

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Atualização da Planta Genérica de Valores e Simulação de Novas Alíquotas
para Lançamento do IPTU no Município de Bom Jesus do Itabapoana - RJ**

Jonas de Freitas Teófilo
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2026**

JONAS DE FREITAS TEÓFILO

**Atualização da Planta Genérica de Valores e Simulação de Novas Alíquotas
para Lançamento do IPTU no Município de Bom Jesus do Itabapoana - RJ**

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

Orientador: Daniel C. de O. Duarte

Coorientadora: Nilcilene das G. M. D. Poz

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

T259a Teófilo, Jonas de Freitas, 1997-
2026 Atualização da Planta Genérica de Valores e simulação de
novas alíquotas para o IPTU: aplicação no município de Bom
Jesus do Itabapoana-RJ / Jonas de Freitas Teófilo. – Viçosa, MG,
2026.

1 dissertação eletrônica (133 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Daniel Camilo de Oliveira Duarte.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Civil, 2026.

Referências bibliográficas: f. 128-133.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2026.538>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Bens imóveis - Avaliação. 2. Bens imóveis - Preços.
3. Imposto predial e territorial urbano - Bom Jesus do Itabapoana
(RJ). 4. Imposto predial e territorial urbano - Métodos de
simulação. 5. Análise espacial (Estatística). I. Duarte, Daniel
Camilo de Oliveira, 1983-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil. III. Título.

CDD 22. ed. 336.2298153

JONAS DE FREITAS TEÓFILO

**Atualização da Planta Genérica de Valores e Simulação de Novas Alíquotas
para Lançamento do IPTU no Município de Bom Jesus do Itabapoana - RJ**

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

APROVADA: 3 de julho de 2026.

Assentimento:

Jonas de Freitas Teófilo
Autor

Daniel Camilo de Oliveira Duarte
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 15/09/2026 às 13:25:30 e pelo orientador em 17/09/2026 às 16:21:02. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **USQ6.QXK6.LQU7** e clique no botão 'Validar documento'.

A Deus, pela força, coragem e sabedoria para superar cada desafio desta caminhada. Ao meu orientador, pela paciência, dedicação e ensinamentos ao longo desta trajetória. À minha família, pelo apoio incondicional, e à minha noiva, pelo carinho, compreensão e incentivo em todos os momentos. A vocês, dedico esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). A qual agradeço pelo apoio à formação acadêmica e à pesquisa.

A Deus, por iluminar meu caminho, conceder-me força, sabedoria e coragem nos momentos de dificuldade e por tornar possível a realização de mais esta importante etapa da minha vida.

Aos meus pais e à minha família, pelo amor, apoio e incentivo incondicionais, bem como pelos valores e ensinamentos que me acompanharam ao longo de toda a minha trajetória pessoal e acadêmica.

À minha noiva Gabrielle de Meira Silva, pelo carinho, companheirismo, compreensão e apoio durante esta caminhada, especialmente nos momentos de maior dedicação e desafios.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de realização deste curso e pela excelência da formação acadêmica, científica e profissional proporcionada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Daniel Camilo de Oliveira Duarte, pela orientação, confiança, paciência e disponibilidade, bem como pelos ensinamentos e contribuições fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa e para minha formação acadêmica e profissional.

Aos professores, colegas e amigos que compartilharam conhecimentos, experiências e momentos importantes ao longo desta trajetória e que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação e para a realização deste trabalho. E por fim a Prefeitura Municipal de Bom Jesus do Itabapoana-RJ e aos profissionais envolvidos no projeto de extensão que contribuíram para a obtenção e organização dos dados utilizados nesta pesquisa, tornando possível o desenvolvimento das análises apresentadas nesta dissertação.

“Conhecer o território é transformar informação em decisões mais justas.”

RESUMO

TEÓFILO, Jonas de Freitas, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2026.
Atualização da Planta Genérica de Valores e Simulação de Novas Alíquotas para Lançamento do IPTU no Município de Bom Jesus do Itabapoana - RJ.
Orientador: Daniel Camilo de Oliveira Duarte. Coorientadora: Nilcilene das Gracias Medeiros Dal Poz.

A Planta Genérica de Valores (PGV) constitui um importante instrumento da administração tributária municipal, sendo utilizada para determinação dos valores venais dos imóveis e definição da base de cálculo do Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU). Entretanto, diversos municípios brasileiros apresentam defasagem cadastral e tributária, resultando em distorções fiscais, perda de arrecadação e desigualdade na distribuição da carga tributária. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo atualizar a Planta Genérica de Valores do município de Bom Jesus do Itabapoana-RJ, por meio da determinação dos Valores Unitários de Terreno (VUT) e dos Valores Unitários de Edificação (VUE), visando à implantação de uma metodologia progressiva de cálculo do IPTU fundamentada nos princípios da justiça fiscal e da capacidade contributiva. A metodologia compreendeu a coleta e tratamento de dados do mercado imobiliário, delimitação das Zonas Homogêneas de Valor (ZHV) e aplicação do Método Comparativo Direto de Dados de Mercado, Regressão Linear Múltipla, Geoestatística e Análise Multicritério Espacial. Os valores das edificações foram estimados com base no Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB/SINDUSCON), considerando tipologia construtiva, padrão de acabamento e estado de conservação. Os resultados demonstraram elevada aderência dos modelos à realidade imobiliária municipal, atendendo aos critérios da ABNT NBR 14653-2 e às recomendações da International Association of Assessing Officers (IAAO). A integração entre geoestatística e análise multicritério proporcionou maior coerência espacial dos valores venais e adequada delimitação das ZHV. As simulações tributárias permitiram definir alíquotas progressivas por utilização e faixa de valor venal, fornecendo subsídios técnicos para a elaboração e eventual aprovação de Lei Complementar Municipal destinada a instituir uma nova PGV e uma metodologia atualizada de cálculo do IPTU, com potencial para contribuir para o fortalecimento da gestão tributária, territorial e financeira do município.

Palavras-chave: Imposto Predial e Territorial Urbano; Avaliação em Massa de Imóveis; Regressão Linear; Geoestatística; Análise Multicritério Espacial; Justiça Fiscal

ABSTRACT

TEÓFILO, Jonas de Freitas, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2026.
Update of the generic value schedule and simulation of new rates for the IPTU (Property Tax) assessment in the municipality of Bom Jesus do Itabapoana-RJ.
Adviser: Daniel Camilo de Oliveira Duarte. Co-adviser: Nilcilene das Gracias Medeiros Dal Poz.

The Property Value Map (PVM) is an important instrument of municipal tax administration, used to determine the assessed values of properties and establish the tax base for the Urban Property and Land Tax (IPTU). However, several Brazilian municipalities have outdated cadastral and tax databases, resulting in fiscal distortions, revenue losses, and inequalities in the distribution of the tax burden. In this context, this research aimed to update the Property Value Map of the municipality of Bom Jesus do Itabapoana, Rio de Janeiro, Brazil, by determining Land Unit Values (LUV) and Building Unit Values (BUV), with the purpose of proposing a progressive methodology for calculating the IPTU based on the principles of tax equity and ability to pay. The methodology comprised the collection and processing of real estate market data, the delineation of Homogeneous Value Zones (HVZ), and the application of the Direct Market Data Comparison Method, Multiple Linear Regression, Geostatistics, and Spatial Multicriteria Analysis. Building values were estimated based on the Basic Unit Cost of Construction (CUB/SINDUSCON), considering building typology, finishing standards, and state of conservation. The results demonstrated a high degree of agreement between the models and the local real estate market, meeting the criteria established by ABNT NBR 14653-2 and the recommendations of the International Association of Assessing Officers (IAAO). The integration of geostatistics and multicriteria analysis provided greater spatial consistency in assessed property values and an appropriate delineation of the HVZ. The tax simulations enabled the definition of progressive tax rates according to property use and assessed value ranges, providing technical support for the drafting and potential approval of a Municipal Complementary Law aimed at establishing a new Property Value Map and an updated methodology for calculating the IPTU, with the potential to strengthen the municipality's tax, territorial, and financial management.

Keywords: Urban Property and Land Tax (IPTU); Mass Appraisal; Multiple Linear Regression; Geostatistics; Spatial Multicriteria Analysis; Fiscal Justice

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Estatísticas descritivas dos valores unitários de terreno atual no município. ...	18
Figura 2: Valores por face de quadra praticado no município.	18
Figura 3: Semivariograma e seus parâmetros.	32
Figura 4: Modelos teóricos de semivariograma. Exponencial, Gaussiano e Esférico. ...	33
Figura 5: Caracterização dos Projetos-Padrão	38
Figura 6: Comparação de IPTU com a dedução por faixa e sem essa dedução.	46
Figura 7: Área de estudo (Perímetro de Expansão urbana).	47
Figura 8: Fluxograma das etapas metodológicas para determinação dos valores venais dos imóveis e simulação do IPTU.	49
Figura 9: Fluxograma da metodologia para elaboração do Valor Venal de Terreno.	50
Figura 10: Zona Homogênea de Valor para Sede do município.	55
Figura 11: Valor unitário para cada lote.	59
Figura 12: Valor Unitário transferido para face de quadra.	60
Figura 13: Distribuição das amostras e separação em treinamento e validação.	64
Figura 14: Origem da amostragem.	66
Figura 15: Distribuição temporal das amostras.	66
Figura 16: Histograma do VUT e suas estatísticas descritivas.	67
Figura 17: Detecção de Outliers pelo BoxPlot (Hinge = 3.0).	68
Figura 18: Variáveis Geográficas.	72
Figura 19: Fluxograma da Análise Multicritério do Meio Ambiente.	73
Figura 20: Fluxograma da Análise Multicritério dos Serviços Urbanos.	74
Figura 21: Fluxograma da Análise Multicritério da Infraestrutura Urbana.	74
Figura 22: Fluxograma da Análise Multicritério do perfil Econômico.	75
Figura 23: Fluxograma da Análise Multicritério Espacial de Valor.	76
Figura 24: Mapa da Análise Multicritério do Meio Ambiente.	76
Figura 25: Mapa da Análise Multicritério dos serviços urbanos.	77

Figura 26: Mapa da Análise Multicritério dos equipamentos urbanos.	77
Figura 27: Mapa da Análise Multicritério do Perfil Econômico Imobiliário.....	78
Figura 28: Dispersão dos Valores Estimados e Observados.	84
Figura 29: Gráficos para verificação da Homocedasticidade.	93
Figura 30: Gráficos para constatar a normalidade.	94
Figura 31: Gráficos para verificação de Outliers.	97
Figura 32: Semivariograma e Validação Cruzada ZH01.	100
Figura 33: Semivariograma e Validação Cruzada ZH02.	101
Figura 34: Semivariograma e Validação Cruzada ZH03.	101
Figura 35: Semivariograma e Validação Cruzada ZH04.	102
Figura 36: Superfície Unitária de Valores.	104
Figura 37: Planta Genérica de Valores 2026 por faces de quadras.....	106
Figura 38: Processo Hierárquico de Tomada de Decisão de Casas.	107
Figura 39: Processo Hierárquico de Tomada de Decisão de Apartamentos.	108
Figura 40: Processo Hierárquico de Tomada de Decisão de Salas e Lojas.	108
Figura 41: Processo Hierárquico de Tomada de Decisão das demais tipologias.	109
Figura 42: Separação das edificações em blocos construtivos.....	111
Figura 43: Distribuição dos imóveis territoriais por faixa de valor venal.....	113
Figura 44: Distribuição dos imóveis residenciais por faixa de valor venal.	114
Figura 45: Distribuição dos imóveis residenciais por faixa de valor venal.	115
Figura 46: Transição entre as duas primeiras faixas de valor de terreno sem dedução.	118
Figura 47: Transição entre as duas primeiras faixas de valor de terreno com dedução.	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de edificação praticados no município.	19
Tabela 2: Camadas do Sistema Cartográfico Municipal.....	48
Tabela 3: Inflação mensal pelo Índice IPCA em (%).	52
Tabela 4: Inflação mensal acumulada pelo índice IPCA em (%).	52
Tabela 5: Variáveis Dependentes da PGV.	53
Tabela 6: Distribuição das amostras de treinamento, validação e outliers por Zona Homogênea de Valor.....	64
Tabela 7: Variáveis Independentes intrínsecas ao terreno.	69
Tabela 8: Variáveis Independentes Extrínsecas ao terreno Serviços Urbanos e local de inundação.	70
Tabela 9: Variáveis Independentes Extrínsecas ao terreno (Geográficas).....	71
Tabela 10: Estatísticas das Zonas Homogêneas de Valor.....	78
Tabela 11: Modelos escolhidos para cada ZHV.	80
Tabela 12: Estatísticas das Variáveis Não Transformadas – ZH01.....	81
Tabela 13: Estatísticas das Variáveis Não Transformadas – ZH02.....	81
Tabela 14: Estatísticas das Variáveis Não Transformadas – ZH03.....	82
Tabela 15: Estatísticas das Variáveis Não Transformadas – ZH04.....	82
Tabela 16: Significância dos Regressores (Bicaldal) – ZHV01.....	86
Tabela 17: Significância dos Regressores (Bicaldal) – ZHV02.....	87
Tabela 18: Significância dos Regressores (Bicaldal) – ZHV03.....	87
Tabela 19: Significância dos Regressores (Bicaldal) – ZHV04.....	88
Tabela 20: Correlações Parciais – ZHV01.....	89
Tabela 21: Correlações Parciais – ZHV02.....	89
Tabela 22: Correlações Parciais – ZHV03.....	90
Tabela 23: Correlações Parciais – ZHV04.....	91
Tabela 24: Pressuposto da Micronumerosidade.....	91
Tabela 25: Análise da Variância (ANOVA).	92

Tabela 26: Teste de Kolmogorov-Smirnov.....	96
Tabela 27: Verificação da Não-Autocorrelação.....	96
Tabela 28: Qualidade e classificação dos modelos.	99
Tabela 29: Validação do MCRL e da Geoestatística dos terrenos.	105
Tabela 30: Valor do metro quadrado da Edificação por Tipologia e Padrão.....	110
Tabela 31: Alíquotas dos imóveis territoriais.	116
Tabela 32: Alíquotas dos imóveis residenciais.	117
Tabela 33: Alíquotas dos imóveis não residenciais.	117
Tabela 34: Comparação do IPTU entre 2025 e 2026 da tipologia terreno.....	120
Tabela 35: Comparação do IPTU entre 2025 e 2026 da tipologia Residencial.	121
Tabela 36: Comparação do IPTU entre 2025 e 2026 da tipologia Não Residencial.....	121
Tabela 37: Métricas de variação de IPTU para imóveis territoriais.....	122
Tabela 38: Métricas de variação de IPTU para imóveis residenciais.	123
Tabela 39: Métricas de variação de IPTU para imóveis não residenciais.....	123

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivo Geral	16
1.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Justificativas	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	Planta Genérica De Valores.....	21
2.2	Cadastro Territorial Multifinalitário.....	22
2.3	Zona Homogênea de Valor.....	23
2.4	Análise Multicritério Espacial.....	25
2.5	Modelagem Matemática de Terreno.....	27
2.5.1	NBR 14653.....	27
2.5.2	Método Comparativo Direto de Dados de Mercado	28
2.5.3	Regressão Linear Múltipla	29
2.5.4	Geoestatística.....	31
2.6	International Association of Assessing Officers (IAAO).....	34
2.7	Código Tributário Municipal.....	36
2.8	Valor Unitário de Edificação.....	37
2.9	Imposto sobre a Propriedade Territorial Urbana	40
2.10	Alíquota	42
2.11	Simulação do IPTU.....	44
3	MATERIAIS	46
3.1	Area de Estudos.....	46
3.2	Dados geográficos e ferramentas computacionais	47
4	METODOLOGIA.....	48
4.1	Atualização dos valores unitários de terrenos	49
4.1.1	Obtenção da amostra	50

4.1.2	Definição das variáveis	53
4.1.3	Delimitação das Zonas Homogêneas de Valor	55
4.1.4	Modelo Clássico de Regressão Linear	56
4.1.5	Modelo Geoestatístico.....	58
4.1.6	Transferência dos Valores para os Lotes	59
4.2	Atualização dos valores unitários de edificações	60
4.3	Definição de alíquotas	61
5	RESULTADOS	63
5.1	Amostragem e Variáveis	63
5.2	Zonas Homogêneas de Valores	73
5.3	Regressão Linear	79
5.4	Geoestatística.....	99
5.5	Valores das edificações	107
5.6	Definição das faixas de valores venais.....	112
5.7	Alíquotas e Simulação.....	115
6	CONCLUSÃO.....	125
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	128

1 INTRODUÇÃO

Os municípios brasileiros vivenciam um intenso processo de crescimento urbano e demográfico, o que impõe à administração pública o desafio de ampliar a eficiência da gestão financeira e tributária. A crescente demanda da população por serviços públicos de qualidade, como saúde, educação, infraestrutura urbana, mobilidade e saneamento, exige dos entes municipais maior capacidade de arrecadação e equilíbrio fiscal, reduzindo a dependência dos repasses estaduais e federais (Freire et al., 2006). Nesse contexto, o fortalecimento das receitas próprias torna-se essencial, destacando-se o IPTU como um dos principais instrumentos de arrecadação municipal (Duarte, 2019).

Embora possua finalidade predominantemente arrecadatória, o IPTU também exerce importante função extrafiscal, contribuindo para a promoção da justiça tributária e para o ordenamento territorial urbano. A base de cálculo desse tributo é o Valor Venal dos Imóveis (VVI), geralmente definido a partir da PGV, cuja elaboração deve observar os critérios técnicos estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), especialmente pela NBR 14.653-2:2011, Avaliação de Bens, Parte 2: Imóveis Urbanos. Conforme a norma, a PGV corresponde à “representação gráfica ou listagem dos valores genéricos do metro quadrado do imóvel em uma mesma data” (ABNT, 2011, p. 6).

O conceito técnico associado à PGV está diretamente relacionado à Avaliação em Massa de Imóveis, entendida como o processo de estimativa simultânea do valor de um grande número de imóveis, em uma mesma data de referência, utilizando modelos matemáticos, estatísticos e geoespaciais aplicados aos dados obtidos por meio do CTM atualizado (Averbeck, 2003; 2010). Nesse processo, o VVI é obtido pela composição entre os Valores Unitários de Terreno (VUT) e os Valores Unitários de Edificação (VUE), considerando-se as características físicas, construtivas e locacionais dos imóveis urbanos.

No presente estudo, os VUE serão determinados com base no Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB), divulgado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON), utilizando-se parâmetros construtivos compatíveis com os padrões das edificações cadastradas no município. A adoção do CUB-SINDUSCON visa conferir maior padronização, atualização e aderência aos custos reais da construção civil, possibilitando uma estimativa mais consistente do valor das edificações e, conseqüentemente, do VVI.

A partir da definição dos novos valores venais, propõe-se a construção de uma metodologia de tributação progressiva baseada em faixas de valor venal, associadas a mecanismos de dedução semelhantes aos aplicados no Imposto de Renda da Pessoa Física.

Dessa forma, busca-se estabelecer uma estrutura tributária mais equilibrada e socialmente justa, em que imóveis de menor valor sejam submetidos a menor carga tributária efetiva, enquanto imóveis de maior valor contribuam proporcionalmente mais para a arrecadação municipal. A aplicação de alíquotas progressivas por faixas de valor venal, acompanhadas de parcelas dedutíveis, pretende reduzir distorções tributárias e promover maior capacidade contributiva, respeitando os princípios da justiça fiscal e da equidade tributária.

A determinação dos Valores Unitários de Terreno, por sua vez, geralmente ocorre por meio do Método Comparativo Direto de Dados de Mercado, utilizando técnicas de inferência estatística, regressão múltipla, geoestatística, redes neurais artificiais e outros modelos de avaliação previstos pela ABNT (2011). A norma estabelece etapas fundamentais para a atualização da PGV, incluindo a coleta de dados de mercado, definição das variáveis explicativas, modelagem matemática e validação estatística dos resultados. Entretanto, a escassez de dados confiáveis, a heterogeneidade do mercado imobiliário e a autocorrelação espacial representam desafios recorrentes nas avaliações em massa, conforme discutido por Trivelloni (2005), Dantas et al. (2007), Diggle e Ribeiro (2007), Faria Filho (2015), Uberti (2016; 2018) e Duarte (2019).

Além disso, a correta delimitação das Zonas Homogêneas de Valorização Imobiliária constitui etapa indispensável para garantir maior precisão aos modelos de avaliação, uma vez que fatores locacionais exercem influência direta sobre o comportamento dos preços imobiliários. Nesse sentido, a qualidade técnica da Avaliação em Massa deve atender aos critérios de fundamentação e precisão previstos pela NBR 14.653-2, adotando-se, neste trabalho, o Grau de Fundamentação III, considerado o mais rigoroso da norma, bem como os parâmetros internacionais estabelecidos pela International Association of Assessing Officers (IAAO, 2013).

Por fim, destaca-se que os dados utilizados no desenvolvimento desta pesquisa foram obtidos no âmbito do projeto de extensão desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), por meio do Grupo de Engenharia para Gestão Territorial (GENTE), em parceria com a Prefeitura Municipal de Bom Jesus do Itabapoana-RJ, voltado à atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário do município.

1.1 Objetivo Geral

Atualizar a PGV do município de Bom Jesus do Itabapoana, por meio da determinação dos Valores Venais de Terreno e dos Valores Venais de Edificação, utilizando modelos de avaliação em massa fundamentados nas normas técnicas vigentes.

1.2 Objetivos Específicos

- Investigar a formação e a distribuição espacial dos VUT no município de Bom Jesus do Itabapoana-RJ, visando à obtenção de valores representativos do mercado imobiliário local.
- Analisar a determinação dos VUE a partir dos custos de construção estabelecidos pelo CUB/SINDUSCON, considerando as características construtivas e os fatores de depreciação das edificações.
- Desenvolver modelos de avaliação em massa dos imóveis urbanos por meio do MCRL, investigando sua capacidade de representar a variabilidade dos valores imobiliários.
- Investigar a contribuição da modelagem geoestatística na avaliação em massa de imóveis, considerando a dependência e a autocorrelação espacial dos valores observados no mercado imobiliário.
- Comparar o desempenho dos modelos de avaliação desenvolvidos, com base nas métricas recomendadas pela IAAO e nos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 14653-2.
- Analisar os efeitos da incorporação dos valores imobiliários estimados pelos modelos na estruturação de uma proposta de atualização da PGV do município.
- Desenvolver e analisar cenários de tributação do IPTU baseados em alíquotas progressivas por faixas de valor venal e parcelas dedutíveis, considerando as diferentes utilizações dos imóveis.
- Avaliar os impactos tributários e arrecadatários decorrentes dos cenários propostos, verificando seus efeitos sobre a distribuição da carga tributária e a arrecadação municipal.

1.3 Justificativas

É amplamente reconhecido que uma PGV atualizada assegura uma base de cálculo mais justa e eficiente para o IPTU e demais tributos de natureza territorial, conforme determina o Código Tributário Nacional (CTN). A PGV fornece as condições técnicas e legais necessárias para a adequada aplicação da legislação tributária, garantindo uniformidade na tributação e evitando distorções entre imóveis com características semelhantes, promovendo maior segurança jurídica tanto para o poder público quanto para os contribuintes.

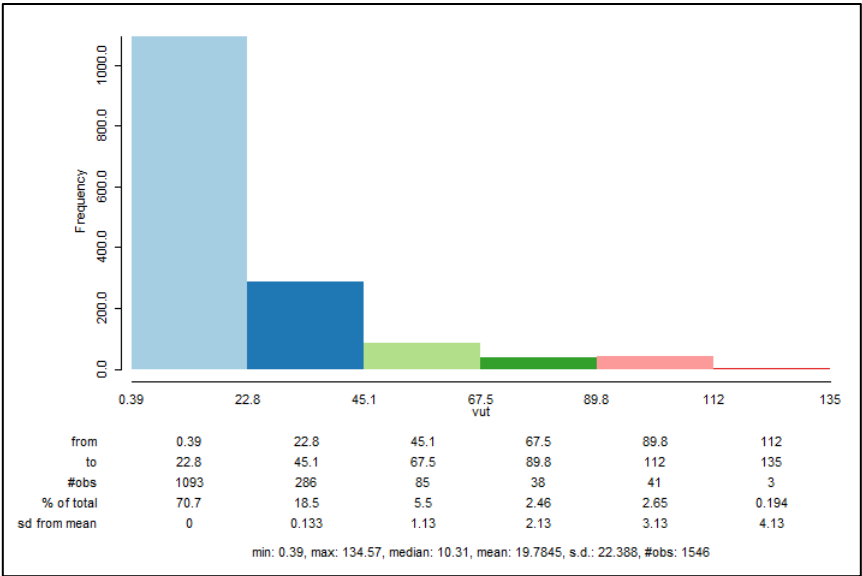
Além da função arrecadatória, a PGV constitui importante instrumento de planejamento urbano, permitindo à administração municipal atuar de forma mais eficiente no controle do uso e ocupação do solo, na formulação de políticas públicas e na atualização do CTM (Oliveira, 2015).

Entretanto, o município de Bom Jesus do Itabapoana não possui, até o presente momento, uma atualização integral e formalizada de sua PGV. A última atualização oficial ocorreu durante a elaboração do Código Tributário Municipal em 1977, sendo que alterações posteriores foram realizadas de maneira interna e sem fundamentação técnica documentada. Tal cenário contraria as recomendações do então Ministério das Cidades, que estabelece a necessidade de atualização periódica das avaliações imobiliárias urbanas em intervalos máximos de quatro anos (Brasil, 2009).

Como consequência dessa defasagem, os valores venais atualmente utilizados no cálculo do IPTU encontram-se incompatíveis com a realidade do mercado imobiliário local, resultando em distorções tributárias significativas. Imóveis localizados em áreas valorizadas permanecem, em muitos casos, com valores tributáveis inferiores aos praticados no mercado, enquanto imóveis com características semelhantes podem apresentar cobranças desiguais. Essa desatualização, reduz a eficiência arrecadatória do município e dificulta a implementação de políticas tributárias mais equilibradas e compatíveis com a capacidade contributiva da população.

As análises realizadas sobre o VUT evidenciaram significativa discrepância entre os valores praticados pelo município e os valores observados no mercado imobiliário, Figura 1. A distribuição de frequência dos valores atualmente utilizados apresenta média de R\$ 19,78, mediana de R\$ 10,31, desvio padrão de R\$ 22,39 e valor máximo de R\$ 134,57 localizado na região central da sede municipal. Esses indicadores demonstram elevada dispersão dos dados e forte heterogeneidade na estrutura de valoração vigente, refletindo inconsistências na representação da valorização imobiliária urbana.

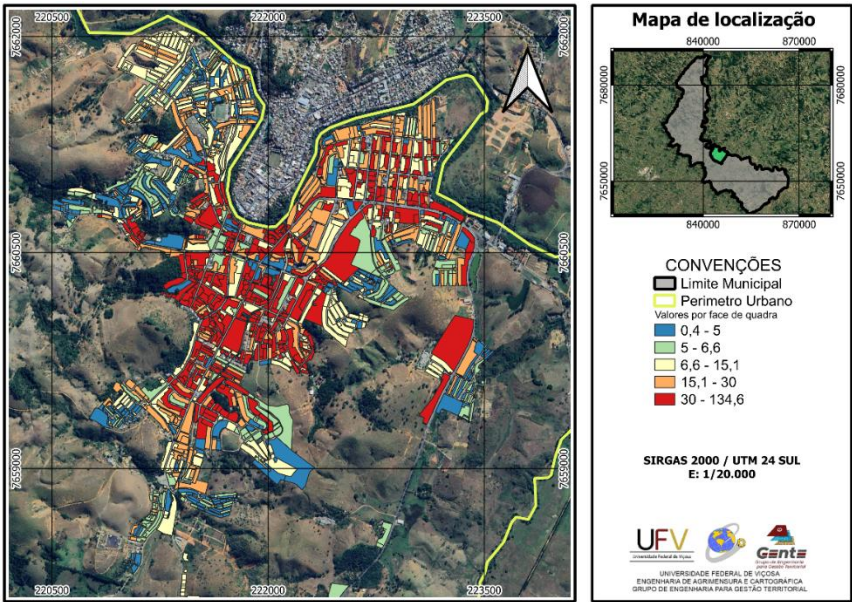
Figura 1: Estatísticas descritivas dos valores unitários de terreno atual no município.



Fonte: O autor.

Além disso, a análise espacial dos valores unitários de terreno vigentes no município evidencia uma significativa desatualização da Planta Genérica de Valores. Observa-se que os valores mais elevados se encontram distribuídos de forma dispersa pelo território, sem refletir adequadamente a dinâmica do mercado imobiliário local, Figura 2. Áreas centrais e tradicionalmente mais valorizadas apresentam, em muitos casos, valores semelhantes ou até inferiores aos observados em regiões periféricas e com menor oferta de infraestrutura urbana.

Figura 2: Valores por face de quadra praticado no município.



Fonte: O autor.

O mapa demonstra a inexistência de um padrão coerente de distribuição dos valores venais, evidenciando um cenário de forte heterogeneidade e descontinuidade espacial. Nota-se que imóveis localizados em áreas com características urbanísticas, econômicas e locacionais semelhantes são enquadrados em faixas de valores bastante distintas, enquanto imóveis situados em regiões com diferentes níveis de valorização frequentemente recebem valores equivalentes. Essa configuração resulta em um mosaico de valores aparentemente aleatório, incompatível com a lógica de formação dos preços praticados pelo mercado imobiliário.

As análises dos valores unitários de edificação atualmente adotados pelo município de Bom Jesus do Itabapoana, realizadas a partir dos dados obtidos no âmbito do projeto de extensão, evidenciaram significativa defasagem em relação aos custos da construção civil e aos valores praticados no mercado imobiliário local.

Observa-se que as tipologias construtivas atualmente utilizadas possuem valores genéricos por metro quadrado pouco compatíveis com a realidade econômica atual, Tabela 1, como casas avaliadas em R\$/m² 962,90, apartamentos em R\$/m² 1.013,64 e lojas em R\$/m² 577,86. Além disso, algumas categorias distintas compartilham os mesmos valores unitários, como lojas e salas, enquanto outras tipologias apresentam valores extremamente reduzidos, como telheiros, evidenciando ausência de atualização técnica e econômica dos parâmetros utilizados.

Tabela 1: Valores de edificação praticados no município.

TIPOLOGIA	Valor R\$/m²
CASA	R\$ 962,90
CONSTRUÇÃO PRECÁRIA	R\$ 240,62
APARTAMENTO	R\$ 1.013,64
LOJA	R\$ 577,86
SALA	R\$ 577,86
GALPÃO	R\$ 240,62
TELHEIRO	R\$ 142,92
FÁBRICA	R\$ 268,96
ESPECIAL	R\$ 962,90

Fonte: O autor.

Outro aspecto relevante refere-se à inexistência de diferenciação das edificações conforme o padrão construtivo. Na metodologia atualmente praticada pelo município, imóveis com padrões construtivos distintos acabam recebendo valores unitários semelhantes, desconsiderando fatores que influenciam diretamente o valor de mercado das edificações. Tal simplificação gera distorções tributárias significativas, comprometendo os princípios da equidade e da capacidade contributiva.

Diante do exposto, este trabalho justifica-se pela necessidade de atualização da PGV do município de Bom Jesus do Itabapoana, considerando a defasagem dos valores venais atualmente utilizados na tributação municipal em relação à dinâmica do mercado imobiliário local. A ausência de atualização periódica da PGV compromete a uniformidade tributária e a eficiência da arrecadação municipal, além de dificultar a adequada aplicação dos instrumentos de gestão territorial previstos na legislação urbana brasileira.

Nesse contexto, a proposição de uma metodologia para determinação dos Valores Unitários de Terreno, integrada à atualização dos Valores Unitários de Edificação com base em critérios técnicos compatíveis com a realidade da construção civil, torna-se fundamental para a estruturação de uma PGV mais moderna, precisa e aderente ao mercado imobiliário municipal. A atualização da PGV permitirá a obtenção de valores venais mais coerentes com a realidade urbana do município, reduzindo distorções tributárias históricas e promovendo maior equidade na cobrança do IPTU.

Além de contribuir como subsídio técnico para a tomada de decisão na aplicação de instrumentos da Política Urbana e da Gestão Territorial previstos no Estatuto da Cidade, a atualização da PGV também poderá proporcionar impactos positivos na arrecadação municipal, ampliando a capacidade financeira da administração pública sem necessariamente elevar a carga tributária de forma desproporcional. Dessa forma, espera-se fortalecer a autonomia financeira do município, possibilitando maiores investimentos em infraestrutura urbana, serviços públicos e planejamento territorial, em benefício do desenvolvimento urbano e da qualidade de vida da população.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Planta Genérica De Valores

A PGV constitui um dos principais instrumentos técnicos da administração tributária municipal, sendo fundamental para o planejamento urbano, a gestão territorial e a definição da base de cálculo do IPTU. Sua principal função é representar, de forma padronizada e sistematizada, os valores venais dos imóveis urbanos, possibilitando maior uniformidade na tributação imobiliária (Averbeck, 2003; 2010). Além da função arrecadatória, a PGV também contribui para o ordenamento territorial, subsidiando políticas públicas relacionadas ao uso e ocupação do solo, expansão urbana e elaboração de instrumentos previstos no Estatuto da Cidade, como o Plano Diretor e a política de desenvolvimento urbano (Cesare et al., 2010).

No Brasil, os procedimentos técnicos relacionados à avaliação de bens são regulamentados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da série NBR 14.653, publicada em 2001. Essa norma estabelece conceitos, critérios, métodos e diretrizes para avaliações de bens em diferentes modalidades. Especificamente, a ABNT NBR 14.653-2:2011 trata da avaliação de imóveis urbanos, definindo terminologias, procedimentos metodológicos e critérios técnicos para elaboração de laudos e pareceres de avaliação mercadológica. A norma também orienta sobre a aplicação de métodos estatísticos e inferenciais voltados à Avaliação em Massa de Imóveis, especialmente para fins tributários (Duarte, 2019).

Segundo Cunha e Erba (2010), os modelos de avaliação em massa são amplamente utilizados pelos municípios na determinação dos valores venais utilizados para cálculo do IPTU. Esses modelos buscam estimar os valores dos imóveis de forma padronizada, considerando características físicas, construtivas, econômicas e locacionais. Entretanto, por se tratarem de avaliações genéricas aplicadas a um grande número de imóveis, nem todas as particularidades individuais dos bens conseguem ser integralmente contempladas, tornando indispensável a utilização de metodologias estatísticas e bases cadastrais atualizadas para garantir maior aderência ao mercado imobiliário.

Cesare (2012) descreve que a elaboração de uma PGV envolve diversas etapas técnicas e operacionais. Inicialmente, são definidos os objetivos e a abrangência do trabalho, seguidos da formação de parcerias institucionais entre o poder público e entidades técnicas especializadas. Posteriormente, realiza-se a caracterização do mercado imobiliário local, incluindo levantamentos de campo, estudos das zonas urbanas e identificação das variáveis que influenciam a formação dos preços dos imóveis.

Por fim, os modelos validados são aplicados para a determinação do VUT, do VUE e,

consequentemente, dos Valores Venais dos Imóveis que compõem a PGV. Os resultados obtidos são então organizados e disponibilizados por meio de relatórios técnicos, mapas temáticos, boletins e legislações tributárias municipais.

Dessa forma, a PGV pode ser compreendida como um instrumento técnico, estatístico e territorial que reúne, de maneira sistematizada, os valores venais dos imóveis urbanos de um município, servindo como base para a tributação imobiliária, para o planejamento urbano e para a formulação de políticas públicas voltadas à gestão eficiente do território municipal.

2.2 Cadastro Territorial Multifinalitário

A atualização do CTM constitui etapa fundamental para garantir maior precisão e confiabilidade na modelagem da PGV. A qualidade das avaliações imobiliárias realizadas em massa depende diretamente da disponibilidade de dados cadastrais atualizados, padronizados e georreferenciados, capazes de representar adequadamente as características físicas, construtivas, econômicas e locacionais dos imóveis urbanos (Erba, 2005; Cunha & Erba, 2010). Informações relativas à área construída, padrão construtivo, tipologia, estado de conservação, uso do imóvel, infraestrutura urbana e localização são essenciais para a correta determinação dos Valores Venais dos Imóveis, permitindo que a tributação imobiliária ocorra de forma mais justa, uniforme e compatível com a realidade do mercado.

Nesse contexto, um CTM atualizado possibilita maior aderência entre os valores venais utilizados pela administração pública e os valores efetivamente praticados no mercado imobiliário, reduzindo distorções tributárias e promovendo maior equidade fiscal. Além disso, a confiabilidade dos dados cadastrais influencia diretamente o desempenho dos modelos matemáticos utilizados na Avaliação em Massa de Imóveis, uma vez que inconsistências cadastrais podem comprometer a significância estatística das variáveis explicativas e reduzir a capacidade preditiva dos modelos (Cesare & Cunha, 2010).

O CTM caracteriza-se por sua multifinalidade, integrando informações jurídicas, físicas, econômicas, sociais e ambientais do território urbano em uma base única e continuamente atualizável. Segundo o Ministério das Cidades (Brasil, 2009), sua estrutura deve permitir a incorporação gradual de diferentes cadastros temáticos, atendendo às demandas administrativas, tributárias, urbanísticas e ambientais dos municípios. Dessa forma, o cadastro deixa de exercer apenas função fiscal e passa a atuar como instrumento estratégico de gestão territorial e planejamento urbano.

Historicamente, os cadastros territoriais surgiram com finalidade eminentemente fiscal, destinados ao registro e à identificação dos imóveis para fins de tributação. Entretanto, ao longo

das últimas décadas, sua função foi gradativamente ampliada, passando a desempenhar papel fundamental no planejamento urbano, na gestão territorial e na formulação de políticas públicas. Segundo Dale e McLaughlin (1999), os sistemas cadastrais modernos constituem infraestruturas essenciais para a administração do território, fornecendo informações confiáveis sobre a ocupação, uso e valor das propriedades. No contexto brasileiro, o conceito de Cadastro Territorial Multifinalitário consolidou-se a partir das diretrizes estabelecidas pelo Ministério das Cidades (Brasil, 2009), que reconhecem o cadastro como instrumento de integração entre diferentes setores da administração pública municipal.

A literatura destaca que a efetividade do CTM está diretamente relacionada à sua capacidade de integrar informações provenientes de múltiplas fontes e mantê-las permanentemente atualizadas. Para Erba (2005), o cadastro moderno deve ser entendido como um sistema de informações territoriais estruturado sobre parcelas georreferenciadas, capaz de subsidiar atividades relacionadas à tributação imobiliária, regularização fundiária, planejamento urbano, gestão ambiental e prestação de serviços públicos. Nesse sentido, a adoção de tecnologias geoespaciais, bancos de dados relacionais e Sistemas de Informação Geográfica tem ampliado significativamente o potencial de utilização do cadastro, transformando-o em uma das principais bases de apoio à governança municipal.

Com o avanço das técnicas de Avaliação em Massa de Imóveis, especialmente aquelas fundamentadas em modelos econométricos, regressão espacial e métodos geoestatísticos, tornou-se indispensável a ampliação e qualificação das bases de dados cadastrais. A incorporação de variáveis espaciais e a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem representar com maior precisão a influência da localização sobre os valores imobiliários, aumentando a qualidade das estimativas e a confiabilidade da PGV (Cunha & Erba, 2010). Assim, a integração entre CTM, SIG e modelos estatísticos de avaliação representa um dos principais pilares para a modernização da gestão tributária municipal e para a construção de políticas fiscais mais eficientes e socialmente justas.

2.3 Zona Homogênea de Valor

As ZHV constituem um dos principais instrumentos técnicos utilizados na elaboração e atualização de PGV, especialmente nos processos de Avaliação em Massa de Imóveis Urbanos. Sua finalidade é agrupar áreas urbanas que apresentem características semelhantes de valorização imobiliária, permitindo maior uniformidade na determinação dos VUT e maior coerência entre os valores venais estimados e o comportamento do mercado imobiliário local (Averbeck, 2003).

Segundo a ABNT NBR 14.653-2:2011, a localização é um dos fatores que mais influenciam o valor de mercado dos imóveis urbanos, sendo indispensável a consideração das características físico-locacionais na modelagem dos valores imobiliários. Dessa forma, a divisão do espaço urbano em zonas homogêneas busca reduzir a heterogeneidade espacial dos dados e melhorar a precisão dos modelos de avaliação, agrupando imóveis submetidos a condições semelhantes de infraestrutura, acessibilidade, uso e ocupação do solo, padrão construtivo e dinâmica de mercado (ABNT, 2011).

De acordo com Erba (2005), as Zonas Homogêneas de Valor podem ser definidas como áreas territorialmente delimitadas nas quais os imóveis apresentam comportamento semelhante de valorização, decorrente da influência de atributos urbanos comuns. Entre esses atributos destacam-se a proximidade a equipamentos urbanos, disponibilidade de infraestrutura pública, hierarquia viária, topografia, padrão socioeconômico da ocupação e potencial de uso do solo. A correta delimitação dessas zonas permite reduzir distorções na tributação imobiliária e aumentar a representatividade dos modelos matemáticos utilizados na Avaliação em Massa.

A literatura especializada destaca que a definição das ZHV pode ser realizada tanto por métodos tradicionais, baseados na análise técnica e empírica do espaço urbano, quanto por métodos quantitativos fundamentados em técnicas estatísticas, geoestatísticas e SIG. Segundo Cunha e Erba (2010), o avanço das geotecnologias permitiu aprimorar significativamente os processos de delimitação das zonas homogêneas, incorporando análises espaciais mais precisas e variáveis locacionais capazes de representar adequadamente a dinâmica do mercado imobiliário urbano.

Como critério para avaliar a homogeneidade interna das ZHV, será utilizado o Coeficiente de Variação (CV) dos valores observados em cada zona. De acordo com o documento Avaliação em massa de imóveis para fins fiscais: discussão, análise e identificação de soluções para problemas e casos práticos, publicado pelo Ministério das Cidades (2012), valores de CV inferiores a 25% indicam adequada homogeneidade interna, evidenciando menor dispersão dos valores em relação à média e maior similaridade no comportamento do mercado imobiliário dentro da zona analisada. Dessa forma, nesta pesquisa, o limite de 25% será adotado como parâmetro para a validação das ZHV, considerando-se adequadamente homogêneas aquelas que apresentarem CV inferior a esse valor.

