciais (Tabela 6), com limiar de 0,8 conforme estabelecido pelo NBR 14653-2.

Tabela 6: Matriz de Correlações Parciais.

	VUT	PHS_DIST_ FUZZY_S	CLP_PGEOi	DDP_KERNEL_ FUZZY_S	PRC_KERNEL_ FUZZY_J	EDU_DIST_ FUZZY_J	COR_DIST_ FUZZY_J
VUT	1,00						
PHS_DIST_ FUZZY_S	0,48	1,00					
CLP_PGEOi	0,32	0,43	1,00				
DDP_KERNEL_ FUZZY_S	0,32	0,40	0,35	1,00			
PRC_KERNEL_ FUZZY_J	0,33	0,26	0,36	0,37	1,00		
EDU_DIST_ FUZZY_J	0,24	0,32	0,51	0,38	0,28	1,00	
COR_DIST_ FUZZY_J	0,14	0,22	0,34	0,24	0,38	0,25	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à Normalidade dos resíduos, foram utilizados dois métodos para a constatação do pressuposto. A Figura 63 apresenta o histograma dos resíduos padronizados, onde se pode verificar a forma da distribuição normal. Além disso, foi realizada a comparação da frequência relativa dos resíduos padronizados com as probabilidades da distribuição normal padrão nos mesmos intervalos (Tabela 7).

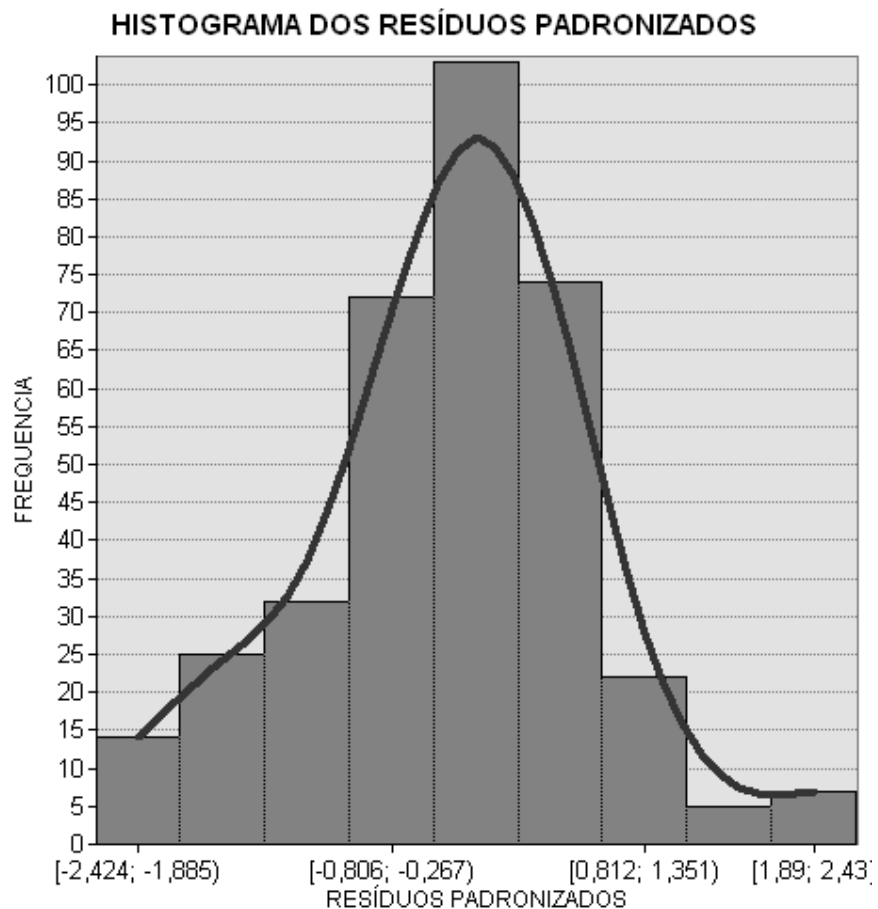


Figura 63: Histograma dos resíduos padronizados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7: Distribuição do Resíduos Normalizados.

Intervalo	Distribuição de Gauss	% de Resíduos no Intervalo
-1; +1	68,30%	73,02%
-1,64; +1,64	89,90%	90,19%
-1,96; +1,96	95,00%	94,55%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Homocedasticidade os erros são variáveis aleatórias com variância constante. A verificação da Homocedasticidade foi realizada pela análise gráfica dos resíduos versus valores ajustados, que apresentaram pontos dispostos aleatoriamente, com uma pequena tendência (Figura 64). Conforme relato por Uberti (2016), pequenos desvios da Homocedasticidade podem ser provocados pela presença de dependência espacial nos resíduos do modelo.

GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA AVALIAR A HOMOCEASTICIDADE

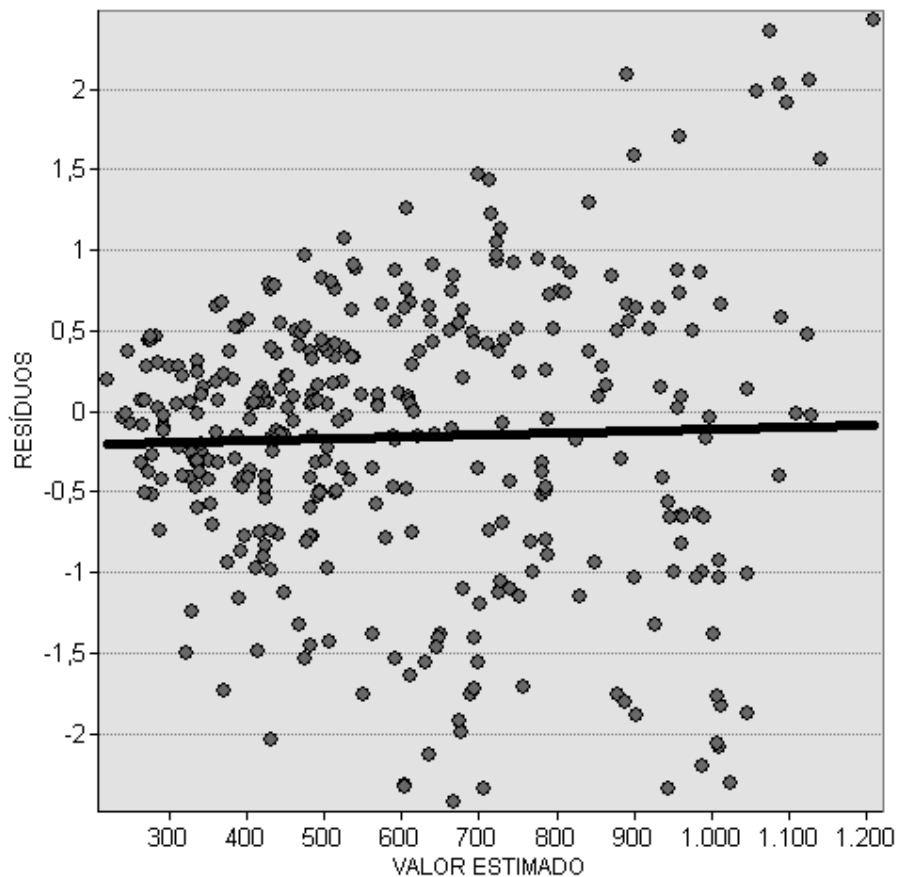


Figura 64: Gráfico de dispersão entre os resíduos e os valores estimados para analisar a Homocedasticidade do MCRL.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Não-Autocorrelação foi verificada pelo teste de Durbin-Watson (DW) com significância de 1,0%. O intervalo para ausência de Autocorrelação foi estimado entre $1,65 < DW < 2,35$, sendo que a estatística apresentou o valor de 1,6585 evidenciando que o modelo não apresenta Autocorrelação nos resíduos.

A Inexistência de *Ouliers* foi verificada pelo gráfico de *Box Plot*, conforme ilustrado na Figura 65.

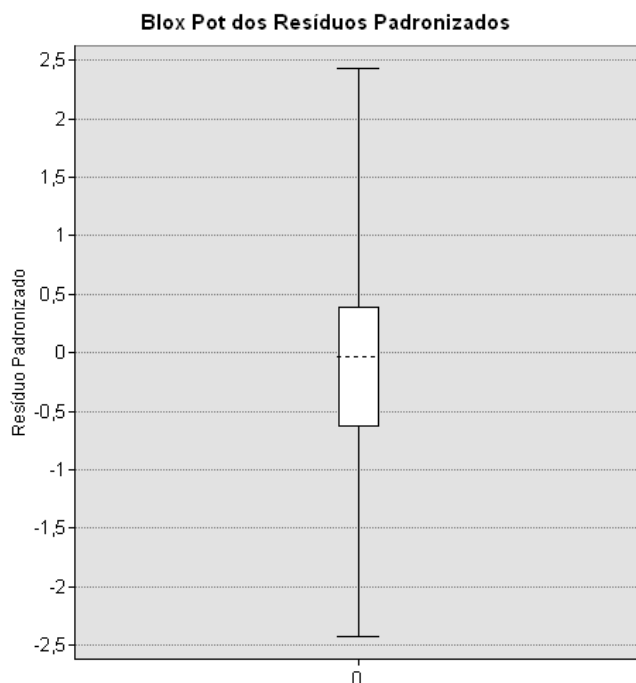


Figura 65: Gráficos de verificação de outliers. Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realizar a validação dos valores estimados pelo $MCRL_2$, foram calculados os indicadores de performance global e de uniformidade da avaliação, Mediana das Razões, Diferencial Relativo ao Preço e o Coeficiente de Dispersão, conforme recomendando pela (IAAO, 2013). A Tabela 8 apresenta as métricas calculadas e de referência.

Tabela 8: Valores calculados e de referência para avaliação em massa de imóveis terrenos urbanos.

Estatística	Valor Calculado	Valores Recomendados
Mediana das Razões de Avaliação (MRA)	0,91	$0,91 < R < 1,1$
Diferencia Relativo ao Preço (PRD)	0,98	$0,98 < PRD < 1,03$
Coeficiente de Dispersão (COD)	19%	$COD < 20\%$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os valores obtidos pelo modelo de regressão em comparação com os valores de referência, pode-se verificar que foram aceitáveis para a uniformidade da avaliação proposta pela IAAO.

