UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CURSO ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

EDUARDO DE MELO MIRANDA DA SILVA

Elaboração de uma Planta de Valores Genéricos com base em técnicas de geoestatística: Estudo de caso na RA-01 de Maceió – AL.

Rio Largo - AL

2025

EDUARDO DE MELO MIRANDA DA SILVA

Elaboração de uma Planta de Valores Genéricos com base em técnicas de geoestatística: Estudo de caso na RA-01 de Maceió – AL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia de Agrimensura.

Orientadora: Profa. Dra. Juciela Cristina dos Santos.

Rio Largo - AL

2025

Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

S586e Silva, Eduardo de Melo Miranda da.

Elaboração de uma planta de valores genéricos com base em técnicas de geoestatística: estudo de caso na RA-01 de Maceió – AL. / Eduardo de Melo Miranda da Silva. – 2025.

85 f.: il.

Orientador(a): Juciela Cristina dos Santos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura) – Graduação em Engenharia de Agrimensura, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Cadastro Tributário. 2. Planejamento e Gestão. 3. Avaliação de Terrenos. 4. Sensoriamento Remoto. 5. Krigagem Ordinária. I. Título.

CDU: 528.8

Folha de Aprovação

Eduardo de Melo Miranda da Silva

Elaboração de uma Planta de Valores Genéricos com base em técnicas de geoestatística: Estudo de caso na RA-01 de Maceió – AL.

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Aprovado em: 16 de maio de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
JUCIELA CRISTINA DOS SANTOS
Data: 28/05/2025 20:54:28-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Drª. Juciela Cristina dos Santos – UFAL (Orientadora)

Documento assinado digitalmente
gov.br
JHONATHAN GOMES DOS SANTOS
Data: 28/05/2025 21:03:45-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Jhonathan Gomes dos Santos – UFAL

Documento assinado digitalmente
gov.br
CAMILA RIBEIRO MIRANDA
Data: 26/05/2025 09:04:22-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

MSc. Camila Ribeiro Miranda - Externa

Dedicado a todos aqueles que
perdidos na vida buscam
um norte.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, devo agradecer Aquele que minha mãe sempre disse para agradecer em primeiro lugar, Deus.

Da mesma forma, agradecer minha mãe, Rita de Cassia, que trabalhou toda minha vida pra que minha única preocupação fosse estudar até eu estar pronto para caminhar sozinho. A mulher mais guerreira e cabeça dura que eu conheço, mas também, meu exemplo. *Obrigado, mãe*.

E tão importante quanto, a todos aqueles que fizeram parte dessa trajetória e tornaram meus dias (*muitas vezes*) caóticos, mais leves. Aos amigos, familiares, colegas e até a tia do café, a cada um eu sou grato por cada pequeno gesto que tornou a culminância deste ciclo possível. Entretanto, alguns merecem que eu agradeça diretamente.

Ao Eng. João Ribeiro (*Jão*), meu irmão que definitivamente é uma das melhores coisas da faculdade que eu quero levar para toda minha vida; por todos os anos que ninguém largou a mão de ninguém, os conselhos, as histórias vividas, o apoio para seguir em frente. *Obrigado por tornar esta caminhada mais leve.*

A Eng. Barbara Moura (*Baba*), uma das melhores pessoas que conheci e apesar não ter lá o melhor gosto para curso, definitivamente tem um dos melhores gostos musicais, além de ser uma amiga (*e companheira de café*) inestimável. Por cada sorriso dado, cada momento em que transformamos desgraças da faculdade em algo para rir, cada copo de café dividido *(dezenas??), eu te agradeço.*

E é claro, ao Eng. Gabryel Santos *(Byel)*, que encarou a louca jornada de mudança a capital ao meu lado e que mesmo tendo uma opinião *(um tanto forte, pesada, realista, pessimista, distorcida)* direta sobre a vida e as pessoas, é um sábio Mestre Yoda sobre como ser um bom profissional. *A todos os seus conselhos, Obrigado.*

Agradeço também a *(Bruxiela)* Juciela Cristina minha *(Des)*orientadora, mãe adotiva, coordenadora, professora, conselheira e companhia de café e fofocas *(mais fofocas que café, na verdade)* por toda a trajetória que esteve comigo, da sala de aula, ao trabalho de campo e escritório, e agora até este TCC. Jamais esquecerei de suas palavras, e vou considerar que estava sempre certa, afinal, engenheiro não erra, engenheiro se engana, não é?