Para Dantas (2005), a delimitação das ZHV representa uma etapa essencial para a aplicação do Método Comparativo Direto de Dados de Mercado, previsto pela ABNT NBR 14.653-2. Isso ocorre porque a homogeneização espacial dos dados reduz a variabilidade dos

preços dos terrenos e melhora o desempenho estatístico dos modelos de regressão utilizados na estimativa dos valores venais. Em áreas urbanas heterogêneas, a ausência de zonificação adequada pode gerar modelos com baixa capacidade preditiva e elevado grau de dispersão dos resíduos.

Assim, observa-se que as Zonas Homogêneas de Valor representam um elemento fundamental na modelagem dos Valores Unitários de Terreno e na construção de Plantas Genéricas de Valores mais precisas, uniformes e aderentes ao mercado imobiliário. Sua correta definição contribui não apenas para a melhoria da qualidade técnica das avaliações em massa, mas também para a promoção da eficiência arrecadatória e do planejamento territorial municipal.

2.4 Análise Multicritério Espacial

A Análise Multicritério Espacial (MCE), também denominada Multi-Criteria Evaluation, consiste em um Sistema de Apoio à Tomada de Decisão capaz de integrar, transformar e analisar diferentes dados geográficos com o objetivo de subsidiar processos decisórios complexos (MALCZEWSKI, 1999). Essa metodologia possibilita avaliar simultaneamente múltiplos critérios espaciais, permitindo gerar modelos de adequabilidade e suporte técnico para diferentes aplicações no planejamento territorial, ambiental e urbano.

Segundo Malczewski (1999), a integração entre SIG e a Análise Multicritério Espacial representa uma ferramenta robusta para problemas de decisão que envolvem múltiplas alternativas e diferentes objetivos. Nesse contexto, a combinação entre técnicas de análise espacial e métodos multicritério possibilita identificar áreas mais ou menos adequadas conforme um conjunto de variáveis previamente definidas (EASTMAN, 1997).

No caso da avaliação imobiliária em massa, a MCE apresenta grande potencial para validação e delimitação das ZHV, uma vez que a valorização imobiliária resulta da interação simultânea de fatores ambientais, urbanísticos, estruturais, econômicos e locacionais. Dessa forma, a metodologia permite representar espacialmente o comportamento do mercado imobiliário, identificando áreas com padrões semelhantes de valorização.

A eficiência da modelagem multicritério depende diretamente da forma como os critérios são estruturados, ponderados e integrados no modelo decisório. Conforme destacado por Calijuri et al. (2002), tanto a definição dos critérios quanto a atribuição dos pesos possuem influência significativa sobre o resultado final da análise, tornando essencial a correta parametrização dos fatores e restrições utilizados na modelagem.

As restrições correspondem, geralmente, a limitações impostas pela legislação ou por

condicionantes físicas e ambientais, sendo representadas por critérios booleanos, nos quais áreas aptas recebem valor 1 e áreas não aptas recebem valor nulo. Essas restrições têm a função de limitar espacialmente a análise às regiões passíveis de ocupação, valorização ou utilização específica (CALIJURI et al., 2002).

Já os fatores correspondem aos critérios que exercem influência positiva ou negativa sobre a adequabilidade ou valorização de determinada área. Diferentemente das restrições, os fatores são representados por escalas contínuas de adequabilidade, permitindo graduar o nível de influência de cada variável espacial na valorização imobiliária (BAPTISTA, 2009). Dessa forma, fatores como acessibilidade, proximidade de equipamentos urbanos, densidade comercial, infraestrutura urbana e características ambientais podem aumentar ou reduzir o potencial de valorização de determinadas regiões.

Entretanto, os diferentes critérios utilizados na modelagem normalmente apresentam unidades de medida distintas, o que inviabiliza sua integração direta. Para solucionar esse problema, torna-se necessário realizar a padronização ou reclassificação dos dados em uma escala comum de adequabilidade, permitindo a posterior agregação das variáveis espaciais (EASTMAN, 1997).

A reclassificação consiste na conversão dos valores originais dos dados em níveis padronizados de adequabilidade ou aptidão espacial (BAPTISTA, 2009; COMINO et al., 2014). Diversos métodos podem ser empregados nesse processo, como Intervalos Iguais, Quartis e Desvio Padrão. Entretanto, os métodos de Intervalos Geométricos e Quebras Naturais (Jenks) têm se destacado devido à sua maior eficiência na representação de dados espaciais não uniformemente distribuídos (ESRI, 2014).

O método dos Intervalos Geométricos baseia-se em progressões geométricas e apresenta bom desempenho para dados com distribuição não normal, permitindo representar adequadamente padrões espaciais assimétricos (FYER, 2007). Já o método de Quebras Naturais (Jenks) fundamenta-se no agrupamento natural dos dados, buscando minimizar a variabilidade interna das classes e maximizar a variabilidade entre elas, tornando-se especialmente eficiente na classificação de valores espaciais heterogêneos (JENKS; CASPALL, 1971).

Dessa forma, a Análise Multicritério Espacial configura-se como uma importante ferramenta metodológica para validação das Zonas Homogêneas de Valor, permitindo integrar múltiplas variáveis geográficas relacionadas à valorização imobiliária, representar espacialmente padrões de adequabilidade e subsidiar a elaboração de modelos avaliatórios mais homogêneos, coerentes e aderentes à dinâmica do mercado imobiliário urbano.

2.5 Modelagem Matemática de Terreno

2.5.1 NBR 14653

A determinação do VUT em PGV, fundamenta-se na utilização de modelos matemáticos capazes de representar o comportamento do mercado imobiliário urbano de forma técnica, padronizada e estatisticamente consistente. No contexto da Avaliação em Massa de Imóveis, a modelagem matemática busca estimar os valores venais dos terrenos a partir da relação entre os preços de mercado e as características físicas, locacionais e econômicas dos imóveis, permitindo a obtenção de valores mais homogêneos e compatíveis com a realidade imobiliária local (Dantas, 2005; Averbeck, 2003).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da ABNT NBR 14.653-2:2011, Avaliação de Bens: Parte 2, Imóveis Urbanos, estabelece que o método preferencial para avaliação de terrenos urbanos é o Método Comparativo Direto de Dados de Mercado. Esse método baseia-se na coleta e tratamento de amostras representativas de ofertas e transações imobiliárias, utilizando modelos de inferência estatística para explicar a formação dos preços dos imóveis a partir de variáveis independentes, como localização, área, testada, topografia, infraestrutura urbana e padrão de ocupação do entorno (ABNT, 2011).

Entre os modelos matemáticos mais utilizados destaca-se o Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL), amplamente aplicado em avaliações imobiliárias devido à sua capacidade de identificar relações entre o valor do imóvel e suas variáveis explicativas. Segundo Dantas (2005), a regressão linear múltipla permite estimar o comportamento do mercado imobiliário de forma objetiva, reduzindo a subjetividade nas avaliações e proporcionando maior uniformidade nos resultados. Entretanto, em avaliações em massa, a existência de dependência espacial entre os dados pode comprometer os pressupostos clássicos do modelo, especialmente os relacionados à independência dos resíduos, tornando necessária a aplicação de modelos geoestatísticos e técnicas de regressão espacial (Diggle & Ribeiro, 2007; Duarte, 2019).

A ABNT NBR 14.653-2:2011 também estabelece critérios normativos para verificação da qualidade técnica dos modelos de avaliação, por meio dos graus de fundamentação e precisão. O Grau de Fundamentação está relacionado à robustez metodológica da avaliação, considerando aspectos como qualidade e quantidade da amostra, tratamento dos dados, especificação do modelo e consistência estatística. A norma define três níveis de fundamentação, sendo o Grau III o mais rigoroso, exigindo maior controle técnico e confiabilidade dos procedimentos adotados (ABNT, 2011).

2.5.2 Método Comparativo Direto de Dados de Mercado

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2001), há diversos métodos reconhecidos para estimar o valor de bens, seus frutos e direitos, entre eles: o Método Comparativo Direto de Dados de Mercado (MCDDM), o Método Involutivo, o Método Evolutivo, o Método da Capitalização da Renda, o Método Comparativo Direto de Custo e o Método da Qualificação do Custo. Dentre esses, a norma recomenda o uso do MCDDM, que consiste na aplicação de modelos matemáticos baseados em dados de mercado, como amostras de transações ou ofertas imobiliárias, para estimar o valor dos imóveis de forma objetiva e fundamentada (ABNT, 2001)

A formação de um banco de dados confiável sobre transações e ofertas de imóveis depende da cooperação entre diversos agentes, como prefeituras, instituições financeiras, cartórios de registro de imóveis, entidades do setor imobiliário como o SECOVI, conselhos profissionais como o CREA, e associações especializadas em avaliação, como o IBAPE e a SOBREA (IMAPE, 1998; Dantas, 2005). As informações podem ser obtidas de fontes variadas, como registros cartoriais, anúncios em jornais, revistas, leilões, placas no local, corretores, incorporadoras, agentes financeiros e guias de imposto de transmissão emitidas pelos municípios. Mais recentemente, a internet tem se consolidado como uma fonte relevante para a coleta de ofertas e preços de imóveis.

Um aspecto essencial na avaliação de imóveis é a identificação das variáveis que influenciam seu valor. No contexto do MCDDM, as variáveis dependentes geralmente correspondem ao valor total (VT) ou ao valor unitário (VU) do imóvel (Faria Filho, 2015), enquanto as variáveis independentes podem ser classificadas como intrínsecas ou extrínsecas (ABNT, 2001). Segundo Imape (1998) e Dantas (2005), essas variáveis exercem forte influência sobre o valor final do bem. Os parâmetros extrínsecos referem-se às características da área onde o imóvel está inserido, como topografia, uso e ocupação do solo, infraestrutura urbana e presença de serviços públicos, como segurança, saúde e educação. Já os parâmetros intrínsecos dizem respeito às características físicas do próprio imóvel, como área, forma, testada, profundidade e condições do terreno.

2.5.3 Regressão Linear Múltipla

A aplicação da inferência estatística na avaliação em massa de imóveis, por meio da regressão múltipla, visa identificar o modelo matemático que melhor descreva o comportamento do mercado imobiliário (Faria Filho, 2015). No Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL), a variável dependente é representada por uma combinação linear das variáveis explicativas, que podem estar na escala original ou submetidas a transformações, somada a um termo de erro aleatório (ABNT, 2011). A Equação 1 exemplifica a formulação do MCRL.

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

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 Método dos Mínimos Quadrados μ_i : erro aleatório e i : observações representadas por n amostras (Duarte 2019).

A qualidade da avaliação está diretamente relacionada ao desempenho do modelo matemático utilizado, isto é, ao grau de aderência entre os valores estimados pelo modelo e os valores efetivamente observados no mercado imobiliário. As medidas de desempenho podem ser classificadas em dois grupos principais: medidas de desempenho global da avaliação e medidas associadas à equidade e uniformidade dos resultados (TRIVELLONI, 2005; UBERTI, 2016). Segundo Dantas (2005), os principais indicadores empregados na verificação da qualidade dos modelos são o Coeficiente de Correlação (R), o Coeficiente de Determinação (R^2), o Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2 ajustado), além dos testes estatísticos de hipóteses.

Na utilização de modelos de regressão, é fundamental observar os pressupostos estatísticos básicos, de forma a garantir estimativas eficientes, consistentes e não tendenciosas. A ABNT NBR 14653-2 estabelece que os principais pressupostos a serem verificados são:

I – Micronumerosidade: ocorre quando a quantidade de amostras é insuficiente em relação ao número de variáveis independentes utilizadas no modelo. Para minimizar esse problema, recomenda-se aumentar o número de observações da amostra ou reduzir a quantidade de variáveis explicativas.

II – Linearidade: refere-se à existência de relação linear entre a variável dependente e as variáveis independentes. A ausência de linearidade pode gerar tendências nos resíduos e reduzir a eficiência do estimador dos Mínimos Quadrados Ordinários (MMQ) na determinação dos coeficientes da regressão (FARIA FILHO, 2015; UBERTI, 2016). Esse pressuposto pode

ser analisado por meio de gráficos entre a variável dependente e cada variável explicativa, sendo possível aplicar transformações matemáticas para adequação do modelo (ABNT, 2011).

III – Não Multicolinearidade: está associada à ausência de elevada correlação linear entre duas ou mais variáveis independentes. A presença de multicolinearidade pode gerar instabilidade nos coeficientes estimados, dificultando a interpretação do modelo e produzindo diferentes soluções com grau semelhante de ajustamento. Sua verificação é normalmente realizada por meio da matriz de correlação, sendo recomendável evitar correlações superiores a 0,80, idealmente mantendo valores inferiores a 0,50 (UBERTI, 2016).

IV – Normalidade: pressupõe que os resíduos do modelo apresentem distribuição aproximadamente normal (gaussiana), condição importante para validade dos testes estatísticos e construção dos intervalos de confiança. A ABNT NBR 14653-2 recomenda diferentes procedimentos para verificação da normalidade, como análise do histograma dos resíduos padronizados, gráficos de probabilidade normal, comparação das frequências relativas dos resíduos com a distribuição normal padrão e aplicação do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov. Pequenos desvios podem ser tolerados, uma vez que os testes estatísticos baseados na distribuição t de Student apresentam relativa robustez a pequenas violações desse pressuposto (UBERTI, 2016).

V – Homocedasticidade: corresponde à condição em que os resíduos apresentam variância constante ao longo de toda a amostra. A heterocedasticidade pode comprometer a eficiência das estimativas e gerar distorções nos testes estatísticos t de Student e F de Snedecor (UBERTI, 2016). Sua verificação pode ser realizada por meio da análise gráfica dos resíduos versus valores ajustados ou por testes específicos, como Park, White, Breusch-Pagan e Koenker-Bassett (ABNT, 2011).

VI – Não Autocorrelação: refere-se à independência entre os resíduos do modelo. A existência de autocorrelação compromete a eficiência dos estimadores obtidos pelo MMQ e prejudica a validade dos testes estatísticos. Esse pressuposto pode ser avaliado graficamente ou por meio do teste de Durbin-Watson (ABNT, 2011).

VII – Inexistência de Outliers: corresponde à ausência de observações extremas ou discrepantes que não se ajustam adequadamente ao comportamento geral da amostra. A presença de outliers pode provocar distorções nos coeficientes da regressão e comprometer a qualidade do modelo. Sua identificação pode ser realizada por meio da análise gráfica dos resíduos e de diagramas Box Plot.

2.5.4 Geoestatística

A inferência espacial refere-se à estimativa das propriedades de um fenômeno geográfico a partir de amostras, utilizando técnicas de interpolação que ajustam funções matemáticas aos dados coletados (Yamamoto & Landim, 2013). Conforme Trivelloni (2005), Uberti (2016) e Duarte (2019), esses processos de interpolação podem ser classificados em modelos determinísticos ou estatísticos, que levam em conta efeitos locais ou globais. De forma geral, esses modelos seguem uma formulação matemática padronizada, conforme apresentada na Equação 2.

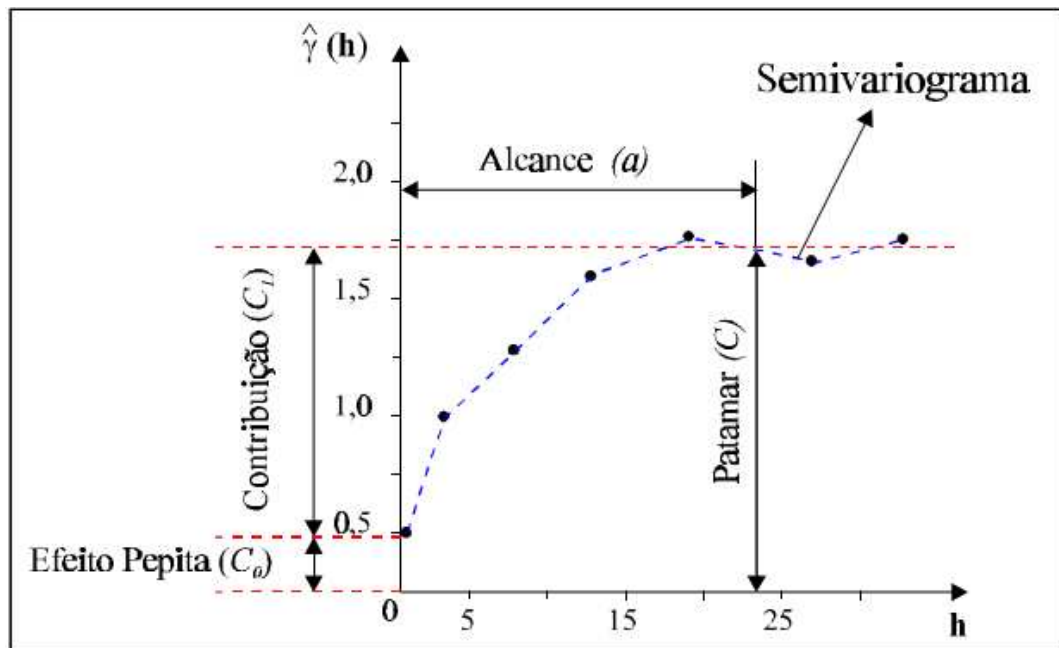
$$Z_{(k)} = \sum (\rho_{(i)} \times Z_{(i)}) \quad (2)$$

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

Diferentemente das abordagens determinísticas, que utilizam apenas aspectos geométricos para estimar valores, a geoestatística, especialmente por meio da krigagem, adota modelos estocásticos baseados em processos aleatórios, com o objetivo de representar uma variável espacial considerando sua distribuição e variabilidade (Yamamoto & Landim, 2013).

Um dos principais instrumentos dessa metodologia é o variograma, que expressa quantitativamente a dependência espacial de um fenômeno regionalizado, sendo essencial para a interpolação por krigagem (Landim, 2006). Através do semivariograma, é possível descrever como a similaridade entre os dados decresce com a distância, fornecendo subsídios para a modelagem mais precisa do fenômeno em estudo. A Figura 3 faz a representação gráfica do semivariograma e seus parâmetros.

Figura 3: Semivariograma e seus parâmetros.



Fonte: (CÂMARA, et al., 1998).

Sendo que O alcance (a) refere-se à distância máxima até a qual os dados amostrais ainda demonstram correlação espacial; além desse limite, presume-se independência entre os valores. O patamar (C) corresponde ao valor do semivariograma no ponto em que se atinge o alcance, indicando que a variância entre pares de dados deixa de aumentar com a distância, sinalizando o fim da dependência espacial.

O efeito pepita (C_0), por sua vez, representa a variabilidade não explicada a curtas distâncias, geralmente atribuída a erros de amostragem ou à presença de variações abruptas em escalas menores que a resolução da coleta de dados; matematicamente, é o valor que o semivariograma tende a assumir quando a distância entre pares de amostras se aproxima de zero. Por fim, a contribuição (C_1) é obtida pela diferença entre o patamar e o efeito pepita ($C_1 = C - C_0$), e representa a parcela da variância espacialmente estruturada, ou seja, a variabilidade que pode ser explicada pela dependência espacial existente entre as amostras. Esses parâmetros são fundamentais para a aplicação adequada da krigagem no contexto geoestatístico

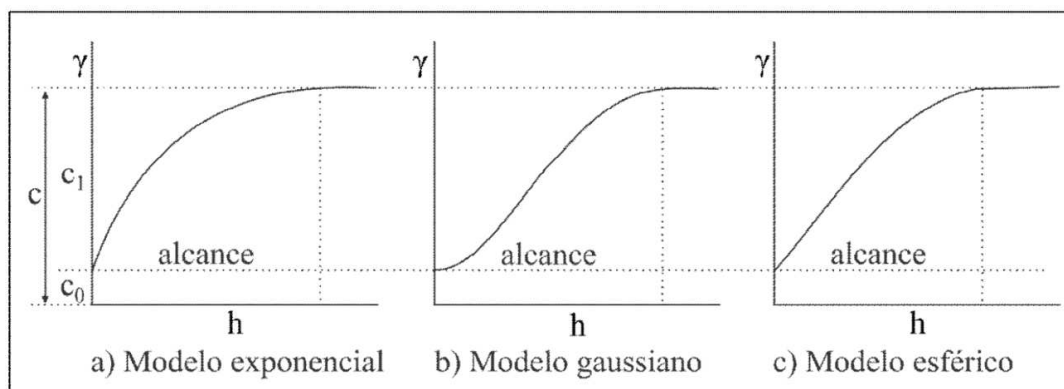
Segundo Landim (2006) e Uberti (2016), o grau de dependência espacial da variável pode ser classificado de acordo com a razão entre o efeito pepita e o patamar:

- 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 ajustado por diferentes funções matemáticas, sendo os modelos Esférico, Exponencial e Gaussiano os mais comumente aplicados na prática, conforme exemplificado na Figura 4. Embora existam diversas outras formas de modelagem, essas três são amplamente reconhecidas por sua eficácia e frequência de uso em estudos geoestatísticos (Landin, 2006).

Figura 4: Modelos teóricos de semivariograma. Exponencial, Gaussiano e Esférico.



Fonte: (FARIA FILHO, 2015)

Na aplicação de métodos geoestatísticos, é essencial identificar se o fenômeno analisado apresenta isotropia ou anisotropia. Um fenômeno é considerado isotrópico quando sua variabilidade espacial se comporta de forma semelhante em todas as direções, ou seja, a semivariância entre os pontos depende apenas da distância entre eles, independentemente da direção (Yamamoto & Landim, 2013). Essa característica pode ser verificada, por exemplo, ao comparar os parâmetros de alcance e patamar de semivariogramas construídos em diferentes direções, caso apresentem valores semelhantes, indica-se isotropia. Outro método é por meio do mapa variográfico: quando tons frios se distribuem uniformemente em todas as direções, reforça-se a existência de isotropia.

O semivariograma, portanto, é uma ferramenta fundamental para detectar e quantificar a dependência espacial, auxiliando na definição dos parâmetros necessários para a interpolação por krigagem. A krigagem, por sua vez, abrange um conjunto de técnicas de estimação, como Krigagem Ordinária, Simples, Universal, Indicativa e Co-krigagem, cada uma com aplicações específicas conforme a natureza dos dados (Yamamoto & Landim, 2013).

Para avaliar a qualidade das estimativas geradas pelos modelos geoestatísticos, utiliza-se a técnica da validação cruzada, aplicada após a definição do modelo de semivariograma. Esse procedimento consiste em remover, um a um, os valores amostrais e utilizar os restantes

para estimar o valor do ponto excluído. Com isso, é possível comparar os valores estimados com os reais e representar graficamente essa relação (Landim, 2006). Complementarmente, indicadores estatísticos como Erro Médio (EM), Erro Padrão Médio (EPM), Erro Médio Quadrático (EMQ) e Erro Médio Quadrático Padronizado (EMQP) são utilizados para mensurar a qualidade do modelo. Valores de EM, EPM e EMQ próximos de zero indicam estimativas imparciais e com baixa dispersão, enquanto um EMQP próximo de 1 sugere alta precisão nas predições (Uberti, 2016).

2.6 International Association of Assessing Officers (IAAO)

A validação dos modelos de Avaliação em Massa de Imóveis constitui uma etapa essencial na elaboração e atualização da Planta Genérica de Valores (PGV), pois permite verificar a confiabilidade, uniformidade e equidade dos valores venais utilizados para fins tributários. Nesse contexto, destacam-se os padrões técnicos desenvolvidos pela International Association of Assessing Officers (IAAO), instituição internacionalmente reconhecida por estabelecer diretrizes para avaliação imobiliária em massa e administração tributária territorial.

Os principais referenciais utilizados são o *Standard on Ratio Studies* e o *Standard on Mass Appraisal of Real Property* (IAAO, 2013), que definem procedimentos para análise da qualidade das avaliações mediante a comparação entre os valores estimados pelos modelos e os valores observados no mercado imobiliário. Essa comparação é realizada por meio dos chamados *ratio studies*, nos quais se calcula a razão entre o valor avaliado e o valor de mercado de cada imóvel Equação 3.

$$R = \frac{VA}{VM} \quad (3)$$

Onde:

R = Razão de avaliação.

VA = Valor avaliado (Valor venal).

VM = Valor de mercado.

A partir do conjunto dessas razões são calculados indicadores estatísticos que permitem avaliar a qualidade das estimativas produzidas pelos modelos de avaliação em massa.

Um dos principais indicadores recomendados pela IAAO é o Coeficiente de Dispersão (*Coefficient of Dispersion* – COD), utilizado para medir a uniformidade das avaliações, Equação 4. O COD representa o desvio percentual médio das razões em relação à mediana das razões.

$$COD = \frac{\text{Desvio Médio Absoluto da Mediana}}{\text{Mediana}} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

COD = Coeficiente de dispersão (%).

Desvio Médio Absoluto da Mediana = Média dos desvios absolutos das razões em relação a mediana.

Mediana = Mediana das razões de avaliação.

Quanto menor o valor do COD, maior a uniformidade das avaliações. Segundo a IAAO (2013), avaliações de imóveis residenciais apresentam desempenho satisfatório quando o COD é inferior a 15%, enquanto valores superiores indicam crescente heterogeneidade nas estimativas. No contexto brasileiro, o Ministério das Cidades (Brasil, 2009) considera que valores superiores a 30% evidenciam inconsistências significativas na PGV, sugerindo a necessidade de revisão dos procedimentos de avaliação e atualização cadastral.

Outro indicador amplamente empregado é o *Price-Related Differential* (PRD), utilizado para verificar a existência de regressividade ou progressividade nas avaliações Equação 5. Esse indicador compara a média das razões com a razão entre o valor total avaliado e o valor total de mercado.

$$PRD = \frac{\text{Média das Razões}}{\text{Razão Média Ponderada}} \quad (5)$$

Onde:

Média das Razões = Média Aritmética das razões de avaliação.

Razão Média Ponderada = Razão entre o valor total avaliado e o valor total de mercado.

O PRD permite identificar possíveis vieses sistemáticos associados ao valor dos imóveis. Valores superiores a 1,03 indicam regressividade, situação em que imóveis de maior valor tendem a ser subavaliados proporcionalmente. Por outro lado, valores inferiores a 0,98 indicam progressividade, caracterizando superavaliação relativa dos imóveis de menor valor. De acordo com a IAAO (2013), o intervalo aceitável para o PRD situa-se entre 0,98 e 1,03, refletindo adequada equidade horizontal entre contribuintes.

A IAAO define e recomenda a utilização do *Price-Related Bias* (PRB) como indicador para avaliar a presença de viés relacionado ao valor dos imóveis, empregando procedimentos estatísticos baseados em regressão. Diferentemente do PRD, o PRB permite identificar tendências sistemáticas de regressividade ou progressividade ao longo de toda a distribuição

dos valores imobiliários, constituindo atualmente uma das principais métricas para avaliação da equidade dos sistemas tributários imobiliários.

A utilização conjunta da mediana das razões, COD, PRD e PRB permite uma avaliação abrangente da qualidade dos modelos de Avaliação em Massa de Imóveis, possibilitando verificar simultaneamente a precisão, a uniformidade e a equidade das estimativas produzidas. Dessa forma, os indicadores recomendados pela IAAO constituem importantes instrumentos para validação de Plantas Genéricas de Valores, contribuindo para o aprimoramento da eficiência da tributação imobiliária municipal.

2.7 Código Tributário Municipal

O Código Tributário do Município de Bom Jesus do Itabapoana – RJ é instituído pela Lei nº 11, de 02 de dezembro de 1977, em seu Art. 4 dispõe que o IPTU é devido pela propriedade, domínio útil ou posse, por meio do sujeito passivo, de bem imóvel localizado na zona urbana. No artigo 6, são elencadas as características que uma zona urbana deve apresentar para a incidência do imposto. Estas características são estabelecidas de acordo com melhoramentos pré-definidos, basicamente os mesmos do Código Tributário Nacional (Lei nº 5.172 de 25 de outubro de 1966). Além disso, apresenta a possibilidade de incidência em área urbanizável ou de expansão urbana, constante de loteamento aprovado pelo órgão competente destinado à habitação, à indústria ou ao comércio. Diante disso, é necessário estabelecer planta e memorial descritivo das zonas urbanas e de expansão urbana para aplicar o imposto.

O Código Tributário Municipal de Bom Jesus do Itabapoana estabelece que a base de cálculo do IPTU é composta pelo Valor Venal do Imóvel, determinado a partir das características físicas, construtivas e locacionais dos imóveis urbanos. A legislação municipal adota o Método Evolutivo para determinação do valor venal dos imóveis edificados, em conformidade com os procedimentos previstos pela ABNT NBR 14.653-2:2011, considerando separadamente o valor do terreno e o valor da edificação.

De acordo com o Código Tributário Municipal, o valor venal dos imóveis edificados é obtido pelo somatório entre o Valor Venal da Edificação e o Valor Venal do Terreno. O valor da edificação é calculado a partir da multiplicação da área construída pelo valor unitário do metro quadrado correspondente à tipologia e ao padrão construtivo da edificação, aplicando-se os respectivos fatores de correção previstos na legislação tributária. Já o valor do terreno, ou de sua fração ideal, é determinado mediante a multiplicação da área territorial pelo valor unitário do metro quadrado de terreno definido na PGV, também sendo aplicados fatores corretivos relacionados às características específicas do imóvel.

O Código Tributário então estabelece a aplicação de fatores de correção relacionados às condições dos terrenos e das edificações. Para os terrenos, são considerados fatores associados à situação, pedologia e topografia, reconhecendo que características físicas e ambientais influenciam diretamente o valor de mercado dos imóveis. Para as edificações, aplicam-se fatores referentes à categoria construtiva e ao estado de conservação das edificações, permitindo maior diferenciação entre imóveis com padrões construtivos distintos.

Nesse contexto, observa-se que a legislação tributária municipal já incorpora elementos técnicos importantes para estruturação da Planta Genérica de Valores. Entretanto, a efetividade desses instrumentos depende diretamente da atualização periódica dos valores unitários, dos fatores de correção e das informações cadastrais utilizadas na avaliação imobiliária. Dessa forma, a modernização da PGV e do Cadastro Territorial Multifinalitário torna-se essencial para garantir maior precisão na determinação dos valores venais, promovendo uniformidade tributária e maior eficiência arrecadatória do IPTU.

2.8 Valor Unitário de Edificação

Os Sindicatos da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON) realizam, há mais de quatro décadas, o cálculo e a divulgação mensal do Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB/m²) em diferentes estados brasileiros. Paralelamente, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), disponibiliza indicadores relacionados aos custos da construção civil através do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) (IBGE, 2022).

Os indicadores de custo da construção civil são regulamentados pela Lei Federal nº 4.591/1964, especialmente em seus artigos 53 e 54, e seguem os procedimentos metodológicos estabelecidos pela ABNT NBR 12.721:2006, norma responsável por disciplinar os critérios de cálculo dos custos unitários de construção, rateio de obras e demais disposições técnicas relacionadas às incorporações imobiliárias (ABNT, 2006). Segundo o SINDUSCON-MG (2007), esses indicadores possuem importante função de padronização e transparência na estimativa dos custos da construção civil, sendo amplamente utilizados por construtoras, incorporadoras, engenheiros, arquitetos e compradores de imóveis.

A metodologia utilizada para determinação do CUB/m² baseia-se na apuração periódica dos custos efetivos da construção civil, considerando componentes como materiais de construção, mão de obra, despesas administrativas e utilização de equipamentos. Os levantamentos são realizados mensalmente pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil junto a construtoras, fornecedores e estabelecimentos comerciais do setor, buscando representar

as condições reais do mercado da construção em cada região do país (SINDUSCON-MG, 2007).

Os valores do CUB/m² são organizados conforme diferentes Projetos-Padrão, definidos a partir de tipologias representativas das edificações residenciais e comerciais existentes no mercado imobiliário nacional, Figura 5. Esses projetos são estruturados de acordo com características específicas das edificações, tais como número de pavimentos, quantidade de dependências por unidade, área equivalente de construção, padrão de acabamento e número total de unidades autônomas (ABNT, 2006).

Figura 5: Caracterização dos Projetos-Padrão

Projetos-padrão Residenciais		
Padrão Baixo	Padrão Normal	Padrão Alto
R-1	R-1	R-1
PP-4	PP-4	R-8
R-8	R-8	R-16
PIS	R-16	
Projetos-padrão Comerciais CAL (Comercial Andares Livres) e CSL (Comercial Salas e Lojas)		
Padrão Normal	Padrão Alto	
CAL-8	CAL-8	
CSL-8	CSL-8	
CSL-16	CSL-16	
Projetos-padrão Galpão Industrial e Residência Popular		
RP1Q		
GI		

Fonte: ABNT (2006).

Além disso, os Projetos-Padrão utilizam como referência um lote básico de insumos composto por materiais, mão de obra, equipamentos e despesas administrativas, permitindo a padronização dos custos da construção civil em âmbito nacional. Conforme a ABNT NBR 12.721:2006, os insumos são agrupados em famílias de itens correlatos, possibilitando maior uniformidade metodológica na composição dos custos unitários das edificações.

Nesse contexto, o CUB/m² apresenta-se como importante referência técnica para estimativa do VUE em PGV, permitindo que os valores das construções sejam atualizados de forma compatível com os custos reais da construção civil e com as diferentes tipologias e padrões construtivos existentes no município.

Os valores estimados pelo Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB/m²) representam, de maneira geral, o custo de edificações novas, não contemplando diretamente os diferentes estados de conservação, padrões construtivos e condições específicas das edificações existentes no espaço urbano. Dessa forma, para aplicação em avaliações imobiliárias voltadas à tributação municipal, especialmente na determinação do IPTU, torna-se necessária a utilização de fatores de depreciação e valorização capazes de adequar os valores das edificações à realidade do patrimônio construído do município.

Nesse contexto, a avaliação das edificações considera fatores corretivos relacionados às características construtivas, funcionais e de conservação dos imóveis, permitindo maior aderência entre os valores venais estimados e as condições efetivas das edificações. Entre os principais aspectos considerados destacam-se o padrão de acabamento, a posição da edificação no lote, as características arquitetônicas, os materiais construtivos empregados, a infraestrutura existente e o estado de conservação do imóvel. A aplicação desses fatores possibilita diferenciar edificações com padrões construtivos distintos, promovendo maior uniformidade na tributação imobiliária.

A utilização desses parâmetros possui forte influência metodológica do projeto Convênio de Incentivo ao Aperfeiçoamento Técnico-Administrativo das Municipalidades (CIATA), implementado pelo Governo Federal na década de 1970. O programa foi desenvolvido por meio de parceria entre o Ministério da Fazenda e o Serviço Federal de Processamento de Dados (SERPRO), com o objetivo de modernizar os cadastros fiscais municipais e ampliar a capacidade arrecadatória dos municípios brasileiros.

Como resultado, o CIATA estruturou diretrizes técnicas para implantação e padronização dos cadastros imobiliários municipais, consolidando procedimentos voltados à caracterização física e econômica dos imóveis urbanos. O Manual do Cadastro Imobiliário elaborado pelo programa tornou-se referência para diversos municípios brasileiros, influenciando a estruturação dos cadastros territoriais e os critérios de avaliação imobiliária utilizados até os dias atuais. Dessa forma, os fatores de correção aplicados às edificações representam importante instrumento técnico para adequação dos valores unitários de construção às diferentes realidades construtivas existentes no ambiente urbano, contribuindo para maior precisão na determinação dos valores venais e maior equidade na cobrança do IPTU.

2.9 Imposto sobre a Propriedade Territorial Urbana

A Lei nº 5.172 de 1966, intitulada de Código Tributário Nacional (CTN), nos seus Art. 5, 32, 33 e 34, dispões sobre os tributos e o IPTU (BRASIL, 1966). A Constituição Federal de 1988 atribui aos municípios a competência para instituir e arrecadar o IPTU, conforme disposto em seu art. 156, inciso I, assegurando-lhes autonomia tributária para a gestão de suas receitas próprias (BRASIL, 1988). O IPTU é um instrumento de política urbana, na modalidade dos instrumentos tributários e financeiros e é calculado com base no Valor Venal do Imóvel e na Alíquota, Equação 6.

$$IPTU = VVI \times ALT \ (%) \quad (6)$$

Onde:

IPTU = Imposto sobre a Propriedade Territorial Urbano

VVI = Valor Venal do Imóvel

ALT = Alíquota por utilização de imóvel

Cunha & Erba (2010) e Afonso et al. (2013), expõem que o Valor Venal do Imóvel (*VVI*) é determinado na maioria dos municípios brasileiros pelo Método Evolutivo, conforme Equação 7, (ABNT, 2011).

$$VVI = VVT + VVE \quad (7)$$

Onde:

VVI = Valor Venal do Imóvel;

VVT = Valor Venal do Terreno;

VVE = Valor Venal da Edificação.

Os *VVT* de Bom Jesus do Itabapoana, Equação 8, são calculados por meio da área do terreno que consta no Cadastro Imobiliário, o Valor do metro quadrado Unitário do Terreno é obtido por meio da Planta Genérica de Valores de Terreno, os coeficientes de Situação, Topografia e Pedologia do terreno são obtidos por meio do Código Tributário Municipal, e a Fração Ideal do Terreno é calculada pela Equação 9.

$$VVT = AT \times Vm^2T \times Si \times Tp \times Pd \times FIT \quad (8)$$

Onde:

VVT = Valor Venal do Terreno

AT = Área do Terreno

Vm^2T = Valor do metro quadrado do terreno

Si = Coeficiente de Situação do Terreno.

TP = Coeficiente de Topografia do Terreno

Pd = Coeficiente de Pedologia do Terreno.

FIT = Fração Ideal do Terreno

$$FIT = \frac{AU \times AT}{ATE} \quad (9)$$

Onde:

FIT = Fração ideal de terreno;

AU = Área da unidade;

AT = Área do terreno;

ATE = Área total edificada.

Os VVE de Bom Jesus do Itabapoana Equação 10 são calculados por meio da Área da Edificação que consta atualizada no Cadastro Imobiliário, o Valor do metro quadrado da Edificação por Tipologia e Padrão, os Coeficientes de Situação da Unidade Construída, Alinhamento, Estado de Conservação e Categorias de edificação são obtidos do Código Tributário Municipal.

$$VVE = AE \times Vm^2ET \times SUC \times SIT \times CEC \times CAT/100 \quad (10)$$

Onde:

VVE = Valor Venal da Edificação;

AE = Área da Edificação;

Vm^2ETP = Valor do metro quadrado da Edificação por Tipologia;

SUC = Coeficiente de Situação da Unidade Construída;

SIT = Coeficiente de Situação.

CEC = Coeficiente de Estado de Conservação

CAT = Coeficiente da Categoria da Edificação

O coeficiente de categoria da edificação de Bom Jesus do Itabapoana, Equação 11, é composto por um conjunto de fatores construtivos que representam as características físicas, estruturais e qualitativas do imóvel, sendo utilizado para classificar o padrão construtivo das edificações e subsidiar a determinação do valor venal. Entre os elementos considerados na composição desse coeficiente, destacam-se o fator cobertura, estrutura, forro, instalação

elétrica, instalação sanitária, parede, piso e revestimento da fachada. A combinação desses fatores permite representar de forma mais precisa o estado qualitativo das edificações cadastradas, contribuindo para maior coerência técnica na avaliação imobiliária.

$$CAT = COB + EST + FOR + IEL + ISA + PAR + PIS + REV \quad (11)$$

Onde:

COB = Fator Cobertura;

EST = Fator Estrutura;

FOR = Fator Forro;

IEL = Fator Instalação Elétrica;

ISA = Fator Instalação Sanitária;

PAR = Fator Parede;

PIS = Fator Piso;

REV = Fator Revestimento da Fachada.

Dessa forma, após a determinação do VVI, obtido pela composição entre o Valor Venal do Terreno e o Valor Venal da Edificação, torna-se possível a aplicação das alíquotas definidas pela legislação tributária municipal para o cálculo do IPTU. Nesse contexto, a definição de alíquotas progressivas por faixas de valor venal permite que a tributação seja realizada de maneira mais compatível com a capacidade contributiva dos proprietários, promovendo maior justiça fiscal e equilíbrio tributário.

Dessa maneira, o cálculo final do IPTU passa a refletir de forma mais adequada as condições reais do mercado imobiliário municipal, integrando valores venais atualizados, critérios técnicos de avaliação e uma estrutura tributária progressiva, contribuindo para maior equidade fiscal, eficiência arrecadatória e fortalecimento da gestão tributária municipal.

2.10 Alíquota

A definição das alíquotas do IPTU, representa uma das etapas mais relevantes da política tributária municipal, uma vez que influencia diretamente a justiça fiscal, a capacidade arrecadatória e a distribuição da carga tributária entre os contribuintes. Após a determinação dos Valores Venais dos Imóveis por meio da PGV, torna-se necessário estabelecer critérios técnicos e legais para aplicação das alíquotas incidentes sobre os imóveis urbanos. Nesse contexto, a Constituição Federal de 1988 e o Código Tributário Nacional (CTN) permitem aos municípios a adoção de alíquotas diferenciadas e progressivas, considerando aspectos relacionados ao valor, localização e uso dos imóveis (Brasil, 1988; Brasil, 1966).

A Emenda Constitucional nº 29/2000 consolidou a possibilidade de aplicação da progressividade fiscal do IPTU em razão do valor venal do imóvel, permitindo que imóveis de maior valor contribuam proporcionalmente mais para a arrecadação municipal. Segundo Carrazza (2012), a progressividade do IPTU constitui importante instrumento de justiça tributária, pois busca adequar a tributação à capacidade contributiva do proprietário, princípio previsto no artigo 145 da Constituição Federal. Dessa forma, a adoção de alíquotas progressivas possibilita maior equilíbrio na distribuição da carga tributária, reduzindo distorções frequentemente observadas em sistemas tributários baseados em alíquotas únicas.

De acordo com Sabbag (2021), a utilização de faixas de valor venal associadas a diferentes alíquotas permite estruturar sistemas tributários mais equitativos, especialmente em municípios com elevada heterogeneidade socioeconômica e imobiliária. Nesses modelos, os imóveis são agrupados conforme intervalos de valor venal previamente definidos, sendo aplicada alíquota crescente à medida que aumenta o valor do imóvel. Esse mecanismo busca aproximar a tributação imobiliária dos princípios da progressividade e da capacidade contributiva, amplamente utilizados em tributos sobre renda e patrimônio.