4.3.2 Modelo Geoestatístico

A modelagem realizada pelo Modelo Clássico de Regressão Linear não considera adequadamente a influência da localização na predição dos valores dos imóveis, pois os dados apresentaram heterogeneidade e autocorrelação espacial. Assim, para contornar este problema foi proposto integrar o MCRL ao modelo Geoestatístico.

O emprego da modelagem Geoestatística teve como objetivo interpolar, por meio da Krigagem Ordinária, os valores preditos homogeneizados no MCRL de modo a obter uma superfície contínua de predição dos Valores Unitários de Terreno que correspondem à Planta Genérica de Valores do município de Goiânia.

Preliminarmente ao desenvolvimento do modelo Geoestatístico, foram utilizadas técnicas de Análise Exploratória dos Dados Espaciais (AEDE) para verificar e garantir os pressupostos para aplicação da Krigagem Ordinária. Neste contexto, a Figura 66 apresenta o histograma e as estatísticas descritivas dos valores estimados pelo MCRL₂.

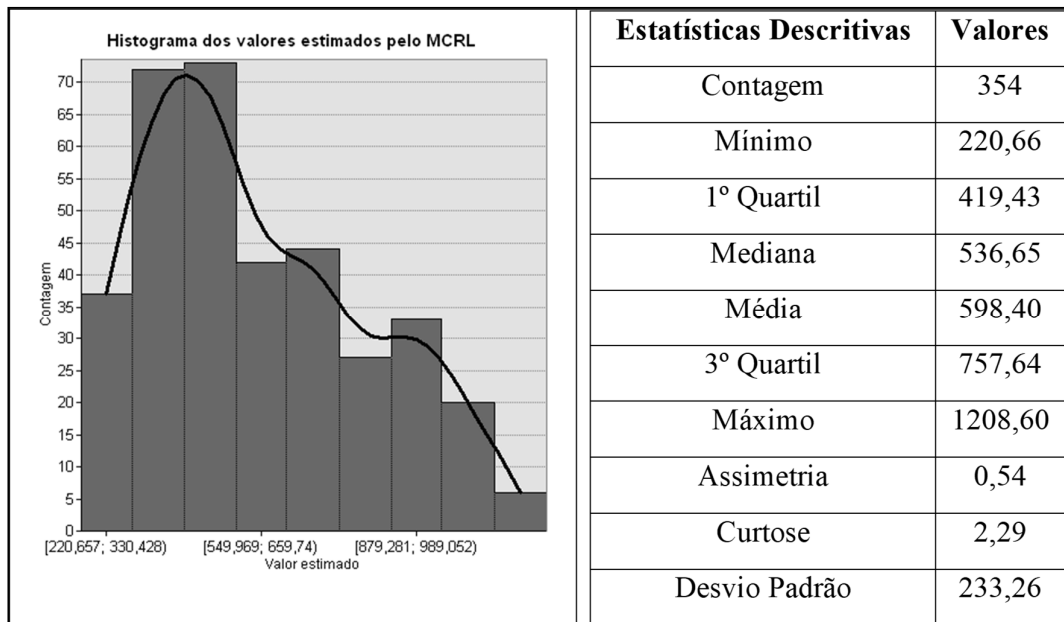


Figura 66: Histograma dos Valores Unitário de Terreno estimados pelo MCRL₂ e suas estatísticas descritivas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar pelo histograma e por meio das estatísticas descritivas que os valores estimados pelo MCRL₂ apresentaram uma assimetria positiva. Segundo Yamamoto (2013), se a distribuição apresentar uma assimetria positiva, há a necessidade

de transformação nos dados para evitar a influência de poucos valores altos na estimativa de pontos na vizinhança. Desta forma, foi aplicada a transformação logarítmica nos dados para obter uma distribuição lognormal. Após a transformação, os dados apresentaram os valores de média (6,31) e mediana (6,28) próximas, com assimetria equivalente de -0,05, o que permitiu a aplicação da Krigagem Ordinária para sua espacialização. A Figura 67 apresenta um mapa da distribuição espacial das amostras, onde os valores foram classificados segundo os quartis da distribuição.

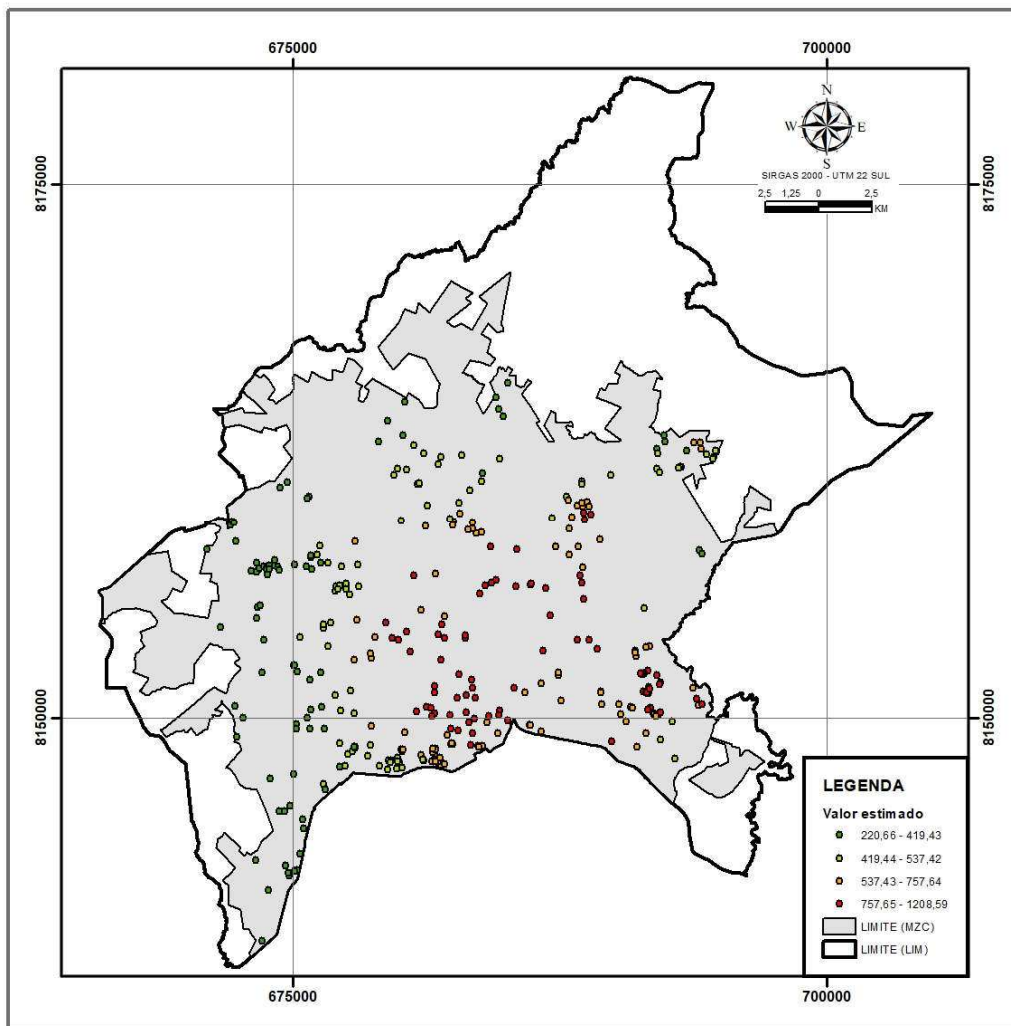


Figura 67: Mapa da distribuição espacial das amostras sobre a classificação dos quartis.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O mapa apresentado é um importante instrumento para avaliar a homogeneidade ou heterogeneidade espacial dos dados, e para fornecer estimativas de padrões de cluster geralmente comuns em dados dependentes espacialmente. De modo geral, é possível constatar a falta de estabilidade do comportamento do valor estimado pelo $MCRL_2$ ao longo do espaço, ou seja, os dados apresentam heterogeneidade espacial.

Para verificar o pressuposto de que os dados são isotrópicos, foi utilizado o Mapa Variográfico, cuja representação ocorre na forma de pixels. Ademais, a ocorrência de matizes frias, tais como azul, ciano e verde dentro do círculo azul e em todas as direções indicam pouca variabilidade e um comportamento isotrópico (MARQUES, et al., 2012), conforme pode ser observado na Figura 68.

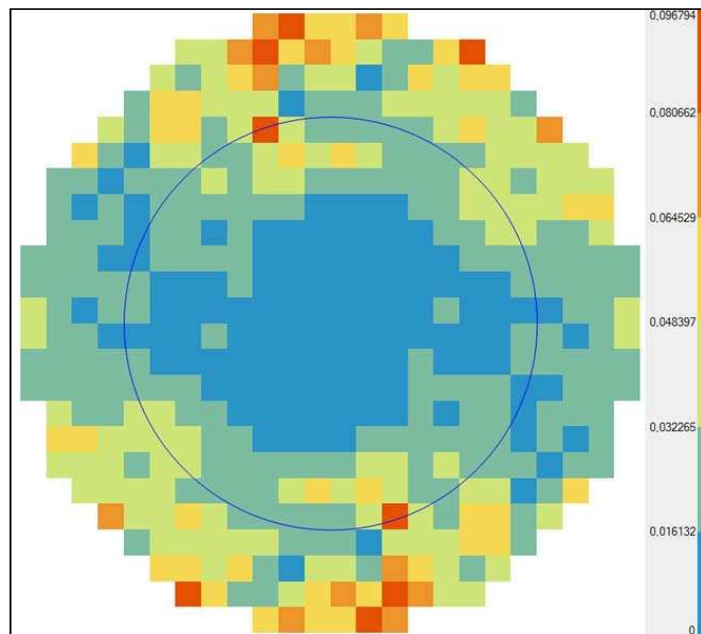


Figura 68: Mapa Variográfico Isotrópico dos valores estimados pelo $MCRL_2$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

De modo geral, de todos os pressupostos básicos para aplicação do método da Krigagem Ordinária, foi constatada apenas uma assimetria positiva e que levaram os dados a serem transformados por uma função logarítmica. Diante disso, foram ajustados três tipos de modelos teóricos de semivariogramas aos dados estimados pelo $MCRL_2$, sendo eles: esférico (Figura 69), exponencial (Figura 70) e gaussiano (Figura 71). A Tabela 9 apresenta os valores dos parâmetros alcance (a), efeito pepita (C_0), contribuição (C_1) e patamar (C) para os três tipos de semivariogramas omnidirecional ajustado.