Aos professores do Curso: Jhone que deu vários insights iniciais que ajudaram neste trabalho, *sou verdadeiramente grato por seus conselhos e histórias;* A Rafaela que infelizmente só vimos nos “conhecer” de verdade na reta final do curso, mas que sempre me ensinou muito com seu olhar crítico, *obrigado*; a Luciana, sempre com muito carinho foi uma figura materna que sempre se importou comigo, *obrigado*; a Ravi que sempre mesmo fora da sala de aula se dedicou a ensinar e mesmo sendo atormentado em pleno final de semana, tirava as dúvidas, e por cada versão trial compartilhada, *obrigado*; e logicamente, aquele que possui a maior infâmia dos professores, mas também é alguém com uma grande sabedoria disfarçada, Ayrton, anotei muitas de suas piadas, mas também seus ensinamentos, *Obrigado*.

A todos os companheiros da jornada: Vitória *(de quase inimiga a uma pessoa querida)*, Andrea *(juntos no surto desde o primeiro dia)*, Auana *(com cara de brava, mas sempre lá quando precisei de um café e fofoca)*, Nykolas *(que tem alma de 40 anos de um tiozão do pavê)*, Welvis *(melhor que muito engenheiro formado desde o 5º período)*, Bianca *(com seu coração de my little pony fumante)*, Sandy *(exemplo de corrida e canela lascada),* Iara *(eterna chefinha e rainha das patadas)*... e tantos outros, *eu sou grato*.

A todos do meu amado Laboratório de Regularização Fundiária, LA.R, que me ensinou tanto e meus queridos Juvenis que só me dão dor de cabeça, *obrigado*.

A equipe do Patrimônio e Avaliação da SEMURB, que me acolheu por anos, principalmente aos peritos avaliadores Edigar Cavalcante e Kevin Vasconcellos que me apoiaram e ajudaram na obtenção das amostras deste trabalho, *obrigado*.

Aos chefes que em seu tempo tornaram-se mentores profissionais e na vida, Magda Procópio, Bruna Rodrigues e Marcos Leite, *eu agradeço*.

Por fim, devo agradecer a mim mesmo, é claro. Seis longos anos indo de São Miguel à Maceió/Rio Largo, uma pandemia, uma greve, lágrimas, suor, sangue e principalmente, centenas de litros de café. Acredite, não foi fácil. Mas, eu cheguei até aqui, então *obrigado, eu mesmo*.

“ *Mesmo quando tudo pede um pouco*
mais de calma
Até quando o corpo pede um pouco
mais de alma
A vida não para. ”

(Lenine - Paciência)

RESUMO

A gestão territorial urbana demanda instrumentos que permitam avaliar de forma técnica e precisa os valores venais dos imóveis territoriais, com vistas ao planejamento urbano eficiente e à justiça fiscal. Nesse contexto, o uso de ferramentas de geoprocessamento e técnicas de interpolação geoestatística têm se mostrado fundamentais para a construção de plantas de valores mais representativas da realidade espacial das cidades. O presente trabalho teve como objetivo a construção de uma proposta metodológica para a elaboração de uma Planta de Valores Genéricos (PVG) utilizando técnica de geoestatística aplicada à Região Administrativa 01 (RA-01) da cidade de Maceió-AL. A metodologia envolveu a coleta e o tratamento de dados amostrais de terrenos, organizados em planilhas e posteriormente espacializados no ambiente QGIS. A análise geoestatística foi realizada com o método de krigagem ordinária, selecionado após a avaliação de dependência espacial significativa, escolha do modelo teórico de semivariograma e validação cruzada dos modelos para assegurar a confiabilidade dos valores interpolados. Os resultados mostraram que a interpolação gerou uma superfície contínua de valores do metro quadrado de terrenos urbanos, a qual foi aplicada a camadas vetoriais de vias e lotes, possibilitando a criação de uma PVG mais detalhada e aderente à realidade local. Foram observadas oscilações de valores em uma mesma via, atribuídas a fatores como localização específica, presença de equipamentos públicos, infraestrutura urbana e proximidade com pontos turísticos. Adicionalmente, o trabalho verificou a influência de fatores socioeconômicos, como a renda média dos bairros, na distribuição espacial dos valores fundiários. Essa análise destacou que áreas com maior poder aquisitivo tendem a apresentar terrenos mais valorizados, refletindo o impacto direto das condições socioeconômicas e da infraestrutura sobre o mercado imobiliário local.

Palavras-chave: Cadastro Tributário, Planejamento e Gestão, Avaliação de Terrenos, Krigagem Ordinária.