Entretanto, a simples aplicação de alíquotas progressivas sobre o valor total do imóvel pode gerar descontinuidades tributárias entre faixas de valor venal, ocasionando aumentos abruptos do imposto devido quando o imóvel ultrapassa determinado limite de enquadramento. Para minimizar essas distorções, alguns modelos tributários adotam metodologias baseadas em parcelas dedutíveis, semelhantes às utilizadas no cálculo do Imposto de Renda da Pessoa Física (IRPF). Nesse sistema, aplica-se uma alíquota marginal correspondente à faixa de valor venal do imóvel, associada a uma dedução fixa, permitindo suavizar a transição entre as faixas tributárias e evitar saltos excessivos na tributação efetiva.

Segundo Harada (2017), a utilização de mecanismos de dedução em tributos progressivos contribui para maior racionalidade tributária e previsibilidade fiscal, tornando a cobrança mais proporcional ao crescimento patrimonial do contribuinte. Esse modelo permite que a carga tributária aumente de forma gradual e contínua, reduzindo distorções regressivas e promovendo maior equilíbrio entre arrecadação e justiça fiscal.

No contexto brasileiro, diversos municípios vêm adotando modelos de tributação progressiva por faixas de valor venal como forma de modernizar a política tributária municipal e promover maior justiça fiscal. Entretanto, a literatura aponta que a eficácia desses modelos depende diretamente da qualidade da PGV e da correta definição das faixas de enquadramento e das alíquotas aplicadas (Cesare et al., 2015). Dessa forma, a integração entre Avaliação em

Massa de Imóveis, atualização cadastral e estruturação de alíquotas progressivas torna-se essencial para construção de sistemas tributários mais eficientes, transparentes e socialmente equilibrados.

2.11 Simulação do IPTU

Para a simulação dos cenários de cálculo do IPTU, torna-se fundamental compreender os objetivos arrecadatórios e a realidade fiscal do município. Nos últimos anos, os municípios brasileiros vêm enfrentando crescente pressão financeira decorrente do aumento das demandas por infraestrutura urbana, serviços públicos e investimentos sociais, ao mesmo tempo em que buscam reduzir a dependência dos repasses estaduais e federais. Nesse contexto, o fortalecimento da arrecadação própria passou a representar importante instrumento de autonomia financeira e planejamento urbano municipal (Afonso et al., 2013).

A atualização da PGV, configura-se como um dos principais mecanismos técnicos disponíveis para ampliação da capacidade arrecadatória municipal, uma vez que possibilita aproximar os valores venais utilizados na tributação imobiliária da realidade do mercado imobiliário local. Entretanto, a atualização da PGV não deve possuir caráter exclusivamente arrecadatório, devendo estar associada ao planejamento estratégico da administração pública e à destinação dos recursos adicionais para investimentos em infraestrutura urbana, mobilidade, saúde, educação, saneamento e demais serviços públicos essenciais à população (Brasil, 2001).

Do ponto de vista técnico, a atualização dos valores venais dos imóveis exige necessariamente a reestruturação das alíquotas aplicadas ao IPTU. Isso ocorre porque o imposto é calculado pela relação entre a base tributável (Valor Venal do Imóvel) e a alíquota definida pela legislação municipal. Assim, em situações nas quais os valores venais dos imóveis apresentam atualização significativa, como por exemplo um aumento médio de dez vezes em relação aos valores anteriormente praticados, a manutenção das alíquotas originais resultaria em crescimento excessivo da carga tributária.

Dessa forma, torna-se necessária a recalibração das alíquotas para manutenção do equilíbrio tributário e adequação da capacidade contributiva dos proprietários. Em termos proporcionais, uma atualização dos valores venais em dez vezes demandaria, tecnicamente, redução equivalente das alíquotas para preservação da arrecadação original. Entretanto, considerando os objetivos de modernização fiscal e incremento gradual da receita municipal, a administração pública pode optar por reduções menores, como sete ou oito vezes, permitindo aumento controlado da arrecadação sem provocar impactos abruptos aos contribuintes.

Nesse contexto, a definição das alíquotas deve buscar equilíbrio entre justiça fiscal,

capacidade arrecadat6ria e sustentabilidade financeira municipal, permitindo que o aumento de receita decorrente da atualiza76o da PGV seja revertido em melhorias urbanas e investimentos p6blicos capazes de promover desenvolvimento territorial e melhoria da qualidade de vida da popula76o.

Al6m dessa busca de equil6brio, foi observado e aplicado neste na simula76o, boas pr6ticas de outros munic6pios. Cidades como Belo Horizonte e S6o Paulo utilizam modelos escalonados, em que as al6quotas crescem gradualmente conforme o valor venal, com a aplica76o da t6cnica da dedu76o por faixa, que suaviza a progressividade e evita saltos abruptos no valor do imposto (BELO HORIZONTE, 2023; S6O PAULO, 2022).

Na aplica76o de al6quotas progressivas sobre o valor venal de im6veis, um problema comum 6 o surgimento de “saltos abruptos” no montante devido. Isso ocorre quando um im6vel que ultrapassa ligeiramente o limite de uma faixa passa a ser tributado integralmente com a al6quota superior, gerando um aumento desproporcional em rela76o ao incremento do valor venal. Para corrigir essa distor76o, utiliza-se a t6cnica da dedu76o por faixa, que garante continuidade na progressividade. Nessa metodologia, a al6quota maior incide apenas sobre a parcela do VVI que ultrapassa o limite da faixa anterior, enquanto se aplica uma dedu76o previamente definida que neutraliza o excesso tribut6rio, Equa76o 14.

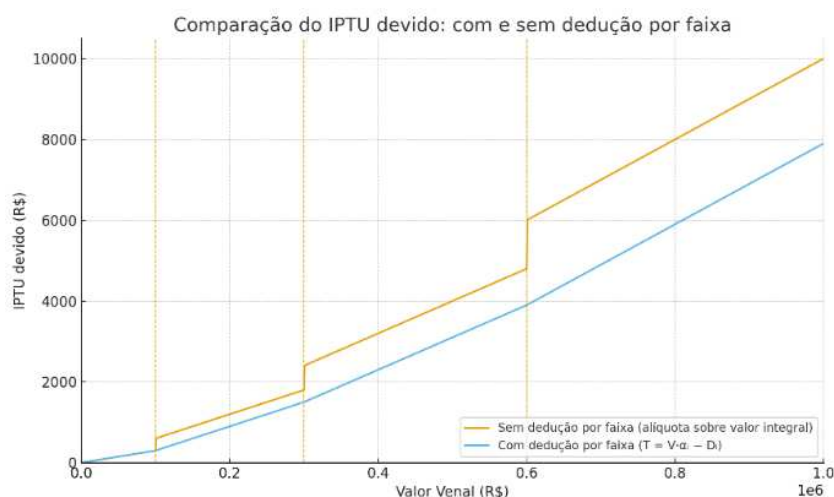
$$IPTU = \sum_{i=1}^{i=n} (VVI \times Al6quota_{(i)}) - Dedu76o_{(i-1)}, \text{ para } VII \in Faixa (i) \quad (14)$$

A aplica76o dessa t6cnica apresenta importantes vantagens para a estrutura76o da tributa76o imobili6ria municipal, destacando-se a continuidade tribut6ria, a justi76a fiscal e a transpar6ncia no c6lculo do imposto. A continuidade tribut6ria ocorre pela elimina76o de descontinuidades e saltos abruptos no valor do IPTU quando o im6vel ultrapassa o limite entre faixas de valor venal. Dessa forma, evita-se que pequenas diferen76as no valor do im6vel resultem em aumentos desproporcionais no imposto devido.

Al6m disso, a metodologia promove maior justi76a fiscal, uma vez que im6veis com valores venais semelhantes passam a pagar tributos proporcionalmente pr6ximos, respeitando o princ6pio da capacidade contributiva. Outro aspecto relevante 6 a maior transpar6ncia do c6lculo tribut6rio, permitindo ao contribuinte compreender de forma mais clara a l6gica da progressividade das al6quotas, em modelo semelhante ao aplicado no Imposto de Renda da Pessoa F6sica (IRPF).

A Figura 6 evidencia esse comportamento ao demonstrar que, enquanto a curva “sem dedução” apresenta descontinuidades nas transições entre faixas de valor venal, a curva “com dedução” mantém comportamento contínuo e suavizado. Em termos práticos, essa suavização contribui para aumentar a aceitabilidade social da política tributária municipal, reduzindo reclamações relacionadas a aumentos excessivos e minimizando riscos de inadimplência decorrentes de elevações abruptas do imposto.

Figura 6: Comparação de IPTU com a dedução por faixa e sem essa dedução.

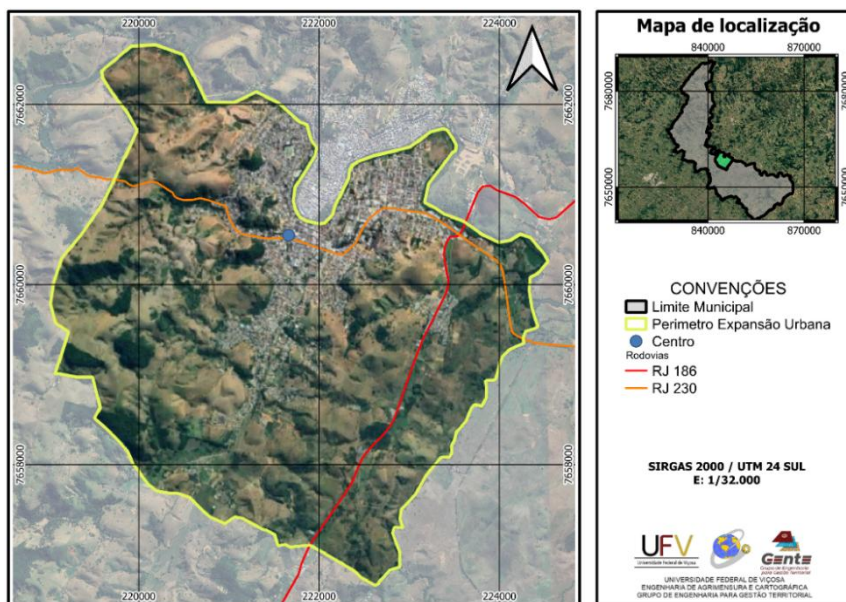


3 MATERIAIS

3.1 Área de Estudos

Bom Jesus do Itabapoana, localizado no norte do estado do Rio de Janeiro, conta com uma população de 35.173 habitantes, conforme o censo do IBGE de 2022. O município abrange uma área de 596,659 km², dividida em dez distritos, incluindo a sede e nove distritos rurais distribuídos por seu território (IBGE, 2022). Para a correta aplicação do imposto territorial, torna-se imprescindível a definição da planta e do memorial descritivo das zonas urbanas e de expansão urbana. Nesse sentido, a Lei nº 1.152, de 20 de janeiro de 2015, estabelece a delimitação da área de expansão urbana, ampliando oficialmente o perímetro urbano do município, Figura 7. Essa área delimitada será adotada neste estudo para a atualização da Planta Genérica de Valores e consequentemente a atualização do IPTU no município.

Figura 7: Área de estudo (Perímetro de Expansão urbana).



Fonte: O autor

3.2 Dados geográficos e ferramentas computacionais

A UFV com a participação do Grupo GENTE, realizou o Cadastro Técnico Multifinalitário de Bom Jesus do Itabapoana-RJ. Assim, diante de um Sistema Cartográfico Municipal mantido por meio de Banco de Dados Geográficos e Sistema de Informações Geográfica foi disponibilizado pelo GENTE todos os dados cartográficos, temáticas e cadastrais apresentados na Tabela 2, para realização deste trabalho. Além disso, foram utilizados os softwares:

- QGIS: Software livre com código-fonte aberto, multiplataforma de SIG que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados;
- ARCGIS: plataforma de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) da Esri, usada para coleta, análise e visualização de dados espaciais.
- Infer32: software específico para Engenharia de Avaliações que auxilia na análise estatística e modelagem de dados imobiliários, facilitando a avaliação em massa de propriedades.
- PostgreSQL/PostGIS: Sistema Gerenciador de Banco de Dados objeto relacional, desenvolvido como projeto de código aberto, e a extensão para lidar com dados espaciais PostGIS.

Tabela 2: Camadas do Sistema Cartográfico Municipal.

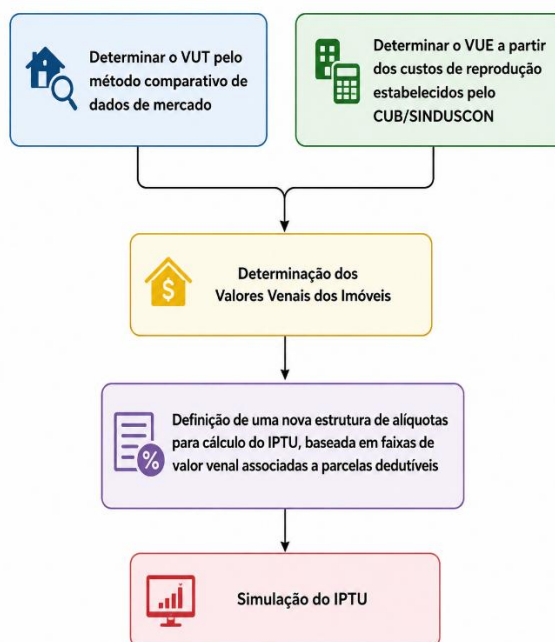
CAMADA	DESCRIÇÃO
cad_edificacao_a	Contém polígonos das edificações com número de pavimentos por polígono e unidade do lote ao qual pertence.
cad_geocodificacao_p	Contém pontos com a localização de cada unidade cadastral edificada e não edificada (lotes vagos).
cad_lote_a	Contém polígonos representando os lotes e suas características.
cad_quadra_a	Contém polígonos representando as quadras de Bom Despacho
cad_secao_logradouro_l	Contém linhas representando os trechos de logradouro de Bom Despacho, codificadas por código e seção esquerda ou direita, além dos atributos relativos às características do logradouro.
cad_unidade_cadastral_p	Contém pontos com a localização de cada unidade cadastral edificada unidos aos atributos da tabela 'cad_unidade_cadastral'
pto_panorama_p	Contém pontos representando os panoramas 360° resultantes do mapeamento móvel terrestre e o caminho para cada fotografia como atributo.
dominios	Contém domínios de todos os atributos da base de dados no formato da ET-EDGV 3.0.

Fonte: O autor.

4 METODOLOGIA

Conforme apresentado no fluxograma da Figura 8, a pesquisa foi estruturada a partir de duas componentes fundamentais para a determinação dos valores venais dos imóveis: o Valor Unitário de Terreno (VUT) e o Valor Unitário de Edificação (VUE). O VUT foi determinado pelo Método Comparativo Direto de Dados de Mercado, com base em informações do mercado imobiliário local, enquanto o VUE foi obtido a partir dos custos de reprodução das edificações, tendo como referência os valores do CUB/SINDUSCON. A integração dessas duas componentes possibilitou a determinação dos valores venais dos imóveis e, conseqüentemente, a estruturação de uma proposta de atualização da Planta Genérica de Valores (PGV) do município.

Figura 8: Fluxograma das etapas metodológicas para determinação dos valores venais dos imóveis e simulação do IPTU.



Fonte: O autor.

A partir dos novos valores venais, foi definida uma proposta de estrutura de alíquotas para o cálculo do IPTU, estabelecida de forma progressiva por faixas de valor venal e associada a parcelas dedutíveis. Por fim, foram realizadas simulações do IPTU com a aplicação da metodologia proposta, permitindo analisar seus efeitos sobre os lançamentos tributários e a arrecadação municipal. Dessa forma, o fluxo metodológico conecta a avaliação imobiliária à tributação, partindo da determinação dos VUT e VUE, passando pela obtenção dos valores venais e pela definição das alíquotas, até a simulação do imposto.

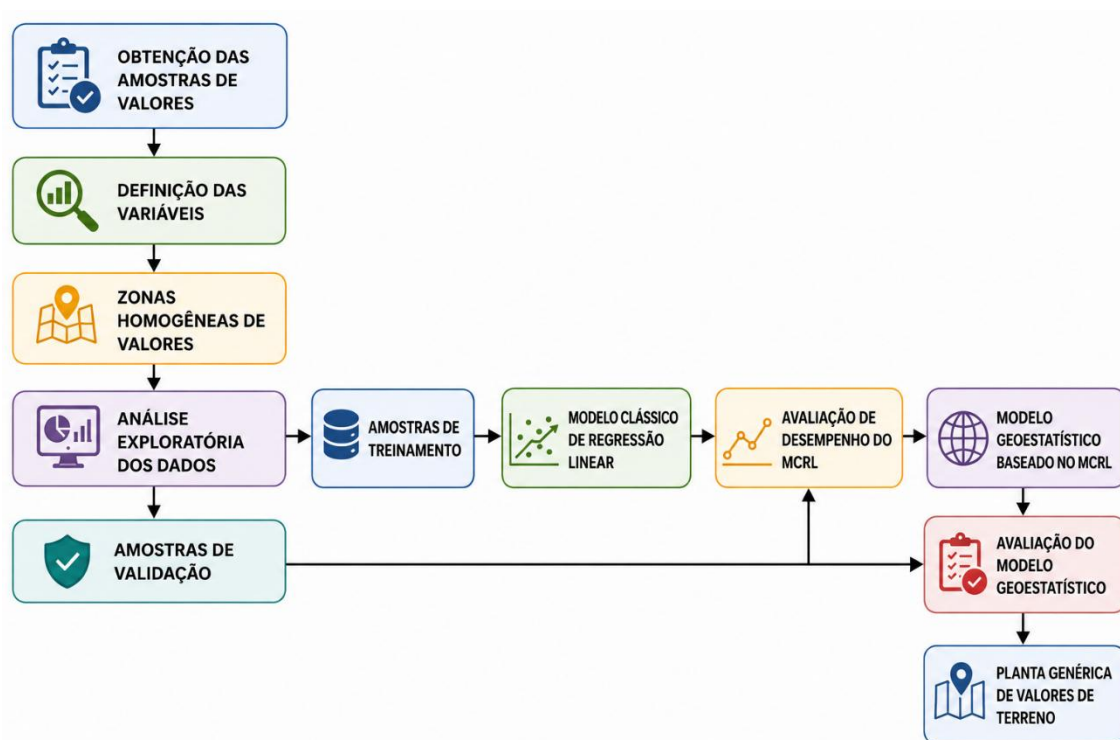
4.1 Atualização dos valores unitários de terrenos

Para todos os procedimentos de Avaliação em Massa de Imóveis adotados no estudo, foram definidos os níveis de significância, precisão e confiança conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 14.653-2:2011. Nesse contexto, o CTM constitui elemento essencial para o desenvolvimento da pesquisa, uma vez que reúne informações detalhadas sobre as características físicas, construtivas e locacionais dos imóveis urbanos, além dos direitos reais associados, fornecendo suporte técnico para a modelagem dos valores venais e para a estruturação da nova política tributária municipal (Cunha & Erba, 2010).

De forma geral, a determinação dos VUT para a elaboração da PGV seguirá a sequência metodológica apresentada na Figura 9. O processo inicia-se com a obtenção das amostras de

valores, seguida pela definição das variáveis, delimitação das ZHV e análise exploratória dos dados. Posteriormente, as amostras são divididas em conjuntos de treinamento e validação, sendo o primeiro utilizado para o desenvolvimento dos modelos por meio do MCRL. Após a avaliação de seu desempenho, os resultados do MCRL são utilizados como base para a modelagem geoestatística, incorporando a dependência espacial dos valores imobiliários. Os modelos são então avaliados com as amostras de validação, permitindo verificar seu desempenho e a capacidade de generalização das estimativas. Ao final desse processo, os valores estimados são utilizados para a determinação dos VUT e, consequentemente, para a estruturação da Planta Genérica de Valores de Terrenos.

Figura 9: Fluxograma da metodologia para elaboração do Valor Venal de Terreno.



Fonte: O autor.

4.1.1 Obtenção da amostra

Para aplicar o Método Comparativo Direto de Dados de Mercado na avaliação de imóveis, é essencial reunir amostras de preços provenientes de transações ou ofertas dentro da área analisada (ABNT, 2011). No entanto, essa coleta de dados costuma ser um processo lento e custoso.

A amostra representa uma parte dos valores de mercado, selecionada de forma a refletir adequadamente a variabilidade dos preços dos imóveis em todo o município, tanto em termos

de quantidade quanto de distribuição espacial. Existem diferentes formas de amostragem, como a aleatória simples, a estratificada e a sistemática, sendo a escolha do método influenciada pela disponibilidade e pelo acesso às informações. No contexto da avaliação em massa para fins tributários, os dados de mercado costumam surgir de forma aleatória simples, o que orienta a escolha do tipo de amostragem a ser utilizada.

Uma das formas de amostragem utilizadas no estudo foi por meio dos dados do ITBI. A partir de 2022, observou-se que os imóveis que pagaram ITBI foram avaliados próximo ao valor venal de mercado, tornando viável a utilização desses dados, desde que excluídos os registros com valores discrepantes. Assim, os dados do ITBI foram integrados ao Observatório de Valores, por meio de exportação em formato Excel, fornecida pelo chefe do setor responsável do município.

Também foram realizadas pesquisas nos sites de imobiliárias locais, nas quais a equipe de estagiários, sob coordenação do autor da pesquisa, coletou manualmente as amostras disponíveis. Foram registrados dados como código dos anúncios, endereço completo dos imóveis, área construída e valor de oferta. Todo o processo seguiu as diretrizes da Lei nº 13.709/2018 (Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais – LGPD) e do Provimento CGJ nº 23/2020, assegurando o adequado tratamento das informações pessoais.

As pesquisas na internet incluíram plataformas como a OLX, que funciona como um classificado online, atuando apenas como intermediária na divulgação de produtos, sem participação direta nas negociações. Também foi utilizada a ferramenta Facebook Marketplace, voltada à compra e venda de itens entre usuários. A utilização dessas plataformas permitiu ampliar a base do Observatório de Valores, por meio da identificação de imóveis anunciados diretamente pelos proprietários, contribuindo para a diversidade e representatividade das amostras coletadas.

As pesquisas de campo consistiram em coletas presenciais baseadas em diversas fontes, como cartórios de registro de imóveis, jornais, classificados, revistas especializadas, anúncios no local, além de consultas a agentes financeiros, construtores e incorporadoras. Para otimizar a coleta e garantir maior precisão dos dados, foi utilizado o software QField (Sistema de Informação Geográfica Mobile), instalado em um tablet com acesso à internet. O sistema estava integrado em tempo real ao banco de dados PostgreSQL, permitindo o registro georreferenciado e imediato das informações coletadas.

No trabalho com corretores autônomos, foi realizada uma ação de campo em parceria com um corretor local, com base em um levantamento prévio dos lotes vagos existentes na sede

do município. A equipe elaborou um projeto para visitar esses lotes, utilizando o software QField (Sistema de Informação Geográfica Mobile), o que permitiu o registro georreferenciado das informações em tempo real. Durante as visitas aos bairros, o engenheiro e o corretor coletaram valores de imóveis com base em transações conhecidas pelo profissional ou em avaliações previamente realizadas para clientes.

A NBR 14653-2 recomenda que todas as amostras de ofertas provenientes de imobiliárias e corretores de imóveis sejam verificadas, tratadas e validadas para mitigar vieses e imprecisões. Assim, todas as amostras foram verificadas pela equipe do GENTE.

É relevante destacar que a amostragem originadas do ITBI utilizada, abrange uma série temporal de dados coletados entre os anos de 2022 e 2025. Diante disso, tornou-se necessário aplicar ao Valor Unitário de Terreno (VUT) uma correção inflacionária proporcional ao tempo decorrido entre a data da transação e a data de referência da avaliação. Para esse ajuste, foi adotado o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), com o objetivo de atualizar os valores e garantir a compatibilidade temporal entre os dados coletados e o momento da análise, conforme demonstrado nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Inflação mensal pelo Índice IPCA em (%).

A/M	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2025	0,16	1,31	0,56	0,43	0,26							
2024	0,42	0,83	0,16	0,38	0,46	0,21	0,38	-0,02	0,44	0,56	0,39	0,52
2023	0,53	0,84	0,71	0,61	0,23	-0,08	0,12	0,23	0,26	0,24	0,28	0,56
2022	0,54	1,01	1,62	1,06	0,47	0,67	-0,68	-0,36	-0,29	0,59	0,41	0,62
2021	0,25	0,86	0,93	0,31	0,83	0,53	0,96	0,87	1,16	1,25	0,95	0,73

Fonte: IBGE (2025).

Tabela 4: Inflação mensal acumulada pelo índice IPCA em (%).

A/M	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2025	2,72	2,56	1,25	0,69	0,26							
2024	7,45	7,03	6,2	6,04	5,66	5,2	4,99	4,61	4,63	4,19	3,63	3,24
2023	11,98	11,45	10,61	9,9	9,29	9,06	9,14	9,02	8,79	8,53	8,29	8,01
2022	17,64	17,1	16,09	14,47	13,41	12,94	12,27	12,95	13,31	13,6	13,01	12,6
2021	27,27	27,02	26,16	25,23	24,92	24,09	23,56	22,6	21,73	20,57	19,32	18,37

Fonte: IBGE (2025).

Nas avaliações de imóveis urbanos, a norma NBR 14653-2:2011 recomenda que, quando pertinente, o avaliador considere a elasticidade da oferta e da demanda ao estimar o valor de mercado. Esse fator, aliado ao Fator de Comercialização, deve ser definido com base em análises do mercado local, por meio de pesquisas ou entrevistas com profissionais do setor.

Com base nessa diretriz, foram realizadas entrevistas com imobiliárias e corretores que forneceram as amostras de ofertas. Os profissionais consultados informaram que, em média, aplicam um desconto de 10% sobre os valores anunciados para efetivar as negociações. Assim, neste estudo, todas as ofertas consideradas foram ajustadas com a dedução desse percentual.

4.1.2 Definição das variáveis

Um dos elementos essenciais na avaliação de imóveis é a definição das variáveis que influenciam diretamente seu valor. Para isso, é fundamental identificar as variáveis dependentes e independentes utilizadas nos modelos avaliativos. As variáveis dependentes, geralmente representadas pelo Valor Total (VT) ou pelo Valor Unitário (VU) dos imóveis, são os principais indicadores de resultado.

A Tabela 5 apresenta a codificação adotada neste estudo. O VUT, bem como o VUT ajustado pelo IPCA, são considerados variáveis quantitativas e contínuas, com unidade de medida expressa em R\$/m².

Tabela 5: Variáveis Dependentes da PGV.

VARIÁVEIS	NOME	TIPO	SUBTIPO	CLASSE	DESCRIÇÃO	DOMÍNIO
Valor Unitário de Terreno	vut	Quantitativa	Contínua	Amostra	Valor Unitário do Terreno	R/M ²
Valor Unitário de Terreno Ofertas e IPCA	vut_ipca	Quantitativa	Contínua	Amostra	VUT corrigido do Fator de oferta e Inflação pelo IPCA	R/M ²

Fonte: o autor.

No Código Tributário do município, são definidas as variáveis independentes que podem influenciar o cálculo do VUT, incluindo dimensões do imóvel, localização, topografia, além dos serviços públicos e melhorias urbanas presentes na via ou logradouro público. A norma ABNT NBR 14653-2 recomenda a utilização preferencial de variáveis independentes quantitativas. Entretanto, as diferenças qualitativas também podem ser consideradas, classificadas em ordem crescente de complexidade como variáveis dicotômicas, variáveis proxy, códigos ajustados e códigos alocados (ABNT, 2011).

As variáveis extrínsecas de natureza geográfica referem-se à influência do entorno sobre o valor dos imóveis, considerando a proximidade, a quantidade e a densidade de fatores que podem valorizar ou desvalorizar a área estudada. Entre essas variáveis destacam-se a localização próxima ao centro da cidade, regiões valorizadas e o fácil acesso a polos comerciais e empresariais. Além disso, a disponibilidade e qualidade do transporte público, a proximidade de avenidas principais, o fluxo de tráfego e a facilidade de deslocamento também são elementos

importantes.

Outros aspectos relevantes envolveram a presença e quantidade de serviços essenciais no município, como escolas, hospitais, supermercados, e áreas de lazer. Aspectos naturais, como a existência de rios, lagos, encostas, zonas de risco e condições climáticas, também impactam a valorização dos imóveis. Por fim, fatores urbanísticos, incluindo zoneamento, coeficiente de aproveitamento, restrições para construções e potencial de adensamento, exercem influência significativa no valor das propriedades na área analisada.

Assim, variáveis extrínsecas geográficas foram calculadas utilizando a Distância Euclidiana Equação 12 e a Densidade de Kernel Equação 13.

$$D = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2} \quad (12)$$

Onde: X e Y são as coordenadas bidimensionais dos pontos i e j separados por uma distância D.

$$D(x) = 1 / (\pi h^2) \sum_{i=1}^n K(d_i/h) \quad (13)$$

Onde (SD) é a distância padrão, (Dm) é a mediana ponderada para a média central dos dados de entrada (n).

Assim, todos os valores referentes às variáveis intrínsecas do terreno (como tamanho e infraestrutura urbana), às variáveis extrínsecas de natureza dicotômica, e às variáveis geográficas (distâncias) foram incorporados na camada de amostras. Dessa forma, torna-se possível avançar no desenvolvimento e na aplicação dos modelos matemáticos e Geoestatísticos para a análise.

Por fim, a variável dependente e as variáveis independentes serão analisadas para cada Zona Homogênea de Valor por meio da Inferência Estatística, utilizando o MCRL. Serão verificados os pressupostos de micronumerosidade, linearidade, multicolinearidade, normalidade dos resíduos, homoscedasticidade, ausência de autocorrelação e de outliers, visando garantir estimativas eficientes, consistentes e livres de vieses.

Ressalta-se que a homoscedasticidade e a independência espacial podem não ser plenamente atendidas em dados imobiliários, devido à influência da localização sobre os valores dos imóveis. Assim, todas as variáveis serão inicialmente testadas, permanecendo no modelo final apenas aquelas estatisticamente significativas e coerentes com o fenômeno analisado.

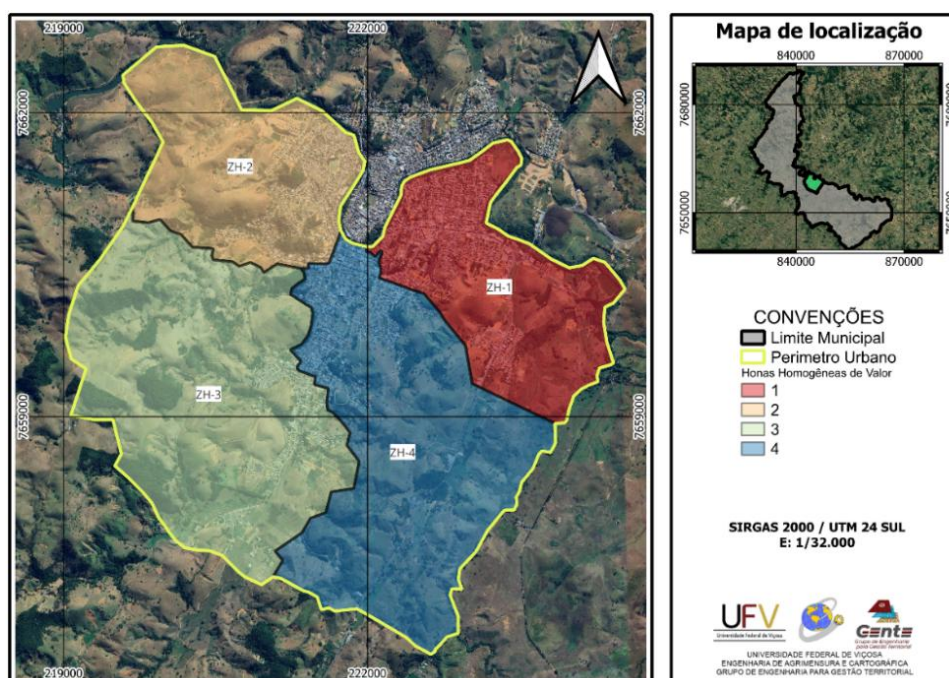
4.1.3 Delimitação das Zonas Homogêneas de Valor

A metodologia adotada seguiu a setorização imobiliária já existente, utilizada pela administração municipal para o lançamento das unidades imobiliárias. Atualmente, o município está dividido em quatro setores principais. O setor 1, abrange os bairros Lia Márcia, José Lima, Jorge Assis de Oliveira e uma parte do centro urbano. O setor 2: compreende os bairros Sebastião Pimentel Marques, Bela Vista, Santa Rosa e uma outra porção do centro. Já o setor 3: corresponde integralmente ao bairro Santa Teresinha e o setor 4, inclui a maior parte da região central da cidade, além dos bairros Novo, Oscar Campos e Jardim Valéria.

Essa organização espacial facilita a análise comparativa entre os imóveis e permite o agrupamento das áreas com características semelhantes, promovendo maior justiça tributária e fundamentando tecnicamente a avaliação em massa dos terrenos urbanos.

Um ajuste realizado a partir da setorização imobiliária existente no município foi a ampliação de seus limites para abranger toda a área de estudo, considerando o perímetro de expansão urbana. Essa adaptação foi necessária para garantir a coerência territorial e a cobertura completa na análise dos valores de terreno. Com essa expansão, foi possível delimitar de forma mais precisa as quatro Zonas Homogêneas de Valor, que compõem a sede do município, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10: Zona Homogênea de Valor para Sede do município.



Fonte: o autor.

Para validação da ZHV, foi proposto um Sistema de Apoio à Tomada de Decisão baseado em Análise Multicritério Espacial, metodologia que possibilita integrar, transformar e analisar diferentes variáveis geográficas relacionadas à valorização imobiliária.

A utilização da Análise Multicritério Espacial torna-se fundamental na validação das ZHV, uma vez que a valorização imobiliária urbana resulta da interação simultânea de diversos fatores locais, socioeconômicos, ambientais e estruturais. Dessa forma, a maneira como os critérios são selecionados, ponderados e combinados exerce influência direta nos resultados obtidos, sendo determinante para garantir maior coerência espacial e aderência das zonas homogêneas à dinâmica real do mercado imobiliário municipal.

Como resultado, será gerado o Mapa de Adequabilidade à Valorização Imobiliária, no qual serão espacializadas as áreas com maior e menor potencial de valorização no município. Esse produto cartográfico servirá de subsídio para a delimitação das Zonas Homogêneas de Valor e para o aprimoramento da modelagem dos Valores Unitários de Terreno.

Após a aplicação da Análise Multicritério Espacial com a integração de todas as variáveis geográficas relacionadas à valorização imobiliária, vai se tornar possível validar tecnicamente a delimitação das Zonas Homogêneas de Valor por meio da análise estatística do Coeficiente de Variação (CV). Esse indicador permite verificar o grau de homogeneidade dos valores venais dentro de cada zona delimitada, sendo amplamente utilizado em estudos de avaliação em massa para fins fiscais.

4.1.4 Modelo Clássico de Regressão Linear

Para a modelagem dos valores imobiliários por meio do Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL) com Avaliação por Múltiplas Técnicas (AMT), foi utilizado o software Infer32, desenvolvido especificamente para Engenharia de Avaliações (ÁRIA, 2004). As análises estatísticas seguiram os padrões estabelecidos na norma ABNT NBR 14653-2, com Grau de Fundamentação III, adotando níveis de significância e confiança compatíveis com a norma. Para atender ao pressuposto de linearidade do modelo, foram testadas diversas transformações matemáticas nas variáveis, a fim de melhorar o ajuste e garantir a validade dos resultados. Entre as transformações avaliadas estão: proporcional, logarítmica, exponencial, quadrática, raiz quadrada, cúbica, raiz cúbica, além de suas respectivas formas inversas. Essa abordagem visa otimizar o desempenho do modelo e assegurar a consistência estatística dos parâmetros estimados.

Como parte da estratégia adotada para a construção de um modelo de referência robusto, a metodologia a ser desenvolvida nesta pesquisa aplica um processo iterativo de formulação e

refinamento de modelos estatísticos, assegurando o atendimento aos pressupostos fundamentais do MCRL. Para garantir a consistência dos resultados, são definidos critérios técnicos específicos. Os regressores utilizados no modelo foram testados com um nível de significância global de 10%. A identificação de outliers foi realizada com base em um intervalo de ± 2 desvios padrão em relação à média dos dados. A normalidade da distribuição dos resíduos será verificada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 1%, enquanto a autocorrelação dos erros será analisada por meio do teste de Durbin-Watson, também com nível de significância de 1%. Por fim, serão estabelecidos intervalos de confiança de 80% para os valores estimados, a fim de avaliar a precisão e confiabilidade às projeções geradas pelo modelo.

Para validar o MCRL, foram utilizadas as amostras específicas de valores imobiliários para validação, destinadas exclusivamente a essa etapa. Com base nessas amostras e no modelo ajustado, serão calculados indicadores de desempenho e uniformidade da avaliação, como a Mediana das Razões, o Diferencial Relativo ao Preço e o COD, conforme recomendado pela (IAAO, 2013).

4.1.5 Modelo Geoestatístico

Para a elaboração da Superfície Unitária de Valores (SUV), conforme previsto no modelo conceitual do banco de dados geográfico, foi realizado a análise geoestatística, com o cálculo e ajuste do variograma, e depois foi feito o cálculo das estimativas usando o interpolador geoestatística de Krigagem Ordinária. Essa etapa utilizou a amostra de treinamento composta pelos valores unitários de terreno ajustados e homogeneizados a partir do MCRL. Vale destacar que esse conjunto de dados pode ser reduzido em relação à amostra original destinada ao treinamento, uma vez que, durante a formulação do modelo, podem ser identificados e excluídos outliers que comprometem a consistência estatística. Antes da interpolação espacial, os valores estimados serão submetidos a uma Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), com o objetivo de verificar a aderência aos pressupostos necessários para a aplicação da Krigagem Ordinária, que foi realizada no ambiente do software ArcGIS.

Na sequência, foram elaborados e avaliados semivariogramas empíricos, com base nos modelos teóricos Esférico, Exponencial e Gaussiano, com o objetivo de identificar o ajuste mais adequado à estrutura espacial dos dados. Esses modelos foram testados a partir dos principais parâmetros já mencionados geoestatísticos: o alcance (a); o patamar (C); o efeito pepita (C_0) e o grau de dependência espacial entre os pontos amostrais.

De acordo com Yamamoto e Landim (2013) e Uberti (2016), esses três modelos são amplamente utilizados na literatura especializada, por apresentarem boa capacidade de representar a variabilidade espacial de diversos fenômenos geográficos. A escolha do modelo mais adequado foi feita com base na qualidade do ajuste aos dados observados, contribuindo para uma interpolação mais precisa na construção da SUV.

Para identificar o modelo de predição mais adequado à estimativa do VUT, foi aplicada a técnica de Validação Cruzada. Essa validação foi realizada tanto de forma gráfica, por meio de mapas e gráficos que representem visualmente os ajustes, quanto de maneira quantitativa, com o uso de métricas estatísticas. Entre os critérios adotados, destacam-se, a imparcialidade das previsões, verificada por um Erro Médio de Previsão próximo de zero; a precisão dos erros padrão, indicada por um Erro Médio Quadrático Padronizado próximo de um; e a proximidade entre os valores previstos e os observados, avaliada pelo menor possível Erro Médio Quadrático e Erro Padrão Médio. Após a análise da qualidade dos modelos com base nesses parâmetros, e confirmada a adequação estatística, é gerada a SUV e as Superfícies de Erro de Predição, que servirão como base para análises espaciais e tomadas de decisão.

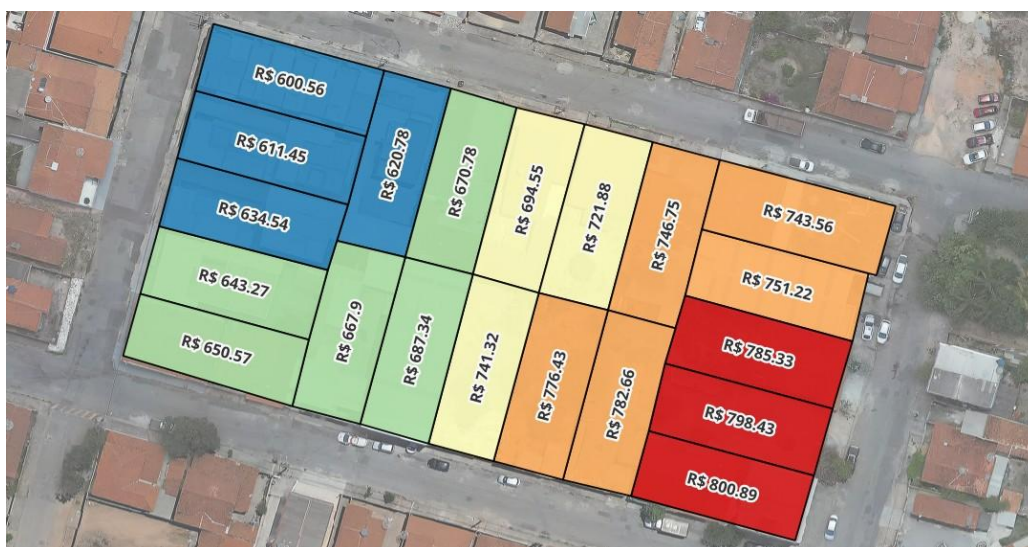
Com o objetivo de avaliar a capacidade da SUV em representar adequadamente os

valores da população imobiliária do município, foi realizada uma análise de desempenho entre os valores estimados por meio da Krigagem Ordinária e os dados da Amostra de Valores de Terreno destinados à validação. Essa comparação permitiu calcular indicadores de precisão e qualidade, conforme os critérios estabelecidos pelas diretrizes da IAAO, possibilitando verificar se os resultados obtidos atendem aos padrões exigidos para avaliações em massa.