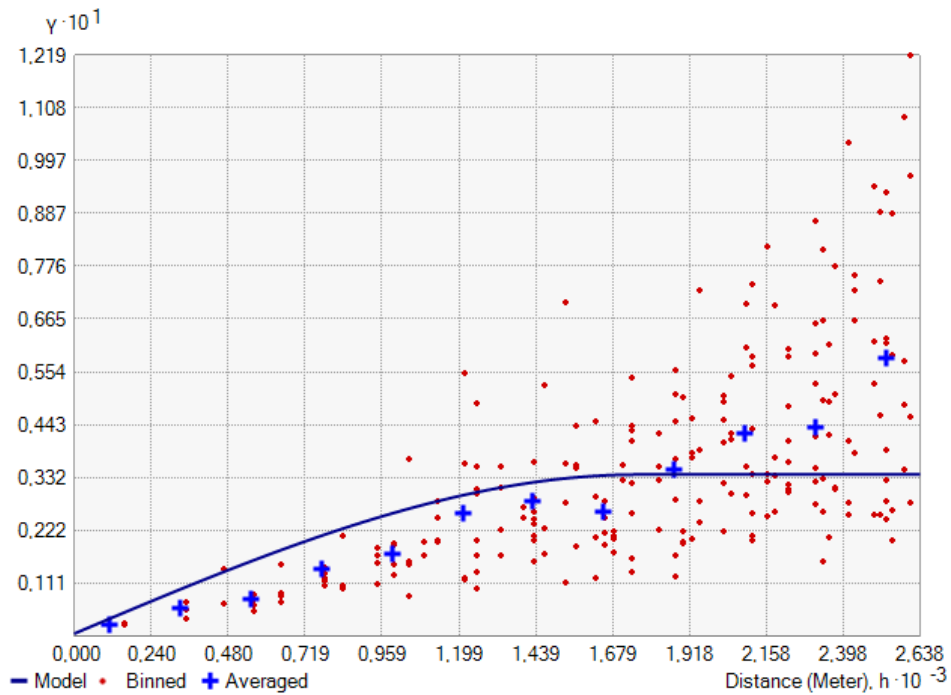


Figura 69: Semivariograma do modelo Esférico.

Fonte Elaborado pelo autor.

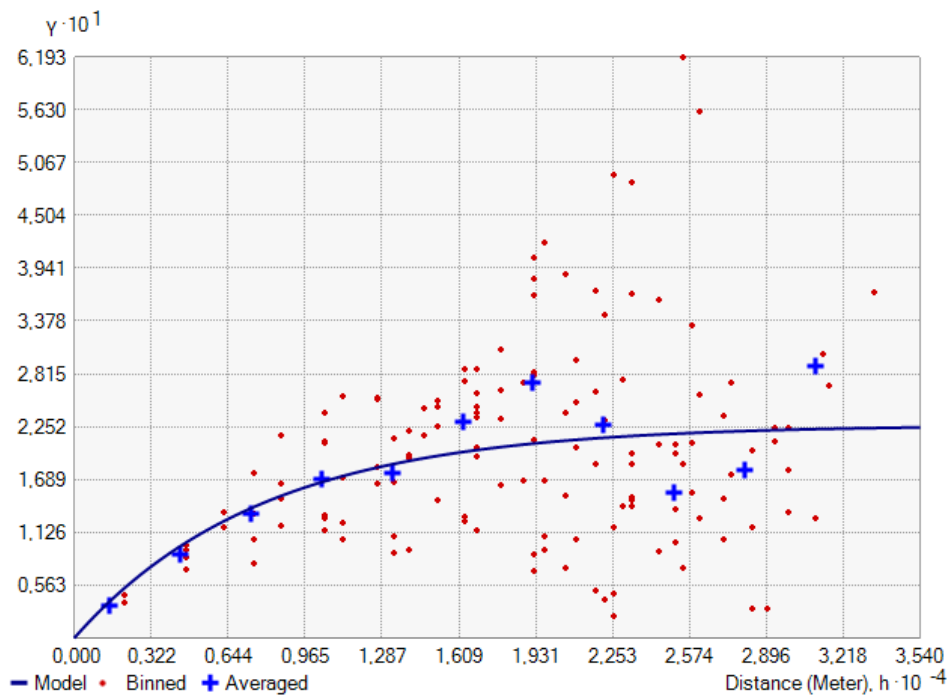


Figura 70: Semivariograma do modelo Exponencial.

Fonte Elaborado pelo autor.

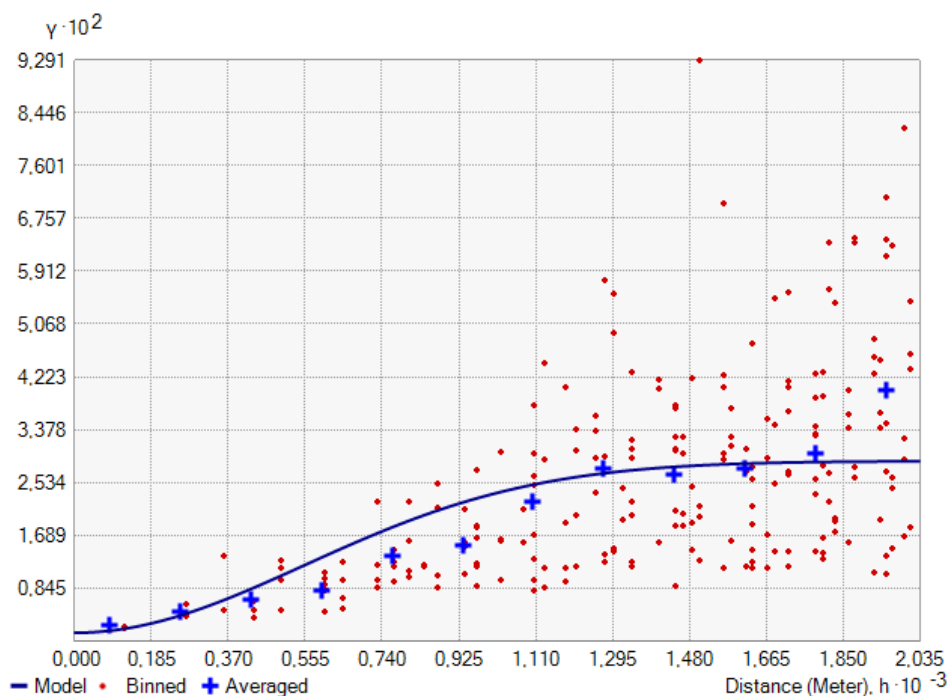


Figura 71: Semivariograma do modelo Gaussiano.

Fonte Elaborado pelo autor.

Tabela 9: Parâmetros dos semivariogramas para os valores estimados do $MCRL_2$.

Modelo Teórico	Alcance (a)	Efeito Pepita (C_0)	Contribuição (C_1)	Patamar ($C = C_0 + C_1$)
Esférico	1758,469	0,001	0,033	0,034
Exponencial	23598,310	0,000	0,227	0,227
Gaussiano	1356,336	0,001	0,027	0,029

Fonte: Elaborado pelo autor.

O semivariograma do modelo exponencial teve um ajuste visual muito superior aos modelos esférico e gaussiano. Na Tabela 9 verifica-se que as semivariâncias para o modelo exponencial apresentam um comportamento crescente até 23,6 km, quando estabiliza, caracterizando o patamar e o limiar da dependência espacial. Além disso, o efeito pepita em todos modelos apresentaram valores próximos de zero, o que, geralmente, é utilizado para avaliar a aleatoriedade do modelo ou para inferir sobre a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância amostral.

Ao analisar a razão entre o efeito pepita e o patamar, constata-se que todos os modelos apresentaram forte grau de dependência espacial, sendo o modelo exponencial com 0,004%, o modelo esférico com 1,500% e o modelo gaussiano com e 4,140%.

Os parâmetros do semivariograma, como o alcance e o efeito pepita, tendem a indicar que o melhor modelo é o exponencial. Contudo, conforme explicitado por Uberti (2016), a técnica da Validação Cruzada tem melhor capacidade de fornecer parâmetros, gráficos e quantitativos, sobre qual modelo é mais imparcial, preciso e com os menores desvios nas predições dos valores dos imóveis.

A Validação Cruzada permite criar gráficos de dispersão entre os valores estimados pela Krigagem Ordinária e os valores observados, conforme apresentado nas Figuras 72, 74 e 76. Além disso, a técnica subsidia a elaboração do gráfico *QQ Plot*, que é utilizado para avaliar se os resíduos padronizados seguem a distribuição normal, garantindo assim a eficiência do estimador, conforme Figuras 73, 75 e 77.

Quantitativamente, a Validação Cruzada apresenta métricas estatísticas que são calculadas sobre os erros de estimação, como por exemplo, o Erro Médio, Erro Médio Quadrático, Erro Médio Quadrático Padronizado e o Erro Padrão Médio.

Estes valores são utilizados para elaborar diagnósticos que indicam se o modelo é razoável para tomada de decisão e para produção de mapas. Na Tabela 10 são apresentados os valores calculados para os três modelos propostos.

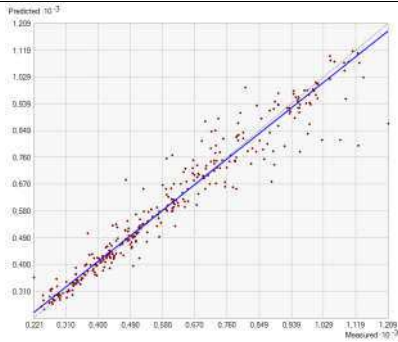


Figura 72: Gráfico da Validação Cruzada para o modelo Esférico. Fonte: Elaborado pelo autor.

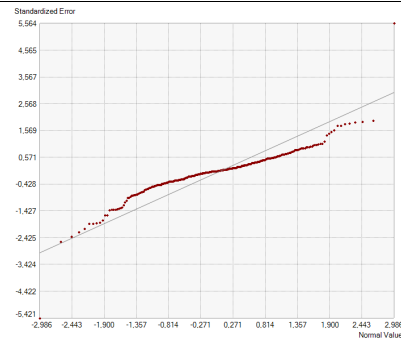


Figura 73: Gráfico QQ Plot de distribuição normal para o modelo Esférico. Fonte: Elaborado pelo autor.