ABSTRACT

Urban territorial management demands instruments that enable technical and accurate assessment of property market values to ensure efficient urban planning and fiscal equity. In this context, the use of geoprocessing tools and geostatistical interpolation techniques has proven essential for creating value maps that better reflect the spatial reality of cities. This study aimed to develop a methodological proposal for creating a Generic Value Map (Planta de Valores Genéricos – PVG) using geostatistical techniques applied to Administrative Region 01 (RA-01) of Maceió, Brazil. The methodology involved collecting and processing land sample data, organizing them in spreadsheets, and spatializing them in a QGIS environment. The geostatistical analysis was performed using the ordinary kriging method, selected after confirming significant spatial dependence, choosing a theoretical semivariogram model, and conducting cross-validation to ensure reliability of the interpolated values. The interpolation generated a continuous surface of square meter land values, which was applied to vector layers of streets and plots, resulting in a more detailed and locally representative PVG. Value variations along the same street were observed and attributed to factors such as specific location, availability of public facilities, urban infrastructure, and proximity to tourist attractions. Additionally, the study examined the influence of socioeconomic factors, such as neighborhood average income, on the spatial distribution of land values. The analysis showed that higher-income areas tend to have more valuable land, highlighting the direct impact of socioeconomic conditions and infrastructure on the local real estate market.

Keywords: Land Registry, Urban Planning and Management, Land Valuation, Ordinary Kriging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Aspectos do cadastro....21
Figura 02: Parcela e objeto....22
Figura 03: Exemplo de carta cadastral....23
Figura 04: Esquema de um SIG....25
Figura 05: Representação de raster e vetor....25
Figura 06: Sistema e Software - SIG....26
Figura 07: Representação IPTU....28
Figura 08: Procedimentos da avaliação....30
Figura 09: Métodos de avaliação....31
Figura 10: Exemplo de PVG....33
Figura 11: Primeira lei da geografia....37
Figura 12: Semivariograma....38
Figura 13: Modelo de validação cruzada....43
Figura 14: Localização Maceió....46
Figura 15: Regiões Administrativas....47
Figura 16: Etapas metodológicas....48
Figura 17: Etapas krigagem....52
Figura 18: Tela de visualização SmartMap....53
Figura 19: Semivariograma SmartMap....54
Figura 20: Validação cruzada SmartMap....55
Figura 21: Base SIG....56
Figura 22: Localização e Expressividade das amostras....57
Figura 23: Índice de Moran e P.Value....58
Figura 24: Modelos Teóricos analisados para o conjunto amostral de dados do trabalho a) Linear; b) Linear com patamar; c) Exponencial; d) Esférico; e) Gaussiano....59
Figura 25: Validação Cruzada: a) Linear; b) Linear com patamar; c) Exponencial; d) Esférico; e) Gaussiano....61
Figura 26: Raster obtido da Interpolação do SmartMap....63
Figura 27: Interpolação do metro quadrado de terrenos RA01....64
Figura 28: Nível de certeza da interpolação....65
Figura 29: Estatísticas Zonais....66
Figura 30: Tabela PGV....67
Figura 31: PGV - RA01 (Por segmento de via)....68
Figura 32: Análise de logradouro - Álvaro Otacílio....69
Figura 33: Planilha PVG - Lotes....70
Figura 34: Distribuição dos valores pela base cartográfica....71
Figura 35: Análise de face de quadra....73
Figura 36: Calculadora IPCA....74
Figura 37: PVG x Renda Média (adaptada)....76
Figura 38: Matriz policromática....77
Figura 39: Análise de região PVG x Renda....78

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Modelos teóricos do semivariograma..... 40
Tabela 02: Fonte dos dados..... 50
Tabela 03: Estatística dos dados..... 52
Tabela 04: Resultados Modelos (R^2 e RD)..... 61
Tabela 05: Resultados Validação Cruzada (R^2 e RMSE)..... 63
Tabela 06: Valores da modelagem modelo Gaussiano..... 63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CTM – Cadastro Territorial Multifinalitário

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EPSG – European Petroleum Survey Group

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW – Inverse Distance Weighting

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

IPLAN – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Maceió

IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano

ITBI – Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis

ITR – Imposto Territorial Rural

m² – Metro Quadrado

Moran I. – Índice de Moran

P. Value – Valor P.

PMM – Prefeitura Municipal de Maceió

PVG – Planta de Valores Genéricos

QGIS – Quantum GIS

RA – Região Administrativa

RD – Razão de Dependência Espacial

REMQ – Raiz do Erro Médio Quadrático

RMSE – Root Mean Square Error

R^2 – Coeficiente de Determinação

SEMURB – Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SIRGAS – Sistema de Referência Geodésico para as Américas