4.1.6 Transferência dos Valores para os Lotes

Após a conclusão das etapas de modelagem e validação dos Valores Unitários de Terreno (VUT), a superfície contínua de valores gerada para o município foi utilizada para a determinação dos valores correspondentes a cada lote cadastrado. Nessa superfície, cada pixel possui um valor unitário associado ao metro quadrado do terreno, representando as variações espaciais de valorização identificadas pelo modelo. A partir dos pixels compreendidos nos limites de cada lote, foi calculado um valor unitário representativo, permitindo atribuir individualmente o VUT a cada parcela cadastral, conforme exemplificado na Figura 11. Dessa forma, os resultados da modelagem foram incorporados à base cadastral municipal, possibilitando sua utilização na determinação dos valores venais dos imóveis e na atualização da Planta Genérica de Valores.

Figura 11: Valor unitário para cada lote.



Fonte: O autor.

No município de Bom Jesus do Itabapoana, a tributação imobiliária é realizada com base em valores diferenciados por faces de quadra. Em função dessa metodologia, a representação da PGV foi estruturada considerando a individualização dos valores unitários para cada face, de acordo com as características locacionais e a dinâmica do mercado imobiliário local.

Para definição desses valores, os lotes pertencentes à mesma face de quadra foram agrupados e submetidos à análise estatística dos valores unitários dos terrenos. Esse procedimento permitiu a obtenção de indicadores como média, mediana, desvio padrão e coeficiente de dispersão, possibilitando avaliar o grau de homogeneidade dos imóveis e subsidiar a definição dos valores representativos de cada face de quadra.

Para o município de Bom Jesus do Itabapoana, adotou-se como critério a utilização da média dos valores unitários dos lotes pertencentes à mesma face de quadra, visando representar de forma adequada o comportamento predominante do mercado imobiliário local e subsidiar a definição dos valores empregados na PGV, Figura 12.

Figura 12: Valor Unitário transferido para face de quadra.



Fonte: O autor.

4.2 Atualização dos valores unitários de edificações

Como mencionado anteriormente, o Valor do metro quadrado da Edificação por Tipologia e Padrão (Vm^2ETP) é normalmente obtido a partir das tabelas de Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB/m^2), elaboradas conforme os Projetos-Padrão definidos pela ABNT NBR 12.721:2006. Esses projetos classificam as edificações de acordo com sua tipologia construtiva e padrão de acabamento, permitindo maior compatibilidade entre os custos da construção civil e os valores utilizados na avaliação imobiliária (ABNT, 2006).

Entretanto, o Código Tributário Municipal de Bom Jesus do Itabapoana apresenta apenas classificações genéricas de tipologias construtivas, sem distinção entre padrões construtivos das edificações. Atualmente, o município adota categorias como Casa, Construção Precária, Apartamento, Sala, Loja, Galpão, Telheiro, Fábrica e Especial, não contemplando

diferenciações relacionadas à qualidade construtiva, padrão de acabamento ou nível de valorização das edificações.

Essa simplificação metodológica gera distorções tributárias, uma vez que edificações com características construtivas significativamente distintas acabam enquadradas em uma mesma categoria de valor unitário. Dessa forma, imóveis com elevado padrão construtivo pode receber valores semelhantes aos de edificações populares ou de padrão inferior, comprometendo a equidade tributária e a aderência dos valores venais à realidade do mercado imobiliário.

Nesse contexto, a metodologia proposta neste estudo busca implantar um novo modelo de enquadramento das tipologias construtivas municipais a partir da compatibilização entre as categorias existentes no cadastro imobiliário municipal e os Projetos-Padrão definidos pela ABNT NBR 12.721:2006 e utilizados pelo SINDUSCON na definição do CUB/m². Para isso, foi desenvolvido um Processo Hierárquico de Tomada de Decisão, permitindo estabelecer critérios técnicos para associação das tipologias municipais aos respectivos padrões construtivos do CUB.

4.3 Definição de alíquotas

Após a determinação dos valores venais dos imóveis, com a atualização dos Valores Unitários de Terreno e dos Valores Unitários de Edificação, passou-se a dispor de uma base técnica e cadastral mais consistente e compatível com a realidade do mercado imobiliário municipal. A partir dessas informações, tornou-se possível desenvolver estudos voltados à definição de faixas de valor venal e à estruturação de novas alíquotas para o cálculo do IPTU, permitindo a construção de uma metodologia tributária mais equilibrada, progressiva e aderente à capacidade contributiva dos proprietários.

Foram analisados diversos Códigos Tributários Municipais de municípios com características urbanas e perfis imobiliários semelhantes ao de Bom Jesus do Itabapoana, com o objetivo de identificar metodologias tributárias contemporâneas, inovações normativas e práticas relacionadas à definição de alíquotas do IPTU. Essa análise comparativa permitiu avaliar tendências adotadas por administrações municipais no que se refere à progressividade tributária, à segmentação de imóveis por tipologia construtiva e à utilização de faixas de valor venal como instrumento de justiça fiscal.

A partir dessas análises, foram desenvolvidas propostas de progressividade de alíquotas considerando tanto a utilização e tipologia dos imóveis quanto o VVI. Para isso, utilizando as novas tipologias reenquadradas conforme os padrões construtivos definidos pelo SINDUSCON

e pela ABNT NBR 12.721:2006, permitindo maior compatibilidade entre os valores venais estimados e a realidade da construção civil local. Além disso, foram estruturados cenários mínimos, médios e máximos de tributação, buscando compatibilizar a capacidade arrecadatória municipal com os princípios da proporcionalidade e da capacidade contributiva previstos na Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988).

Do ponto de vista técnico, a definição das faixas de valor venal foi fundamentada em análises estatísticas da distribuição dos valores constantes CTM. Conforme destacado por Souza (2018), ferramentas estatísticas como percentis, quartis, distribuição de frequência e desvio-padrão possibilitam identificar padrões de concentração dos valores venais e estabelecer intervalos tributários mais homogêneos, reduzindo distorções decorrentes de mudanças abruptas de enquadramento tributário.

Nesse contexto, imóveis localizados em faixas inferiores de valor venal podem ser submetidos a alíquotas reduzidas, visando proteção das populações de menor capacidade contributiva, enquanto imóveis situados em faixas superiores podem receber alíquotas progressivamente maiores, em consonância com os princípios da justiça fiscal e da progressividade tributária (Carrazza, 2012; Sabbag, 2021). Tal metodologia aproxima a estrutura de cálculo do IPTU dos modelos aplicados no Imposto de Renda, nos quais a tributação ocorre de maneira gradual conforme o aumento da base tributável.

Dessa forma, a definição das faixas de valor venal e das respectivas alíquotas deve considerar simultaneamente três dimensões fundamentais: (I) critérios legais, relacionados à compatibilidade com a Constituição Federal, o Código Tributário Nacional e a legislação municipal; (II) critérios técnicos, baseados na estratificação estatística da distribuição dos valores venais dos imóveis; e (III) critérios sociais, voltados à promoção da justiça fiscal e à proteção das faixas de menor valor imobiliário. A integração desses critérios permite estruturar uma política tributária mais equilibrada, transparente e compatível com a realidade socioeconômica municipal.

Após a definição das faixas de valor venal e das respectivas alíquotas, torna-se possível realizar as simulações do IPTU para os imóveis cadastrados no município de Bom Jesus do Itabapoana. Nessa etapa, a metodologia tributária proposta é aplicada aos valores venais atualizados, permitindo estimar individualmente os novos valores do imposto e avaliar os efeitos decorrentes das diferentes configurações de alíquotas e faixas de tributação. As simulações possibilitam ainda comparar os valores obtidos com os lançamentos realizados pela metodologia vigente, identificar imóveis sujeitos a aumentos ou reduções do imposto e

mensurar os impactos sobre a arrecadação municipal. Dessa forma, essa etapa constitui um instrumento de avaliação dos cenários propostos, fornecendo subsídios técnicos para a análise da viabilidade e dos efeitos da eventual implementação de uma nova metodologia de cálculo do IPTU no município.

5 RESULTADOS

5.1 Amostragem e Variáveis

Considerando os objetivos propostos nesta pesquisa, foram coletadas 752 amostras de valores de imóveis sem ocupação localizados na sede do município, abrangendo o perímetro de expansão urbana. Essas informações foram utilizadas como base para atualização do VUT da PGV.

Para o desenvolvimento das etapas de modelagem matemática e análise estatística, inicialmente foi realizada a análise da base amostral com o objetivo de identificar observações discrepantes que pudessem comprometer o ajuste dos modelos. Nesse processo, as amostras identificadas como outliers foram excluídas da modelagem, totalizando 352 observações, distribuídas entre as quatro ZHV. Após esse procedimento, permaneceram 400 amostras consideradas adequadas para o desenvolvimento e a avaliação dos modelos.

Conforme apresentado na Tabela 6, a base amostral resultante foi dividida em dois conjuntos distintos: 310 observações (77,5%) foram destinadas ao treinamento e à calibração dos modelos de avaliação em massa, enquanto 90 observações (22,5%) foram reservadas exclusivamente para a validação e verificação do desempenho preditivo. A separação foi realizada de forma visual e espacialmente orientada, buscando proporcionar ampla distribuição das amostras de treinamento e validação ao longo da área de estudo e evitar sua concentração em setores específicos do município. Essa estratégia permitiu que ambos os conjuntos contemplassem diferentes regiões e condições do mercado imobiliário municipal, contribuindo para maior representatividade espacial da modelagem.

Dessa forma, enquanto as amostras de treinamento foram utilizadas na construção e calibração dos modelos, as amostras de validação permaneceram independentes desse processo, sendo posteriormente empregadas para verificar a capacidade preditiva e de generalização dos modelos desenvolvidos. A exclusão prévia dos outliers, associada à separação espacial entre treinamento e validação, buscou proporcionar maior consistência à modelagem e à avaliação dos resultados obtidos.

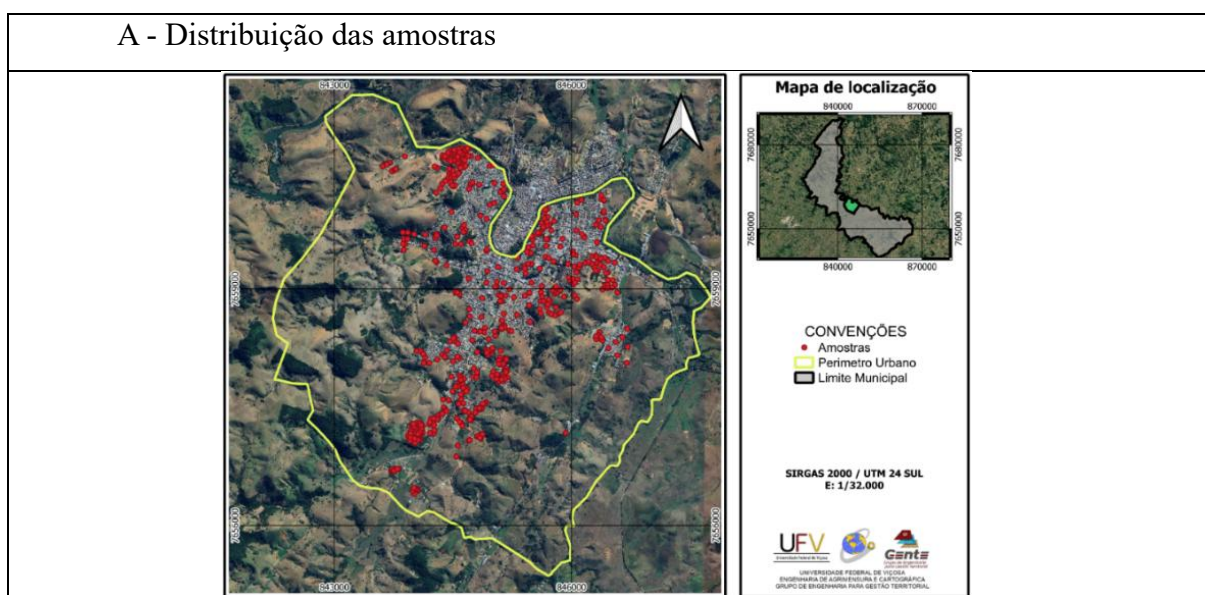
Tabela 6: Distribuição das amostras de treinamento, validação e outliers por Zona Homogênea de Valor.

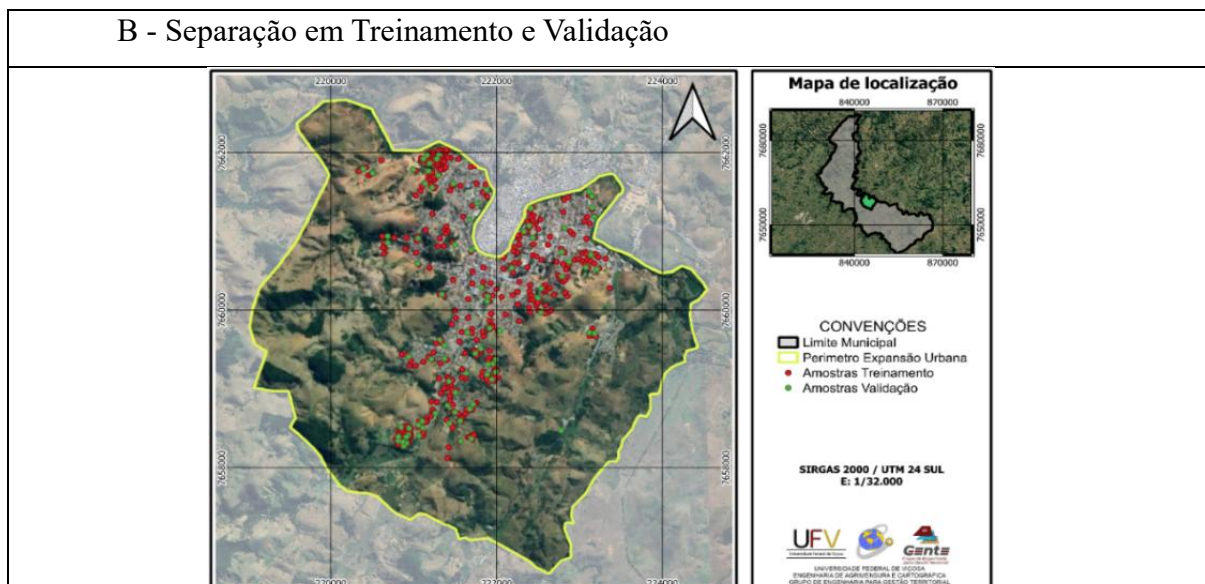
Nº DA ZH	Amostras de Treinamento	Amostras de validação	Total Utilizado	Outliers Excluídos
ZH 01	77	19	96	84
ZH 02	85	22	107	91
ZH 03	81	27	108	96
ZH 04	67	22	89	81
TOTAL	310	90	400	352
PERCENTUAL	77,5%	22,5%	100%	-

Fonte: O autor.

A distribuição espacial das amostras utilizadas na pesquisa é apresentada na Figura 13A, permitindo visualizar sua abrangência ao longo da área de estudo e entre as diferentes Zonas Homogêneas de Valor. Já a Figura 13B apresenta a separação das observações entre os conjuntos de treinamento e validação após a exclusão dos outliers, evidenciando a distribuição espacial adotada para os dois grupos. A representação permite verificar que se buscou manter ambos os conjuntos distribuídos ao longo da área analisada, de modo que as amostras destinadas à validação contemplassem diferentes regiões do município e não permanecessem concentradas em áreas específicas.

Figura 13: Distribuição das amostras e separação em treinamento e validação.





Fonte: O autor.

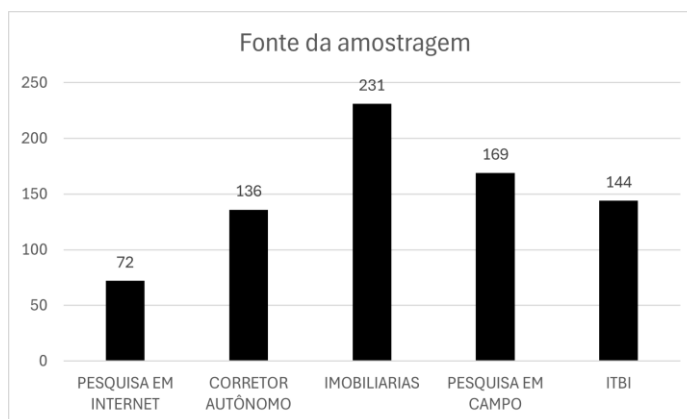
O maior volume de dados amostrais foi obtido junto às imobiliárias atuantes no município, que disponibilizaram arquivos contendo, além das informações referentes aos imóveis ofertados, seus respectivos endereços. Essas informações possibilitaram a identificação e a localização espacial dos imóveis, permitindo sua posterior integração à base cartográfica utilizada na pesquisa., responsáveis por aproximadamente 30,72% do total de amostras coletadas. As pesquisas de campo também apresentaram participação significativa, correspondendo a 22,47% da base amostral, demonstrando a importância do levantamento direto de informações no mercado imobiliário local.

Os dados provenientes das transações declaradas no Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis (ITBI) representaram 19,15% da amostragem, contribuindo com informações relacionadas a negociações efetivamente realizadas. Já a colaboração de corretores autônomos correspondeu a 18,08% das amostras obtidas, ampliando a diversidade das informações mercadológicas utilizadas no estudo. Por fim, as pesquisas realizadas em plataformas digitais e anúncios eletrônicos apresentaram menor representatividade, contribuindo com 9,58% do total de dados coletados, Figura 14.

Destaca-se a relevância da maior participação das imobiliárias na composição da base amostral, uma vez que essas empresas atuam diretamente e de forma contínua no mercado imobiliário local, concentrando informações atualizadas sobre oferta, demanda, dinâmica de comercialização e comportamento dos preços praticados no município. Além disso, as imobiliárias possuem maior volume de imóveis cadastrados e negociados, permitindo a obtenção de dados mais consistentes e representativos das diferentes regiões urbanas e padrões

construtivos existentes.

Figura 14: Origem da amostragem.

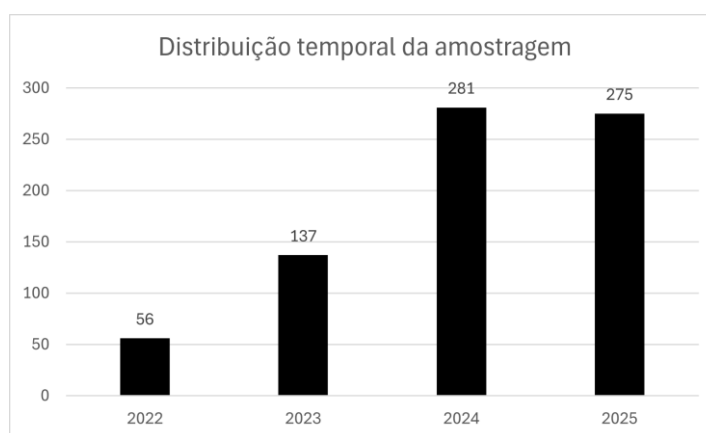


Fonte: O autor.

A utilização de diferentes fontes de informação buscou garantir maior representatividade espacial e econômica da amostra, permitindo contemplar distintas tipologias imobiliárias, padrões construtivos e faixas de valor existentes no mercado imobiliário municipal. Dessa forma, a diversidade das fontes contribuiu para aumentar a confiabilidade dos dados utilizados na modelagem do VUT e, consequentemente, na atualização da PGV.

A amostra abrangeu o período de julho de 2022 a abril de 2025, Figura 15, considerado apropriado para refletir as condições atuais do mercado imobiliário local. Esse intervalo foi escolhido por oferecer uma base de dados atualizada, capaz de capturar variações econômicas que influenciaram os preços dos imóveis ao longo do tempo.

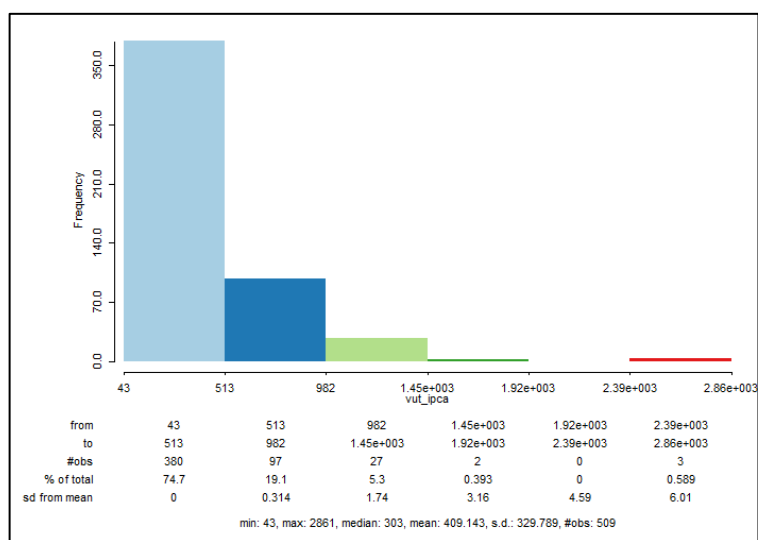
Figura 15: Distribuição temporal das amostras.



Fonte: O autor.

Além disso, foi realizada a Análise Exploratória dos Dados (AED) referentes à sede municipal inserida no perímetro de expansão urbana, contemplando a elaboração de histogramas e o cálculo dos parâmetros de estatística descritiva, Figura 16. A análise estatística do VUT, evidenciou significativa variabilidade nos valores observados no mercado imobiliário do município, com valores variando entre R\$/m² 43,00 e R\$/m² 2.861,00, demonstrando ampla heterogeneidade espacial e econômica entre os imóveis analisados. Esses resultados indicam a existência de diferentes padrões de valorização imobiliária no território urbano, refletindo fatores relacionados à localização, infraestrutura urbana, acessibilidade, características físicas dos terrenos e dinâmica do mercado imobiliário local.

Figura 16: Histograma do VUT e suas estatísticas descritivas.



Fonte: o autor.

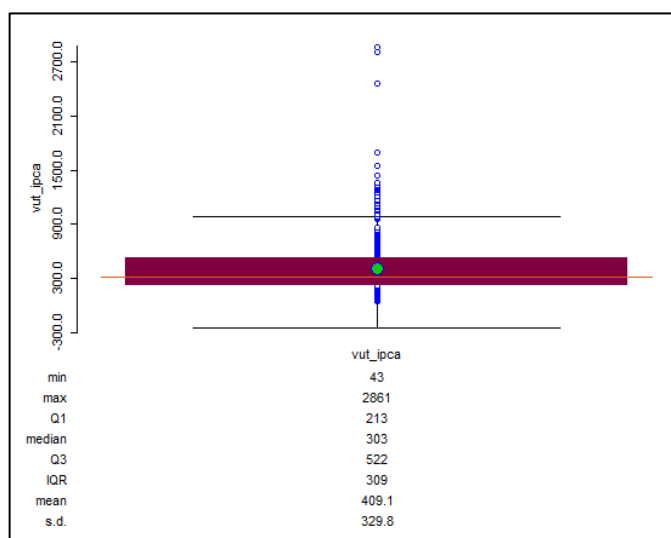
A média dos valores unitários foi de R\$/m² 409,14 enquanto a mediana apresentou valor de R\$/m² 303,00. A diferença entre média e mediana indica distribuição assimétrica positiva, influenciada pela presença de imóveis com valores significativamente elevados em relação ao conjunto amostral. Esse comportamento é reforçado pelo desvio padrão de R\$/m² 329,80, considerado elevado em relação à média, evidenciando grande dispersão dos dados.

Os quartis também demonstram concentração significativa das observações em faixas inferiores de valor. O primeiro quartil (Q1) apresentou valor de R\$/m² 213,00, indicando que 25% das amostras possuem VUT abaixo desse limite. Já o terceiro quartil (Q3) foi de R\$/m² 522,00, evidenciando que 75% dos imóveis apresentam valores inferiores a esse patamar. Dessa forma, o intervalo interquartil (IQR) foi de R\$/m² 309,00, representando a amplitude da faixa central dos dados e confirmando elevada variabilidade nos valores imobiliários do município.

A análise do BoxPlot (Hinge = 3,0), apresentada na Figura 17, evidencia a ocorrência

de diversos valores discrepantes superiores (outliers), principalmente acima de R\$ 1.000,00/m². Esses valores atípicos estão associados, provavelmente, a imóveis situados em áreas de maior valorização imobiliária do município, como regiões centrais, corredores comerciais e setores com maior oferta de infraestrutura urbana, comércio e serviços. A presença desses outliers superiores demonstra a forte heterogeneidade existente no mercado imobiliário local, característica comum em estudos de avaliação em massa realizados em municípios com diferentes padrões de ocupação e valorização urbana.

Figura 17: Detecção de Outliers pelo BoxPlot (Hinge = 3.0).



Fonte: o autor.

Observa-se ainda que a distribuição dos dados apresenta assimetria positiva, confirmada pela média dos Valores Unitários de Terreno (R\$/m² 409,10) superior à mediana (R\$/m² 303,00), indicando concentração significativa de imóveis em faixas de valores mais baixos, com menor quantidade de imóveis de elevado valor venal influenciando a distribuição estatística. Além disso, a reduzida ocorrência de outliers inferiores sugere maior homogeneidade entre os imóveis de menor valor, evidenciando que a variabilidade mais expressiva está concentrada nos imóveis de padrão superior e localizações mais valorizadas.

Com relação as variáveis utilizadas no estudo, a Tabela 7 apresenta as Variáveis Intrínsecas do Terreno, a Tabela 8 as Variáveis Extrínsecas relacionadas aos Serviços Urbanos e a Tabela 9 as Variáveis Extrínsecas Geográficas.

Tabela 7: Variáveis Independentes intrínsecas ao terreno.

VARIÁVEIS	NOME	TIPO	SUBTIPO	CLASSE	DESCRIÇÃO	DOMÍNIO
Área	area	Quantitativa	Contínua	Lote	Área do Terreno	M ²
Testada Principal	test_pri	Quantitativa	Contínua	Lote	Testada principal do terreno	M
Profundidade	profund	Quantitativa	Contínua	Lote	Profundidade do Terreno	M
Situação	cod_sit	Ordenada	Código Alocado	Lote	Situação em relação a quadra	1 - Meio de Quadra = 3
						2 - Esquina/Mais de uma frente = 4
						3 – Vila = 1
						4 – Encravado = 2
						5 – Gleba = 5
Solo	cod_sol	Ordenada	Código Alocado	Lote	Condições pedológicas do terreno	1 - Inundável = 1
						2 - Firme = 4
						3 -Alagado = 2
						4 – Combinação dos demais = 3
Topografia	cod_top	Ordenada	Código Alocado	Lote	Condições de topografia do terreno.	1 - Plano = 4
						2 - Aclive = 2
						3 – Declive = 1
						4 – Irregular = 3
Delimitação Frontal	cod_del	Quantitativa	Dicotômica	Lote	Condições de delimitação do terreno.	1 -Não = 1
						2 – Sim = 2

Fonte: o autor.

Tabela 8: Variáveis Independentes Extrínsecas ao terreno Serviços Urbanos e local de inundação.

VARIÁVEIS	NOME	TIPO	SUBTIPO	CLASSE	DESCRIÇÃO	DOMÍNIO
Rede de Água	dic_agu	Qualitativa	Dicotômica	Logradouro	Presença de rede de água no logradouro	1 - Não = 0
						2 - Sim = 1
Pavimentação	dic_pav	Qualitativa	Dicotômica	Logradouro	Presença de infraestrutura de pavimentação no logradouro	1 - Não = 0
						2 - Sim = 1
Coleta de Lixo	dic_lixo	Qualitativa	Dicotômica	Logradouro	Presença de coleta de lixo no logradouro	1 - Não = 0
						2 - Sim = 1
Rede de esgoto	dic_esg	Qualitativa	Dicotômica	Logradouro	Presença de infraestrutura de rede esgoto no logradouro	1 - Não = 0
						2 - Sim = 1
Galeria Pluvial	dic_gal	Qualitativa	Dicotômica	Logradouro	Presença de infraestrutura de galeria pluvial no logradouro	1 - Não = 0
						2 - Sim = 1
Guias e sarjetas	dic_gal	Qualitativa	Dicotômica	Logradouro	Presença de infraestrutura de guias e sarjetas no logradouro	1 - Não = 0
						2 - Sim = 1
Iluminação	dic_ilu	Qualitativa	Dicotômica	Logradouro	Presença de infraestrutura de iluminação pública no logradouro	1 - Não = 0
						2 - Sim = 1
Limpeza	dic_limp	Qualitativa	Dicotômica	Logradouro	Presença de serviços de limpeza urbana no logradouro	1 - Não = 0
						2 - Sim = 1
Rede de telefone	dic_tel	Qualitativa	Dicotômica	Logradouro	Presença de serviços de rede de telefonia no logradouro	1 - Não = 0
						2 - Sim = 1
Local de Inundação	dic_inund	Qualitativa	Dicotômica	Logradouro	Localização do imóvel em área de inundação de acordo com a mancha disponibilizado pela defesa civil.	Não = 0
						Sim = 1

Fonte: o autor.

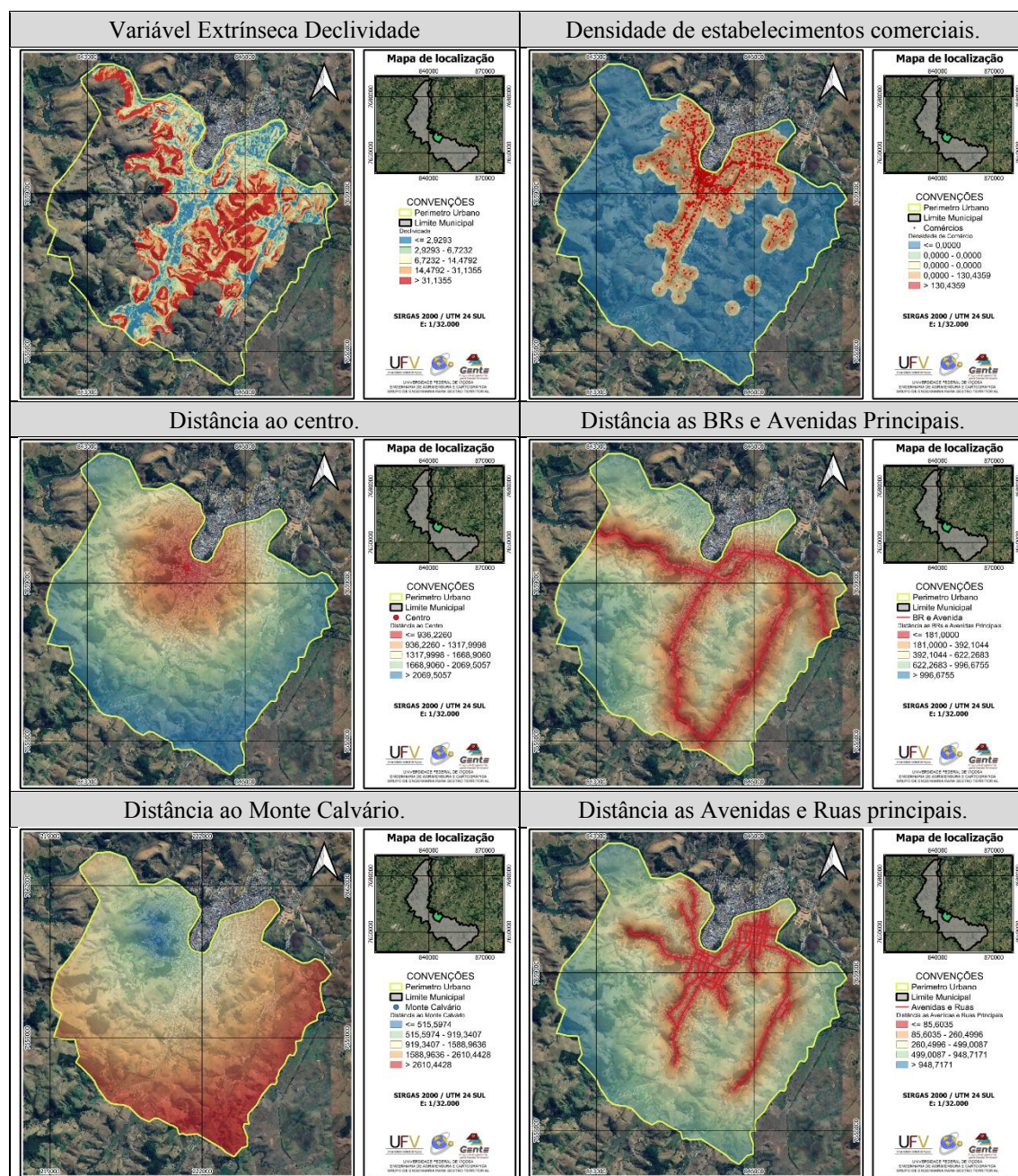
Tabela 9: Variáveis Independentes Extrínsecas ao terreno (Geográficas).

VARIÁVEIS	NOME	TIPO	SUBTIPO	CLASSE	DESCRIÇÃO	DOMÍNIO
Densidade de Comercio	dens_comer	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Densidade de estabelecimentos comerciais	pontos/KM ²
Declividade	decli	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Declividade do solo	%
Avenidas e Ruas	dist_averu	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância as Avenidas e Ruas principais	M
Bancos	dist_banco	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância aos Bancos	M
Br e Avenidas	dist_avebr	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância as BRs e Avenidas Principais	M
Campo	dist_campo	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância aos Campos de Futebol	M
Cemitério	dist_cemit	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância ao Cemitério	M
Centro	dist_centr	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância ao centro	M
Clubes	dist_club	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância aos Clubes	M
Escolas Estaduais	dist_esest	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância as Escolas Estaduais	M
Escolas Municipais	dist_esmun	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância as Escolas Municipais	M
Faculdade	dist_facul	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância as faculdades	M
Hidrografia	dist_hidro	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância as Hidrografias	M
Hospitais	dist_hospi	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância aos Hospitais	M
Igrejas	dist_igrej	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância as Igrejas	M
Inundação	dist_inund	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância as Áreas Inundáveis	M
Lago José Neves	dist_lago	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância ao Lago José Neves	M
Monte Calvário	dist_calva	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância ao Monte Calvário	M
Morro Santa Terezinha	dist_moter	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância ao Morro de Santa Terezinha	M
Praça	dist_praca	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância as Praças	M
Restaurantes	dist_resta	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância aos Restaurantes	M
Rodoviária	dist_rodov	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância a Rodoviária	M
Supermercados	dist_super	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância aos Supermercados	M
Unidades de Saúde	dist_saude	Quantitativa	Contínua	Geográfica	Distância as Unidades de Saúde	M

Fonte: o autor.

A Figura 18 apresenta os mapas temáticos das principais variáveis geográficas utilizadas no estudo, evidenciando a distribuição espacial dos fatores que influenciam a valorização e desvalorização dos imóveis na área analisada. A visualização espacial dessas variáveis é fundamental na avaliação em massa de imóveis, pois permite identificar padrões de valorização, e zonas com comportamentos imobiliários semelhantes. Além disso, a análise geográfica contribui para maior compreensão da dinâmica urbana e fornece suporte técnico à modelagem estatística e geoestatística do VUT.

Figura 18: Variáveis Geográficas



Fonte: O autor.

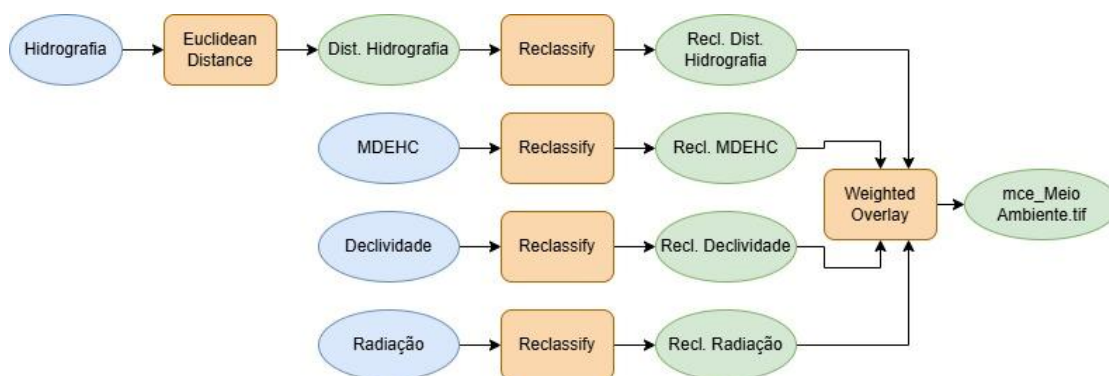
5.2 Zonas Homogêneas de Valores

Para Validação das ZHV, foram definidos critérios relacionados à valorização imobiliária, permitindo identificar áreas com diferentes níveis de adequabilidade espacial. Como os critérios utilizados apresentam distintas unidades de medida, sua combinação direta torna-se inviável. Para solucionar esse problema, foi necessária a padronização ou reclassificação das variáveis em uma mesma escala de valores, variando de 0 (Péssimo) a 5 (Ótimo).

Diversos métodos de reclassificação podem ser aplicados na Análise Multicritério Espacial, como Intervalos Iguais, Quartis e Desvio Padrão. Entretanto, neste estudo foi adotado o Método de Quebras Naturais (Jenks), devido à sua eficiência na representação de dados espaciais heterogêneos e não uniformemente distribuídos. Assim, foram utilizadas variáveis geográficas agrupadas em quatro categorias principais.

No Meio Ambiente foram utilizadas a altimetria do MDEHC, declividade do solo, radiação solar e distância aos córregos, Figura 19.

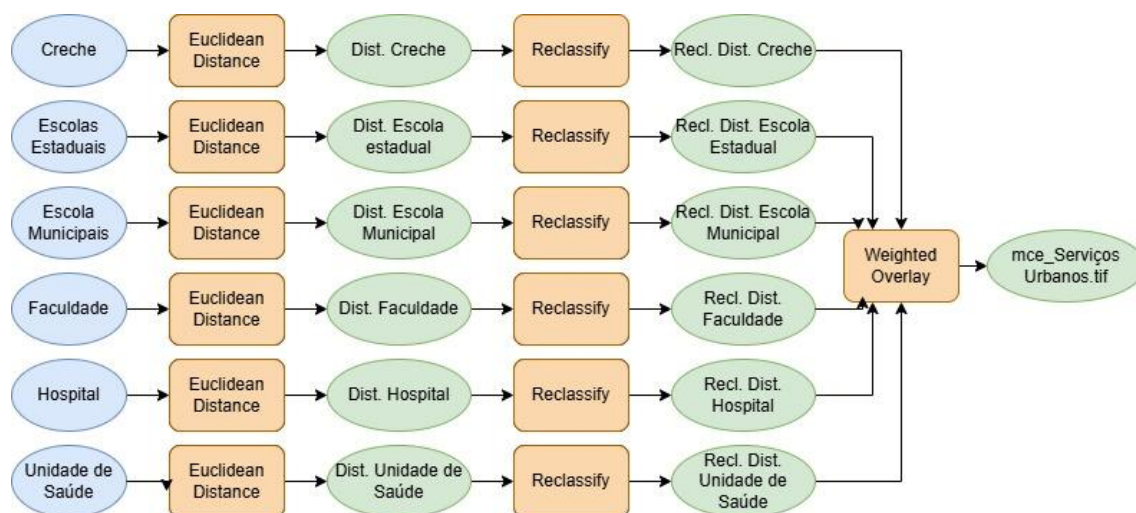
Figura 19: Fluxograma da Análise Multicritério do Meio Ambiente.



Fonte: o autor.

Dos Serviços Urbanos, foram utilizados as Creches, Escolas Estaduais, Escolas Municipais, Faculdades, Hospitais e Unidades de Saúde, Figura 20.

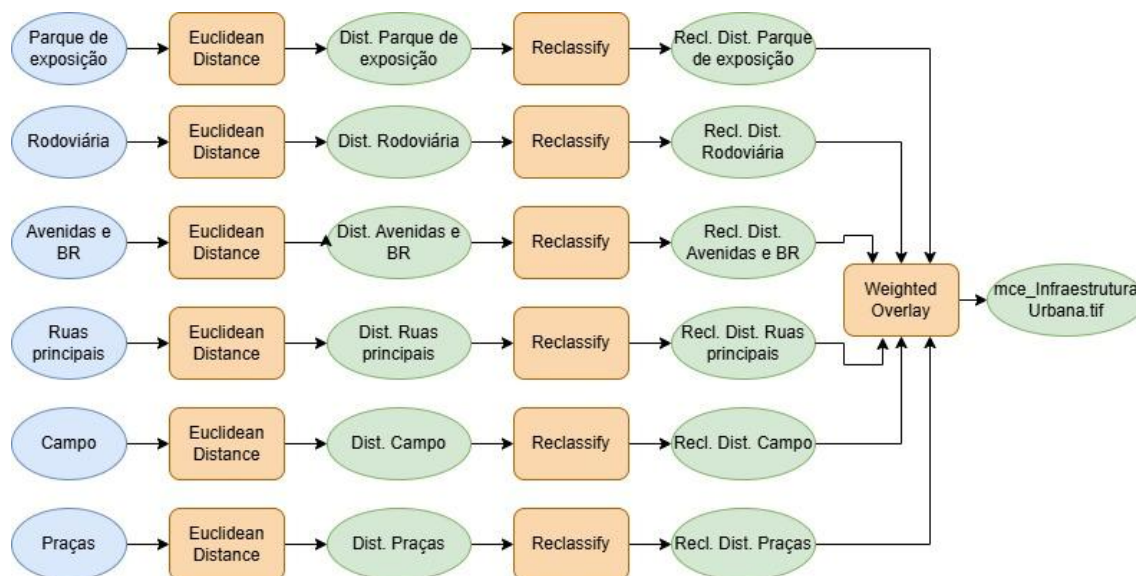
Figura 20: Fluxograma da Análise Multicritério dos Serviços Urbanos.



Fonte: o autor.

Das Infraestruturas Urbanas, foram utilizadas as distâncias ao Parque de Exposição, Rodoviária, Avenidas e Rodovias, Ruas principais, Campo de futebol e as Praças, Figura 21.