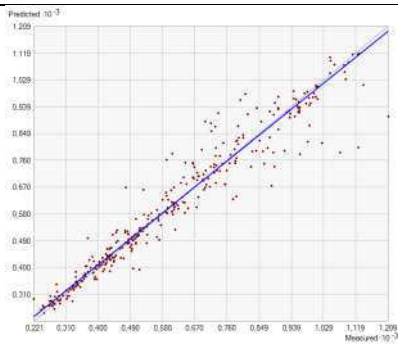


Figura 74: Gráfico da Validação Cruzada para o modelo Exponencial. Fonte: Elaborado pelo autor.

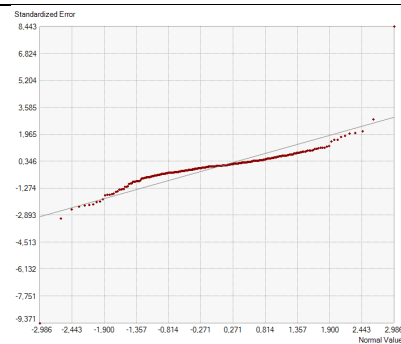


Figura 75: Gráfico QQ Plot de distribuição normal para o modelo Esférico. Fonte: Elaborado pelo autor.

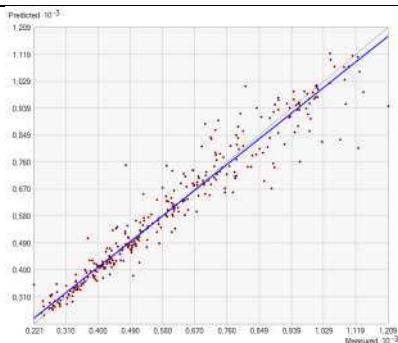


Figura 76: Gráfico da Validação Cruzada para o modelo Gaussiano. Fonte: Elaborado pelo autor.

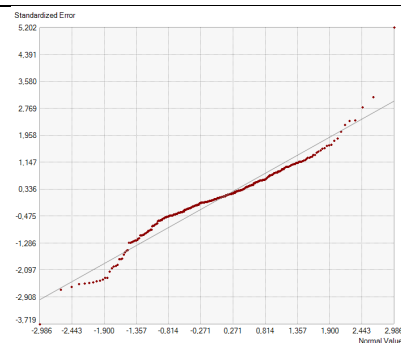


Figura 77: Gráfico QQ Plot de distribuição normal para o modelo Gaussiano. Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 10: Valores da Validação Cruzada dos modelos teórico para o MCRL₂

Modelo Teórico	Erro Médio	Erro Médio Quadrático	Erro Médio Quadrático Padronizado	Erro Padrão Médio
Esférico	1,486	58,912	0,789	74,758
Exponencial	2,044	59,632	0,985	71,393
Gaussiano	1,622	60,067	0,959	61,840

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação aos gráficos de dispersão, pode-se observar que em todos os modelos o ajuste entre os valores observados e os estimados pela Krigagem Ordinária foram parecidos, não sendo possível inferir sobre uma ordem hierárquica de qualidade entre eles. No que tange aos gráficos *QQ Plot*, é possível constatar que existem um ajuste adequado entre a distribuição normal dos valores estimados e a distribuição normal padrão.

Comparando as estatísticas de Validação Cruzada para os três modelos, existem os seguintes resultados:

- O Erro Médio indica imparcialidade nas previsões, mas como pode ser visto, todos os valores estão próximos de zero.
- O Erro Médio Quadrático Padronizado indica uma melhor precisão das estimativas quanto mais próximo do valor um. Assim, pode-se observar que o exponencial apresentou o melhor ajuste.
- O Erro Médio Quadrático e o Erro Padrão Médio indicam os desvios dos valores medidos. Para o Erro Médio Quadrático os valores de desvio foram em torno de R\$59,53 e no Erro padrão Médio houve uma variação entre R\$61,84 e R\$74,75.

Neste contexto, o Erro Médio, o Erro Médio Quadrático e o Erro Padrão Médio foram semelhantes para os três modelos. Contudo, o modelo exponencial apresentou um Erro Médio Quadrático Padronizado razoavelmente melhor entre os modelos analisados.

De modo geral, existem evidências de que o modelo exponencial foi o mais adequado para representar a superfície de valores da PGV. Contudo, a IAAO fornece as diretrizes para a validação dos resultados. Diante disso, foram utilizados os parâmetros dos modelos teóricos para elaborar interpolações por Krigagem Ordinária (Figuras 78, 80 e 82) e obter os Erros de Interpolação (Figuras 79, 81 e 83) para cada um dos três modelos.

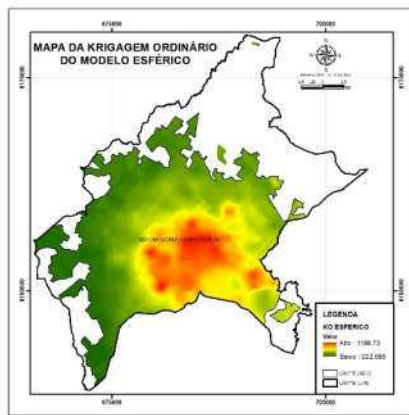


Figura 78: Mapa da Krigagem Ordinária do modelo Esférico.

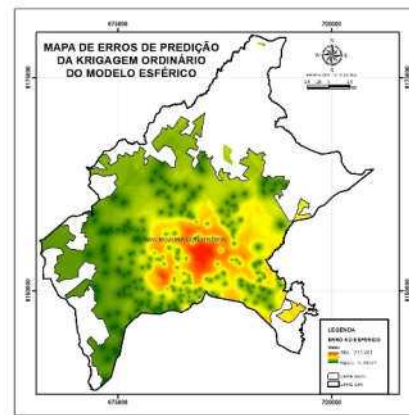


Figura 79: Mapa do Erro da Krigagem Ordinária do modelo Esférico.

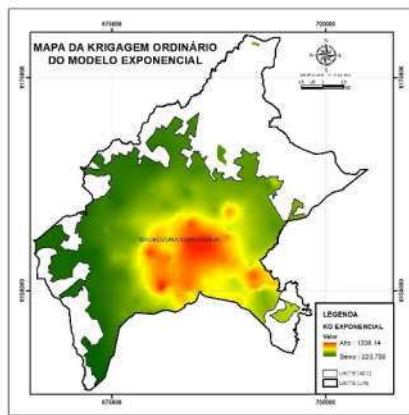


Figura 80: Mapa da Krigagem Ordinária do modelo Exponencial.

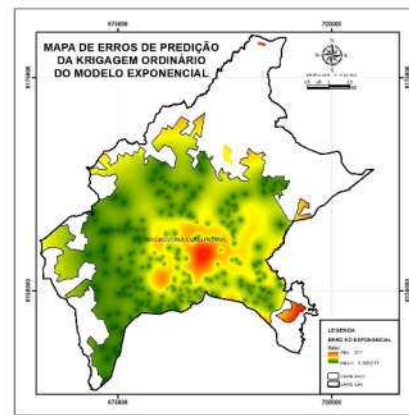


Figura 81: Mapa do Erro da Krigagem Ordinária do modelo Exponencial.

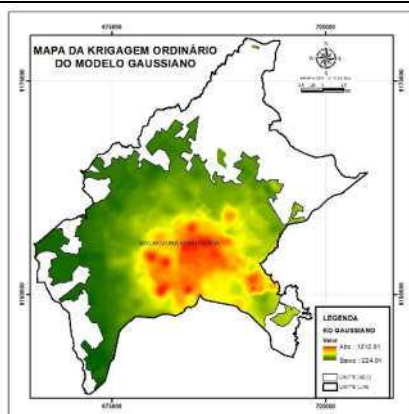


Figura 82: Mapa da Krigagem Ordinária do modelo Gaussiano.

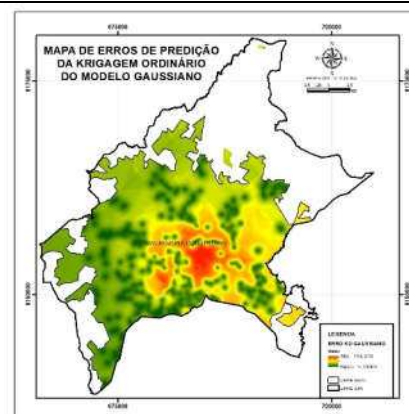


Figura 83: Mapa do Erro da Krigagem Ordinária do modelo Gaussiano.

A Krigagem Ordinária realizou a espacialização dos Valores Unitários de Terreno em toda a Macro Zona Construída, ou seja, para cada metro quadrado da área urbana do município existe um VUT. É importante destacar que não foi objeto de estudo elaboração da PGV para as Áreas de Expansão Urbana e Rural do município.

Em relação às diferenças entre as superfícies de valores obtidas por cada modelo, não é possível verificar graficamente mudanças significativas nos matizes e contraste dos mapas apresentados. Porém, as variações nas estatísticas descritivas foram diversificadas e estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11: Estatísticas Descritivas das superfícies de Krigagem Ordinária para os modelos esférico, exponencial e gaussiano

Modelo de Krigagem	Mínimo (R\$)	Máximo (R\$)	Média (R\$)	Desvio Padrão (R\$)
Esférico	222,09	1198,71	533,77	223,21
Exponencial	220,70	1208,14	530,75	231,30
Gaussiano	224,01	1212,51	532,39	224,21

Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo esférico apresentou os menores valores estimados, demonstrando-se moderado. Em contrapartida, o modelo gaussiano apresentou os maiores valores, exceto pelo desvio padrão. O modelo exponencial apresentou valores estimados intermediários, com um intervalo de abrangência maior e maior desvio padrão.

Os mapas de Erros de Predição da Krigagem Ordinária para cada modelo demonstram que os erros nas estimativas foram maiores na região central do município. Este fato pode ser explicado pela baixa densidade de amostras de terrenos em regiões centrais. Ao realizar uma comparação dos erros provenientes dos três modelos, o mapa de erros de predição do modelo exponencial apresentou uma redução dos erros na região central e minimizou de forma global os erros nas estimativas.

Para realizar a validação dos valores estimados pelas Krigagem Ordinária dos três modelos propostos, foi utilizado a Amostra de Valores de Validação com 47 observações. Para isso, foram calculados os indicadores de desempenho global e de uniformidade da avaliação em massa, Mediana das Razões, Diferencial Relativo ao Preço e o Coeficiente de Dispersão, conforme recomendando pela (IAAO, 2013). Na Tabela 12 são apresentadas as métricas calculadas e as de referência.