UTM – Universal Transverse Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 15
1.1 Objetivo geral:.....17
1.1.2 Objetivos Específicos:.....17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....18
2.1 Acerca de planejamento e gestão urbana..... 18
2.2 Do Cadastro Territorial e Sistema de Informação Geográfica..... 20
2.2.1 O Cadastro Territorial Multifinalitário.....21
2.2.2 Parcela e objeto territorial.....23
2.2.3 Carta cadastral e base cartográfica.....24
2.2.4 Sistemas de Informações Geográficas - SIG.....25
2.2.4.1 Qgis.....28
2.2.5 Cadastro e Tributação.....28
2.3 Avaliação de Imóveis.....30
2.4 Planta de Valores Genéricos - PVG.....33
2.5 Geoestatística.....35
2.5.1 Métodos de interpolação espacial..... 36
2.5.2 Ordinary Kriging (Krigagem Ordinária) e dependência espacial.....37
2.5.3 Semivariograma e modelos teóricos.....38
2.5.4 Parâmetros de validação..... 41
2.5.4.1 Índice de Moran (Moran I.).....41
2.5.4.2 Valor P. (P. Value).....42
2.5.4.3 Razão de dependência espacial (RD)..... 42
2.5.4.4 Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) ou Root Mean Square Error (RMSE)..... 43
2.5.4.5 Coeficiente de Determinação (R^2).....43
2.5.4.6 Validação Cruzada (Cross-Validation)..... 43
2.6 Contextualização da temática na área de estudo.....44
3. METODOLOGIA.....49
3.1 Aquisição dos dados.....50
3.2 Tratamento dos dados.....51
3.3 Análise Geoestatística.....52
3.4 Descrição da distribuição espacial do valor da terra..... 56
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....57
4.1 Distribuição Amostral.....57
4.2 Validação Geoestatística..... 59
4.3 Análise da Planta de Valores Genéricos - RA-01..... 67
5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....80
REFERÊNCIAS..... 82

1 INTRODUÇÃO

Para garantir o desenvolvimento sustentável e organizado nas cidades, têm-se o planejamento e a gestão urbana como atividades de vital importância, considerando o crescimento da população, necessidade de infraestrutura, habitação, mobilidade e serviços públicos. Segundo Marcelo Souza (2002), professor e geógrafo da UFRJ, existe uma linha tênue entre planejamento e gestão, a qual “Planejar” está indicando o futuro, englobando todo um contexto de sapiência e antecipação de problemas e desenvolvimento urbano, enquanto “Gerir” visa o presente, numa gama de menor escala, para gerenciar o agora.

Devido à necessidade de Planejar e Gerir, as prefeituras necessitam de subsistência financeira. Miranda (2019) ressalta que elas têm o dever de arrecadar impostos sob o território municipal, com seguridade e justiça prevista na Lei de Responsabilidade Fiscal (Lei Complementar nº 101, de 04/05/2000) devendo então: “planejar o desenvolvimento, gerir os recursos e garantir o equilíbrio orçamentário, de modo que atendam as demandas sociais e a insuficiência de recursos fiscais seja cessada”.

Para tal, faz-se necessário que a cidade utilize do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) como ferramenta de inventário oficial e sistemático das propriedades do município, servindo como base para o planejamento urbano e regional, tomada de decisões, desenvolvimento sustentável, fiscalização, cobrança de tributos, dentre outros, visto na Portaria do Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) nº 3.242, de 9 de novembro de 2022, que atualiza a Portaria Ministerial 511/2009 (Brasil, 2022).

Associado ao CTM, tem-se a importância de um documento cartográfico que auxilie nas políticas de planejamento urbano de maneira que garanta o desenvolvimento com justiça fiscal e social (Dalaqua et al., 2010), tem-se então a Planta Valores Genéricos (PVG). A PVG é um produto descritivo cartográfico com uma característica que permite associar um único valor à uma parcela, podendo identificar as variações de valores dentro de uma mesma área (Dantas et al., 2007).

Então, a partir desse pressuposto, observa-se que quando o Cadastro é aplicado a uma PVG de um município, nasce a possibilidade de utilizá-la como base para a arrecadação tributária justa servindo como base de cálculo do Imposto

Predial e Territorial Urbano (IPTU) e o Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis (ITBI) com base em legislações, além do valor venal de imóveis (Paiva e Antunes, 2017).

Concomitantemente, é preciso que exista uma acurácia na avaliação dos valores unitários do imóvel, para que então seja possível confiar na cobrança do sistema garantindo a transparência fiscal e permitindo que a população compreenda a sua relevância para o desenvolvimento municipal.

Silva (2006), diz que o Cadastro Territorial Multifinalitário constitui uma ferramenta fundamental para a avaliação em massa de imóveis, com foco na determinação de valores de propriedade, promovendo maior qualidade e transparência em temas como tributação imobiliária e atendendo à necessidade de modernizar os processos fiscais municipais.