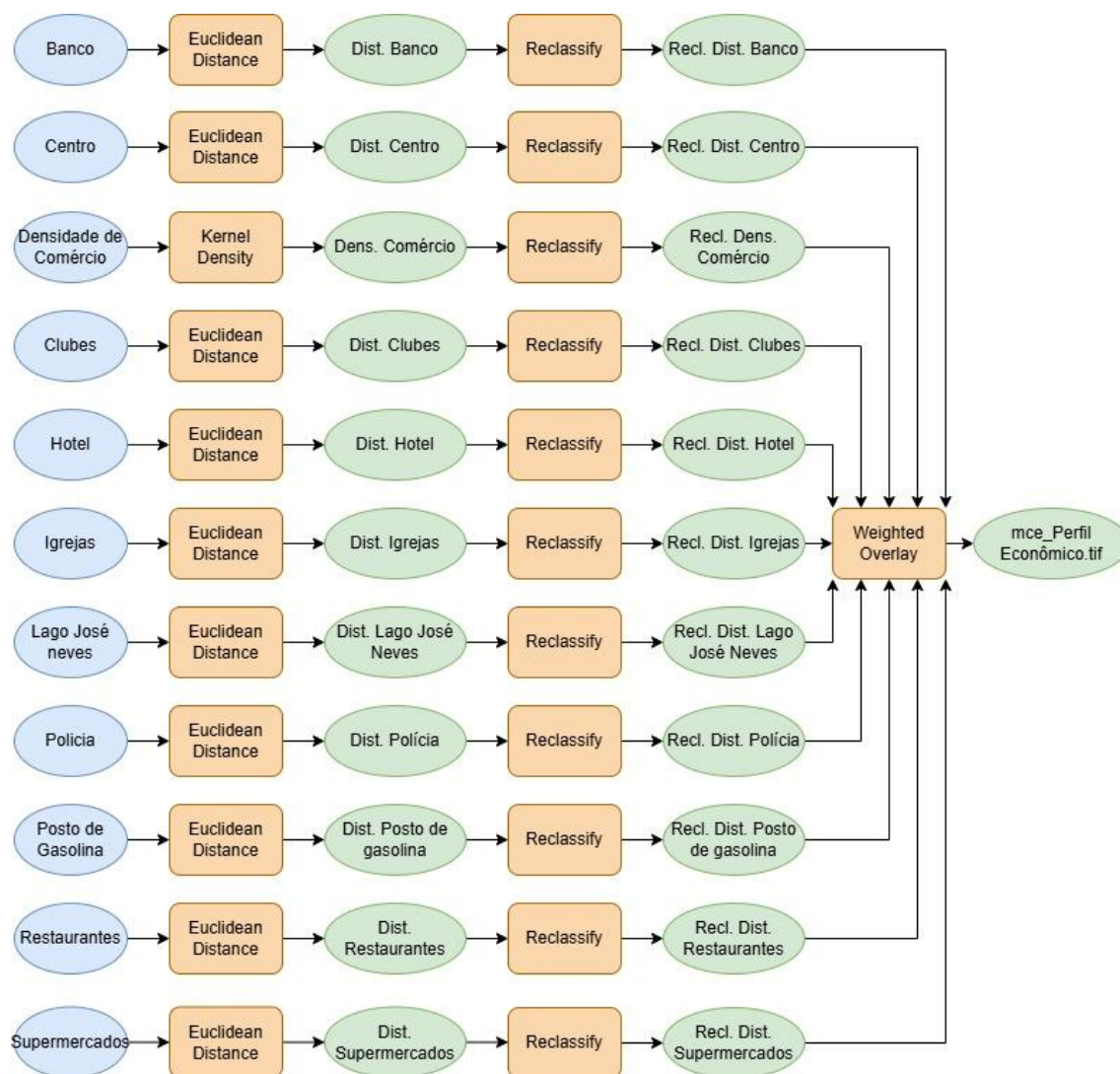
Figura 21: Fluxograma da Análise Multicritério da Infraestrutura Urbana.



Fonte: o autor.

Sobre o Perfil Imobiliário Econômico, foram utilizadas as distâncias aos Bancos, Centro da cidade, Densidade de Comércio, Clubes, Hotéis, Igrejas, Lago José neves, Polícia, Posto de Gasolina, Restaurantes e Supermercados, Figura 22.

Figura 22: Fluxograma da Análise Multicritério do perfil Econômico.

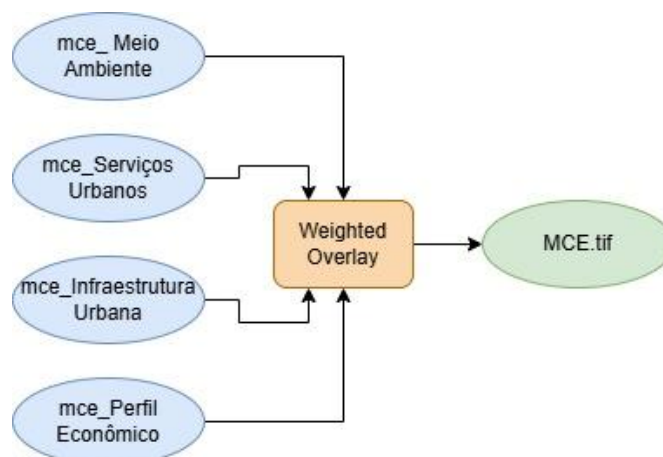


Fonte: o autor.

Em seguida, os resultados das Análises Multicritério Espaciais foram integrados por meio de uma combinação linear ponderada, permitindo consolidar, em um único modelo espacial, os diferentes fatores relacionados à valorização imobiliária urbana. Essa integração possibilitou sintetizar as influências ambientais, urbanísticas, estruturais e econômicas em uma superfície contínua de adequabilidade à valorização imobiliária.

O processo metodológico adotado é representado pelo Fluxograma da Análise Multicritério Espacial de Valor, Figura 23, no qual serão apresentadas as etapas de seleção dos critérios, atribuição de pesos e combinação ponderada dos fatores espaciais.

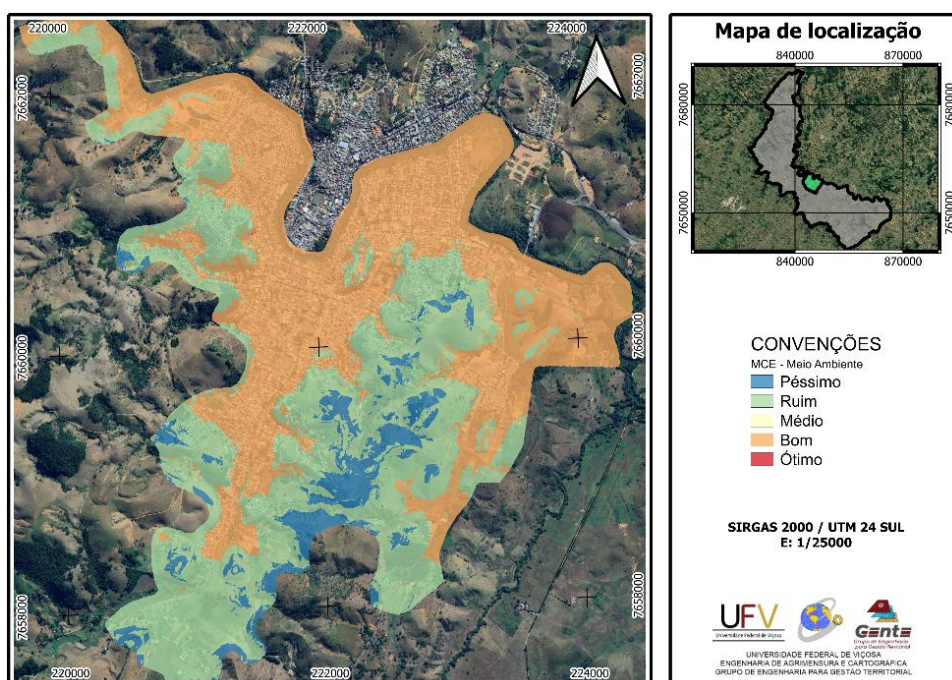
Figura 23: Fluxograma da Análise Multicritério Espacial de Valor.



Fonte: O autor.

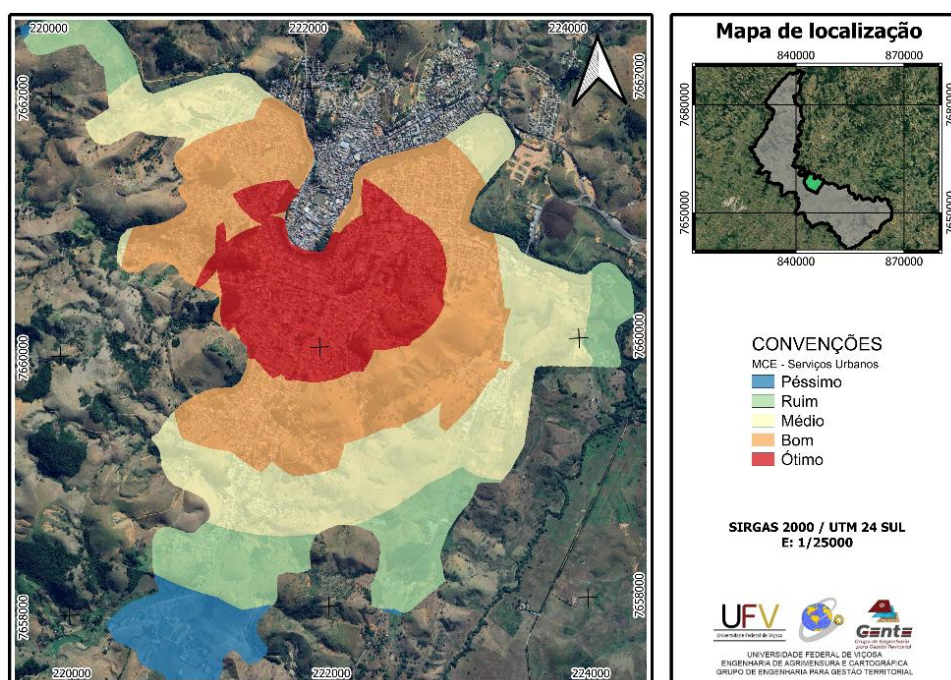
Os resultados da validação da Análise Multicritério Espacial (MCE) são representados por mapas temáticos, gráficos e tabelas elaborados a partir da combinação dos fatores e pesos atribuídos às variáveis que influenciam a valorização imobiliária. As Figuras 24 a 27 apresentam, respectivamente, as análises relacionadas ao Meio Ambiente, Serviços Urbanos, Equipamentos Urbanos e Perfil Imobiliário Econômico, permitindo identificar espacialmente as áreas com maior e menor potencial de valorização imobiliária no município.

Figura 24: Mapa da Análise Multicritério do Meio Ambiente.



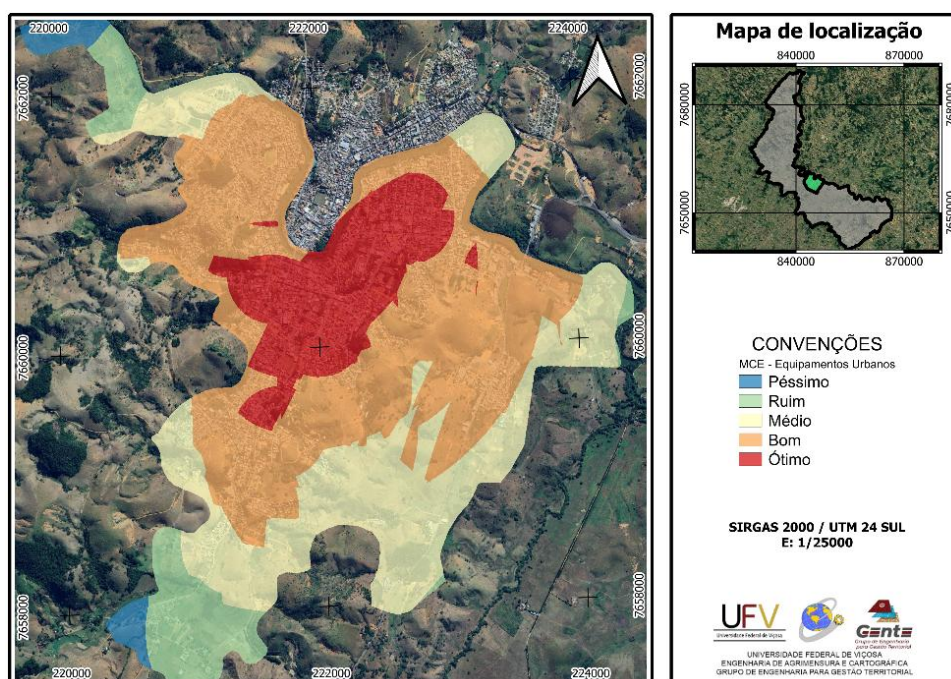
Fonte: O autor.

Figura 25: Mapa da Análise Multicritério dos serviços urbanos.



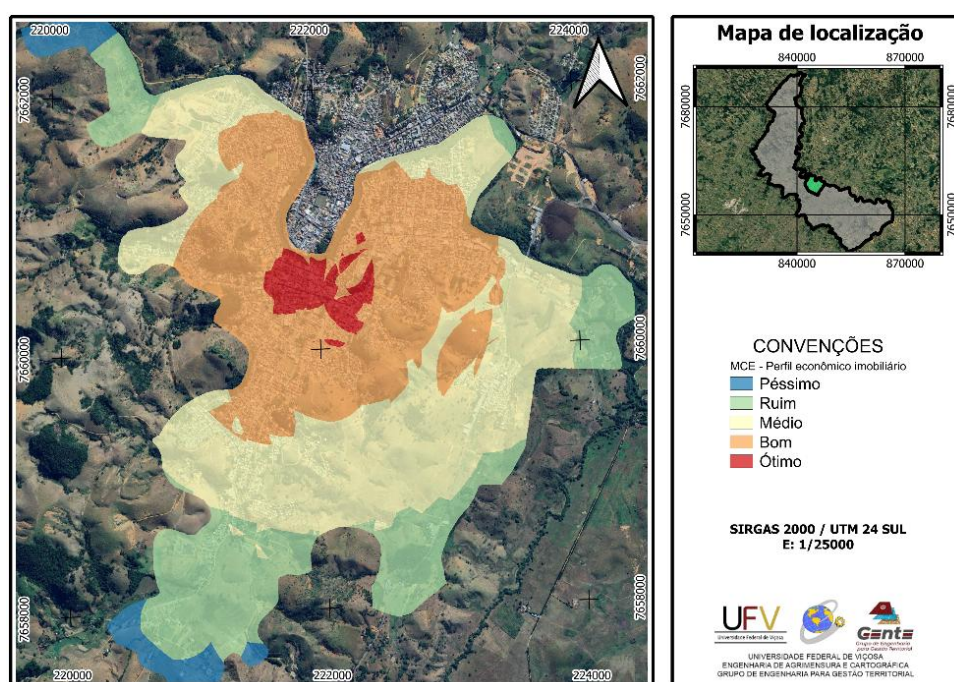
Fonte: O autor.

Figura 26: Mapa da Análise Multicritério dos equipamentos urbanos.



Fonte: O autor.

Figura 27: Mapa da Análise Multicritério do Perfil Econômico Imobiliário.



Fonte: O autor.

Nos mapas gerados, as regiões representadas pela coloração vermelha indicam as localidades com maior adequabilidade à valorização imobiliária de acordo com cada grupo de variáveis analisadas, enquanto as regiões em tonalidades azuis representam áreas com menor influência positiva sobre os valores imobiliários. Dessa forma, os mapas possibilitam compreender como diferentes fatores espaciais contribuem para a formação dos valores venais urbanos, evidenciando padrões de valorização associados à infraestrutura urbana, acessibilidade, presença de serviços públicos, dinâmica econômica e características ambientais do território municipal.

Por fim, a validação estatística das Zonas Homogêneas de Valor demonstra que todas as zonas delimitadas apresentaram Coeficiente de Variação (CV) inferior ao limite de 25%, conforme apresentado na Tabela 10. Os valores obtidos variaram entre 19,4% e 24,7%, evidenciando adequada homogeneidade interna dos valores de adequabilidade à valorização imobiliária em cada zona delimitada.

Tabela 10: Estatísticas das Zonas Homogêneas de Valor.

ZH	AREA(KM ²)	MIN	MAX	RANGE	MEAN	MEDIAN	STD	CV
1	296	2	5	3	3,78	4	0,73	19,4%
2	193	1	5	4	3,52	4	0,82	23,2%
3	194	1	5	4	2,71	2	0,63	23,2%
4	308	1	5	4	3,68	4	0,91	24,7%

Fonte: O autor.

Os resultados indicam que a metodologia de Análise Multicritério Espacial foi eficiente na definição de áreas com comportamento imobiliário semelhante, atendendo às diretrizes técnicas recomendadas para avaliação em massa de imóveis urbanos. Destaca-se que a ZH 01 apresentou o menor coeficiente de variação (19,4%), indicando maior uniformidade espacial, enquanto a ZH 04 apresentou o maior valor (24,7%), ainda assim permanecendo dentro do limite considerado aceitável para caracterização de zonas homogêneas.

Dessa forma, os resultados estatísticos confirmam a consistência da delimitação das Zonas Homogêneas de Valor, demonstrando que as áreas definidas possuem coerência espacial e comportamento relativamente uniforme quanto aos fatores de valorização imobiliária, validando tecnicamente sua utilização na modelagem da Planta Genérica de Valores do município.

5.3 Regressão Linear

Após a definição da amostragem, das variáveis explicativas e ZHV, iniciou-se a etapa de modelagem matemática para estimativa do VUT. Nessa fase, buscou-se estabelecer relações estatísticas entre os valores imobiliários observados e as variáveis físicas, locacionais e geográficas consideradas relevantes para a formação dos preços dos imóveis.

O modelo de regressão 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, destacam-se variáveis omitidas no modelo, imperfeições nos dados utilizados e variações relacionadas ao comportamento humano, como preferências, expectativas e motivações dos agentes envolvidos nas negociações imobiliárias, fatores que introduzem componentes aleatórios nos preços praticados no mercado (Cunha & Erba, 2010; Faria Filho, 2015).

Em conformidade com os critérios normativos, foram observados no mínimo 50 modelos matemáticos para cada ZHV e foi escolhido o modelo que apresentou os melhores resultados. A Tabela 11 apresenta os modelos desenvolvidos, permitindo observar que as variáveis mais influentes na valorização dos imóveis da sede municipal estão associadas às características físicas dos terrenos, atributos dos logradouros e variáveis espaciais relacionadas às distâncias e densidades geográficas.

Tabela 11: Modelos escolhidos para cada ZHV.

Nº DA ZH	Modelo para a Variável Dependente	Desvio padrão da regressão
ZH 01	$[vut] = 2097,5 - 0,09204 \times [\text{area}] - 2742,0 / [\text{situação do terreno}] + 0,4600 \times [\text{densidade de comércio}] - 0,4347 \times [\text{distancia de Avenidas e ruas principais}] - 138,73 \times \text{Ln}([\text{distancia aos restaurantes}])$	120,889
ZH 02	$[vut] = 1 / (4,0057 \times 10^{-3} + 1,2130 \times 10^{-5} \times [\text{area}] - 1,0609 \times 10^{-2} / [\text{distancia as Avenidas e ruas principais}] - 6,1526 \times 10^{-4} \times \text{Ln}([\text{distancia a hidrografia}]) - 6,3272 \times 10^{-3} / \text{Ln}([\text{distancia aos supermercados}]) + 0,8170 / [\text{distancia ao Monte calvario}])$	$6,3692 \times 10^{-4}$
ZH 03	$[vut] = 1 / (-2,3572 \times 10^{-3} + 5,7539 \times 10^{-6} \times [\text{area}] + 9,8554 \times 10^{-4} \times \text{Ln}([\text{declividade}]) - 8,6962 \times 10^{-6} \times [\text{densidade comércio}] - 8,5605 \times 10^{-7} \times [\text{distancia a Locais de inundação}] + 0,02952 / \text{Ln}([\text{distancia alto morro teresinha}]))$	$7,6552 \times 10^{-4}$
ZH 04	$[vut] = \text{Exp}(4,4547 + 15,593 / \text{Ln}([\text{area}]) - 2,0283 / [\text{situação}] + 0,8800 \times [\text{pavimentação}] + 1,4532 \times 10^{-4} \times [\text{densidade de comercio}] - 1,2356 \times 10^{-3} \times [\text{distancia as avenidas e rodovia}] - 0,12164 \times \text{Ln}([\text{distancia ao hospital}]))$	0,2131

Fonte: O autor.

Observa-se que as ZH 02 e ZH 03 apresentaram os menores desvios padrão da regressão, da ordem de 10^{-4} , indicando elevada precisão estatística dos modelos ajustados nessas zonas. Já a ZH 04 apresentou desvio padrão intermediário (0,2131), considerado satisfatório para modelos com transformação logarítmica e exponencial da variável dependente. Por outro lado, a ZH 01 apresentou o maior desvio padrão (120,889), refletindo maior variabilidade dos valores unitários do terreno nessa zona, possivelmente em função da heterogeneidade espacial das amostras e da maior influência de fatores locais e mercadológicos não totalmente capturados pelo modelo.

De maneira geral, os resultados demonstram que os modelos obtidos apresentaram desempenho estatístico compatível com aplicações em avaliação em massa de imóveis urbanos, evidenciando coerência entre as variáveis explicativas selecionadas e o comportamento do mercado imobiliário local. As estatísticas descritivas da ZH 01, Tabela 12, demonstram elevada heterogeneidade dos imóveis analisados, principalmente em relação ao VUT, a área dos lotes e às variáveis locais. O VUT apresentou média de R\$/m² 531, com ampla variação entre R\$/m² 86 e R\$/m² 1.443, evidenciando significativa dispersão dos valores imobiliários. As variáveis de densidade de comércio e distâncias urbanas também apresentaram amplitudes elevadas, indicando diferenças relevantes de acessibilidade e infraestrutura urbana dentro da zona. Em contrapartida, a variável situação do terreno apresentou baixa variabilidade, demonstrando maior uniformidade dessa característica entre os imóveis avaliados. Esses resultados evidenciam a influência dos fatores locais e urbanos na formação dos valores imobiliários da ZH 01.

Tabela 12: Estatísticas das Variáveis Não Transformadas – ZH01.

Nome da Variável	Valor médio	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude total
VUT ZH01	531	275,8042	86	1443	1357
VUT ZH02	265	87,9437	43	621	578
VUT ZH03	282	134,8431	126	699	573
VUT ZH04	637	471,4284	110	2861	2751

Fonte: O autor.

As estatísticas descritivas da ZH 02, Tabela 13, indicam considerável variabilidade espacial e locacional entre os imóveis analisados. O VUT apresentou média de R\$/m² 265, variando entre R\$/m² 43 e R\$/m² 621, evidenciando diferenças significativas nos valores imobiliários da zona. As variáveis relacionadas às distâncias urbanas e ambientais apresentaram amplitudes elevadas, especialmente as distâncias à hidrografia, supermercados e vias principais, demonstrando diferenças relevantes de acessibilidade e localização dos imóveis. A variável área também apresentou alta dispersão, indicando diversidade no porte dos terrenos avaliados. De forma geral, os resultados reforçam a importância das variáveis locais na explicação da variação dos valores imobiliários da ZH 02.

Tabela 13: Estatísticas das Variáveis Não Transformadas – ZH02.

Nome da Variável	Valor médio	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude total
VUT	265	87,9437	43	621	578
Area	280	233,6048	84	1880	1796
Distancia a avenida e ruas principais	249	146,9591	15	818	803
Distancia a hidrografia	320,22	241,278	63,79	1103,74	1039,95
Distancia aos supermercados	402,8624	187,1987	30,6105	1178,05	1147,4395
Distancia ao monte calvário	591,397	176,7965	94,26	882,418	788,158

Fonte: O autor.

As estatísticas descritivas da ZH 03, Tabela 14, evidenciam variabilidade moderada a elevada entre os imóveis analisados, principalmente em relação aos fatores topográficos e locais. O VUT apresentou média de R\$/m² 282, com variação entre R\$/m² 126 e R\$/m² 699, indicando dispersão significativa dos valores imobiliários. A variável declividade apresentou ampla amplitude, refletindo diferenças acentuadas no relevo da zona. Já a densidade de comércio variou de forma expressiva, demonstrando áreas com baixa e alta concentração de atividades comerciais. As variáveis relacionadas

às distâncias a pontos de inundação e ao Alto do Morro Santa Teresinha também apresentaram elevada dispersão, evidenciando a influência das características ambientais e locais na formação dos valores imobiliários da ZH 03.

Tabela 14: Estatísticas das Variáveis Não Transformadas – ZH03.

Nome da Variável	Valor médio	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude total
VUT	282	134,8431	126	699	573
Area	249	100,7173	64	652	588
Declividade	19,9	17,9432	1,23	76,68	75,45
Densidade de Comércio	62	109,1227	0	548	548
Distancia a ponto de inundação	1339	346,9975	607,3	1812,2	1205
Distancia ao alto do morro Santa Teresinha	849,589	253,6347	68,066	1343,938	1275,872

Fonte: O autor.

As estatísticas descritivas da ZH 04, apresentadas na Tabela 15, evidenciam variações nas características dos imóveis e do espaço urbano analisado. O VUT apresentou média de R\$ 637/m², com valores entre R\$ 110/m² e R\$ 2.861/m², refletindo diferentes níveis de valorização dentro da zona. A densidade de comércio apresentou variação expressiva, indicando diferentes níveis de concentração das atividades comerciais. As distâncias às avenidas, rodovias e ao hospital também apresentaram amplitudes relevantes, relacionadas às condições de acessibilidade e localização. Por outro lado, as variáveis situação do terreno e pavimentação apresentaram maior uniformidade. De modo geral, os resultados indicam que os fatores locais e as características da infraestrutura urbana contribuem para explicar as variações dos valores imobiliários observadas na ZH 04.

Tabela 15: Estatísticas das Variáveis Não Transformadas – ZH04.

Nome da Variável	Valor médio	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude total
VUT	637	471,4284	110	2861	2751
Area	359	141,3535	113	1140	1027
Situação do terreno	3	0,3458	3	4	1
Pavimentação	1	0,2666	0	1	1
Densidade de Comércio	508,59	1473,7304	0	8254,38	8254,38
Distancia a avenidas e rodovias	287,12	175,0153	13	630,25	617,25
Distancia ao hospital	647,56	299,3634	104,24	1166,93	1062,69

Fonte: O autor.

Embora as variáveis tenham sido analisadas dentro de Zonas Homogêneas de Valor previamente delimitadas, as estatísticas descritivas demonstraram a existência de variações relacionadas às características específicas dos imóveis e de sua inserção no espaço urbano. Entre essas variações, destacam-se aspectos associados à dimensão dos lotes, à acessibilidade, à disponibilidade de infraestrutura urbana, à presença de atividades comerciais e aos condicionantes ambientais.

Essas diferenças são esperadas mesmo no interior de áreas que apresentam comportamento semelhante de valorização imobiliária, uma vez que a delimitação das Zonas Homogêneas busca representar padrões predominantes do mercado, sem pressupor uniformidade absoluta entre todos os imóveis que as compõem. Nesse sentido, as variáveis analisadas permitem caracterizar as particularidades existentes dentro de cada zona e identificar fatores que podem exercer influência sobre os valores imobiliários.

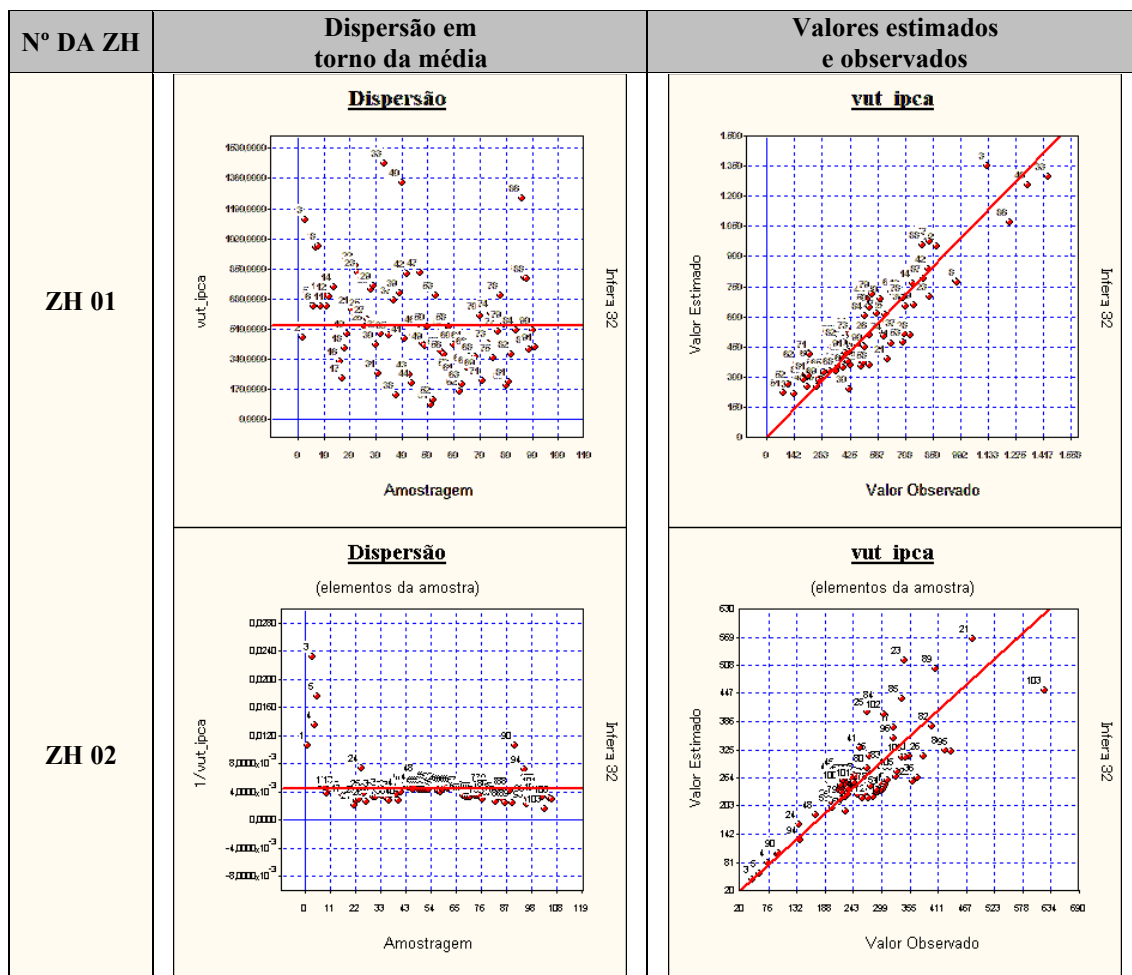
Assim, os resultados indicam que a delimitação das Zonas Homogêneas foi capaz de representar os principais padrões espaciais de valorização identificados na área de estudo. As variações observadas nas características dos imóveis e do ambiente urbano constituem informações complementares importantes para a modelagem estatística, permitindo que os modelos de regressão considerem, além da localização nas respectivas zonas, atributos específicos capazes de explicar diferenças nos Valores Unitários de Terreno.

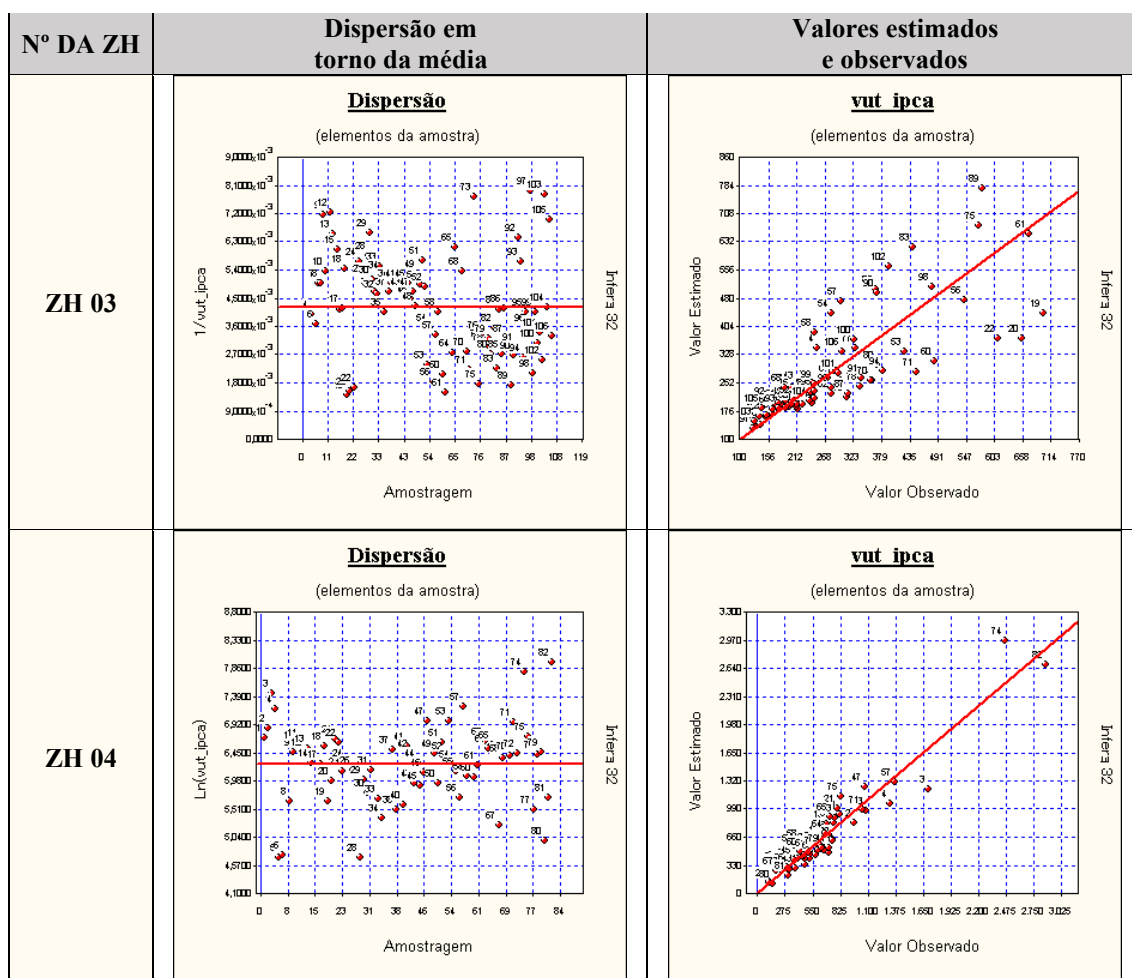
Figura 28 apresenta os gráficos de Dispersão em torno da Média e de Valores Observados versus Valores Estimados para as Zonas Homogêneas de Valor, constituindo importantes ferramentas para a análise da qualidade dos modelos de regressão ajustados. O gráfico de Dispersão em torno da Média permite avaliar o comportamento dos valores unitários transformados em relação à média de cada zona. De maneira geral, observa-se distribuição aproximadamente aleatória dos resíduos, sem a formação de padrões sistemáticos que indiquem tendências consistentes de superestimação ou subestimação dos valores imobiliários.

Esse comportamento também pode ser analisado nos gráficos de Valores Observados versus Valores Estimados, nos quais a proximidade dos pontos em relação à linha de 45° representa maior concordância entre os valores estimados pelos modelos e aqueles observados no mercado. De modo geral, verifica-se concentração dos pontos nas proximidades dessa linha, indicando adequada capacidade de ajuste dos modelos. Entretanto, na ZH03 foi observada maior dispersão dos pontos em relação à linha de referência, resultando em resíduos de maior magnitude quando comparados aos

observados nas demais zonas. Esse comportamento evidencia maior diferença entre determinados valores observados e estimados nessa zona, indicando que algumas amostras apresentam características ou valores que são menos bem representados pelo modelo ajustado.

Figura 28: Dispersão dos Valores Estimados e Observados.





Fonte: O autor.

Para verificar a contribuição significativa de cada variável independente na explicação do valor unitário do terreno, foi aplicado o Teste t bicaudal de significância dos regressores para todas as Zonas Homogêneas, Tabelas 16, 17, 18 e 19). A utilização do teste bilateral justifica-se pelo interesse em avaliar coeficientes positivos e negativos diferentes de zero. Os resultados demonstraram que todas as variáveis inseridas nos modelos apresentaram valores de t calculado, em módulo, superiores ao t tabelado, evidenciando significância estatística dos regressores. Além disso, todos os p-valores foram inferiores a 5%, confirmando a rejeição da hipótese nula (H_0) e aceitando-se a hipótese de que $\beta_i \neq 0$. Dessa forma, conclui-se que todas as variáveis em todas as Zonas Homogêneas, são relevantes para a formação dos modelos e apresentam coerência conceitual com o comportamento do mercado imobiliário local, atendendo aos critérios estabelecidos pela NBR 14653-2 para enquadramento em Regressão Grau III.

Tabela 16: Significância dos Regressores (Bicaldal) – ZHV01.

Variável	t Tabelado	t Calculado	Significância
Area do terreno	1,6666	-2,574	1,20%
Situação do terreno	1,6666	-6,397	$1,5 \times 10^{-6}\%$
Densidade de comércio	1,6666	12,87	0%
Distância as avenidas e ruas principais	1,6666	-1,989	5,00%
Distância aos restaurantes	1,6666	-5,516	$5,3 \times 10^{-5}\%$

Fonte: O autor.

Na ZH01, a variável área do terreno apresentou coeficiente negativo e significância de 1,20%, indicando que, na zona analisada, terrenos maiores tendem a apresentar menor valor unitário por metro quadrado. A variável situação do terreno também apresentou influência negativa altamente significativa, demonstrando forte relação entre as condições do lote e a formação dos valores imobiliários. A densidade de comércio apresentou o maior valor de t calculado (12,87) e significância praticamente nula, evidenciando elevada influência positiva da concentração comercial sobre a valorização dos imóveis. Já as variáveis distância às avenidas e ruas principais e distância aos restaurantes apresentaram coeficientes negativos, indicando que imóveis mais próximos desses elementos urbanos tendem a possuir maiores valores unitários.

Na ZH02, Tabela 17, a variável área do terreno apresentou o maior valor de t calculado (40,77) e significância próxima de zero, evidenciando forte influência sobre a formação dos valores imobiliários. A variável distância ao Monte Calvário também apresentou elevada significância estatística, demonstrando importante relação com a valorização dos imóveis da zona analisada. As variáveis distância às avenidas e ruas principais, distância à hidrografia e distância aos supermercados apresentaram coeficientes negativos, indicando que imóveis localizados mais próximos desses elementos tendem a apresentar maiores valores unitários. Todas essas variáveis apresentaram significância estatística compatível com o modelo, reforçando a influência dos fatores de acessibilidade, infraestrutura urbana e localização na composição dos valores imobiliários.

Tabela 17: Significância dos Regressores (Bicaldal) – ZHV02.

Variável	t Tabelado	t Calculado	Significância
Área do terreno	1,6644	40,77	0%
Distância as avenidas e ruas principais	1,6644	-1,875	4,50%
Distância a hidrografia	1,6644	-5,913	$8,1 \times 10^{-6}\%$
Distância aos supermercados	1,6644	-1,988	5,00%
Distância ao monte calvário	1,6644	19,52	0%

Fonte: O autor.

Na ZH03, Tabela 18, a variável declividade do terreno apresentou elevado valor de t calculado (14) e significância próxima de zero, evidenciando forte influência das características topográficas na valorização imobiliária. A variável densidade de comércio também apresentou alta significância estatística e coeficiente positivo, indicando que áreas com maior concentração de atividades comerciais tendem a possuir maiores valores unitários. A variável área do terreno apresentou influência positiva significativa no modelo. Já as variáveis distância às áreas inundáveis e distância ao Alto do Morro Santa Teresinha apresentaram coeficientes positivos, indicando que imóveis mais distantes desses elementos tendem a apresentar maior valorização imobiliária. Esse comportamento sugere influência de fatores ambientais e locacionais na percepção de valorização dos imóveis da zona analisada.

Tabela 18: Significância dos Regressores (Bicaldal) – ZHV03.

Variável	t Tabelado	t Calculado	Significância
Área do terreno	1,6654	6,771	$2,5 \times 10^{-7}\%$
Declividade do terreno	1,6654	14	0%
Densidade de comércio	1,6654	+11,09	$1,8 \times 10^{-15}\%$
Distância as áreas inundáveis	1,6654	+3,471	0,09%
Distância ao alto do morro Santa Teresinha	1,6654	+5,32	$1,0 \times 10^{-4}\%$

Fonte: O autor.

Na ZH04, Tabela 19, a variável pavimentação do logradouro apresentou elevada significância estatística e coeficiente positivo, indicando que imóveis localizados em vias pavimentadas tendem a apresentar maior valorização imobiliária. Da mesma forma, a variável densidade de comércio apresentou forte influência positiva, evidenciando a importância da concentração de atividades comerciais na formação dos valores dos imóveis. A variável área do terreno também apresentou contribuição significativa para o modelo. Já as variáveis situação do terreno, distância às avenidas e rodovias e distância aos hospitais apresentaram coeficientes negativos, indicando que melhores condições do

lote e maior proximidade da infraestrutura viária e dos serviços de saúde contribuem para o aumento do valor unitário dos terrenos.

Tabela 19: Significância dos Regressores (Bicaldal) – ZHV04.

Variável	t Tabelado	t Calculado	Significância
Área do terreno	1,6711	6,399	$2,8 \times 10^{-6}\%$
Situação do terreno	1,6711	-2,211	3,10%
Pavimentação do logradouro	1,6711	8,877	$1,8 \times 10^{-10}\%$
Densidade de comércio	1,6711	8,102	$3,7 \times 10^{-9}\%$
Distância as avenidas e rodovias	1,6711	-8,181	$2,7 \times 10^{-9}\%$
Distância aos hospitais	1,6711	-2,705	0,90%

Fonte: O autor.

É importante destacar que nem todas as variáveis independentes foram utilizadas, por não cumprirem os pressupostos e não se mostrarem, estatisticamente, relevantes para explicar os valores praticados.

Após a verificação da significância estatística das variáveis, torna-se necessário analisar a inexistência de multicolinearidade entre os regressores. Para essa verificação, foi elaborada a matriz de correlação entre os regressores, sendo analisados principalmente os coeficientes superiores a 0,80 ou inferiores a -0,80, considerados indicativos de forte correlação.