Tabela 12: Resultado das métricas para a avaliação de desempenho dos valores estimados pela Krigagem Ordinária.

Modelo da Krigagem Ordinária	Mediana das Razões de Avaliação (MRA)	Diferencia Relativo ao Preço (PRD)	Coefficiente de Dispersão (COD)
Esférico	0,90	0,87	17%
Exponencial	0,91	0,88	17%
Gaussiano	0,89	0,87	18%
Valores Recomendados	0,91 < R < 1,1	0,98 < PRD < 1,03	COD < 20%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificando o quadro acima, constata-se que apenas o modelo exponencial ficou dentro do intervalo de referência para o indicador Mediana das Razões. No quesito Diferencial Relativo ao Preço nenhum dos modelos atendeu aos requisitos do intervalo proposto pela IAAO. A norma especifica que valores de PRD menores que 0,98 sugerem progressividade de avaliação, ou seja, os imóveis de alto valor são avaliados com uma porcentagem menor do que o valor de mercado em relação aos imóveis de menor valor. Em relação ao COD todos os modelos atenderam as especificações da tipologia terreno.

Comparando os valores das métricas de validação da Krigagem Ordinária utilizando o modelo exponencial com os valores obtidos no MCRL₂, pode-se observar que os valores das Medianas das Razões permaneceram-se constantes. O Diferencial Relativo ao Preço foi constatado a progressividade, visto que, o valor para o MCRL₂ estava dentro do intervalo de referência, o que pode ser explicado pela suavização que o método da Krigagem Ordinária proporcionou aos valores estimados. No COD houve um ganho de uniformidade e uma redução na dispersão horizontal da avaliação de 2% em comparação com o MCRL₂, demonstrando que o modelo Geoestatístico tem capacidade de melhorar as estimativas para a avaliação em massa para fins de elaboração de PGV.

A PGV é um dos instrumentos utilizados para fins de cálculo dos impostos territoriais municipais. Atualmente, o município é dividido em quatro Zonas Fiscais de acordo com o Pacote do Zoneamento Urbano. Assim, ao realizar análises com a estrutura administrativa municipal é fundamental identificar locais prioritários de intervenção das Políticas Tributárias, Planejamento Urbano e a Gestão Pública de modo geral. Neste sentido, a Figura 84 apresenta as estatísticas descritivas VUT para as Sete Regiões Administrativas.



Figura 84: Estatísticas dos Valores Unitários de Terrenos para as Sete Regiões Administrativas. Fonte: Elaborado pelo autor.

As Regiões Administrativas Sul e Centro apresentaram as maiores médias dos Valores Unitários de Terreno (R\$ 894,92 e R\$ 885,94, respectivamente). Contudo, o valor máximo do VUT está localizado na Região Administrativa Sudoeste com o valor de R\$1208,14. Além disso, a Região Administrativa Sudoeste é a que apresentou maior heterogeneidade em valores unitários de terreno, pois, foram identificados o menor valor (R\$220,71) e o maior alcance. A Região Administrativa Noroeste apresentou a menor média e o menor desvio padrão, demonstrando sua baixa valorização entre todas as Sete Regiões Administrativas analisadas.

A Figura 85 apresenta a estatística descritiva da valorização obtidas em cada Região, pode-se observar que as Regiões Central, Campinas e Sul foram as mais valorizadas em termos de valores médios de VUT. A Região Macambira Cascavel apresentou o maior valor de VUT, além do maior desvio-padrão, o que pode ser um indicativo de polo de valorização local. Os menores desvios-padrão foram localizados nas Regiões Noroeste e Vale do Meia Ponte, o que é indício de homogeneização imobiliária.

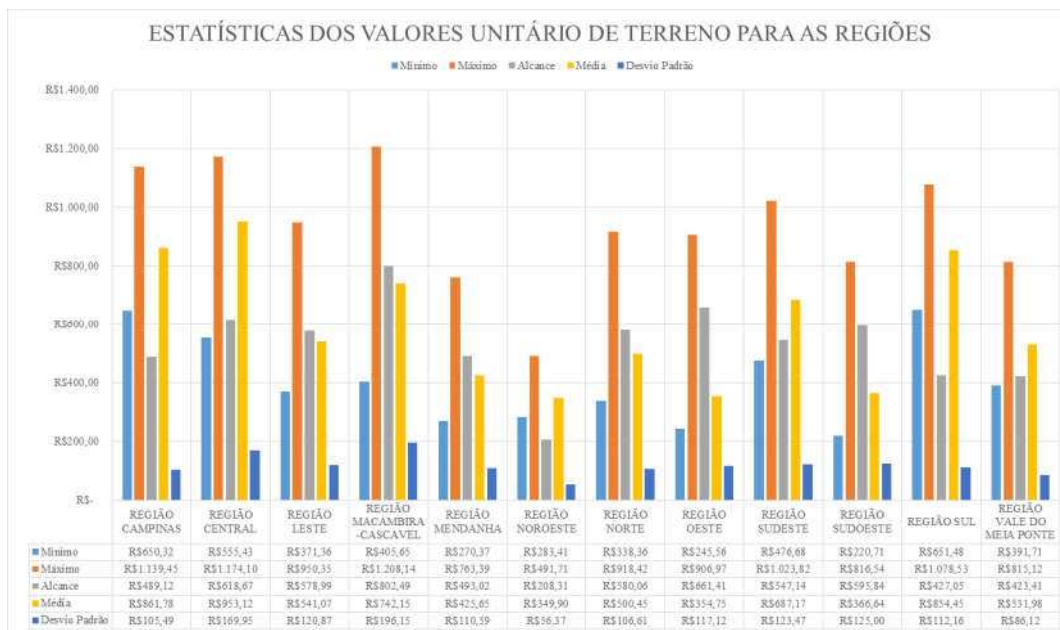


Figura 85: Estatísticas dos Valores Unitários de Terrenos para as Regiões. Fonte:

Elaborado pelo autor.

Em relação às Microrregiões, os maiores valores médios estão localizados nas Microrregiões contíguas do Aeroporto (R\$1109,15), Oeste (R\$1108,15) e Central (R\$1090,23), seguindo a tendência central de valorização. Contudo, os maiores valores estão nas vizinhas Jardim Europa (R\$1208,14) e Parque Anhanguera II (R\$1200,13). Já os menores valores de VUT foram obtidos nas Microrregiões do Baliza (R\$220,71) e Parque Bom Jesus (R\$245,56). Em relação à homogeneização imobiliária, geralmente inferida pelo desvio padrão dos valores locais, os resultados demonstram que existe uma variação do desvio padrão entre R\$3,28 e R\$112,47, onde o menor valor foi localizado no Parque Bom Jesus, e o maior valor e na Microrregião do Jardim Goiás.

De modo geral, após as análises dos resultados, apresenta-se uma proposta de Planta Genérica de Valores para o município de Goiânia – GO (Figura 86). A partir da PGV proposta, foi realizada uma categorização dos Valores Unitários de Terreno em quatro classes conforme preconizado no Código Tributário Municipal (Figura 87).

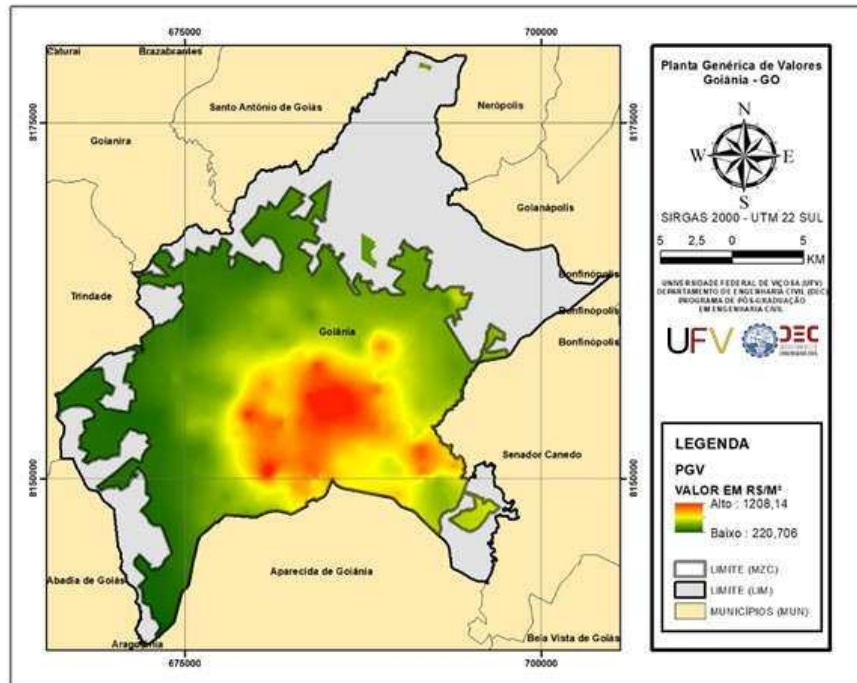


Figura 86: Proposta de Planta Genérica de Valores para o município de Goiânia – GO.

Fonte: Elaborado pelo autor.