Segundo a NBR 14653-1 (2019) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que expressa os procedimentos gerais para a avaliação de bens, o valor de mercado do imóvel é: “quantia mais provável pela qual se negociaria voluntária e conscientemente um bem, em uma data de referência, dentro das condições do mercado vigente.” (ABNT, 2019, pg. 19).

Existe na literatura sobre avaliação imobiliária, duas correntes predominantes para o tratamento espacial de dados de mercado: as técnicas de econometria espacial, como os modelos de regressão e as técnicas geoestatísticas, que incluem a aplicação de krigagem ordinária (*ordinary kriging*) e o desenvolvimento de semivariogramas (Bandeira, 2019).

Diante desse contexto, este trabalho visa analisar espacialmente a distribuição dos valores da terra, usando métodos de interpolação geoestatística, aliados à análise de dados socioeconômicos, para gerar uma superfície especializada de valores de terrenos urbanos, que possa integrar a aplicação na elaboração de uma Planta de Valores Genéricos (PVG) e posteriormente a análise da localização e fatores socioeconômicos na valoração dos terrenos.

1.1 Objetivo geral:

Desenvolver uma análise espacial dos valores de terrenos urbanos por meio da aplicação de técnicas de geoestatística, integradas a Sistemas de Informações Geográficas (SIG), com base na estruturação de uma Planta de Valores Genéricos (PVG).

1.1.2 Objetivos Específicos:

1. Estruturar uma base de dados georreferenciada, contendo informações sobre valor de imóveis territoriais urbanos, adequada à análise espacial.
2. Utilizar o método de krigagem ordinária para análise dos dados amostrados, avaliando sua dependência espacial e posterior aplicabilidade para construção de uma PVG.
3. Analisar a PVG gerada por meio da interpolação geoestatística, integrando as informações obtidas à base vetorial de vias e lotes para aplicação em camadas temáticas.
4. Avaliar as variações espaciais de valores dentro de uma mesma região e verificar a influência de fatores socioeconômicos na distribuição dos valores da terra.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Acerca de planejamento e gestão urbana

O planejamento e a gestão urbana são instrumentos essenciais para o desenvolvimento equilibrado e sustentável das cidades. Sousa (2002) aborda que o planejamento urbano atua no futuro, como um processo estratégico que visa organizar o crescimento da cidade por meio da definição de diretrizes para o uso e ocupação do solo, infraestrutura, mobilidade e habitação. A gestão, por sua vez, entra como um complemento do planejamento, voltada à execução e controle dessas diretrizes, garantindo que as políticas públicas implementadas estejam alinhadas às necessidades da população e às características territoriais. Sob esta perspectiva, planejamento e gestão são temporalmente distintos, mas seus objetivos são complementares.

A partir de meados do século XX, com o avanço do processo de urbanização, tornou-se evidente a necessidade de políticas públicas voltadas ao ordenamento territorial e à superação dos problemas urbanos, como a segregação socioespacial, o crescimento desordenado e a precariedade nos serviços urbanos. Essas políticas passaram a incorporar instrumentos de planejamento que visam estruturar o crescimento das cidades de forma mais racional e socialmente justa (Coriolano, Rodrigues e Oliveira, 2013).

Fundamentado nos artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, assim como na Lei Federal nº 10.257 de 2001, o Estatuto da Cidade, estão estabelecidos o que seria o marco mais significativo das Políticas de Desenvolvimento Urbano que estabelece instrumentos essenciais da política urbana municipal, visando ordenar o uso do solo urbano e garantir o bem-estar da população (Mendes, Fontes e Magagnin, 2021).

Segundo o Estatuto da Cidade (Brasil, 2001) elencam-se instrumentos de Planejamento e Gestão urbana, por exemplo:

I. Plano Diretor: Documento básico da política urbana municipal, obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes, em áreas metropolitanas ou com impacto ambiental/turístico relevante.