Dessa forma, as Tabelas 20 a 23 apresentam as correlações parciais entre as variáveis independentes, evidenciando que os resultados permaneceram dentro dos limites aceitáveis para o enquadramento dos modelos conforme os critérios da NBR 14653-2 para Regressão Grau III.

A matriz de correlação parcial da ZH01 na Tabela 20, demonstra que, de maneira geral, as variáveis independentes apresentaram níveis de correlação baixos a moderados entre si, indicando ausência de multicolinearidade severa no modelo. Observa-se que a maior correlação ocorreu entre o VUT e a densidade de comércio (0,8), evidenciando forte relação positiva entre a concentração comercial e a valorização imobiliária da zona analisada. As variáveis distância às avenidas e ruas principais e distância aos restaurantes apresentaram correlação negativa com o VUT, indicando que imóveis localizados mais próximos desses elementos urbanos tendem a possuir maiores valores unitários. Entre os regressores, os coeficientes permaneceram abaixo dos limites críticos de $\pm 0,80$, demonstrando independência satisfatória entre as variáveis explicativas.

Tabela 20: Correlações Parciais – ZHV01.

	VUT	Area do terreno	Situação do terreno	Densidade de comércio	Distância as avenidas e ruas principais	Distância aos restaurantes
VUT	1	0,25	-0,4677	0,8	-0,4855	-0,4485
Area do terreno	0,25	1	-0,353	0,2132	-0,1714	-0,3993
Situação do terreno	-0,4677	-0,353	1	-0,2397	0,092	0,0987
Densidade de comércio	0,8	0,2132	-0,2397	1	-0,4885	-0,2607
Distância as avenidas e ruas principais	-0,4855	-0,1714	0,092	-0,4885	1	0,2232
Distância aos restaurantes	-0,4485	-0,3993	0,0987	-0,2607	0,2232	1

Fonte: O autor.

A matriz de correlação da ZH02 na Tabela 21, demonstra que as variáveis independentes apresentaram correlações predominantemente baixas a moderadas entre si, indicando ausência de multicolinearidade significativa no modelo. A maior correlação observada foi entre o VUT e a área do terreno (0,792), evidenciando forte relação positiva entre o porte dos lotes e a valorização imobiliária da zona analisada. As variáveis relacionadas às distâncias urbanas apresentaram correlações moderadas, destacando-se a relação entre distância às avenidas e ruas principais e distância à hidrografia (0,464), bem como entre distância à hidrografia e distância ao Monte Calvário (0,4705). Contudo, os coeficientes entre os regressores permaneceram abaixo dos limites críticos de $\pm 0,80$, recomendados para identificação de multicolinearidade severa.

Tabela 21: Correlações Parciais – ZHV02.

	VUT	Área do terreno	Distância as avenidas e ruas principais	Distância a hidrografia	Distância aos supermercados	Distância ao monte calvário
VUT	1	0,792	-0,179	0,0357	-0,3272	0,2572
Área do terreno	0,892	1	-0,1111	-0,0149	-0,2979	-0,1255
Distância as avenidas e ruas principais	-0,179	-0,1111	1	0,464	0,4062	0,1068
Distância a hidrografia	0,0357	-0,0149	0,464	1	0,1139	0,4705
Distância aos supermercados	-0,3272	-0,2979	0,4062	0,1139	1	0,0608
Distância ao monte calvário	0,2572	-0,1255	0,1068	0,4705	0,0608	1

Fonte: O autor.

A matriz de correlação da ZH03 na Tabela 22, demonstra que as variáveis independentes apresentaram, em geral, correlações baixas a moderadas entre si, indicando ausência de multicolinearidade severa no modelo. A variável declividade apresentou forte correlação positiva com o valor unitário do terreno (0,7305), evidenciando a influência das características topográficas na valorização imobiliária da zona analisada. A densidade de comércio apresentou correlação negativa com o VUT (-0,3198), enquanto as variáveis distância às áreas inundáveis e distância ao Alto do Morro Santa Teresinha apresentaram correlações positivas, indicando influência dos fatores ambientais e locais na composição dos valores imobiliários.

Tabela 22: Correlações Parciais – ZHV03.

	VUT	Área	Declividade	Densidade de comércio	Distância as áreas inundáveis	Distância ao morro Santa Teresinha
VUT	1	0,1999	0,7305	-0,3198	0,2806	0,1365
Área	0,1999	1	0,0138	0,3256	-0,2121	-0,0604
Declividade	0,7305	0,0138	1	-0,0982	0,4134	0,0054
Densidade de comércio	-0,3198	0,3256	-0,0982	1	-0,6413	0,3763
Distância as áreas inundáveis	0,2806	-0,2121	0,4134	-0,6413	1	-0,5072
Distância ao alto do morro Santa Teresinha	0,1365	-0,0604	0,0054	0,3763	-0,5072	1

Fonte: O autor.

A matriz de correlação da ZH04 na tabela 23, demonstra que as variáveis independentes apresentaram, em sua maioria, correlações baixas a moderadas entre si, indicando adequada independência entre os regressores do modelo. Observa-se que o VUT, apresentou correlação positiva com as variáveis área, pavimentação e densidade de comércio, evidenciando que melhores condições de infraestrutura urbana e maior concentração comerciais contribuem para a valorização imobiliária. As variáveis distância às avenidas e rodovias e distância aos hospitais apresentaram correlações negativas com o VUT, indicando que imóveis localizados mais próximos desses elementos urbanos tendem a possuir maiores valores unitários. Entre os regressores, destaca-se a elevada correlação positiva entre distância às avenidas e rodovias e distância aos hospitais (0,7956), valor próximo ao limite crítico de 0,80 recomendado para análise de multicolinearidade, embora ainda dentro do intervalo aceitável.

Tabela 23: Correlações Parciais – ZHV04.

	VUT	Área	Situação	Pavimentação	Densidade de comércio	Distância a avenida e rodovia	Distância a hospitais
VUT	1	0,5132	-0,1256	0,5749	0,6052	-0,803	-0,697
Área	0,5132	1	-0,035	0,0693	0,1915	-0,3676	-0,3296
Situação	-0,1256	-0,035	1	-0,1138	0,0939	0,0542	-0,0212
Pavimentação	0,5749	0,0693	-0,1138	1	0,0996	-0,3681	-0,2434
Densidade de comércio	0,6052	0,1915	0,0939	0,0996	1	-0,4383	-0,4439
Distância as avenidas e rodovias	-0,803	-0,3676	0,0542	-0,3681	-0,4383	1	0,7956
Distância aos hospitais	-0,697	-0,3296	-0,0212	-0,2434	-0,4439	0,7956	1

Fonte: O autor.

Em relação a Micronumerosidade, todas as Zonas Homogêneas de Valor alcançaram a NBR 14653-2 Regressão Grau III, ou seja, número de graus de liberdade maior que o número mínimo de amostragens, conforme a Tabela 24.

Tabela 24: Pressuposto da Micronumerosidade.

Nº DA ZH	Nº de variáveis independentes	Número mínimo de amostragens	Nº de graus de liberdade
ZH 01	5	36	71
ZH 02	5	36	79
ZH 03	5	36	75
ZH 04	6	42	59

Fonte: O autor.

Para garantir o pressuposto da linearidade foi realizado o procedimento de transformação de escala das variáveis dependentes e independentes, se necessário. Sendo assim, avaliou as seguintes transformações para linearização: Proporcional (V), Logarítmica ($\ln V$), Inversa ($\frac{1}{V}$) e Inversa Logarítmica ($\frac{1}{\ln V}$).

A Análise da Variância (ANOVA) dos modelos foi realizada por meio da decomposição da soma dos quadrados da regressão e dos resíduos, utilizando o teste F de Fisher-Snedecor para verificar a existência da regressão e a significância global dos modelos. Essa análise permite avaliar se há relação estatisticamente significativa entre as variáveis explicativas e a variável dependente, isto é, se o conjunto de regressores é capaz de explicar o comportamento do valor unitário do terreno.

Para isso, foram formuladas as seguintes hipóteses para o Teste F:

- H_0 (hipótese nula): todos os coeficientes $\beta_i = 0$, indicando que o modelo não possui capacidade explicativa;

- H_1 (hipótese alternativa): pelo menos um coeficiente $\beta_i \neq 0$, indicando que existe relação significativa entre as variáveis explicativas e a variável dependente.

Conforme apresentado na Tabela 25, todos os modelos de regressão das Zonas Homogêneas de Valor apresentaram valores de F calculado superiores ao F tabelado, além de níveis de significância inferiores a 1%. Dessa forma, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese de existência da regressão, demonstrando que os modelos possuem significância estatística global e atendem aos critérios estabelecidos pela NBR 14653-2 para enquadramento em Regressão Grau III.

Tabela 25: Análise da Variância (ANOVA).

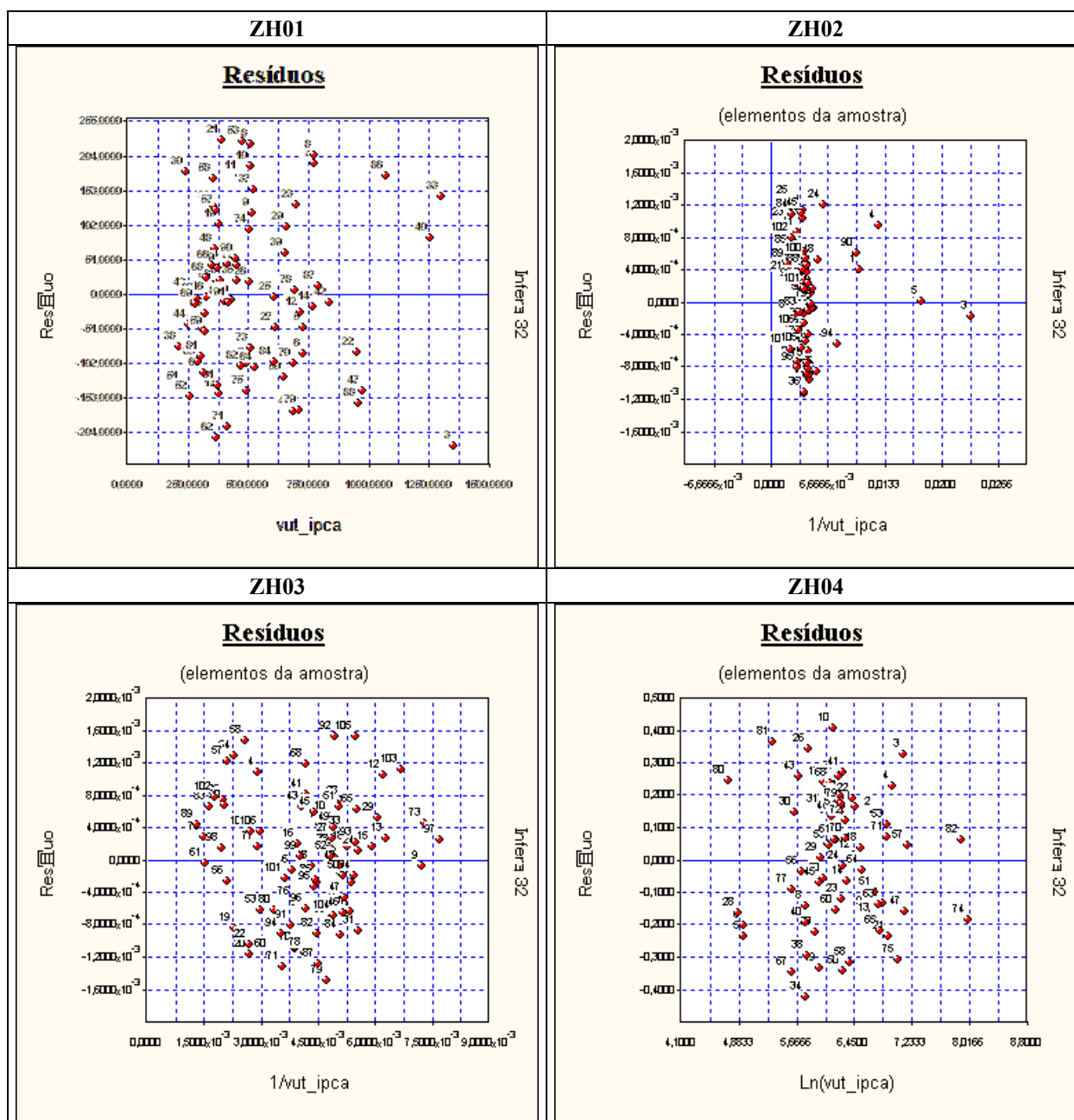
Nº DA ZH	F Calculado	F Tabelado	Significância do modelo
ZH 01	64,92	3,287	4,1x10-23%
ZH 02	370,7	3,258	2,6x10-51%
ZH 03	56,1	3,272	5,8x10-22%
ZH 04	89,69	3,124	8,7x10-26%

Fonte: O autor.

Observa-se que, em todas as zonas analisadas, os valores de F calculado foram substancialmente superiores aos respectivos valores de F tabelado, indicando forte evidência da existência da regressão. Além disso, os níveis de significância dos modelos foram extremamente baixos, todos muito inferiores ao limite de 5%, o que confirma a rejeição da hipótese nula de inexistência de relação entre as variáveis explicativas e o valor unitário do terreno. Destaca-se a ZH 02, que apresentou o maior valor de F calculado (370,7), evidenciando elevado poder explicativo do modelo ajustado para essa zona.

Na Homocedasticidade os resíduos 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 29. Conforme relato por Uberti (2016), pequenos desvios da Homocedasticidade podem ser provocados pela presença de dependência espacial nos resíduos do modelo.

Figura 29: Gráficos para verificação da Homocedasticidade.



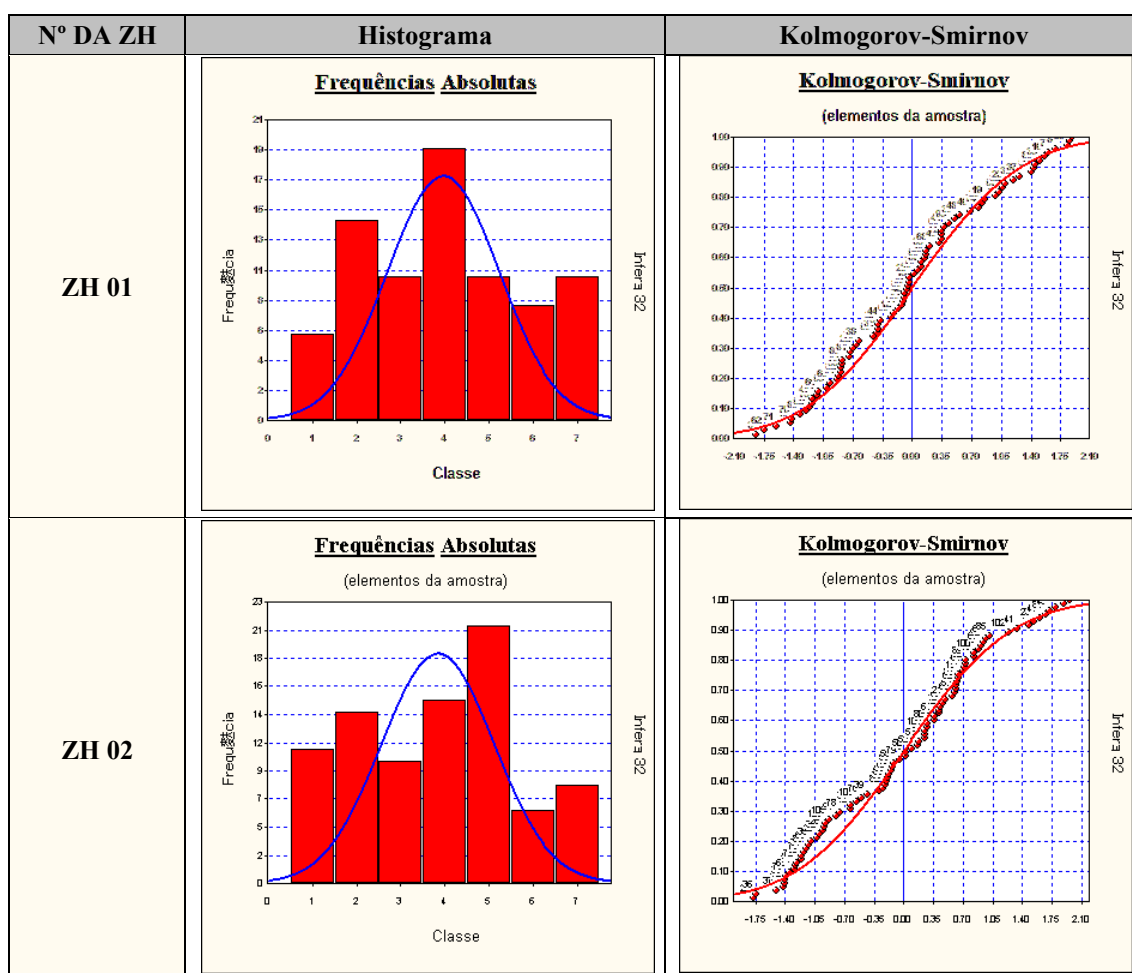
Fonte: O autor.

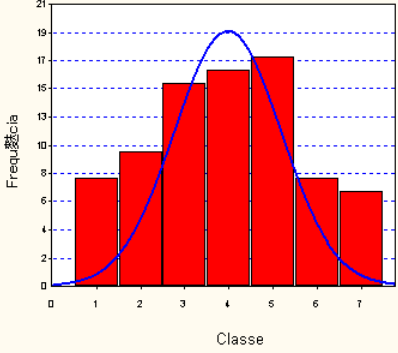
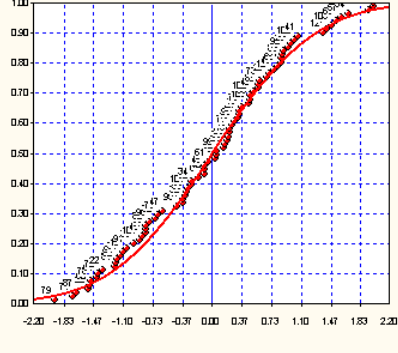
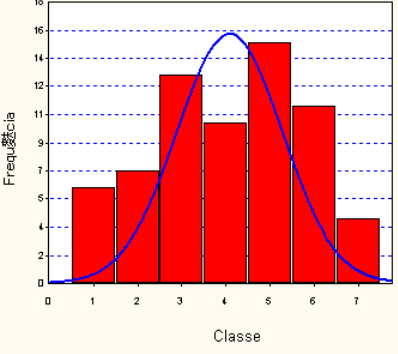
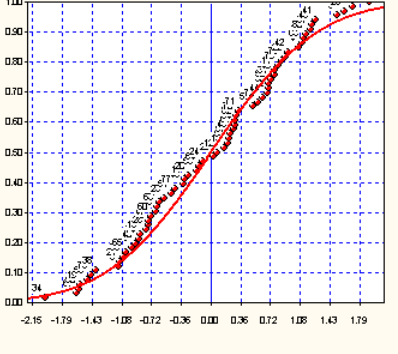
De modo geral, os gráficos de resíduos apresentaram distribuição predominantemente aleatória em torno de zero, sem a identificação de padrões sistemáticos acentuados. Na ZH02, observa-se maior concentração dos resíduos em determinada faixa da variável transformada, acompanhada por algumas observações mais afastadas do conjunto principal. Esse comportamento sugere uma leve variação na dispersão dos resíduos, indicando que o pressuposto de homoscedasticidade não se apresenta de forma tão evidente quanto nas demais zonas. Entretanto, não se observa um padrão progressivo claramente definido de aumento ou redução da variância ao longo de

toda a distribuição, sendo a maior dispersão associada principalmente a um número restrito de observações. Dessa forma, embora a ZH02 apresente indícios pontuais de heterogeneidade da variância, o comportamento geral dos resíduos permanece compatível com a utilização do modelo ajustado, devendo sua adequação ser analisada conjuntamente com os demais testes estatísticos e indicadores de desempenho.

Em relação à normalidade dos resíduos, foram utilizados dois métodos para verificação desse pressuposto estatístico. A Figura 30 apresenta o histograma dos resíduos padronizados, onde se pode observar a forma da distribuição normal dos erros do modelo, e o gráfico de Kolmogorov-Smirnov, que indica o grau de aderência dos resíduos à distribuição normal teórica. Esse teste permite verificar se os resíduos apresentam comportamento aleatório e compatível com a normalidade, condição importante para validar a confiabilidade estatística dos modelos de regressão e das inferências realizadas.

Figura 30: Gráficos para constatar a normalidade.



Nº DA ZH	Histograma	Kolmogorov-Smirnov
ZH 03	Frequências Absolutas (elementos da amostra)  Infer 32	Kolmogorov-Smirnov (elementos da amostra)  Infer 32
ZH 04	Frequências Absolutas (elementos da amostra)  Infer 32	Kolmogorov-Smirnov (elementos da amostra)  Infer 32

Fonte: O autor.

A presença de uma distribuição aproximadamente normal dos resíduos é fundamental em modelos de regressão, pois indica que os erros estão distribuídos de forma aleatória em torno da média zero, sem tendências sistemáticas de superestimação ou subestimação dos valores estimados. Graficamente, essa condição é representada por um formato semelhante à curva normal, com maior concentração dos resíduos próximos ao centro da distribuição e redução gradual das frequências em direção às extremidades.

Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov, Tabela 26, demonstram que, para todas as Zonas Homogêneas de Valor, a maior diferença obtida entre a distribuição dos resíduos observados e a distribuição normal teórica foi inferior ao respectivo valor crítico do teste.

Tabela 26: Teste de Kolmogorov-Smirnov.

Nº DA ZH	Maior diferença obtida	Valor crítico
ZH 01	0,0613	0,1858
ZH 02	0,0834	0,1768
ZH 03	0,0549	0,1811
ZH 04	0,0719	0,2006

Fonte: O autor.

Observa-se que as diferenças obtidas variaram entre 0,0549 e 0,0834, enquanto os valores críticos permaneceram entre 0,1768 e 0,2006, evidenciando ampla margem de aceitação da hipótese de normalidade. Dessa forma, conclui-se que os resíduos dos modelos apresentam comportamento compatível com a distribuição normal, condição fundamental para garantir a validade das inferências estatísticas, dos testes de significância e da confiabilidade dos modelos de regressão.

Os modelos de regressão não devem apresentar autocorrelação dos resíduos, especialmente em análises com dependência espacial ou temporal, pois a presença dessa condição compromete a independência dos erros e reduz a confiabilidade das inferências estatísticas. Para verificação desse pressuposto, foi aplicado o teste de Durbin-Watson (DW), conforme recomendado pela NBR 14653-2 (ABNT, 2011).

Conforme apresentado na Tabela 27 todas as Zonas Homogêneas de Valor apresentaram valores da estatística DW dentro do intervalo estabelecido para ausência de autocorrelação dos resíduos. Os valores obtidos variaram entre 1,7249 e 1,8854, permanecendo entre os limites inferiores e superiores definidos para cada modelo.

Tabela 27: Verificação da Não-Autocorrelação.

Nº DA ZH	Intervalo para ausência de autocorrelação	Estatística DW
ZH 01	$DU = 1,62 < DW < DU = 2,38$	1,7249
ZH 02	$DU = 1,65 < DW < DU = 2,35$	1,7431
ZH 03	$DU = 1,65 < DW < DU = 2,35$	1,8854
ZH 04	$DU = 1,62 < DW < DU = 2,38$	1,7616

Fonte: O autor.

Esses resultados indicam independência adequada dos resíduos, demonstrando ausência de autocorrelação significativa e evidenciando que os erros dos modelos estão distribuídos de forma aleatória. Dessa forma, os modelos de regressão ajustados atendem ao pressuposto estatístico de independência residual e apresentam conformidade com os critérios estabelecidos pela NBR 14653-2 para enquadramento em Regressão Grau III.

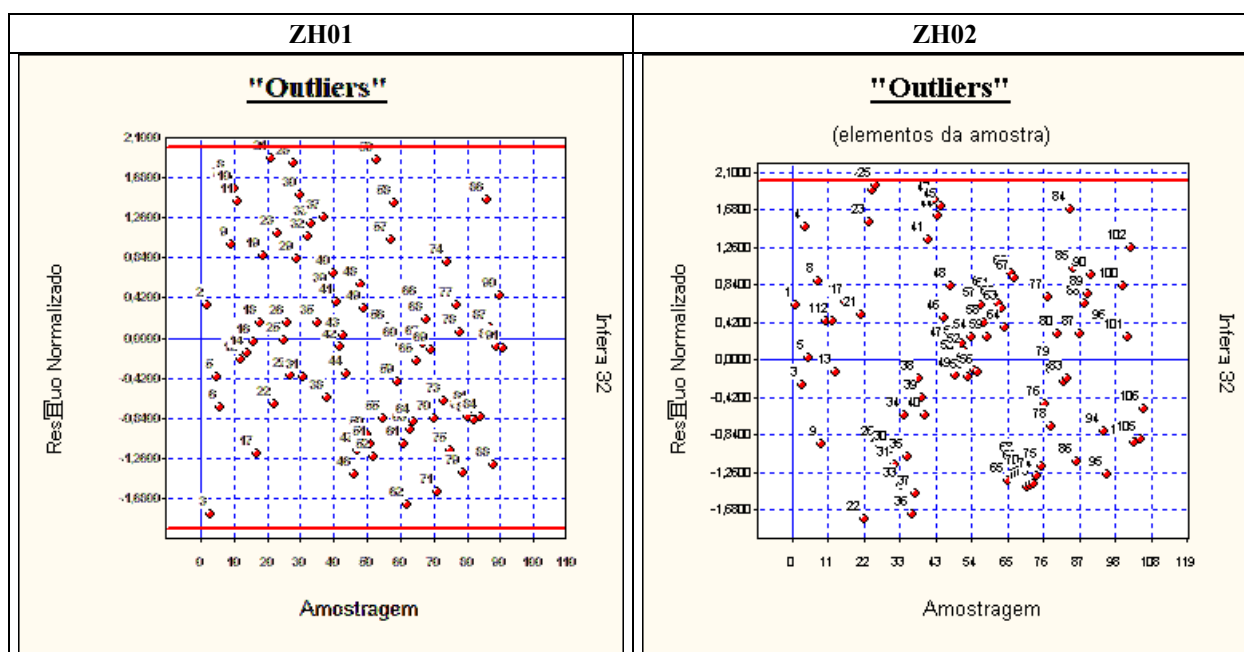
A presença de outliers constitui um dos principais pontos de atenção na avaliação

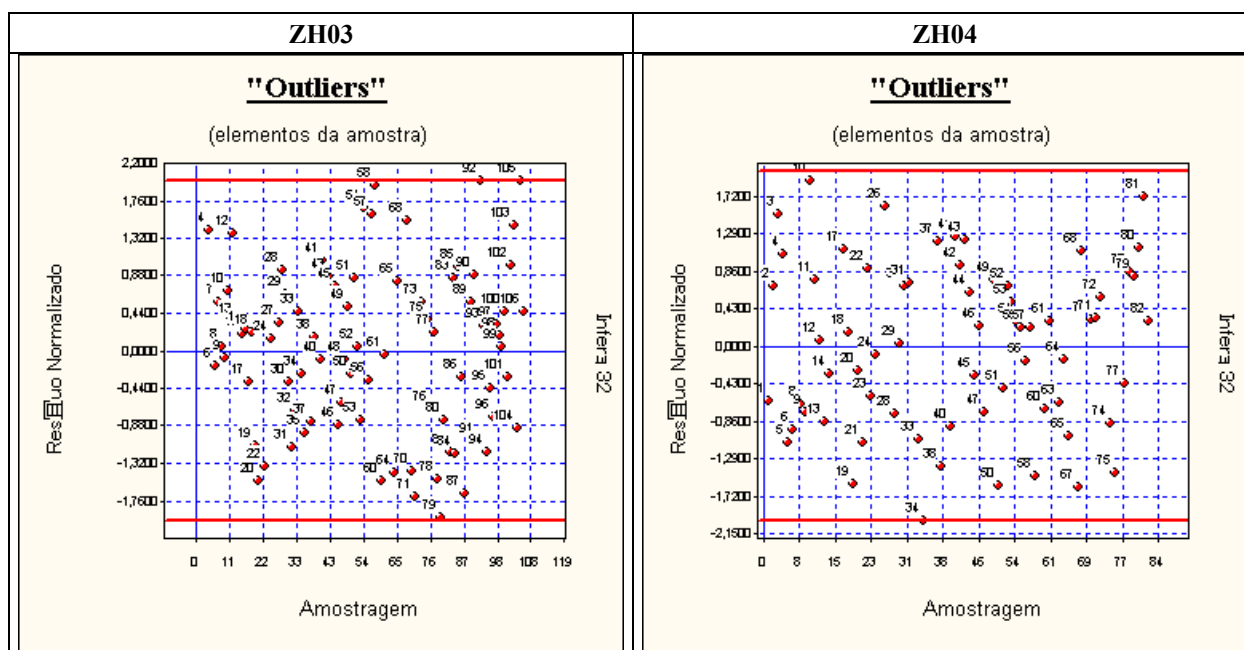
em massa de imóveis urbanos, uma vez que pode comprometer a validade e a robustez dos modelos de regressão linear múltipla. Por esse motivo, a identificação e análise dessas observações são explicitamente recomendadas pela NBR 14653-2 como etapa fundamental na modelagem estatística.

Os outliers correspondem a observações extremas, atípicas ou espúrias que apresentam comportamento incompatível com o padrão predominante da amostra. A presença desses elementos pode provocar distorções nos coeficientes estimados pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), inflar os erros padrão e comprometer pressupostos importantes da regressão, como normalidade e homocedasticidade dos resíduos.

Diante disso, foi elaborado o gráfico de resíduos padronizados, Figura 31, para análise da dispersão dos erros em torno da média. Considerando o critério de identificação de outliers em um intervalo de $\pm 2,00$ desvios padrão, não foram identificadas observações discrepantes relevantes nos modelos ajustados para as Zonas Homogêneas de Valor.

Figura 31: Gráficos para verificação de Outliers.





Fonte: O autor.

Ressalta-se que a identificação e o tratamento dos outliers ocorreram de forma iterativa ao longo do processo de construção dos modelos de regressão. A cada ajuste, foram analisados os elementos amostrais que apresentavam comportamento discrepante em relação ao modelo, sendo identificadas e excluídas, de forma criteriosa, as observações classificadas como outliers. Após cada exclusão, o modelo foi novamente ajustado e seus pressupostos estatísticos reavaliados. Esse procedimento foi repetido até a obtenção do modelo final de cada Zona Homogênea de Valor, no qual não foram identificados elementos classificados como outliers, atendendo, portanto, ao pressuposto estabelecido para essa análise. Dessa forma, a depuração da base amostral constituiu parte integrante do processo de modelagem, contribuindo para a consistência estatística e a confiabilidade dos modelos de regressão selecionados.

Os indicadores de validade, qualidade e confiabilidade são fundamentais para avaliar o desempenho dos modelos de Regressão Linear Múltipla, conforme recomendado pela NBR 14653-2. O Coeficiente de Correlação Linear (r) mede a intensidade da associação entre os valores observados e estimados, sendo melhores os valores próximos de ± 1 . O Coeficiente de Determinação (R^2) indica quanto da variação da variável dependente é explicada pelo modelo, enquanto o R^2 ajustado corrige esse indicador considerando o número de variáveis e o tamanho da amostra, auxiliando na identificação de possíveis excessos de variáveis ou sobreajuste do modelo.

Os resultados apresentados na Tabela 28, demonstram elevado desempenho estatístico dos modelos de regressão ajustados para as Zonas Homogêneas de Valor. Os

coeficientes de correlação linear (r) variaram entre 0,8883 e 0,9793, indicando forte associação entre os valores observados e os valores estimados pelos modelos em todas as zonas analisadas.

Tabela 28: Qualidade e classificação dos modelos.

Nº DA ZH	r	r^2	r^2 ajustado	Classificação
ZH 01	0,9058	0,8205	0,8079	Forte
ZH 02	0,9793	0,9591	0,9565	Forte
ZH 03	0,8883	0,789	0,775	Forte
ZH 04	0,9493	0,9012	0,8911	Forte

Fonte: O autor.

Os coeficientes de determinação (R^2) evidenciam elevada capacidade explicativa dos modelos, com valores entre 0,7890 e 0,9591. Isso significa que os modelos conseguem explicar aproximadamente entre 79% e 96% da variabilidade do valor unitário do terreno a partir das variáveis independentes selecionadas. Destaca-se a ZH 02, que apresentou o melhor desempenho estatístico, com R^2 de 0,9591 e R^2 ajustado de 0,9565.

Além disso, observa-se pequena diferença entre os valores de R^2 e R^2 ajustado em todas as zonas, indicando estabilidade estatística dos modelos e ausência de sobreajuste significativo causado pelo excesso de variáveis explicativas.

Diante das análises e testes o modelo de regressão, fica evidente que o estudo se enquadra no Grau de Fundamentação III, o melhor e mais restrito segundo a NBR 14653-2. Contudo, dentre os pressupostos acima citados, na maioria das vezes a heterogeneidade e a dependência espacial não são garantidas quando se trabalha com dados espaciais, como é o caso das estimativas do valor unitário de terreno, visto que o valor é dependente da sua localização (DANTAS, et al., 2007; DIGGLE & RIBEIRO, 2007; CESARE & CUNHA, 2010; CESARE, 2012; DUARTE, 2019).

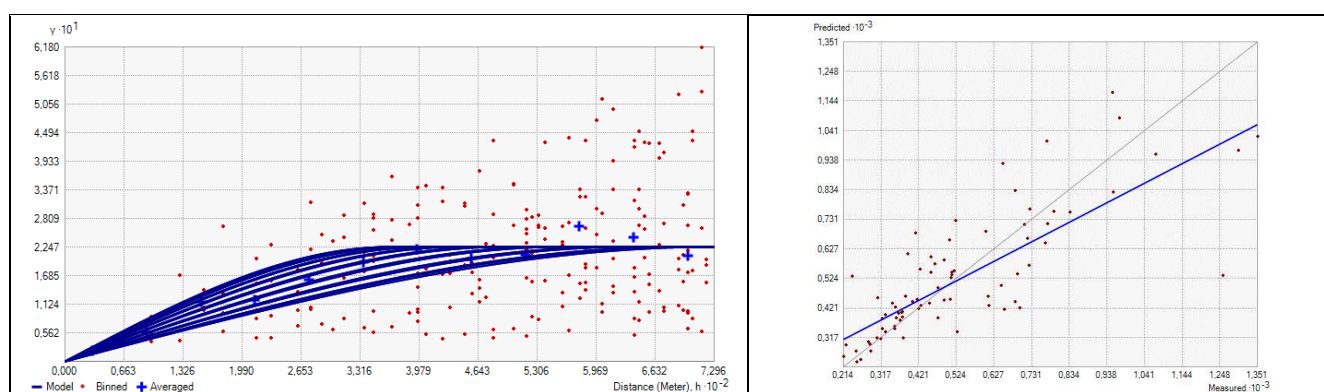
5.4 Geoestatística

O semivariograma e a validação cruzada constituem importantes ferramentas da geoestatística aplicadas na análise espacial dos valores imobiliários. O semivariograma permite avaliar a dependência espacial dos dados, identificando o grau de similaridade entre as amostras em função da distância e subsidiando métodos de interpolação, como a krigagem, para representação espacial dos valores unitários dos terrenos. Já a validação cruzada é utilizada para verificar a qualidade e a confiabilidade do modelo geoestatístico, por meio da comparação entre valores observados e estimados, utilizando indicadores

estatísticos como erro médio, erro quadrático médio e coeficiente de correlação, os quais permitem avaliar a capacidade preditiva e a adequação do modelo gerado.

Diante do exposto a Figura 32 apresenta o semivariograma para o modelo da Zona Homogênea 1, com transformação logarítmica, LagSize = 60,80, Range = 729,57 Nugget = 0, Sill = 0,225, Dependência Espacial fortíssima e RMS = 101%, atestando a qualidade de predição dos modelos aplicados. Apresenta também o gráfico de Validação Cruzada com EM = -0,8307, EPM = 153,38 EMQ = 150,88 e EMQP = 1,0168.

Figura 32: Semivariograma e Validação Cruzada ZH01.

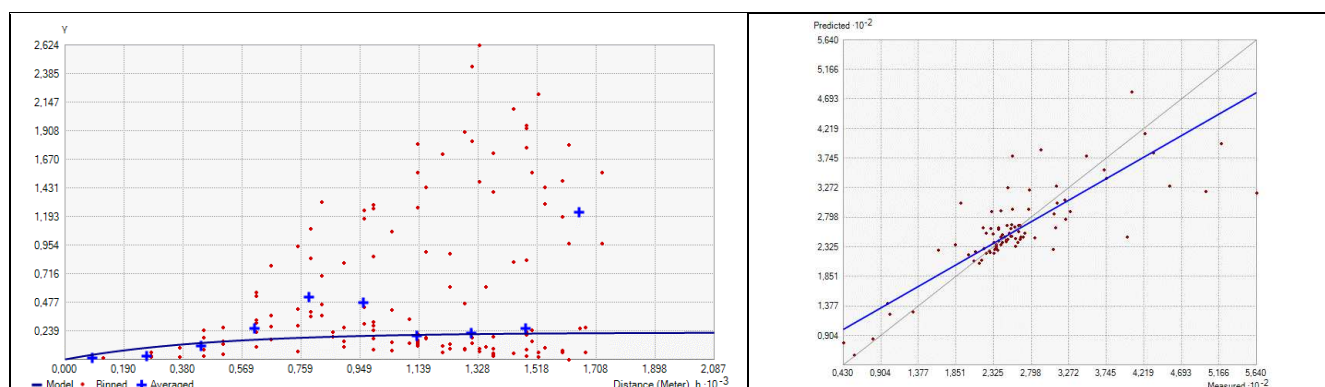


Fonte: O autor.

O semivariograma apresentado demonstra a existência de dependência espacial entre os dados analisados, evidenciada pelo aumento gradual da semivariância em função da distância entre as amostras. Já a validação cruzada demonstra desempenho satisfatório do modelo de interpolação, uma vez que os valores preditos apresentaram tendência de proximidade em relação aos valores observados. Apesar da dispersão natural dos pontos, observa-se alinhamento geral em torno da linha de tendência, indicando capacidade adequada do modelo em representar espacialmente a variável analisada.

A Figura 33 apresenta o semivariograma para o modelo da Zona Homogênea 2, com transformação logarítmica, LagSize = 173,95, Range = 1391,61 Nugget = 0, Sill = 0,224, Dependência Espacial fortíssima e RMS = 110%, atestando a qualidade de predição dos modelos aplicados. Apresenta também o gráfico de Validação Cruzada com EM = -2,02767, EPM = 53,62 EMQ = 50,89 e EMQP = 1,1029.

Figura 33: Semivariograma e Validação Cruzada ZH02.



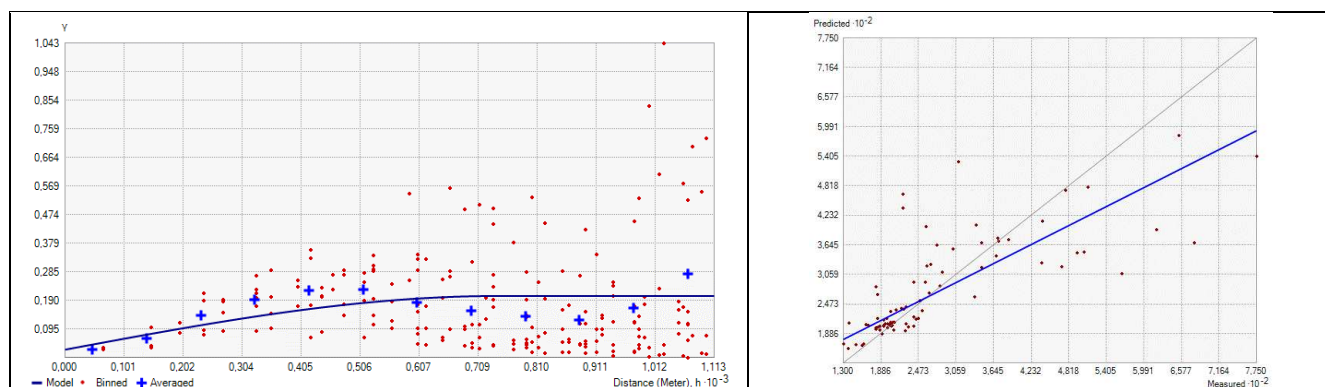
Fonte: O autor.

O semivariograma apresentado evidencia dependência espacial entre os dados analisados, observando-se aumento da semivariância conforme cresce a distância entre as amostras. O modelo ajustado apresentou comportamento compatível com os pontos experimentais, indicando ajuste geoestatístico satisfatório, apesar da dispersão observada em determinadas distâncias, característica comum em dados imobiliários urbanos.

A validação cruzada demonstrou desempenho adequado do modelo de interpolação, com os valores preditos apresentando tendência de alinhamento em relação aos valores medidos. Embora exista dispersão entre alguns pontos, o comportamento geral indica capacidade satisfatória do modelo em representar espacialmente a variável analisada, reforçando a confiabilidade da interpolação geoestatística realizada.

A Figura 34 apresenta o semivariograma para o modelo da Zona Homogênea 3, com transformação logarítmica, LagSize = 92,78, Range = 742,243 Nugget = 0,026, Sill = 0,178, Dependência Espacial fortíssima e RMS = 100%, atestando a qualidade de predição dos modelos aplicados. Apresenta também o gráfico de Validação Cruzada com EM = 0,1613, EPM = 86,18 EMQ = 69,83 e EMQP = 0,9959.

Figura 34: Semivariograma e Validação Cruzada ZH03.