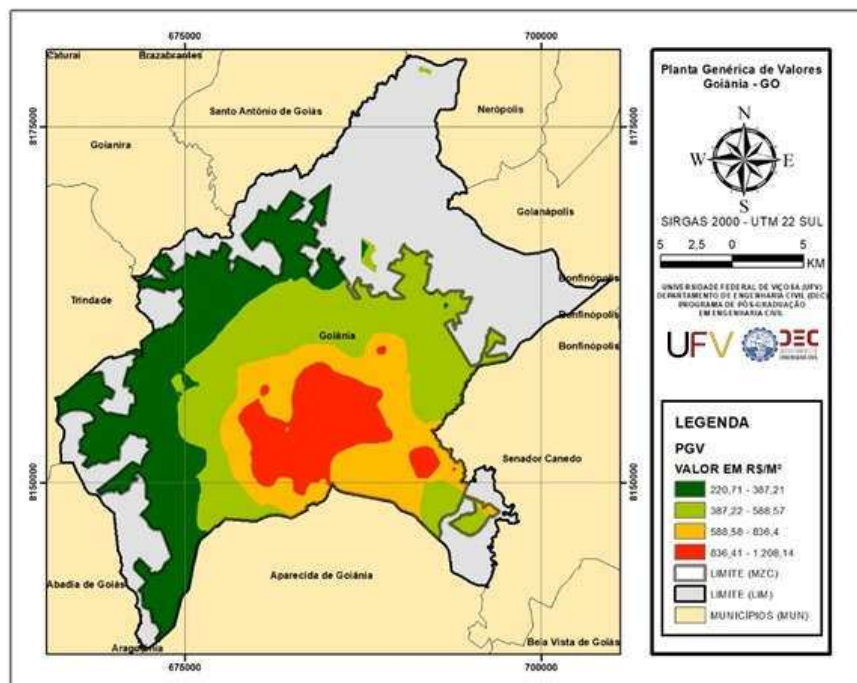


Figura 87: Proposta de Planta Genérica de Valores classificada para o município de

Goiânia – GO. Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho de pesquisa propôs aplicar a *Multi-Criteria Evaluation* na modelagem estatística para avaliação em massa de imóveis urbanos. Conforme os resultados apresentados, é possível constatar efetivação do objetivo geral e que a metodologia trouxe contribuições nas áreas de Modelagem de Banco de Dados Geográficos, na *Multi-Criteria Evaluation* e sua integração com o Modelo Clássico de Regressão Linear e com o modelo Geoestatístico. As conclusões sobre alguns pontos da pesquisa são apresentadas a seguir.

I – Banco de Dados Geográfico

O município de Goiânia é uma das maiores capitais do Brasil e apresenta particularidades inerentes a regiões metropolitanas. Porém, o desenvolvimento dos diversos modelos de Banco de Dados Geográficos para estruturação conceitual e lógica de um Cadastro Territorial Multifinalitário podem ser aplicados para outros municípios, sendo necessário adequações à realidade de cada local, visto que foram abrangidas diversas temáticas da municipalização de forma genérica e que são de interesse para a Gestão Pública de qualquer município.

A metodologia de modelagem Orientada a Objetos utilizando a linguagem *Unified Modeling Language*, assim como o modelo *UML-GeoFrame* tem sido amplamente utilizado para a especificação de projetos de BDG. Uma das explicações para este fato, pode ser devido a desenvolvimento de ferramentas de código aberto como o ArgoCASEGEO V3, que proporcionam ferramentas robustas e intuitivas para projetistas de todas as áreas das ciências desenvolverem BDG.

Recomenda-se para a continuidade da pesquisa o desenvolvimento de um modelo específico para avaliação em massa de imóveis urbanos utilizando as especificações da norma ISO 19152/2012, permitindo a combinação de diversas informações da administração municipal e de diferentes fontes de maneira coerente e eficiente.

De modo geral, as multifinalidades do CTM, conforme preconizada pela FIG e pela Portaria 511/2009, somente poderão ser incorporadas ao modelo de administração dos municípios brasileiros se forem apresentadas solução tecnológicas de modelagem de banco de dados geográficos que integrem dados de diversas fontes e temáticas em uma única abordagem, ou seja, com propósitos multifinalitários.

II – Multi-Criteria Evaluation

A *Multi-Criteria Evaluation* foi capaz de captar uma série de variáveis locais de caráter extrínsecos aos imóveis. Isto se deve a utilização das Faixas de Distâncias, da Densidade de Kernel e da aplicação da lógica *Fuzzy*. Contudo, a quantidade de fatores tem relação direta com a complexidade da modelagem e na definição da importância relativa dos fatores que integram a *Multi-Criteria Evaluation*. Normalmente, a importância relativa dos fatores é realizada por equipe multidisciplinar de especialistas.

No presente estudo foi proposto um método híbrido que utiliza o Coeficiente de Correlação entre os fatores e o Valor Unitário de Terreno para embasar quantitativamente a definição dos pesos de importância relativa no método *Analytical Hierarchy Process*. Este método híbrido permitiu a definição de pesos com menor subjetividade.

A estratégia em executar *Multi-Criteria Evaluation* particionada em duas etapas demonstrou pontos favoráveis para a espacialização da valorização imobiliária municipal. Em um primeiro momento foram realizadas MCE para cada pacote temático implementado no Bando de Dados Geográfico, o que permitiu realizar diagnósticos individuais para cada tema. Em seguida, uma nova MCE possibilitou a integração dos resultados e elaboração de mapa de adequabilidade à valorização imobiliária do município de Goiânia.

O particionamento trouxe ganhos na quantidade e qualidade temática dos produtos cartográficos elaborados nesta pesquisa, visto que, cada MCE gerou um mapa de adequabilidade temático que pode ser empregado para multifinalidades do município. De modo geral, a diversificação cartográfica ficou transparente ao apresentar mapas variando-se também o risco e a compensação de adequabilidade à valorização imobiliária, os quais dão mais opções aos gestores municipais para subsidiar as tomadas de decisões.

Como proposta para trabalhos futuros, é recomendado aplicar o método *Multi-Criteria Evaluation* em outras tipologias de imóveis, como por exemplo os tipos de edificações e sua localização geográfica.

De modo geral, a MCE vem sendo aplicada em várias áreas da ciência. Porém, a literatura referente à geração de PGV dispõe de poucos estudos sobre o uso de MCE para definir zonas homogêneas de adequabilidade à valorização imobiliária. Ressalta-se, o presente estudo demonstrou potencial e a capacidade da MCE em modelar a influência da distribuição espacial dos dados no valor final dos imóveis.

III – Modelagem Estatística

Neste trabalho, foi proposta uma integração da técnica *Multi-Criteria Evaluation* com o Modelo Clássico de Regressão Linear e em seguida, utilizar os valores estimados homogeneizados para aplicar a interpolação Geoestatística por meio da Krigagem Ordinária. Como visto, os resultados apresentaram melhoras na qualidade das estimativas, que foram comprovadas por indicadores estatísticos recomendado em norma.

Um algoritmo de busca *Web Scraping* foi utilizado para compor a amostragem de valores imobiliários a serem empregados no processo de elaboração de uma Planta Genérica de Valores. O algoritmo permitiu rastrear, coletar e armazenar Informações Geográficas Voluntárias relativas às ofertas de valores provenientes de imobiliárias virtuais. Conclui-se que o uso deste algoritmo de busca demonstrou ser promissor para estruturação de Observatórios Urbanos de Valores pela capacidade de estruturar um banco de dados em um curto intervalo tempo e com custos reduzidos.

As fontes de Informações Geográficas Voluntárias oferecem aos planejadores estimativas em tempo real, em escala local e regional, com características de valor do mercado imobiliário, que normalmente não fazem parte das fontes clássicas, como a coleta em campo. Contudo, a Informação Geográfica Voluntária apresenta limitações, como inconsistências de preenchimento dos usuários, erros posicionais relativos à localização dos imóveis e o fato de que cada imobiliária virtual apresenta uma estrutura na apresentação dos dados em seu portal (ou *site*).

Esta diversidade demanda a necessidade de elaborar um algoritmo de busca que atenda as especificações para cada imobiliária. Assim, recomenda-se para trabalhos futuros realizar uma modelagem conceitual para abstrair os dados de diversas imobiliárias ao mesmo tempo, melhorar o algoritmo com um processamento de geocodificação automatizado e elaborar regras lógicas (gatilhos) de modo a filtrar os erros de preenchimento dos usuários. Além disso, o *Web Scraping* pode subsidiar dados para análises temporais de valorização da terra.

Os modelos de avaliação em massa tradicionais, geralmente utilizam variáveis clássicas relativas ao imóvel como a área, testada, topografia, tipo de solo, limitação, calçamento e variáveis relacionadas com a localização, como a distância a polos de valorização ou desvalorização. Contudo, nesta pesquisa foi verificado que as variáveis provenientes de ferramentas de Análise Espacial, como as Faixas de Distância, Densidade de Kernel, Lógica *Fuzzy* e provenientes da técnica *Multi-Criteria Evaluation*

demonstraram potencial de integração com os modelos de avaliação em massa. Os produtos obtidos por meio dessas ferramentas apresentaram aumento do Coeficiente de Correlação em relação aos Valores Unitários de Terreno demonstrando serem mais eficientes em termos de incremento de qualidade no modelo de avaliação quando comparado ao modelo gerado pelas variáveis clássica.

É prudente ressaltar que nem todas as variáveis idealizadas pela metodologia da Análise Espacial apresentaram resultados satisfatórios, ou seja, não foram influentes nos valores dos imóveis. Isto ficou evidente ao utilizar a técnica *Random Forest Recursive Feature Elimination* que realizou a redução da dimensionalidade dos dados por meio da remoção de variáveis altamente correlacionadas e com pouca importância para formação dos modelos. Assim, para trabalhos futuros, é recomendado verificar a aplicação da técnica para estimar os valores dos imóveis e como um método de avaliação em massa.

O Modelo Clássico de Regressão Linear é uma metodologia consistente e consolidada nas avaliações de imóveis individuais, mas nas avaliações em massa são necessários aprimoramentos, visto que não consideram adequadamente a heterogeneidade e a autocorrelação espacial, que são pressupostos comuns em dados geográficos e na avaliação em massa de imóveis para elaboração de PGV. Em contrapartida, o Modelo Geoestatístico foi capaz de modelar a dependência espacial por meio do semivariograma e da Krigagem Ordinária de forma eficiente.

Os resultados da Validação Cruzada e das métricas descritas pela IAAO, demonstram que os valores estimados pela Krigagem Ordinária utilizando o modelo exponencial foi a melhor superfície para representar a PGV de Goiânia. Contudo, existem outros modelos teóricos de semivariogramas que não foram utilizados nesta pesquisa, e recomenda-se verificar a possibilidade de aplicação destes modelos teóricos nas avaliações em massa. Além disso, a Geoestatística apresenta outros métodos de interpolação como a Krigagem Universal, Krigagem Indicativa, Co-Krigagem e método de Krigagem Não-Linear que podem contribuir na avaliação em massa de imóveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABNT. **NBR 14.166 - Rede de Referência Cadastral - Procedimentos.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, 1998.

—. **NBR 14653 - 1 Avaliação de Bens.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, 2001.

—. **NBR 12721 - Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios - Procedimento.** ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, 2006.

—. **NBR 14653-2 - Avaliação de Bens - Parte 2: Imóveis Urbanos.** ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, 2011.

ABREU, M. V. S. **Avaliação da aplicabilidade dos sistemas de projeções transversas de Mercator na cartografia cadastral no Brasil.** Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. Tese de doutorado, 2017.