II. Zoneamento urbano: Define o uso e ocupação do solo: áreas residenciais, comerciais, industriais, mistas etc.
III. Parcelamento, edificação ou utilização compulsórios: Proprietários de terrenos ociosos devem construir ou utilizar o imóvel conforme o interesse público.
IV. IPTU progressivo no tempo: Aumento gradual da alíquota do IPTU para desestimular a especulação e o abandono de imóveis.
V. Desapropriação com pagamento em títulos da dívida pública: Utilizada após o não cumprimento das obrigações de uso adequado do imóvel.
VI. Direito de preempção: Dá ao município o direito de preferência na compra de determinados imóveis.
VII. Direito de superfície: Autoriza o uso do solo urbano por terceiros sem transferir a propriedade, útil em projetos de habitação social, por exemplo.
VIII. Concessão de uso especial para fins de moradia: Garante o direito à moradia a pessoas que ocupam áreas públicas há pelo menos 5 anos e utilizam como moradia.
IX. Usucapião especial urbano: Aquisição de propriedade de imóvel urbano de até 250m² por quem o utiliza para moradia há pelo menos 5 anos de forma contínua, pacífica e sem oposição.
X. Audiências e consultas públicas: Convocadas para discutir planos, projetos e leis urbanísticas e coleta de opiniões da população sobre políticas ou propostas urbanas.

Contudo, apesar dos avanços normativos, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos na implementação dessas políticas, seja pela limitação de recursos, pela fragmentação da gestão ou pela falta de articulação entre os diferentes entes federativos. Nas palavras de França (2021):

> *Além de captação de recursos para investimentos no desenvolvimento urbano, os gestores públicos necessitam de equipe técnica para aplicação dos instrumentos urbanísticos e jurídicos no desenvolvimento espacial. Isso envolve um planejamento urbano integrado econômico e territorialmente, sobretudo, nas escalas municipal e federal* (França, 2021, pág. 07)

A prática do planejamento e da gestão urbana deve ser, antes de tudo, política, crítica e sensível às realidades e singularidades dos territórios nos quais se insere. Isso significa compreender que tais processos só podem se concretizar de forma efetiva em contextos democráticos, participativos e coletivos, nos quais haja diálogo constante e significativo entre o poder público e a sociedade civil. Mais do que a simples aplicação de recursos técnicos, normas legais e instrumentos urbanísticos, o planejamento urbano deve ser pensado dentro de uma perspectiva mais ampla, que considere a totalidade das dinâmicas sociais, econômicas e políticas envolvidas (Baeninger, 2010; França, 2021). Só haverá transformação concreta se o planejamento e a gestão forem feitos “com”, e não apenas “para”, a sociedade.

2.2 Do Cadastro Territorial e Sistema de Informação Geográfica

Compreendido como instrumento técnico-administrativo, o cadastro territorial compõe-se como um inventário público, sistematicamente estruturado, que reúne informações detalhadas sobre as propriedades localizadas em um determinado país, região ou município. Segundo Bar (1997), esse inventário é fundamentado no levantamento preciso dos limites territoriais das parcelas e registra, por meio de assentos individuais, dados documentados sobre as características físicas, jurídicas e econômicas de cada imóvel.

Em contextos urbanos cada vez mais complexos, o cadastro surge como uma ferramenta estratégica para compreender e gerir o território. Organizando informações de uma propriedade, ele oferece suporte técnico às políticas públicas e viabiliza o controle sobre as dinâmicas espaciais ao longo do tempo (Loch, 1993). Tais informações, organizadas e georreferenciadas, são essenciais para o ordenamento territorial e constituem uma base estratégica para o planejamento urbano e a gestão eficiente do território.

A informação cadastral é uma base essencial para a gestão dos recursos territoriais, pois oferece dados precisos sobre as propriedades, seu entorno e seus vínculos com as pessoas. Sem ela, é inviável desenvolver políticas sustentáveis e planejamentos eficazes.

2.2.1 O Cadastro Territorial Multifinalitário

Tradicionalmente, associa-se o cadastro para finalidade de atividades fiscais, devido a interesses municipais na arrecadação de tributos. Todavia, muito além disso, ele desempenha um papel extrafiscal para a efetivação do princípio da função social da propriedade, segundo a Constituição Federal de 1988, assegurando que todos os imóveis, sejam eles rurais ou urbanos, cumpram seu papel social ao garantir o direito à moradia e ao uso adequado do solo.