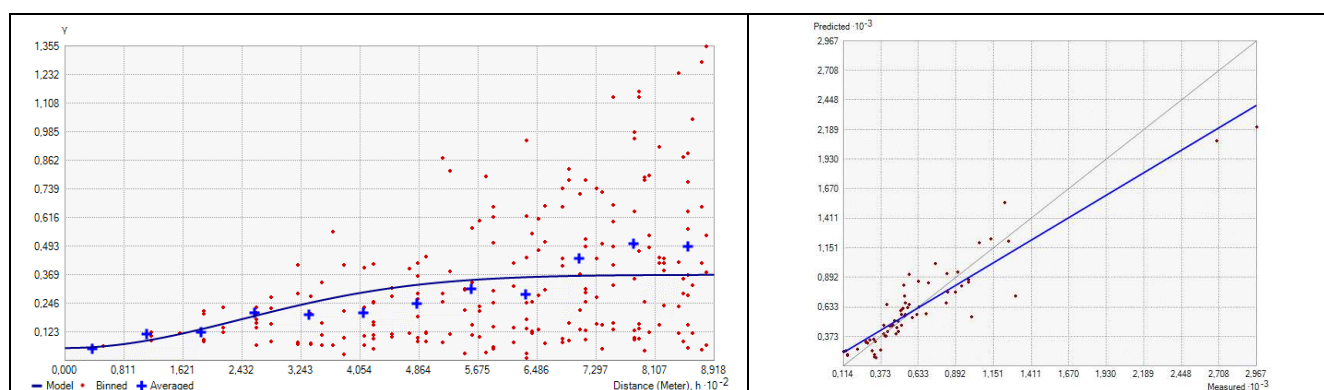
Fonte: O autor.

O semivariograma apresentado demonstra dependência espacial mais moderada em comparação aos modelos anteriores, evidenciada pelo crescimento mais suave da semivariância ao longo da distância entre as amostras. Observa-se maior dispersão dos pontos experimentais e menor definição do patamar, indicando comportamento espacial mais heterogêneo da variável analisada e menor continuidade espacial entre os dados.

Na validação cruzada, embora os valores preditos apresentem tendência de alinhamento em relação aos valores medidos, percebe-se dispersão mais acentuada dos pontos em torno da linha de tendência quando comparada aos modelos anteriores. Esse comportamento sugere menor capacidade preditiva da interpolação espacial, ainda que o modelo apresente desempenho satisfatório para representação geral da distribuição espacial dos valores analisados.

A Figura 35 apresenta o semivariograma para o modelo da Zona Homogênea 4, com transformação logarítmica, LagSize = 74,32, Range = 594,54 Nugget = 0,053, Sill = 0,315, Dependência Espacial fortíssima e RMS = 99%, atestando a qualidade de predição dos modelos aplicados. Apresenta também o gráfico de Validação Cruzada com EM = -1,2050, EPM = 189,16 EMQ = 244,84 e EMQP = 0,99424.

Figura 35: Semivariograma e Validação Cruzada ZH04.



Fonte: O autor.

O semivariograma apresentado demonstra dependência espacial moderada, com aumento gradual da semivariância em função da distância entre as amostras. Em comparação aos semivariogramas anteriores, observa-se maior dispersão dos pontos experimentais, principalmente nas maiores distâncias, indicando heterogeneidade espacial mais acentuada e menor continuidade espacial dos dados. Ainda assim, o modelo teórico ajustado apresentou comportamento coerente com a tendência geral dos pontos amostrais.

Na validação cruzada, os valores preditos apresentaram alinhamento satisfatório

em relação aos valores medidos, especialmente nas menores amplitudes de valores. Em comparação aos modelos anteriormente analisados, este apresentou menor dispersão dos pontos próximos à linha de tendência nas faixas centrais da amostra, indicando desempenho preditivo relativamente mais estável para os valores predominantes da variável analisada, embora ainda exista dispersão em valores extremos.

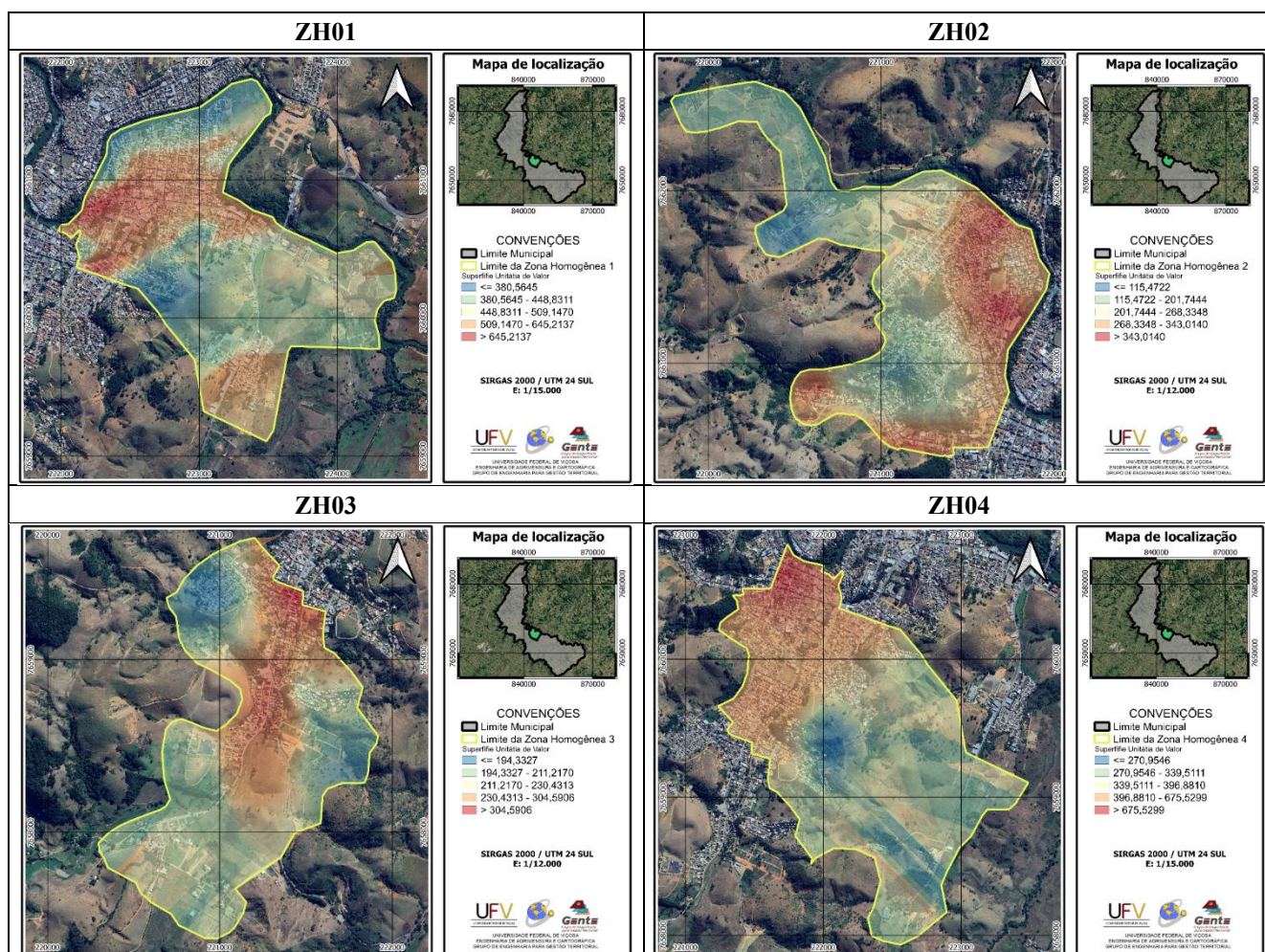
De forma geral, os quatro modelos geoestatísticos apresentaram comportamento satisfatório na representação espacial dos valores analisados, evidenciando dependência espacial e viabilidade de aplicação da krigagem. Os semivariogramas demonstraram ajuste coerente entre os modelos teóricos e os pontos experimentais, embora com diferentes níveis de continuidade espacial e dispersão dos dados.

As validações cruzadas indicaram capacidade preditiva adequada dos modelos, com alinhamento entre valores observados e estimados, ainda que alguns modelos tenham apresentado maior dispersão dos pontos, especialmente em valores extremos e em áreas com maior heterogeneidade espacial. Observou-se que determinados modelos apresentaram maior estabilidade e melhor continuidade espacial, enquanto outros evidenciaram comportamento mais heterogêneo, refletindo a complexidade do mercado imobiliário urbano.

Assim, os resultados demonstram que os modelos geoestatísticos foram capazes de representar satisfatoriamente a distribuição espacial dos valores unitários dos terrenos, fornecendo suporte técnico consistente para as análises espaciais e para a elaboração da Planta Genérica de Valores.

A Figura 36 ilustra os mapas da Superfície Unitária de Valores de Terreno para cada uma das 4 Zonas Homogêneas após ser aplicado a Geoestatística, por meio da técnica da Krigagem Ordinária e da Validação Cruzada.

Figura 36: Superfície Unitária de Valores.



Fonte: O autor.

A validação dos modelos foi realizada a partir do nível geral de avaliação, definido pela mediana dos níveis individuais de avaliação calculados com base em uma amostra de controle utilizada na validação dos resultados e no monitoramento dos valores cadastrais empregados para fins tributários. Conforme estabelecido pela NBR 14653-2, para enquadramento em Grau de Fundamentação III, os valores da Mediana da Razão de Avaliação (MRA) devem permanecer no intervalo entre 0,90 e 1,10.

Considerando o limite de 30% para o Coeficiente de Dispersão (COD) adotado como referência para a análise da uniformidade das avaliações, observa-se, na tabela 29, que os modelos apresentaram, de modo geral, resultados satisfatórios. Segundo as diretrizes da International Association of Assessing Officers (IAAO), o COD constitui um importante indicador da dispersão das razões de avaliação, sendo menores valores associados a maior uniformidade das estimativas. Entre os modelos obtidos pelo MCRL, apenas a ZH01 apresentou COD superior a 30%, atingindo 36%, enquanto as ZH02,

ZH03 e ZH04 apresentaram, respectivamente, 15%, 20% e 23%. Com a aplicação da modelagem geoestatística, o COD da ZH01 foi reduzido de 36% para 24%, passando a se enquadrar no limite de 30% considerado nesta pesquisa. Nas demais zonas, os valores permaneceram abaixo desse limite, correspondendo a 12% na ZH02, 20% na ZH03 e 25% na ZH04. Dessa forma, os resultados demonstram que a incorporação da componente espacial proporcionou melhoria especialmente na ZH01, permitindo que todas as Zonas Homogêneas de Valor apresentassem COD inferior a 30% nos modelos geoestatísticos.

Tabela 29: Validação do MCRL e da Geoestatística dos terrenos.

ZONA HOMOGÊNEA	MODELO	MRA	COD
ZH01	MCRL	1,09	36%
	GEOESTATÍSTICA	1,06	24%
ZH02	MCRL	0,97	15%
	GEOESTATÍSTICA	0,98	12%
ZH03	MCRL	1,04	20%
	GEOESTATÍSTICA	1,04	20%
ZH04	MCRL	1,00	23%
	GEOESTATÍSTICA	1,06	25%

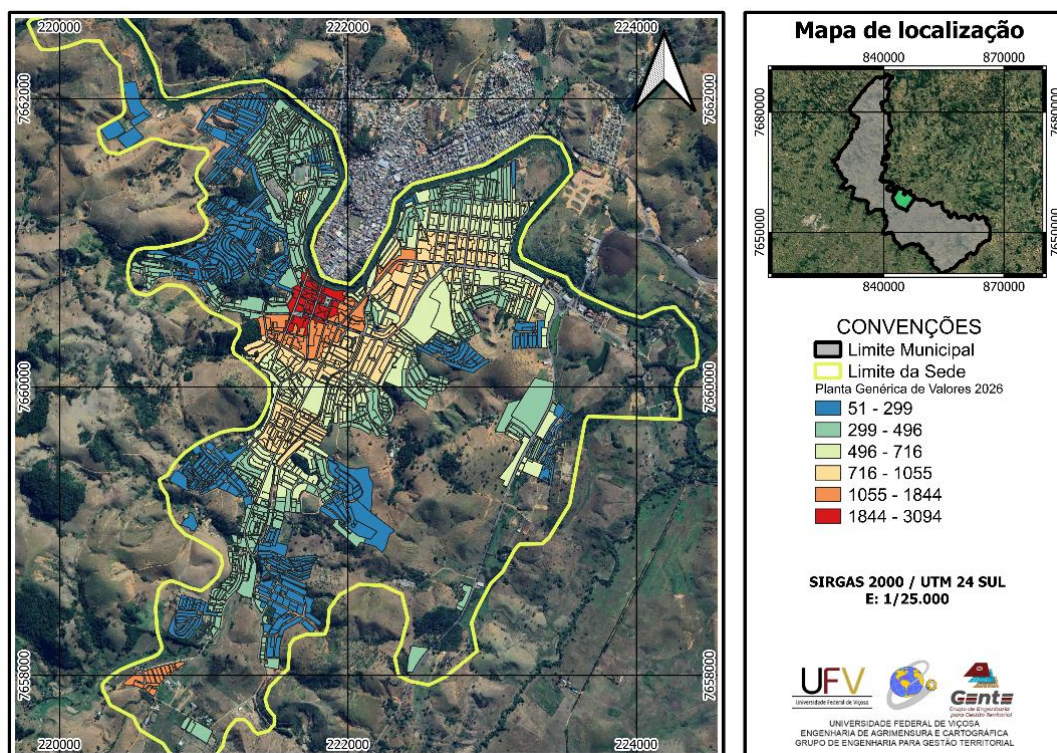
Fonte: O autor.

Esses resultados demonstram que a incorporação da dependência espacial por meio da geoestatística proporcionou melhoria na homogeneidade dos valores estimados, aumentando a precisão e a confiabilidade dos modelos aplicados à avaliação em massa dos imóveis urbanos.

A PGV, é composta por diversas peças técnicas, cuja representação gráfica é elaborada por meio de mapas e plantas em escala apropriada, tendo como base cartográfica os dados provenientes do CTM. A espacialização dos valores pode ocorrer de diferentes formas, como por setores administrativos, bairros, zonas fiscais, logradouros, faces de quadra ou superfícies contínuas de valores (DUARTE, 2019).

A Figura 37 apresenta os resultados da transferência dos valores da Superfície Contínua de Valores para as faces de quadra em toda a sede do município. Na representação cartográfica, as áreas com maiores valores unitários estão destacadas em tons de vermelho, enquanto as áreas menos valorizadas são representadas em tons de azul, evidenciando a distribuição espacial da valorização imobiliária urbana.

Figura 37: Planta Genérica de Valores 2026 por faces de quadras.



Fonte: O autor.

A partir desse procedimento, foi possível obter os valores unitários para cada face de quadra do município, considerando a dinâmica espacial do mercado imobiliário e as características locais dos imóveis. Os resultados obtidos atenderam aos critérios técnicos e estatísticos previamente estabelecidos, em conformidade com as diretrizes da NBR 14653-2, alcançando enquadramento em Grau de Fundamentação III.

A partir da equação de cálculo do VVT, torna-se possível estimar o valor individualizado de cada terreno do município. Para isso, utiliza-se a área territorial obtida a partir do CTM atualizado, associada ao valor unitário do metro quadrado do terreno, determinado e validado por meio da modelagem estatística e geoestatística desenvolvida neste estudo.

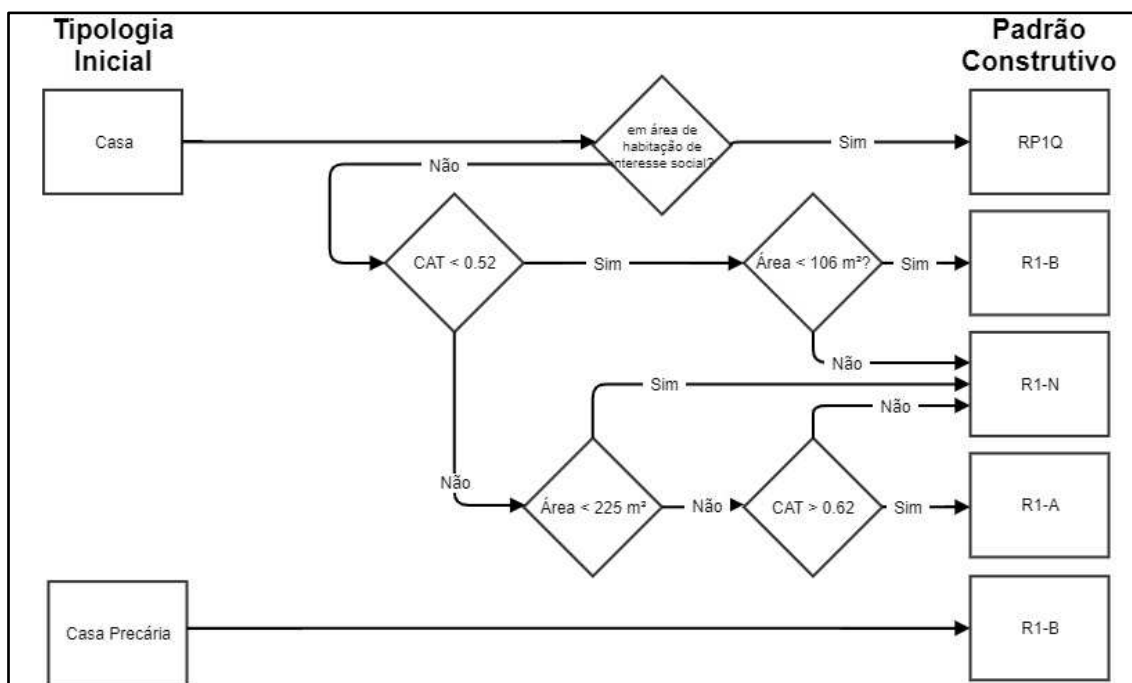
Adicionalmente, as características físicas e locais dos terrenos, tais como situação do lote, topografia e pedologia, também foram extraídas do cadastro territorial atualizado, possibilitando a aplicação dos respectivos fatores de correção previstos na legislação tributária municipal. A fração Ideal de Terreno, bem como os demais coeficientes empregados na composição da equação de avaliação, foi obtido diretamente do Código Tributário Municipal, garantindo compatibilidade entre a metodologia adotada e os parâmetros legais vigentes.

Ressalta-se ainda que, nos imóveis constituídos por múltiplas unidades edificadas, foi considerada a fração ideal do terreno correspondente a cada unidade imobiliária. Esse procedimento foi realizado a partir da relação proporcional entre a área da unidade e o somatório das áreas edificadas existentes no lote, assegurando maior coerência técnica e equidade fiscal na distribuição do valor venal entre as unidades cadastradas.

5.5 Valores das edificações

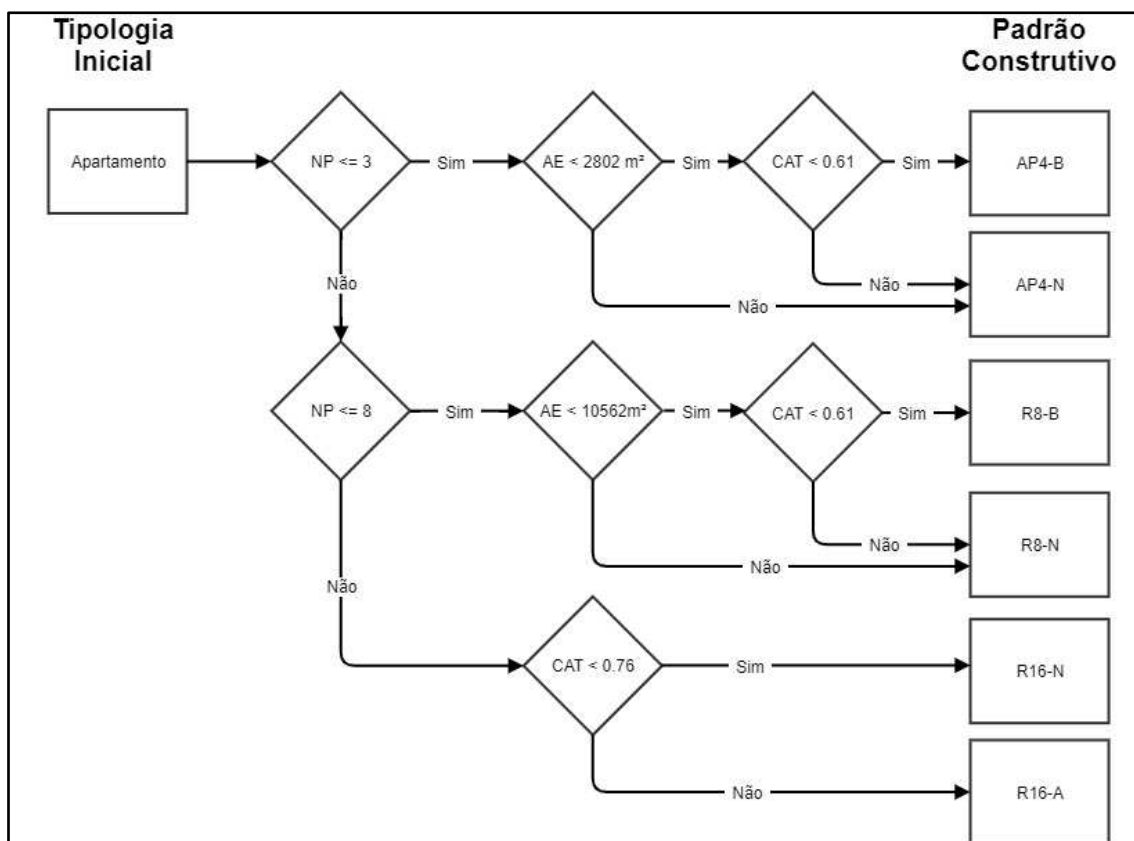
Considerando as divergências existentes entre as tipologias construtivas adotadas no cadastro municipal e aquelas previstas nos Projetos-Padrão da ABNT NBR 12721:2006 para determinação do CUB/m², foi estruturado um Processo Hierárquico de Tomada de Decisão destinado à definição das correspondências tipológicas necessárias à implantação do Vm²ETP. A metodologia permitiu enquadrar as edificações municipais em categorias compatíveis com os padrões normativos, abrangendo casas, apartamentos, salas e lojas comerciais, bem como galpões, telheiros, fábricas, garagens e construções especiais, conforme apresentado nas Figuras 38, 39, 40 e 41.

Figura 38: Processo Hierárquico de Tomada de Decisão de Casas.



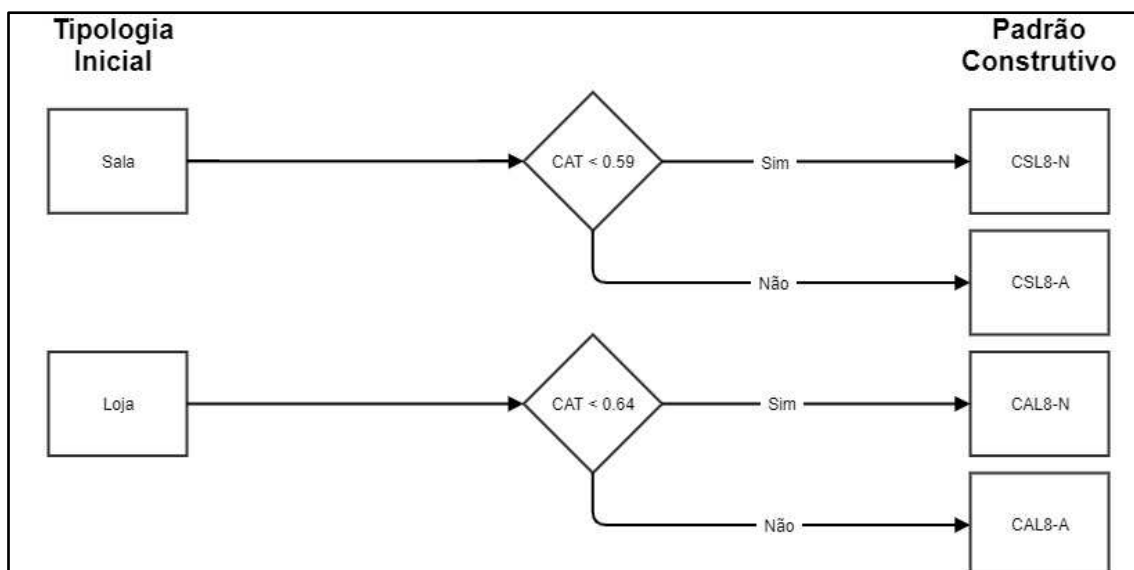
Fonte: O autor.

Figura 39: Processo Hierárquico de Tomada de Decisão de Apartamentos.



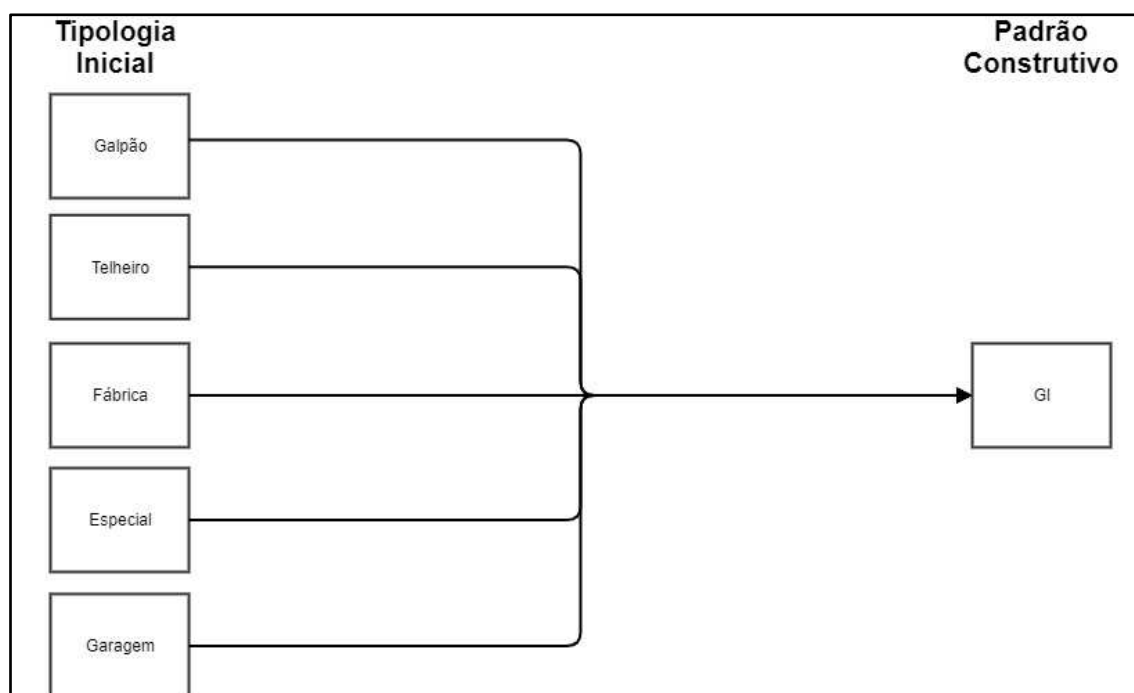
Fonte: O autor.

Figura 40: Processo Hierárquico de Tomada de Decisão de Salas e Lojas.



Fonte: O autor.

Figura 41: Processo Hierárquico de Tomada de Decisão das demais tipologias.



Fonte: O autor.

Os projetos utilizados para representar os diferentes tipos de edificações foram enquadrados conforme suas características predominantes, sendo considerados, no modelo de decisão, principalmente o coeficiente de categoria das edificações (CAT) e a área construída das unidades. A partir desses critérios, foram definidas 20 tipologias destinadas a representar os diversos padrões e usos das edificações do município, contemplando categorias como: Casa (Popular, Baixo, Normal e Alto), Apartamentos (Popular, Baixo, Normal e Alto), Loja (Normal e Alto), Sala (Normal e Alto).

Observa-se que as tipologias Telheiro, Garagem, Fábrica e Especial não possuem correspondência direta nos Projetos-Padrão estabelecidos pela ABNT NBR 12721:2006 para determinação do CUB/m². Diante dessa limitação, essas tipologias foram enquadradas na categoria Galpão, conforme apresentado na Figura 41. Tal enquadramento fundamenta-se na similaridade construtiva e funcional entre essas edificações, que, em geral, apresentam características compatíveis quanto aos sistemas estruturais, padrões de acabamento, vedações e nível de complexidade construtiva. Dessa forma, a adoção da tipologia Galpão como referência permitiu estabelecer uma base técnica consistente para a estimativa dos custos de construção e para a determinação do Vm²ETP, assegurando uniformidade metodológica e compatibilidade com os parâmetros normativos utilizados no estudo.

Para a definição dessas tipologias e de seus respectivos padrões construtivos,

adotou-se como referência a caracterização dos Projetos-Padrão do CUB/m² estabelecida pela ABNT NBR 12721:2006, utilizando-se os custos unitários de construção divulgados pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Rio de Janeiro (SINDUSCON-Rio), referentes ao mês de julho de 2025, conforme apresentado na Tabela 30.

Tabela 30: Valor do metro quadrado da Edificação por Tipologia e Padrão.

Código	Tipo	Padrão	VUE (R\$)
RP1Q	Casa	Popular	2415,58
R1-B	Casa	Baixo	2307,04
R1-N	Casa	Normal	2777,26
R1-A	Casa	Alto	3450,69
PIS	Apartamento	Popular	1592,23
PP4-B	Apartamento	Baixo	2153,71
PP4-N	Apartamento	Normal	2629,35
R8-B	Apartamento	Baixo	2041,02
R8-N	Apartamento	Normal	2299,22
R8-A	Apartamento	Alto	2764,2
R16-N	Apartamento	Normal	2231,13
R16-A	Apartamento	Alto	2927,99
CAL8-N	Loja	Normal	2664,27
CSL8-N	Sala	Normal	2277,09
CSL16-N	Sala	Normal	3040,12
CAL8-A	Loja	Alto	2856,24
CSL8-A	Sala	Alto	2499,77
CSL16-A	Sala	Alto	3332,41
GI	Galpão, Fábrica, Telheiro, Varanda, Indústria	Normal	1266,67

Fonte: O autor.

O CAT consiste em um sistema de pontuação definido pelo Código Tributário Municipal, utilizado como fator de correção e depreciação no cálculo do valor venal das edificações. Esse coeficiente busca representar as condições construtivas e o padrão de acabamento dos imóveis, considerando um conjunto de características físicas e qualitativas da edificação.

Entre os elementos analisados para definição do CAT destacam-se as características da cobertura, estrutura, forro, instalações elétricas e sanitárias, paredes, pisos e revestimentos das fachadas. Cada componente recebe pontuações específicas de acordo com os materiais empregados, padrão construtivo e estado de conservação da edificação, permitindo classificar os imóveis conforme seu nível de qualidade construtiva.

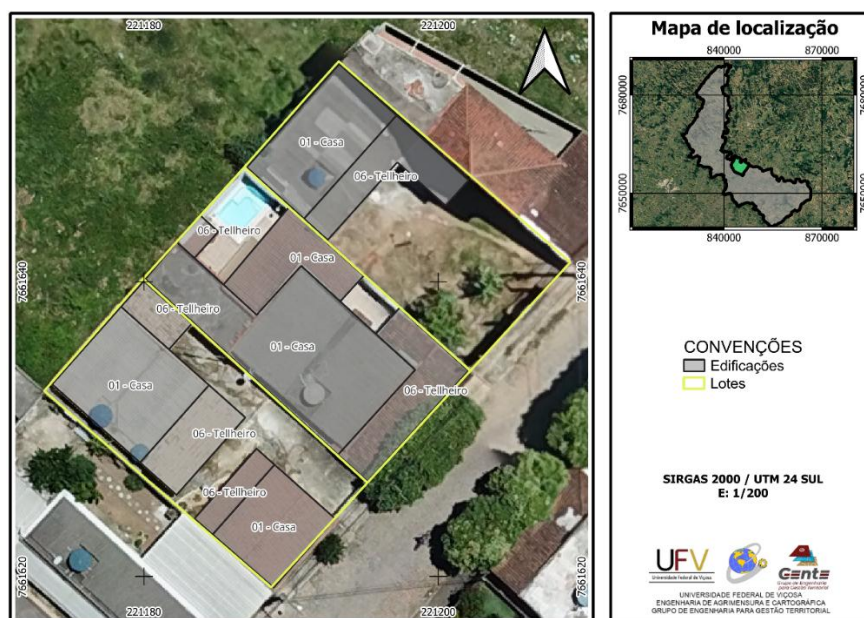
Todas essas informações, integrantes do Boletim de Cadastro Imobiliário (BCI), foram atualizadas durante a execução do CTM, garantindo maior aderência das

características cadastrais à realidade atual do município. Dessa forma, o coeficiente de categoria passou a representar de maneira mais precisa as condições físicas das edificações existentes, contribuindo para maior coerência técnica e justiça fiscal na determinação dos valores venais imobiliários.

A partir da atualização cadastral e do enquadramento das tipologias construtivas municipais em padrões compatíveis com os Projetos-Padrão da ABNT NBR 12721:2006 e com as tipologias do SINDUSCON, tornou-se possível aplicar de forma mais precisa a equação de cálculo do Valor Venal da Edificação (VVE).

Além da atualização dos padrões construtivos e dos fatores previstos na legislação tributária municipal, a metodologia adotada para definição dos Valores Unitários de Edificação, passou a considerar a diversidade dos blocos construtivos existentes nos imóveis urbanos. Assim, foram diferenciadas tipologias como corpo principal da residência, varandas, telheiros, garagens e demais anexos construtivos, conforme ilustrado na Figura 42.

Figura 42: Separação das edificações em blocos construtivos.



Fonte: O autor.

Essa diferenciação é fundamental para promoção da justiça fiscal, uma vez que estruturas complementares, como varandas e telheiros, apresentam custos construtivos, padrões de acabamento, funcionalidade e valores de mercado inferiores aos do corpo principal da edificação. No modelo anteriormente utilizado pelo município, essas áreas frequentemente eram incorporadas diretamente à área principal das residências, recebendo o mesmo valor unitário aplicado à casa, o que resultava em superavaliação de

determinadas edificações e distorções tributárias.

Com a individualização dos diferentes blocos construtivos proporcionada pela atualização do CTM, tornou-se possível aplicar valores unitários compatíveis com as características específicas de cada elemento construtivo. Esse procedimento permitiu maior precisão avaliatória, homogeneidade dos valores venais e melhor adequação da tributação à realidade física e econômica dos imóveis urbanos do município.

5.6 Definição das faixas de valores venais

A definição das faixas de valores venais para aplicação das alíquotas do IPTU foi estruturada a partir da distribuição dos imóveis segundo seus valores venais estimados, buscando equilíbrio entre justiça fiscal, capacidade contributiva e viabilidade de arrecadação. Em mercados imobiliários urbanos, é comum que os imóveis apresentem comportamento de distribuição aproximadamente log-normal, caracterizado pela concentração predominante de imóveis em faixas intermediárias de valor e menor quantidade de imóveis nas extremidades de baixa e alta valorização.

A concentração dos imóveis nas faixas intermediárias é fundamental para a definição de alíquotas intermediárias, uma vez que essa parcela representa a maior parte da base imobiliária do município e, conseqüentemente, concentra o maior potencial arrecadatório. Dessa forma, evita-se que a arrecadação fique excessivamente dependente das faixas extremas de valor venal.

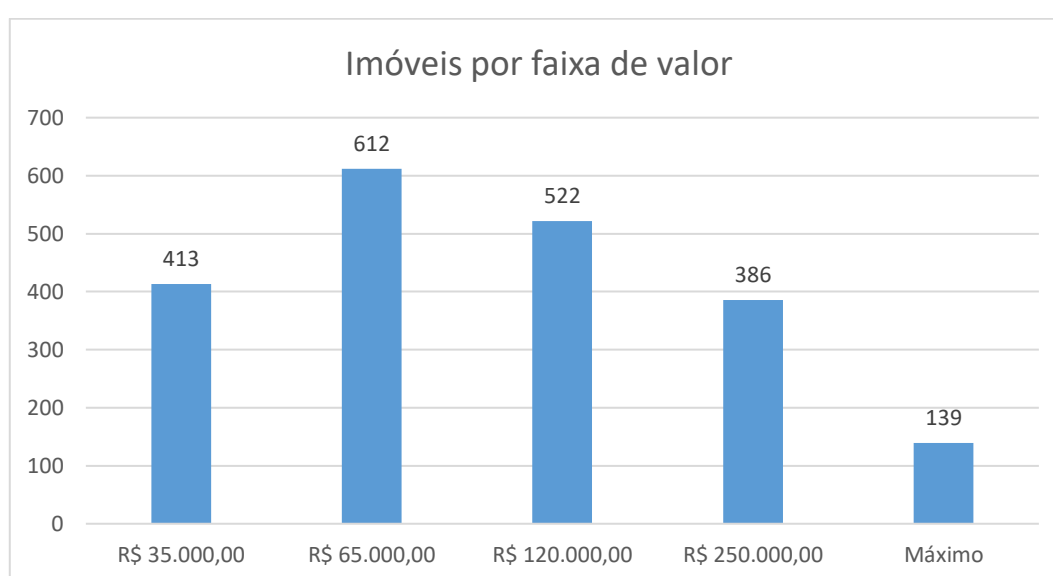
Nas faixas iniciais de valor, observa-se uma concentração relativamente maior de imóveis de menor padrão e menor capacidade contributiva. Por esse motivo, torna-se importante que um quantitativo significativo de imóveis permaneça enquadrado nas menores alíquotas, garantindo maior equilíbrio social e reduzindo impactos tributários sobre a população de baixa renda.

Por outro lado, as faixas finais apresentam menor quantidade de imóveis, comportamento desejável em modelos progressivos de tributação. Isso ocorre porque os imóveis enquadrados nas alíquotas máximas tendem a sofrer aumentos mais expressivos no valor do IPTU. Caso haja concentração excessiva de imóveis nessas faixas superiores, aumenta-se o risco de inadimplência tributária, comprometendo a efetividade da arrecadação municipal. Dessa forma, o controle da distribuição nas faixas mais elevadas torna-se essencial para que apenas imóveis efetivamente de alto valor venal sejam submetidos às maiores alíquotas do imposto.

O gráfico de distribuição de terrenos Figura 43, apresenta distribuição concentrada

nas faixas iniciais e intermediárias de valor venal, com maior frequência de imóveis na faixa de R\$ 65.000,00, seguida por redução gradual nas classes superiores. Esse comportamento caracteriza uma distribuição aproximadamente log-normal, na qual há predominância de imóveis de menor e médio valor venal, enquanto os imóveis de maior valorização aparecem em menor quantidade. Observa-se ainda que a faixa máxima possui reduzido número de imóveis, condição importante para limitar a incidência das maiores alíquotas apenas sobre imóveis efetivamente de alto padrão e maior capacidade contributiva.

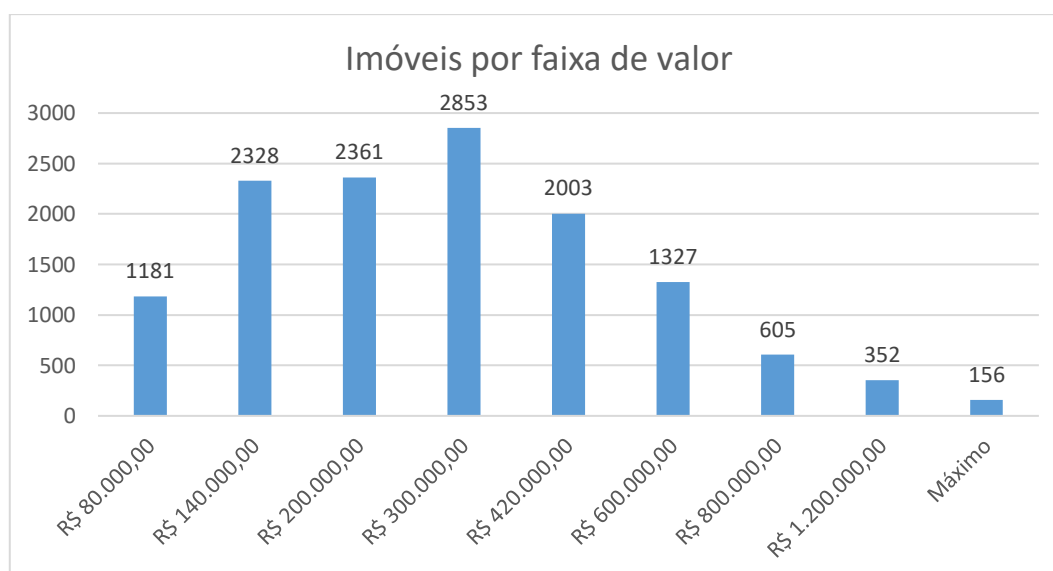
Figura 43: Distribuição dos imóveis territoriais por faixa de valor venal.



Fonte: O autor.

O gráfico da distribuição dos imóveis residenciais, Figura 44, apresenta uma distribuição mais detalhada e segmentada das faixas de valor venal, resultado da elevada quantidade de imóveis existentes nessa categoria em comparação aos demais grupos analisados. Devido ao grande volume de registros imobiliários, foi possível estabelecer maior número de intervalos de valores venais, permitindo representar de forma mais precisa a dinâmica do mercado imobiliário residencial do município.

Figura 44: Distribuição dos imóveis residenciais por faixa de valor venal.



Fonte: O autor.

Observa-se concentração predominante dos imóveis nas faixas intermediárias de valor venal, com pico de distribuição na faixa de R\$ 300.000,00, que concentra 2.853 imóveis. As faixas subsequentes de R\$ 420.000,00 e R\$ 600.000,00 apresentam redução gradual da frequência, enquanto as classes superiores de R\$ 800.000,00, R\$ 1.200.000,00 e máxima possuem quantidade significativamente menor de imóveis. Esse comportamento é compatível com uma distribuição aproximadamente log-normal, caracterizada pela concentração da maior parte dos imóveis em valores intermediários e redução progressiva da frequência nas extremidades da distribuição.