AFONSO, J. R. R., ARAUJO, E. A. e NÓBREGA, M. A. R. **O Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) no Brasil. Um Diagnóstico sobre o Grau de Aproveitamento do Imposto como Fonte de Financiamento Local.** Cambridge, MA, USA. *Lincoln Institute of Land Policy*, 2013.

AGRELL, P., STAM, A. e FISCHER, G. W. **Interactive multiobjective agro-ecological land use planning: The Bungoma region in Kenia.** *European Journal of Operational Research*, 2004.

AKINCI, H., OZALP, A. Y. e TURGUT, B. **Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique.** *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013.

ALMEIDA, E. **Econometria Espacial Aplicada.** Campinas - SP: Alínea, 2012.

AMORIM, A., PELEGRINA, M. A. e JULIÃO, R. P. **Cadastro e gestão territorial: uma visão luso-brasileira para a implementação de sistemas de informação cadastral nos municípios.** São Paulo: UNESP DIGITAL, 2018.

ÁRIA, Informática. **INFER Versão 32, manual de operações**. Belo Horizonte. MG. 2004.

ARONOFF, S. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. Ottawa: *WDL Publications*, 1989.

AVERBECK, C. E. e CESARE, C. M. **Da Avaliação de Imóveis. Diretrizes para a Criação, Instituição e Atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos Municípios Brasileiros: Manual de Apoio**. Brasília. Ministério das Cidades, 2010.

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

BAPTISTA, A. C. **Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa, erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo, RJ**. Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2009.

BOEING, G. e WADDELL, P. *New Insights into Rental Housing Markets across the United States: Web Scraping and Analyzing Craigslist Rental Listings*. *Journal of Planning Education and Research*. 2016.

BOOCH, G. *Object Oriented Design with Applications*. Redwood City, California, United States: *The Benjamin/Cummings Publish Company*, 1991.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988.

—. **Decreto N° 6.666, de 27 de novembro de 2008. Institui, no âmbito do Poder Executivo Federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE, e dá outras providências**. Brasília. 2008.

—. **Decreto N° 8.764, de 10 de maio De 2016. Institui o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais e regulamenta o disposto no Art. 41 da Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009**. Brasília. 2016

—. **Lei 10257 de 10 de julho de 2001 - Estatuto Da Cidade**. Brasília, 2001.

- **Lei 12651 de 25 de maio de 2012 - Código Florestal Brasileiro.** Brasília, 2012.
- **Lei Complementar N° 101, de 4 de maio de 2000.** Brasília, 2000.
- **Lei N° 5172 de 25 de outubro de 1966. Código Tributário Nacional.** Brasília, 1966.
- **Lei N° 9.985, de 18 de julho de 2000.**Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, 2000.
- **PLANMOB - Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana.** Brasília: Ministério das Cidades - Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana, 2015.
- **Portaria N° 511 de 07 de dezembro de 2009. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário nos municípios brasileiros.** Brasília: Ministério das Cidades, 2009.
- BURROUGH, P. A. e MCDONELL, R. A. *Principles of Geographical Information Systems.* New York: *Oxford University Press*, 1998.
- BURROUGH, P. A. *Principles of geographical information systems for land resources assessment.* New York: *Oxford University Press*, 1987.
- CAIXETA, P. C., et al. **Análise multi-critério (mce) aplicada ao mapeamento de áreas susceptíveis a movimentos de massa na área urbana de Viçosa-MG.** Recife: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnológicas da Geoinformação, 2012.
- CALIJURI, M. L., MELO, A. L. O. e LORENTZ, J. F. **Identificação de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários com Uso de Análise Estratégica de Decisão.** 2002.
- CÂMARA, G. e MDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais.** São José dos Campos - SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- CÂMARA, G. e MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Modelagem Dinâmica Espacial.** Belo Horizonte: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003.

CESARE, C. M. **Avaliação em massa de imóveis para fins fiscais: Discussão, análise e identificação de soluções para problemas e casos práticos.** Brasília: Ministério das Cidades, 2012.

CESARE, C. M., CUNHA, E. M. P.. **Questões Cadastrais: discussão, análise e identificação de soluções para problemas e casos práticos.** Brasília: Ministério das Cidades - Programa Nacional de Capacitação das Cidades, 2010.

CESARE, C. M., FERNANDES, C. E. e CAVALCANTI, C. B. **Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana: Caderno Técnico de Regulamentação e Implementação.** Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos, Programa Nacional de Capacitação das Cidades e *Lincoln Institute of Land Policy*, Vol. 3 vol. Coleção Cadernos Técnicos de Regulamentação e Implementação de Instrumentos do Estatuto da Cidade. ISBN: 978-85-7958-056-7. 2015.

CHEN, Y., YU, J. e KHAN, S. *Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation.* *Environmental Modelling & Software*, 2010.

COMINO, E., et al. *Exploring the environmental value of ecosystem services for a river basin through a spatial multicriteria analysis.* *Land Use Policy - Elsevier Ltd*, 2014.

CUNHA, E. M. P. e ERBA, D. A. **Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros - manual de apoio.** Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

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

DANTAS, R. A., PORTUGAL, J. L. e PRADO, J. F. **Avaliação de cidades por inferência espacial: um estudo de caso para a cidade de Aracaju.** Fortaleza, 2007.

DIGGLE, P.J. e RIBERO JR., P. J. 2007. *Model-Based Geostatistics.* Springer, 2007.

DUARTE, D. C. de O. **Cadastro Territorial Multifinalitário com uso de sistema de informação geográfica aplicado à gestão pública de municípios de pequeno porte.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Dissertação de mestrado, 2014.

DUARTE, D. C. O. **Cadastro Territorial Multifinalitário com uso de sistema de informação geográfica aplicado à gestão pública de municípios de pequeno porte.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: Anais do 12º Congresso de Cadastro Territorial Multifinalitário e Gestão Territorial, 2016.

EASTMAN, J. R. *IDRISI for Windows: User's Guide. Version 2.0.* Worcester - MA: Clark University - Graduate School of Geography, 1997.

ELMASRI, RAMEZ e NAVATHE, SHAMKANT B. *Fundamentals of Database Systems 4th.* Pearson Education, 1994.

ESRI. *Guide ArcGIS Desktop: Release 10.3.* Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2014.

FARIA FILHO, R. F. e GONÇALVES, R. L. **Uso de SIG na identificação de áreas aptas para expansão urbana de Rio Paranaíba/MG.** Revista Territorium Terram, 2014.

FARIA FILHO, R. F. F. **Modelos estatísticos para geração de Planta de Valores Genéricos em áreas urbanas.** Uberlândia - MG: Universidade Federal de Uberlândia, Tese de doutorado, 2015.

FIG. *Federação Internacional dos Agrimensores - Statement on te Cadastre.* Canberra: Austrália, 1995.

FINBRA. FINANÇAS DO BRASIL. **Contas anuais. Receitas orçamentárias realizadas (Anexo I-C). SICONFI: sistema de informações contábeis e fiscais do setor público brasileiro.** Brasília, 2018.

FIPE. **Índice FIPEZAP De Preços De Imóveis Anunciados. Notas Metodológicas.** São Paulo: Fundação Instituto de Pesquisa Econômicas, 2011.

FYER, C. *About the geometrical interval classification method.* Environmental Systems Research Institute, Inc, 2007.

GONÇALVES, P. R. **Modelo Conceitual de Bancos de Dados Geográficos para Cadastro Territorial Multifinalitário em Municípios de Pequeno e Médio Porte.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008.

HUTCHINSON, M. F. *Anudem version 5.3: user guide. 5.3. Camberr: The Australian National University - Fenner School of Environment and Society*, 2011.

IAAO. *Standards on ratio studies. International Association Assessing Officers* Missouri, 2013.

IBGE. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2014.**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014.

—. **Perfil dos Municípios Brasileiros: 2015.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016.

IMAPE. **Fundamentos de avaliação patrimoniais e perícias de engenharia: curso básico do IMAPE.** São Paulo: Pini Ltda, 1998.

JENKS, G. F. e CASPALL, F. C. *Error on Choroplethic Maps: Definition, Measurement, Reduction.* Taylor & Francis, Ltd. on behalf of the Association of American Geographers, Vols. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 61, No. 2.1971.

JIANG, B. e THILL, J. *Volunteered Geographic Information: Towards the establishment of a new paradigm.* *Computers, Environment and Urban Systems*, 2015.

KHUN, M. *Building predictive models in R using the caret package.* *Journal of statistical software*, pp. 1-26. Vol. 28.2008.

KUHN, M. *Variable selection using the Caret package.* 2012.

LANDIM, P. M. B. *Sobre Geoestatística e mapas.* Terrae Didática, 2006.

LISBOA FILHO, J. e IOCHPE, C. *Specifying analysis patterns for geographic databases on the basis of a conceptual framework.* Kansas City: 1999.

LISBOA FILHO, J. **Projeto Conceitual de Banco de Dados Geográficos através de Reutilização de Esquemas utilizando Padrões de Análise e framework Conceitual.** Porto Alegre: Tese Doutorado em Ciências da Computação - UFRS, 2000.

LISBOA FILHO, J., et al. *CASE tool for geographic database design supporting analysis patterns.* Shanghai: Springer LNCS 3289, 2004.

LISBOA FILHO, J., VEGI, L. F. M., SOUZA, W. D., LAMAS, J. P. C. COSTA, G. L. S., OLIVEIRA, W. M., CARRASCO, R. S., FERREIRA, T. G., BAIA, J. W. **Uma Infraestrutura de Dados Espaciais para o Projeto Geominas com metadados definidos no Perfil MGB da INDE**. Viçosa: Revista Brasileira de Cartografia, 2012.

LONGLEY, P. A., et al. **Sistema e Ciência da Informação Geográfica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MALCZEWSKI, J. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York, 1999.

MARQUES, A. P. S., et al. **Aplicação do interpolador Krigagem Ordinária para a elaboração de Planta de Valores Genéricos**. Revista Brasileira de Cartografia, 2012.

MATHERON, G. *The theory of regionalized variables and its applications*. Paris, 1971.

MORIMOTO, Y., et al. *Extracting Spatial Knowledge from the Web*. IEEE Xplore Digital Library Symposium on Applications and the Internet, Orlando, FL, USA, 2003.