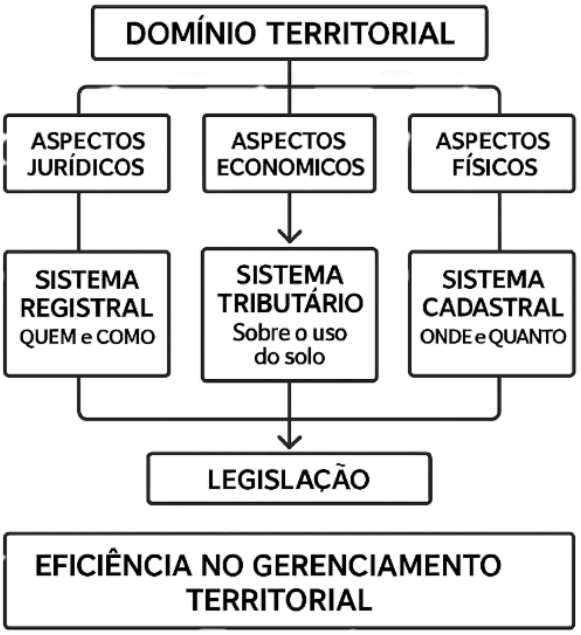
Expressa-se na Portaria nº 511, emitida em 7 de dezembro de 2009 pelo Ministério das Cidades, diretrizes para a criação e atualização do CTM nos municípios. Posteriormente em 9 de novembro de 2022, foi publicada a Portaria nº 3.242, revogando a anterior, onde foram aprimoradas as diretrizes para a criação, instituição e atualização do CTM nos municípios brasileiros, com um enfoque mais estruturado, técnico e normativo (Brasil, 2022)

Segundo o Agrimensor Diego Alfonso Erba (2005), o cadastro pode ser classificado com base em suas funções e aspectos (Figura 01):

I. Cadastro Fiscal: O Cadastro Fiscal é o tipo mais tradicional e amplamente utilizado pelos municípios brasileiros. Seu principal objetivo é fornecer a base de dados necessária à arrecadação de tributos, como o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), no meio urbano, e o Imposto Territorial Rural (ITR), no meio rural. Para isso, reúne informações como a localização do imóvel, área, uso do solo, tipo de edificação, valor venal e outros atributos que influenciam no cálculo do imposto.
II. Cadastro Jurídico: baseia-se na análise da regularidade fundiária, emissão de títulos e apoio a ações de regularização, sendo complementar ao registro de imóveis.
III. Cadastro Multifinalitário (Rural e Urbano): CTM (Cadastro Territorial Multifinalitário) é definido como um sistema de informação territorial que organiza, de forma georreferenciada e integrada, dados físicos, jurídicos, econômicos, sociais e ambientais dos imóveis, servindo a múltiplas finalidades: tributação, planejamento urbano, gestão ambiental, infraestrutura, regularização fundiária, habitação,

mobilidade, entre outras, e devido a sua multifinalidade, atende simultaneamente a diferentes setores da administração pública.

Figura 01: Aspectos do cadastro



Fonte: Adaptado de Brandão, 2003

Com o advento da tecnologia, banco de dados analógicos tornaram-se obsoletos e sistemas digitais tornaram-se mais práticos de se interpretar e atualizar os cadastros. Não obstante, a realidade traz um cenário que muitos municípios brasileiros enfrentam diversos empecilhos para a implementação de um sistema cadastral eficiente. Entre os principais problemas estão a ausência ou desatualização das bases cartográficas, dados inconsistentes, carência de profissionais qualificados e a imprecisão das informações dos imóveis nos registros (Oliani, 2016). Outro fator agravante é a falta de integração entre os interesses jurídicos e administrativos e da articulação do cadastro com o registro de imóveis.

Como é apontado por Miranda (2018):

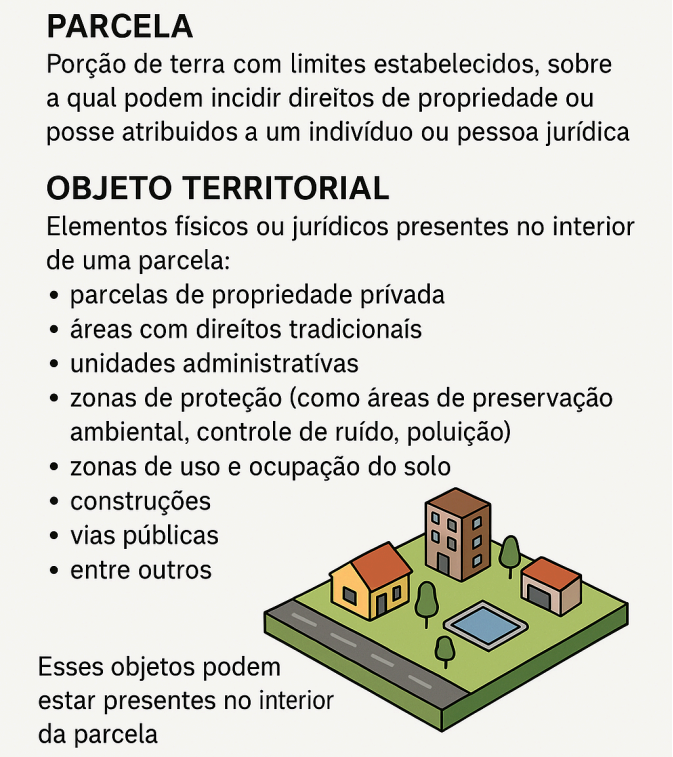
> *É de suma importância que o cadastro municipal se mantenha atualizado e "converse" com os demais existentes. Apesar do cadastro urbano ser de responsabilidade municipal, muitas cidades ainda não despertaram para tamanha importância do*

> *mesmo e dos benefícios que o cadastro pode trazer para o desenvolvimento urbano* (Miranda, 2018, pág. 21).