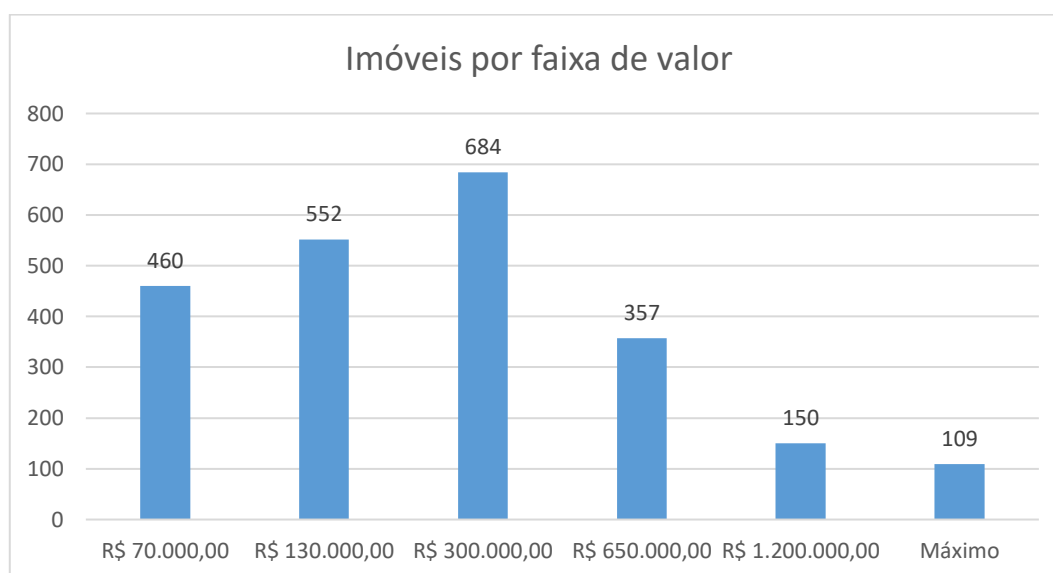
As faixas iniciais, compreendidas entre R\$ 80.000,00 e R\$ 200.000,00, também apresentam quantidade expressiva de imóveis, condição importante para garantir que imóveis de menor valor venal permaneça submetidos às menores alíquotas do IPTU, promovendo maior equilíbrio social e respeito à capacidade contributiva da população.

A maior segmentação das classes permitiu melhor distribuição das alíquotas progressivas do IPTU, proporcionando maior equilíbrio na carga tributária entre os contribuintes. Além disso, a redução consistente da quantidade de imóveis nas faixas superiores contribui para que apenas imóveis efetivamente de maior valorização sejam submetidos às alíquotas máximas, minimizando impactos excessivos na tributação e reduzindo potenciais riscos de inadimplência tributária decorrentes de aumentos muito elevados do imposto.

Já o gráfico da distribuição dos imóveis não residenciais, Figura 45, apresenta concentração predominante na faixa intermediária de R\$ 300.000,00, seguida por redução

acentuada nas faixas superiores de R\$ 650.000,00 e R\$ 1.200.000,00. Esse comportamento evidencia distribuição log-normal mais deslocada para valores intermediários e superiores, indicando presença de imóveis com maior valorização imobiliária e maior heterogeneidade socioeconômica. Entretanto, a quantidade reduzida de imóveis nas classes finais demonstra adequado controle da progressividade tributária, garantindo que apenas pequena parcela dos imóveis seja submetida às maiores alíquotas do IPTU.

Figura 45: Distribuição dos imóveis residenciais por faixa de valor venal.



Fonte: O autor.

De forma geral, os três gráficos demonstram comportamento coerente com distribuições aproximadamente log-normais, permitindo estruturar faixas venais compatíveis com a realidade imobiliária do município. Esse padrão possibilita maior equilíbrio entre justiça fiscal, capacidade contributiva e sustentabilidade arrecadatória, garantindo que os imóveis de menor valor permaneçam em faixas tributárias reduzidas e que apenas imóveis efetivamente de alto padrão sejam enquadrados nas alíquotas máximas do IPTU.

5.7 Alíquotas e Simulação

Após a definição da PGV, e da atualização dos valores venais dos imóveis do município, tornou-se necessária a realização de simulações tributárias para definição das alíquotas do IPTU. A estruturação dessas alíquotas foi fundamentada, principalmente, na necessidade de ampliação da arrecadação municipal, considerando as demandas financeiras, os investimentos públicos e os projetos estratégicos previstos pela

administração pública de Bom Jesus do Itabapoana.

Diante da necessidade de adequação da arrecadação tributária municipal, foram desenvolvidos diferentes cenários de simulação para o lançamento do IPTU, buscando compatibilizar a capacidade arrecadatória do município com os princípios da justiça fiscal, da progressividade tributária e da capacidade contributiva. Nesse contexto, as alíquotas foram estruturadas de forma progressiva, considerando diferentes faixas de valor venal dos imóveis e a distribuição estatística dos valores presentes no cadastro imobiliário municipal.

A proposta foi estruturada de modo a garantir que imóveis de menor valor venal permanecessem submetidos às menores alíquotas, minimizando os impactos tributários sobre a população de menor renda e promovendo maior justiça social e fiscal, especialmente nas áreas caracterizadas como Zonas de Vulnerabilidade Social. Em contrapartida, imóveis de maior valorização passaram a contribuir proporcionalmente mais para a arrecadação municipal, em conformidade com o princípio da progressividade previsto na legislação tributária brasileira.

Assim, foram desenvolvidas propostas de progressividade de alíquotas considerando tanto a utilização dos imóveis, classificados em Territoriais, Residenciais e Não Residenciais, quanto suas respectivas faixas de valor venal. O objetivo consistiu em simular cenários tributários capazes de viabilizar um imposto mais justo e compatível com os princípios da proporcionalidade e da capacidade contributiva dos cidadãos.

Os imóveis territoriais tiveram como resultado, alíquotas variando entre 0,60% e 1,00%, Tabela 31, sendo aplicadas as maiores alíquotas dentre as categorias analisadas. Essa diferenciação possui como finalidade desestimular a retenção especulativa de terrenos urbanos não edificados, incentivar o adequado aproveitamento da infraestrutura urbana existente e promover o ordenamento territorial do município, em consonância com a função social da propriedade urbana prevista na legislação brasileira.

Tabela 31: Alíquotas dos imóveis territoriais.

Faixas de Valores Venais		Métricas	
Limite Inferior	Limite Superior	Quantidade	Alíquota
Mínimo	R\$ 35.000,00	413	0,60%
R\$ 35.000,00	R\$ 65.000,00	612	0,70%
R\$ 65.000,00	R\$ 120.000,00	522	0,80%
R\$ 120.000,00	R\$ 250.000,00	386	0,90%
R\$ 250.000,00	Máximo	139	1,00%

Fonte: O autor.

Para os imóveis residenciais, Tabela 32, as alíquotas variaram entre 0,18% e 0,22%, buscando reduzir os impactos tributários sobre a moradia e preservar a capacidade contributiva da população. Já os imóveis não residenciais, Tabela 33, compreendendo comércios, indústrias e fábricas, apresentaram alíquotas entre 0,23% e 0,36%, adotando-se valores intermediários que possibilitassem ampliar a arrecadação municipal sem comprometer significativamente o desenvolvimento econômico, a atividade produtiva e a geração de empregos no município.

Tabela 32: Alíquotas dos imóveis residenciais.

Faixas de Valores Venais		Métricas	
Limite Inferior	Limite Superior	Quantidade	Alíquota
Mínimo	R\$ 80.000,00	1.181	0,18%
R\$ 80.000,00	R\$ 140.000,00	2.328	0,19%
R\$ 140.000,00	R\$ 200.000,00	2.361	0,19%
R\$ 200.000,00	R\$ 300.000,00	2.853	0,20%
R\$ 300.000,00	R\$ 450.000,00	2.003	0,20%
R\$ 450.000,00	R\$ 600.000,00	1.327	0,21%
R\$ 600.000,00	R\$ 800.000,00	605	0,21%
R\$ 800.000,00	R\$ 1.200.000,00	352	0,22%
R\$ 1.200.000,00	Máximo	156	0,22%

Fonte: O autor.

Tabela 33: Alíquotas dos imóveis não residenciais.

Faixas de Valores Venais		Métricas	
Limite Inferior	Limite Superior	Quantidade	Alíquota
Mínimo	R\$ 80.000,00	460	0,23%
R\$ 80.000,00	R\$ 150.000,00	552	0,24%
R\$ 150.000,00	R\$ 350.000,00	684	0,28%
R\$ 350.000,00	R\$ 650.000,00	357	0,32%
R\$ 650.000,00	R\$ 1.200.000,00	150	0,34%
R\$ 1.200.000,00	Máximo	109	0,36%

Fonte: O autor.

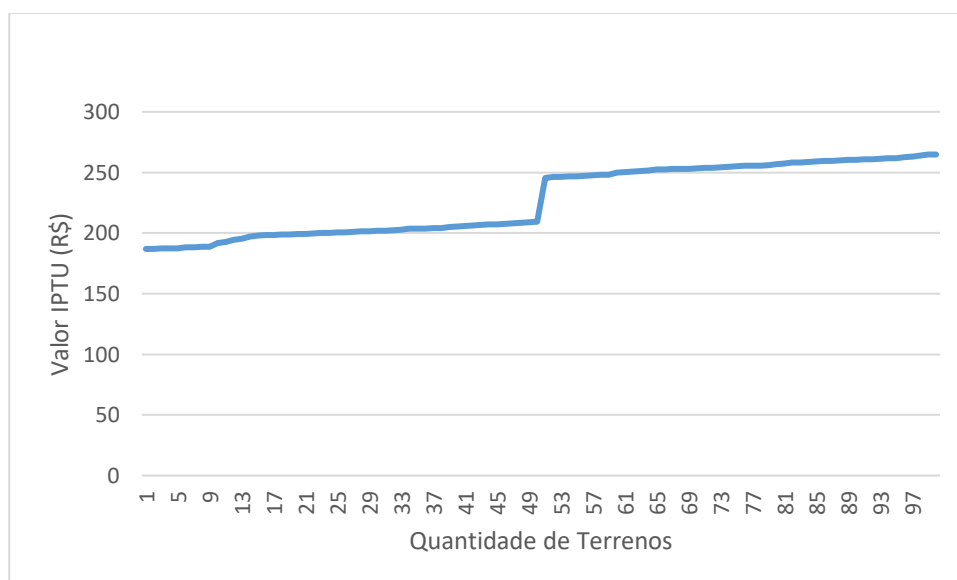
Além disso, as simulações tributárias buscaram evitar aumentos excessivos do imposto, especialmente nas faixas superiores de valor venal, uma vez que elevações muito abruptas podem comprometer a capacidade de pagamento dos contribuintes e aumentar os índices de inadimplência tributária. Dessa forma, a definição das alíquotas foi estruturada de maneira tecnicamente equilibrada, permitindo atingir a meta de ampliação da arrecadação municipal sem comprometer a sustentabilidade econômica dos contribuintes e a função social da tributação imobiliária.

Foi aplicada a progressividade das alíquotas em função das faixas de valor venal

e da utilização dos imóveis. Entretanto, isso não significa que todo o valor venal do imóvel seja tributado integralmente pela maior alíquota correspondente à sua faixa de enquadramento. A tributação ocorre de forma progressiva por parcelas, semelhante ao modelo utilizado no Imposto de Renda, no qual cada alíquota incide apenas sobre a porção do valor venal compreendida dentro de cada faixa específica, aplicando-se posteriormente a dedução correspondente.

As Figuras 46 e 47 apresentam um recorte de 100 terrenos localizados na transição entre as duas primeiras faixas de valor venal, demonstrando a diferença entre a aplicação da progressividade simples e a progressividade com dedução. No modelo sem dedução Figura 46, observa-se um salto abrupto no valor do IPTU no momento em que o imóvel ultrapassa o limite da faixa anterior, ocasionando descontinuidade tributária. Nesse cenário, não houve imóveis com valores de IPTU compreendidos entre R\$ 209,52 e R\$ 245,51, evidenciando uma lacuna de tributação causada pela mudança direta de alíquota.

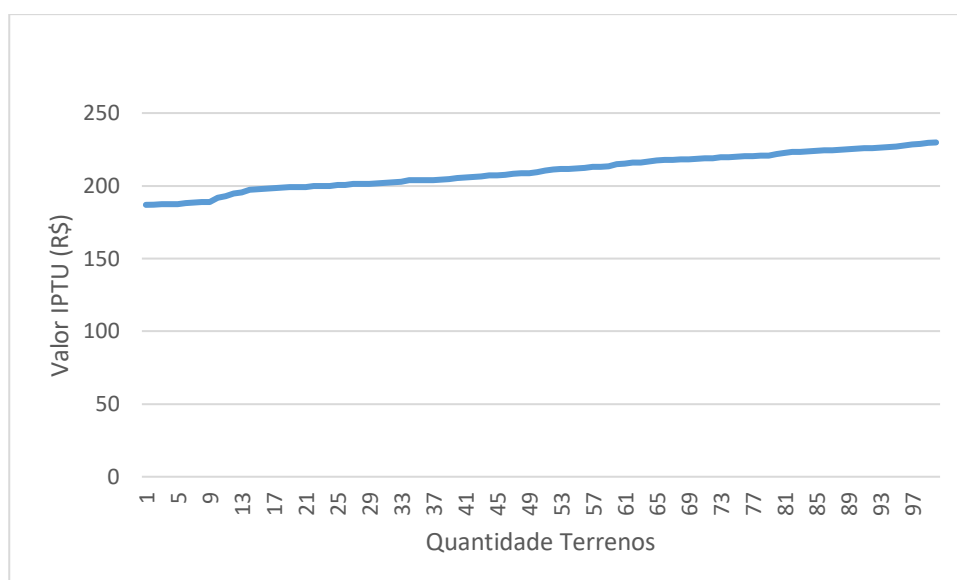
Figura 46: Transição entre as duas primeiras faixas de valor de terreno sem dedução.



Fonte: O autor.

Por outro lado, quando aplicada a dedução por faixas Figura 47, o comportamento do imposto torna-se contínuo e progressivo, eliminando distorções e evitando aumentos abruptos no valor do IPTU para imóveis com diferenças mínimas de valor venal. Esse mecanismo proporciona maior justiça fiscal, pois impede que imóveis situados imediatamente acima do limite de uma faixa sofram elevações desproporcionais do imposto em relação a imóveis de valor praticamente equivalente.

Figura 47: Transição entre as duas primeiras faixas de valor de terreno com dedução.



Fonte: O autor.

Dessa forma, a utilização da progressividade com dedução permitiu suavizar a curva de crescimento do IPTU, promovendo maior equilíbrio tributário, previsibilidade arrecadatória e respeito à capacidade contributiva dos contribuintes. Além dos benefícios individuais observados na transição entre as faixas de valor venal, o impacto dessa metodologia também se mostrou expressivo no resultado global da arrecadação municipal.

Nas simulações realizadas, verificou-se que a aplicação da progressividade sem dedução resultaria em um lançamento total estimado de aproximadamente R\$ 14.339.400,00. Já com a aplicação da dedução por faixas, eliminando os saltos abruptos de tributação, o valor total lançado passou para aproximadamente R\$ 12.687.900,00. Isso representa uma redução de cerca de 11,5% no montante total do IPTU lançado no município.

Esse resultado demonstra que a aplicação da dedução não apenas promove maior justiça fiscal e equilíbrio tributário, mas também reduz distorções causadas pela mudança abrupta de faixas de alíquota, evitando aumentos excessivos do imposto e contribuindo para maior sustentabilidade da arrecadação e menor potencial de inadimplência tributária.

A previsão de lançamento total do IPTU para o exercício de 2026 é de aproximadamente R\$ 12.687.900,00. Desse montante, cerca de R\$ 11.572.644,50 correspondem aos imóveis já existentes no cadastro municipal, enquanto R\$ 1.115.255,50 referem-se às novas unidades incorporadas ao CTM, durante o processo de atualização cadastral.

Além da estimativa arrecadatória, tornou-se fundamental realizar análises comparativas entre os valores do IPTU anteriormente lançado e os novos valores obtidos após a atualização da Planta Genérica de Valores e das alíquotas progressivas. Essa comparação permitiu avaliar o comportamento do imposto em cada faixa de valor venal, garantindo que os aumentos tributários permanecessem compatíveis com os princípios da justiça fiscal, da progressividade e da capacidade contributiva.

A análise por intervalos de valor venal foi essencial para verificar se os aumentos do IPTU ocorreram de maneira gradual e proporcional, evitando distorções tributárias ou elevações excessivas em determinadas faixas do cadastro imobiliário. Esse procedimento possibilitou identificar e corrigir possíveis saltos abruptos de tributação, assegurando maior equilíbrio na distribuição da carga tributária entre os contribuintes.

Os comparativos entre o IPTU de 2025 e a simulação para 2026 para as três tipologias, Tabelas 34,35 e 36, demonstram que a atualização da Planta Genérica de Valores e a aplicação das alíquotas progressivas promoveram maior equilíbrio tributário entre as diferentes faixas de valor venal. Observa-se que os menores imóveis tiveram impactos reduzidos, inclusive com diminuição de arrecadação na faixa mínima, enquanto os maiores aumentos ocorreram nas faixas de imóveis mais valorizados, atendendo ao princípio da progressividade tributária e da capacidade contributiva.

Tabela 34: Comparação do IPTU entre 2025 e 2026 da tipologia terreno.

Faixas de Valores Venais		Comparação 2025/2026			
Limite Inferior	Limite Superior	Quantidade	Valor 2025	valor 2026	%
Mínimo	R\$ 35.000,00	413	R\$ 55.760,00	R\$ 53.481,20	-4%
R\$ 35.000,00	R\$ 65.000,00	612	R\$ 104.358,00	R\$ 194.636,00	87%
R\$ 65.000,00	R\$ 120.000,00	522	R\$ 133.704,00	R\$ 299.710,00	124%
R\$ 120.000,00	R\$ 250.000,00	386	R\$ 180.319,00	R\$ 496.458,00	175%
R\$ 250.000,00	Máximo	139	R\$ 272.155,00	R\$ 786.624,00	189%
Total		2072	R\$ 746.296,00	R\$ 1.830.909,20	145%

Fonte: O autor.

Tabela 35: Comparação do IPTU entre 2025 e 2026 da tipologia Residencial.

Faixas de Valores Venais		Comparação 2025/2026			
Limite Inferior	Limite Superior	Quantidade	Valor 2025	valor 2026	%
Mínimo	R\$ 80.000,00	1181	R\$ 133.841,00	R\$ 116.847,00	-13%
R\$ 80.000,00	R\$ 140.000,00	2328	R\$ 391.912,00	R\$ 467.905,00	19%
R\$ 140.000,00	R\$ 200.000,00	2361	R\$ 631.686,00	R\$ 731.297,00	16%
R\$ 200.000,00	R\$ 300.000,00	2853	R\$ 915.086,00	R\$ 1.311.700,00	43%
R\$ 300.000,00	R\$ 420.000,00	2003	R\$ 1.150.360,00	R\$ 1.346.190,00	17%
R\$ 420.000,00	R\$ 600.000,00	1327	R\$ 794.733,00	R\$ 1.273.520,00	60%
R\$ 600.000,00	R\$ 800.000,00	605	R\$ 661.464,00	R\$ 817.787,00	24%
R\$ 800.000,00	R\$ 1.200.000,00	352	R\$ 556.596,00	R\$ 675.062,00	21%
R\$ 1.200.000,00	Máximo	156	R\$ 348.364,00	R\$ 601.469,00	73%
Total		13166	R\$ 5.584.042,00	R\$ 7.341.777,00	31%

Fonte: O autor.

Tabela 36: Comparação do IPTU entre 2025 e 2026 da tipologia Não Residencial.

Faixas de Valores Venais		Comparação 2025/2026			
Limite Inferior	Limite Superior	Quantidade	Valor 2025	valor 2026	%
Mínimo	R\$ 70.000,00	460	R\$ 48.810,70	R\$ 49.556,30	2%
R\$ 70.000,00	R\$ 130.000,00	552	R\$ 97.324,60	R\$ 124.392,00	28%
R\$ 130.000,00	R\$ 300.000,00	684	R\$ 223.720,00	R\$ 333.601,00	49%
R\$ 300.000,00	R\$ 650.000,00	357	R\$ 195.863,00	R\$ 431.215,00	120%
R\$ 650.000,00	R\$ 1.200.000,00	150	R\$ 171.305,00	R\$ 406.604,00	137%
R\$ 1.200.000,00	Máximo	109	R\$ 386.530,00	R\$ 1.054.590,00	173%
Total		2312	R\$ 1.123.553,30	R\$ 2.399.958,30	114%

Fonte: O autor.

De forma geral, os resultados apresentados nas três tabelas demonstram que a atualização da Planta Genérica de Valores e a aplicação das alíquotas progressivas promoveram uma redistribuição mais equilibrada da carga tributária entre os diferentes perfis imobiliários do município. Observa-se que os menores impactos ocorreram nas faixas iniciais de valor venal, compostas predominantemente por imóveis de menor padrão e menor capacidade contributiva, enquanto os maiores incrementos de arrecadação foram concentrados nas faixas superiores de valor, atendendo ao princípio da progressividade tributária.

Nos imóveis territoriais, verificou-se maior crescimento percentual nas faixas superiores, refletindo a adoção de alíquotas mais elevadas para terrenos não edificados como instrumento de combate à especulação imobiliária e incentivo ao adequado aproveitamento da infraestrutura urbana. Já os imóveis residenciais apresentaram comportamento mais equilibrado, com aumentos moderados nas faixas intermediárias e superiores, preservando os imóveis de menor valor venal e reduzindo impactos sociais

sobre a população de baixa renda. Para os imóveis não residenciais, os maiores aumentos ocorreram nos imóveis de maior valorização, evidenciando a maior capacidade contributiva das atividades comerciais, industriais e de prestação de serviços.

Além disso, a comparação entre os valores lançados em 2025 e as simulações para 2026 evidencia que a atualização cadastral e a redefinição das alíquotas permitiram ampliar significativamente a arrecadação municipal sem comprometer os princípios da justiça fiscal e da capacidade contributiva. Dessa forma, os resultados demonstram que a metodologia adotada possibilitou compatibilizar a necessidade de incremento da receita pública com a sustentabilidade econômica dos contribuintes e a função social da tributação imobiliária.

As métricas de aumento e diminuição do IPTU demonstram que a atualização da Planta Genérica de Valores e a redefinição das alíquotas progressivas não tiveram caráter exclusivamente arrecadatário, mas buscaram promover maior equilíbrio tributário e justiça fiscal entre os contribuintes. Os resultados evidenciam que, embora a maior parte dos imóveis tenha apresentado aumento do imposto, especialmente nas faixas intermediárias e superiores de valor venal, também ocorreu quantidade significativa de reduções do IPTU, principalmente entre os imóveis residenciais de menor valor.

Nos imóveis territoriais na Tabela 37, predominam os aumentos do imposto em praticamente todas as faixas de valor venal, comportamento esperado diante da adoção de alíquotas mais elevadas para terrenos não edificadas. Ainda assim, observa-se a existência de imóveis com redução do IPTU, indicando que determinados contribuintes anteriormente estavam submetidos a valores tributários incompatíveis com a realidade imobiliária atual do município.

Tabela 37: Métricas de variação de IPTU para imóveis territoriais.

Faixas de Valores Venais		Métricas		
Limite Inferior	Limite Superior	Alíquota	Aumento	Diminuição
Mínimo	R\$ 35.000,00	0,60%	276	137
R\$ 35.000,00	R\$ 65.000,00	0,70%	552	60
R\$ 65.000,00	R\$ 120.000,00	0,80%	492	30
R\$ 120.000,00	R\$ 250.000,00	0,90%	381	5
R\$ 250.000,00	Máximo	1,00%	135	4
Total			1836	236

Fonte: O autor.

Já os imóveis residenciais na Tabela 38, apresentaram comportamento mais equilibrado, com expressiva quantidade de reduções do imposto nas faixas iniciais e

intermediárias. Esse resultado demonstra que a atualização cadastral e a nova modelagem tributária permitiram corrigir distorções históricas do cadastro imobiliário, adequando o valor do IPTU à efetiva valorização dos imóveis e à capacidade contributiva da população.

Tabela 38: Métricas de variação de IPTU para imóveis residenciais.

Faixas de Valores Venais		Métricas		
Limite Inferior	Limite Superior	Alíquota	Aumento	Diminuição
Mínimo	R\$ 80.000,00	0,18%	572	609
R\$ 80.000,00	R\$ 140.000,00	0,19%	1447	881
R\$ 140.000,00	R\$ 200.000,00	0,19%	1625	736
R\$ 200.000,00	R\$ 300.000,00	0,20%	2158	695
R\$ 300.000,00	R\$ 450.000,00	0,20%	1679	324
R\$ 450.000,00	R\$ 600.000,00	0,21%	1132	195
R\$ 600.000,00	R\$ 800.000,00	0,21%	563	42
R\$ 800.000,00	R\$ 1.200.000,00	0,22%	349	3
R\$ 1.200.000,00	Máximo	0,22%	153	3
Total			9678	3488

Fonte: O autor.

Nos imóveis não residenciais na Tabela 39, observa-se predominância de aumentos do IPTU, especialmente nas faixas superiores de valor venal, refletindo a maior capacidade contributiva das atividades comerciais, industriais e de prestação de serviços. Entretanto, a existência de imóveis com diminuição do imposto também evidencia o processo de correção das distorções tributárias anteriormente existentes.

Tabela 39: Métricas de variação de IPTU para imóveis não residenciais.

Faixas de Valores Venais		Métricas		
Limite Inferior	Limite Superior	Alíquota	Aumento	Diminuição
Mínimo	R\$ 80.000,00	0,23%	344	116
R\$ 80.000,00	R\$ 150.000,00	0,24%	470	82
R\$ 150.000,00	R\$ 350.000,00	0,28%	631	53
R\$ 350.000,00	R\$ 650.000,00	0,32%	336	21
R\$ 650.000,00	R\$ 1.200.000,00	0,34%	145	5
R\$ 1.200.000,00	Máximo	0,36%	108	1
Total			2034	278

Fonte: O autor.

Dessa forma, a coexistência de aumentos e reduções do IPTU reforça o princípio da justiça fiscal, segundo o qual contribuintes com imóveis de características semelhantes devem possuir tributação proporcionalmente equivalente, evitando tanto subtribuições quanto cobranças superiores ao valor considerado adequado tecnicamente.

Por fim, os resultados obtidos nesta pesquisa ultrapassaram o âmbito exclusivamente acadêmico e técnico, consolidando-se como instrumento efetivo de gestão tributária municipal. A metodologia desenvolvida foi incorporada à Lei Complementar nº 13, de 30 de setembro de 2025, aprovada pela Câmara Municipal de Bom Jesus do Itabapoana, que instituiu a metodologia progressiva de cálculo do IPTU, estabeleceu as novas alíquotas e aprovou a PGV desenvolvida neste trabalho.

Posteriormente ao desenvolvimento dos estudos e das simulações apresentados nesta pesquisa, a proposta de atualização da Planta Genérica de Valores e da metodologia de cálculo do IPTU foi incorporada à legislação municipal por meio da aprovação de Lei Complementar. Ressalta-se que a aprovação legislativa constitui um processo próprio da administração pública, condicionado não apenas a aspectos técnicos, mas também a fatores jurídicos, administrativos, institucionais e políticos. Dessa forma, sua aprovação não é utilizada nesta pesquisa como critério de validação da metodologia desenvolvida, cuja avaliação se fundamenta nos procedimentos técnicos, estatísticos e normativos apresentados ao longo do trabalho.

A incorporação da proposta à legislação municipal representa, contudo, um desdobramento adicional dos resultados da pesquisa, demonstrando a possibilidade de utilização prática dos estudos desenvolvidos no contexto da gestão tributária municipal. As modelagens estatísticas e geoestatísticas, a atualização dos valores imobiliários, a definição das tipologias construtivas e as simulações tributárias forneceram elementos técnicos que puderam subsidiar a discussão e a formulação da nova estrutura de avaliação e tributação imobiliária.

Assim, a posterior aprovação da Lei Complementar pode ser compreendida como um resultado complementar à pesquisa, sem constituir condição para comprovação de sua qualidade técnica. Independentemente do processo legislativo, o trabalho demonstra a possibilidade de integração entre Cadastro Territorial Multifinalitário, avaliação em massa de imóveis, modelagem estatística e geoestatística e simulação tributária, fornecendo uma estrutura metodológica aplicável à atualização da Planta Genérica de Valores e ao planejamento da tributação imobiliária municipal.

6 CONCLUSÃO

A presente dissertação teve como objetivo analisar e propor a atualização da (PGV do município de Bom Jesus do Itabapoana-RJ, contemplando a determinação dos VUT e dos VUE, a aplicação de técnicas de avaliação em massa de imóveis e a proposição de uma nova estrutura para o cálculo do Imposto sobre o IPTU. Para tanto, foram empregados procedimentos fundamentados na ABNT NBR 14653-2, em parâmetros recomendados pela IAAO, no Modelo Clássico de Regressão Linear e em técnicas geoestatísticas, buscando integrar avaliação imobiliária, análise espacial e tributação.

No que se refere aos terrenos, a investigação da formação e da distribuição espacial dos VUT permitiu identificar os diferentes padrões de valorização existentes no município e compreender a influência das características locacionais, urbanas e ambientais sobre o comportamento do mercado imobiliário. A delimitação das Zonas Homogêneas de Valor, associada à análise das amostras de mercado e das variáveis explicativas, possibilitou representar as particularidades espaciais da área urbana e estabelecer uma base para a modelagem dos valores unitários de terreno.

Para as edificações, a determinação dos VUE a partir dos custos de reprodução permitiu substituir valores anteriormente utilizados por referências fundamentadas nos custos da construção civil. A adoção do CUB/m² divulgado pelo SINDUSCON-Rio, em conjunto com os Projetos-Padrão estabelecidos pela ABNT NBR 12721:2006, possibilitou relacionar as características construtivas das edificações aos respectivos padrões e custos, considerando ainda os fatores de depreciação. Dessa forma, a atualização dos VUE complementou a avaliação dos terrenos e possibilitou uma determinação mais consistente dos valores venais dos imóveis.

Na etapa de avaliação em massa dos terrenos, os modelos desenvolvidos por meio do MCRL demonstraram capacidade para explicar parcela relevante da variabilidade dos valores imobiliários a partir das características consideradas na pesquisa. A análise dos pressupostos estatísticos, dos resíduos e dos indicadores de desempenho permitiu selecionar modelos representativos para as Zonas Homogêneas de Valor, evidenciando a aplicabilidade da regressão linear múltipla à avaliação em massa no município.

A incorporação da geoestatística, por sua vez, permitiu considerar explicitamente a dependência espacial presente nos dados imobiliários e complementar as estimativas produzidas pelo MCRL. A modelagem espacial dos resíduos possibilitou representar variações que não haviam sido integralmente explicadas pelas variáveis inseridas nos

modelos de regressão, contribuindo para o refinamento da superfície de valores e para a representação contínua da distribuição espacial dos VUT no território urbano.

A comparação entre os modelos evidenciou a contribuição da abordagem geoestatística para determinados indicadores de desempenho. Destaca-se, particularmente, a ZH01, na qual o Coeficiente de Dispersão (COD) foi reduzido de 36% no MCRL para 24% após a incorporação da componente espacial. Nos modelos geoestatísticos finais, todas as Zonas Homogêneas de Valor apresentaram COD inferior ao limite de 30% adotado na pesquisa. A avaliação conjunta dos resultados segundo os critérios da ABNT NBR 14653-2 e as métricas recomendadas pela IAAO forneceu suporte para a análise da precisão e da uniformidade das estimativas, permitindo identificar tanto as potencialidades quanto as limitações dos modelos desenvolvidos.

A integração dos VUT obtidos a partir da modelagem dos terrenos com os VUE determinados para as edificações possibilitou calcular novos valores venais para os imóveis cadastrados. Essa etapa evidenciou os efeitos que a atualização das componentes territorial e predial exerce sobre a base de valores imobiliários do município e forneceu os elementos necessários para a estruturação de uma proposta de atualização da PGV. Dessa forma, a pesquisa não se restringiu à obtenção de modelos de avaliação, avançando até a aplicação dos resultados à base cadastral e à análise de suas implicações tributárias.

A partir dos valores venais atualizados, foram desenvolvidos cenários de tributação do IPTU considerando as diferentes utilizações dos imóveis e uma estrutura de alíquotas progressivas por faixas de valor venal, associadas a parcelas dedutíveis. A utilização das parcelas dedutíveis permitiu estabelecer transições graduais entre as faixas, evitando que pequenas diferenças no valor venal provocassem alterações abruptas no imposto. A metodologia proposta possibilitou, portanto, analisar alternativas de tributação que articulassem progressividade, capacidade contributiva e necessidades arrecadatórias do município.

As simulações realizadas também permitiram avaliar os impactos tributários e arrecadatórios decorrentes dos diferentes cenários. Os resultados demonstraram que a atualização dos valores venais não implica necessariamente aumento uniforme do IPTU para todos os contribuintes, uma vez que seus efeitos dependem conjuntamente do novo valor venal, da utilização do imóvel, da faixa de enquadramento, da alíquota correspondente e da parcela dedutível. Foram identificadas situações de aumento, manutenção e redução do imposto, evidenciando a possibilidade de redistribuição da carga tributária entre os imóveis do município. Ao mesmo tempo, a análise dos cenários

permitiu mensurar seus efeitos sobre a arrecadação e avaliar alternativas capazes de compatibilizar os objetivos fiscais com uma distribuição mais gradual da tributação.

Em conjunto, os resultados demonstram a importância de tratar a atualização da PGV e a definição das alíquotas do IPTU como processos integrados. A qualidade da tributação imobiliária depende não apenas da definição das alíquotas, mas também da consistência do Cadastro Territorial Multifinalitário, da representatividade das amostras de mercado, da adequada determinação dos valores de terrenos e edificações e da avaliação dos efeitos decorrentes da aplicação da estrutura tributária proposta. Nesse sentido, a pesquisa evidencia a contribuição da integração entre dados cadastrais, geotecnologias, modelagem estatística e geoestatística para o aprimoramento da avaliação imobiliária municipal.

Como desdobramento posterior ao desenvolvimento dos estudos apresentados nesta dissertação, a proposta de atualização da PGV e da metodologia de cálculo do IPTU foi incorporada à legislação municipal por meio da Lei Complementar nº 13, de 30 de setembro de 2025. Ressalta-se, contudo, que a aprovação legislativa decorre de processo próprio, influenciado por aspectos técnicos, jurídicos, administrativos, institucionais e políticos, não constituindo, portanto, critério de validação científica da metodologia desenvolvida. Sua aprovação pode ser compreendida como um resultado complementar da pesquisa, ao demonstrar a possibilidade de utilização prática dos estudos e das simulações produzidos no âmbito da gestão tributária municipal.

Dessa forma, considera-se que os objetivos estabelecidos para esta pesquisa foram alcançados, abrangendo a investigação dos valores imobiliários, o desenvolvimento e a comparação dos modelos de avaliação, a atualização dos valores venais e a análise de diferentes cenários de tributação. A metodologia desenvolvida fornece uma estrutura integrada para subsidiar a atualização da PGV e a revisão do IPTU, fundamentando decisões tributárias em informações cadastrais, mercadológicas, espaciais e estatísticas.

Por fim, espera-se que os procedimentos e resultados apresentados possam contribuir como referência para municípios brasileiros que enfrentam desafios relacionados à desatualização das PGV e ao aprimoramento da tributação imobiliária. A integração entre Cadastro Territorial Multifinalitário, avaliação em massa, modelagem estatística, geoestatística e simulação tributária apresenta potencial para fortalecer a fundamentação técnica das políticas fiscais e subsidiar uma gestão territorial e tributária mais transparente e compatível com o mercado imobiliário local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AFONSO, José Roberto Rodrigues; ARAÚJO, Erika Amorim; NÓBREGA, Marcos Antônio Rios da. **IPTU no Brasil: um diagnóstico abrangente**. Brasília: Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2013.

ANSELIN, Luc. **Spatial econometrics: methods and models**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721:2006: avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-1: avaliação de bens – parte 1: procedimentos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-2: avaliação de bens – parte 2: imóveis urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ÁRIA INFORMÁTICA. INFER versão 32: manual de operações. Belo Horizonte, 2004.

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

AVERBECK, Carlos Eduardo; CESARE, Cláudia Maria de. Da avaliação de imóveis. In: CUNHA, Erba Maria Peres da; ERBA, Diego Alfonso. **Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros**: manual de apoio. Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

BAPTISTA, Ana Carolina. **Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa, erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo, RJ**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

BELO HORIZONTE (MG). Lei nº 11.618, de 28 de setembro de 2023. Dispõe sobre a atualização da Planta de Valores Genéricos e altera a legislação tributária relativa ao Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) do Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2023.

BOM JESUS DO ITABAPOANA (RJ). Lei nº 11, de 2 de dezembro de 1977. Institui o Código Tributário do Município de Bom Jesus do Itabapoana e dá outras providências. Bom Jesus do Itabapoana, 1977.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. Lei nº 4.591, de 16 de dezembro de 1964. Dispõe sobre o condomínio em edificações e as incorporações imobiliárias. Brasília, DF: Presidência da República, 1964. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4591.htm. Acesso em: 3 set. 2026.

BRASIL. Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966. Dispõe sobre o Sistema Tributário Nacional e institui normas gerais de direito tributário aplicáveis à União, aos Estados e aos Municípios. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 out. 1966.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001.

BRASIL. Ministério das Cidades. Portaria nº 511, de 7 de dezembro de 2009. **Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário nos municípios brasileiros**. Brasília: Ministério das Cidades, 2009.

BURROUGH, Peter A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. New York: Oxford University Press, 1987.

BURROUGH, Peter A.; McDONNELL, Rachael A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

CALIJURI, Maria Lúcia; ALVES, José Eduardo Diniz; BAPTISTA, Ana Carolina. **Sistema de Informações Geográficas aplicado ao planejamento ambiental**. Viçosa: Editora UFV, 2002.

CÂMARA, Gilberto; MEDEIROS, José Simeão de (org.). **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 1998.

CARRAZZA, Roque Antonio. Curso de direito constitucional tributário. 28. ed. São Paulo: Malheiros, 2012.

CESARE, Cláudia Maria de; CUNHA, Erba Maria Peres da. **Questões cadastrais: discussão, análise e identificação de soluções para problemas e casos práticos.** Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

CUNHA, Erba Maria Peres da; ERBA, Diego Alfonso. **Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros:** manual de apoio. Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

DALE, Peter F.; McLAUGHLIN, John D. Land administration. Oxford: Oxford University Press, 1999.

DANTAS, Rubens Alves. **Engenharia de avaliações: uma introdução à metodologia científica.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2005.

DANTAS, Rubens Augusto Alencar; PORTUGAL, José Luiz; PRADO, José Francisco. **Avaliação de cidades por inferência espacial: um estudo de caso para a cidade de Aracaju.** Fortaleza, 2007.

DE CESARE, Claudia M.; CUNHA, Egláisa Micheline Pontes. **Avaliação em massa de imóveis para fins fiscais: discussão, análise e identificação de soluções para problemas e casos práticos.** Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2012. 116 p.

DE CESARE, Claudia M.; FERNANDES, Cintia Estefania; CAVALCANTI, Carolina Baima (org.). **Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana – IPTU.** Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015.

DIGGLE, Peter J.; RIBEIRO JUNIOR, Paulo Justiniano. Model-based geostatistics. New York: Springer, 2007.

DUARTE, Daniel Camilo de Oliveira. **Análise multicritério e geoestatística aplicadas na avaliação em massa de imóveis urbanos.** 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

EASTMAN, J. Ronald. IDRISI for Windows: user's guide. Worcester: Clark University, 1997.

ERBA, Diego Alfonso. **Cadastro multifinalitário como instrumento da política fiscal e urbana**. Rio de Janeiro: Ministério das Cidades, 2005.

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

FARIA FILHO, Ricardo Ferreira Ferreira. **Modelos estatísticos para geração de planta de valores genéricos em áreas urbanas**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

FOTHERINGHAM, A. Stewart; BRUNSDON, Chris; CHARLTON, Martin. **Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships**. Chichester: Wiley, 2002.

FREIRE, A. E.; AGUIAR, R. O.; MEIRELES, S. D. Auditoria da planta de valores pelos Tribunais de Contas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS, 11., 2006, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Foz do Iguaçu: TCE-PR, 2006.

FYER, Chris. About the geometrical interval classification method. Redlands: ESRI, 2007.

HARADA, Kiyoshi. Direito financeiro e tributário. 26. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

IAAO. Standard on ratio studies. Kansas City, MO: International Association of Assessing Officers, 2013.

IMAPE. **Fundamentos de avaliações patrimoniais e perícias de engenharia**. São Paulo: Pini, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

JENKS, George F.; CASPALL, Fred C. Error on choroplethic maps: definition, measurement and reduction. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 61, n. 2, p. 217-244, 1971.

LANDIM, Paulo Milton Barbosa. Sobre geoestatística e mapas. *Terrae Didatica*, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LeSAGE, James P.; PACE, R. Kelley. Introduction to spatial econometrics. Boca Raton: CRC Press, 2009.

LI, Jin; HEAP, Andrew D. **A review of spatial interpolation methods for environmental scientists**. Canberra: Geoscience Australia, 2008.

LU, Guangquan; WONG, David W. S. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. Computers & Geosciences, v. 34, n. 9, p. 1044-1055, 2008.

MALCZEWSKI, Jacek. GIS and multicriteria decision analysis. New York: John Wiley & Sons, 1999.

OLIVEIRA, Dayanne Vieira de. **Modelagem de planta genérica de valores para a cidade de Monte Carmelo-MG**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2015.

SABBAG, Eduardo. Manual de direito tributário. 13. ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2021.

SÃO PAULO (SP). Lei nº 17.719, de 26 de novembro de 2021. Atualiza a Planta Genérica de Valores e dispõe sobre o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) no Município de São Paulo. São Paulo, 2022.

SILVA, Edson. **Cadastro Territorial Multifinalitário: base fundamental para avaliação em massa de imóveis**. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB/m²): metodologia de cálculo. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2007.

TEÓFILO, Jonas de Freitas. **Proposta metodológica para atualização do valor venal de edificações da Planta Genérica de Valores de Bom Despacho-MG**. 2022. Monografia (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.

TRIVELLONI, Carlos Alberto Pereira. **Método para determinação do valor da localização com uso de técnicas inferenciais e geoestatística na avaliação em massa**

de imóveis. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

UBERTI, Marlene Salete. **Avaliação em massa de imóveis rurais através da modelagem clássica, espacial e geoestatística.** 2016. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

UBERTI, Marlene Salete. **Mass appraisal of farmland using classical econometrics and spatial modeling.** Land Use Policy, v. 76, p. 532-542, 2018.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo Milton Barbosa. Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.