MYERS, D. e MCGUFFEE, J. W. *Choosing Scraping*. Journal of Computing Sciences in Colleges. Consortium for Computing Sciences in Colleges, USA, 2015.

NOGUERAS, J. *Geographic Information Metadata for Spatial Data Infrastructures*. Zaragoza - ES: University of Zaragoza, 2005.

PEREIRA JÚNIOR, L. C., et al. **Espraiamento urbano na Região Metropolitana de Goiânia 1991 – 2010 a partir de imagens Landsat**. João Pessoa-PB, Brasil: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2015.

PINTO, F. **Análise multicritério para a seleção de uma área de conservação na maior savana da Amazônia**. CTA Geográfica, 2014.

PMG. **Lei Complementar Nº 171, de 29 de maio De 2007. Plano Diretor de Goiânia**. Goiânia - GO, 2007.

—. Prefeitura Municipal de Goiânia. **A Região Metropolitana**. 2015

—. **SIGGO V.25**. Goiânia: Prefeitura Municipal de Goiânia - SEPLAN - Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo, 2014.

PNUD. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Atlas do Desenvolvimento Humano.** 2010.

ROUSE, J.W., HAAS R.H., SCHELL J.A., DEERING D.W., *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*, In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.*1974.

RUMBAUGH, J. et al. **Modelagem e Projetos em Objetos.** Rio de Janeiro, 1994.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process.* New York: McGraw Hill, 1980.

SANTOS, A. D. et al. **O uso da análise multicritério no mapeamento da fragilidade social da área urbanizada do município de Viçosa - MG.** Revista Brasileira de Cartografia, 2012.

SANTOS, J. C. **Análise da Aplicação do Modelo de Domínio de Conhecimento em Administração Territorial ao Cadastro Territorial Urbano Brasileiro.** Universidade Federal de Pernambuco - Dissertação de Mestrado – Centro de Tecnologia e Geociências. Recife, 2012.

SANTOS, T. G. e VENTORINI, S. E. 2017. **Análise Multicritério: Modelos de interesse Ambiental e de áreas propícias à expansão urbana na bacia do córrego do Ienheiro.** Caminhos da Geografia, 2017.

SCRAPY. *Scrapy 1.5 documentation.* Scrapy developers Revision, 2016.

SEGPLAN. **SIEG. Sistema Estadual de Geoinformação.** Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento de Goiás. Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos., 2014.

SEPLAN. **Anuário Estatístico de Goiânia.** Departamento de Pesquisa Estatística e Estudos Socioeconômicos – DPESE. Goiânia: Prefeitura Municipal de Goiânia - SEPLAM - Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo, 2012.

SILVA, E. **Cadastro Territorial Multifinalitário: base fundamental para avaliação em massa de imóveis.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Tese de Doutorado, 2006.

SILVA, V. B. e MACHADO, P. D. **SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima - MG.** Revista de Geografia, 2014.

SILVERMAN, B. W. *Density estimation for statistics and analysis.* London: *Monographs on Statistics and Applied Probability*, 1986.

SOMEKH, N. A. **A Cidade Vertical e o Urbanismo Modernizador.** São Paulo: Studio Nobel, EDUSP e FAPESP, 2015.

TARBOTON, D. G. *On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data.* Hydrological Processes. 1991.

TRIVELLONI, C. A. P. **Método para determinação do valor da localização com uso de técnicas inferenciais e Geoestatística na avaliação em massa de imóveis.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Tese de doutorado em Engenharia Civil, 2005.

UBERTI, M. S. **Avaliação em massa de imóveis rurais através da modelagem clássica, espacial e geoestatística.** Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio De Janeiro - UFRRJ, 2016.

UBERTI, M. S. *Mass appraisal of farmland using classical econometrics and spatial modeling.* *Land Use Policy*, 2018.

USGS, **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook.** Eros, United States Geological Survey Sioux Falls, South Dakota, 2015.

WANG, J. e GUO, Y. *Scrapy-based Crawling and User-behavior Characteristics Analysis on Taobao.* *International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discover*, 2012.

YAMAMOTO, J. K. e LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

ZADEH, L. A. *Fuzzy sets.* *Information and control.* 1965.

ZAMBON, K. L., et al. **Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG.** Pesquisa Operacional, 2005.

APÊNDICE A

PACOTE	SIGLA PACOTE	CLASSE	SIGLA CLASSE	Fenômeno	Metamodelo	Representação	Formato
Imageamento	IMG	Composição RGB	COMP	Geográfico	Campo Geográfico	Grade de células	Raster Dataset
Imageamento	IMG	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	Geográfico	Campo Geográfico	Grade de células	Raster Dataset
Imageamento	IMG	Mosaico 2006	MOS06	Geográfico	Campo Geográfico	Grade de células	Raster Dataset
Imageamento	IMG	Mosaico 2011	MOS11	Geográfico	Campo Geográfico	Grade de células	Raster Dataset
Zoneamento	ZOU	Limites dos Municípios	MUN	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Zoneamento	ZOU	Limite Municipal	LIM	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Zoneamento	ZOU	Macro Zonas	MZO	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Zoneamento	ZOU	Macro Zona Construída	MZC	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Zoneamento	ZOU	Sete Regionais Administrativas	RE7	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Zoneamento	ZOU	Divisa de Região	REG	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Zoneamento	ZOU	Distritos	DIS	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Zoneamento	ZOU	Ocupação Ilegal	OCI	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class

PACOTE	SIGLA PACOTE	CLASSE	SIGLA CLASSE	Fenômeno	Metamodelo	Representação	Formato
Zoneamento	ZOU	Zonas	ZON	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Zoneamento	ZOU	Área de Posse	POS	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Zoneamento	ZOU	Área de Desenvolvimento Econômico	DES	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Zoneamento	ZOU	Áreas de Habitações Subnormais	INV	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Mapeamento Urbano Básico	MUB	Divisas de Bairros	BAI	Geográfico	Objeto Geográfico	Polígonos Adjacentes	Feature Class
Mapeamento Urbano Básico	MUB	Setores Cadastrais	SCD	Geográfico	Objeto Geográfico	Polígonos Adjacentes	Feature Class
Mapeamento Urbano Básico	MUB	Divisas de Quadras	QDR	Geográfico	Objeto Geográfico	Polígonos	Feature Class
Mapeamento Urbano Básico	MUB	Dividas de Lotes	LOT	Geográfico	Objeto Geográfico	Polígonos	Feature Class
Mapeamento Urbano Básico	MUB	Segmentos de Logradouro	SEG	Geográfico	Objeto Geográfico	Linha	Feature Class
Mapeamento Urbano Básico	MUB	Cadastro Imobiliário Municipal	CIM	Convencional	Convencional	Tabela	Table
Mapeamento Urbano Básico	MUB	Proprietários	PROP	Convencional	Convencional	Tabela	Table
Geomorfologia	GEO	Nuvem de Pontos	NUV	Geográfico	Campo Geográfico	Pontos irregulares	LAS Dataset
Geomorfologia	GEO	Modelo Digital de Superfície	MDS	Geográfico	Campo Geográfico	Grade de células	Raster Dataset
Geomorfologia	GEO	Verticalidade	VERT	Geográfico	Campo Geográfico	Grade de células	Raster Dataset

PACOTE	SIGLA PACOTE	CLASSE	SIGLA CLASSE	Fenômeno	Metamodelo	Representação	Formato
Geomorfologia	GEO	Pontos Cotados	PCN	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Geomorfologia	GEO	Curvas de Nível	CNV	Geográfico	Campo Geográfico	Isolinhas	Feature Class
Geomorfologia	GEO	Modelo Digital de Elevação	MDE	Geográfico	Campo Geográfico	Grade de células	Raster Dataset
Geomorfologia	GEO	Declividade	DEC	Geográfico	Campo Geográfico	Grade de células	Raster Dataset
Meio Ambiente	AMB	Elementos da Hidrografia	HID	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Meio Ambiente	AMB	Nascentes Hidrográficas	NAS	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Meio Ambiente	AMB	Área de Preservação Permanente	APP	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Meio Ambiente	AMB	Unidade de Proteção Integral	UPI	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Meio Ambiente	AMB	Área de Proteção Ambiental	APA	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Meio Ambiente	AMB	Unidade de Uso Sustentável	UUS	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Transporte e Mobilidade	MOB	Macro Rede Viária Básica	VIA	Geográfico	Objeto Geográfico	Linha	Feature Class
Transporte e Mobilidade	MOB	Corredores Principais	COR	Geográfico	Objeto Geográfico	Linha	Feature Class
Transporte e Mobilidade	MOB	Estações de Integração	EST	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Transporte e Mobilidade	MOB	Terminais de Ônibus	TER	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class

PACOTE	SIGLA PACOTE	CLASSE	SIGLA CLASSE	Fenômeno	Metamodelo	Representação	Formato
Transporte e Mobilidade	MOB	Pontos de Ônibus	PTO	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Educação	EDC	Estabelecimentos de Educação	EDU	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Educação	EDC	Estabelecimentos de Educação Municipal	EDM	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Patrimônio Histórico e Cultural	PHC	Monumentos da Cultura	MON	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Patrimônio Histórico e Cultural	PHC	Patrimônio Histórico	PHS	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Saúde e Assistência Social	SAS	Estabelecimentos de Saúde	SAU	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Saúde e Assistência Social	SAS	Unidades da Fundação Municipal de Desenvolvimento Comunitário	FMD	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Infraestrutura	INF	Praças	PRC	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Infraestrutura	INF	Grandes Equipamentos	GRE	Geográfico	Objeto Geográfico	Poligono	Feature Class
Infraestrutura	INF	Prédios Públicos	PRP	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Infraestrutura	INF	Pontos de Coleta	PTC	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Infraestrutura	INF	Pontos Notáveis	PTN	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Serviços	SER	Delegacia de Polícia	DDP	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class

PACOTE	SIGLA PACOTE	CLASSE	SIGLA CLASSE	Fenômeno	Metamodelo	Representação	Formato
Serviços	SER	Cadastro de Atividade Econômica	CAE	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Serviços	SER	Utilidades Públicas	UTP	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Planta de Valores Genérica	PVG	Amostras de Treinamento	AMT	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Planta de Valores Genérica	PVG	Amostras de Validação	AMV	Geográfico	Objeto Geográfico	Ponto	Feature Class
Planta de Valores Genérica	PVG	Superfície de Valores	VUT	Geográfico	Campo Geográfico	Grade de células	Raster Dataset