2.2.2. Parcela e objeto territorial

Um cadastro abrangente deve conter informações detalhadas sobre todas as parcelas que compõem determinado imóvel. A parcela é definida como uma porção de terra com limites estabelecidos, sobre a qual podem incidir direitos de propriedade ou posse, atribuídos a um indivíduo ou pessoa jurídica (Antunes, 2017).

Figura 02: Parcela e objeto



Fonte: Adaptado de Antunes, 2017

Associado à parcela, pode-se identificar o objeto territorial, conforme Figura 02, que representa os elementos físicos ou jurídicos presentes em seu interior. Entre os exemplos de objetos territoriais, destacam-se: parcelas de propriedade privada, áreas com direitos tradicionais, unidades administrativas, zonas de proteção (como áreas de preservação ambiental, controle de ruído ou poluição), zonas de uso e ocupação do solo, construções, vias públicas, entre outros. Esses objetos territoriais podem estar integralmente contidos dentro dos limites de uma parcela, como ocorre com casas, edifícios, piscinas, quadras e edículas.

2.2.3. Carta cadastral e base cartográfica

Expressa-se, conforme Oliveira (2010), que uma carta cadastral é uma representação cartográfica elaborada a partir do levantamento sistemático das parcelas territoriais de um município, onde demonstra um alto nível de detalhamento. Essa carta deve incluir os elementos físicos e naturais que compõem o CTM, como edificações, vias, áreas verdes, cursos d'água, entre outros, visto na Figura 03.

Figura 03: Exemplo de carta cadastral



Fonte: Autor, 2025

Um dos elementos mais importantes dessa representação é a estrutura fundiária municipal: ou seja, como o solo urbano está dividido entre diferentes posses e propriedades. Cada parcela representada na carta deve possuir um código único de identificação cadastral, que facilita a conexão entre a base cartográfica e outras fontes de informação como o Cartório de Registro de Imóveis, a Secretaria da Fazenda ou cadastros ambientais.

Em concordância com o Capítulo III, artigos 11º ao 13º, da Portaria nº 3.242 de 2022, para garantir a identificação precisa das parcelas territoriais, o levantamento cadastral deve ser obrigatoriamente referenciado ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Isso significa que a posição de cada parcela deve estar

localizada dentro de um sistema único e padronizado, permitindo que sua localização seja inequívoca, confiável e compatível com outras bases de dados. Contudo, para fins de gestão local, os municípios podem desenvolver suas próprias Redes de Referência Cadastral, desde que essas redes estejam vinculadas a marcos homologados pelo IBGE. Isso permite uma adaptação às necessidades municipais sem comprometer a compatibilidade com os padrões nacionais.

A base cartográfica tem então, como principal função fornecer uma descrição gráfica detalhada do território, por meio da delimitação das parcelas, sendo um instrumento essencial para caracterizar juridicamente a posse e a propriedade da terra (Gomes, 2019). Por isso, ela se torna uma base técnica indispensável para o planejamento urbano, a gestão territorial e a definição de políticas públicas municipais.

2.2.4 Sistemas de Informações Geográficas - SIG

A relação entre o SIG e o cadastro é direta e essencial, fornecendo ferramentas tecnológicas capazes de integrar, visualizar e analisar informações espaciais, o que fortalece uma gestão pública mais eficiente e estratégica.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma das principais ferramentas das geotecnologias aplicadas ao geoprocessamento. Segundo autores mais clássicos da literatura como Câmara e Davis (2004), o geoprocessamento corresponde ao conjunto de técnicas matemáticas e computacionais voltadas ao tratamento e análise de informações geográficas, vide figura 04. Essas tecnologias vêm transformando significativamente diversas áreas do conhecimento e da gestão, como a Cartografia, o Planejamento Urbano e Regional, a Gestão de Recursos Naturais, os Transportes, as Comunicações e até mesmo os setores de Energia e Meio Ambiente. Ao permitir a visualização espacial, cruzamento de dados e simulações territoriais, o SIG tornou-se um instrumento estratégico para a tomada de decisões em políticas públicas, gestão municipal, infraestrutura urbana e desenvolvimento sustentável.

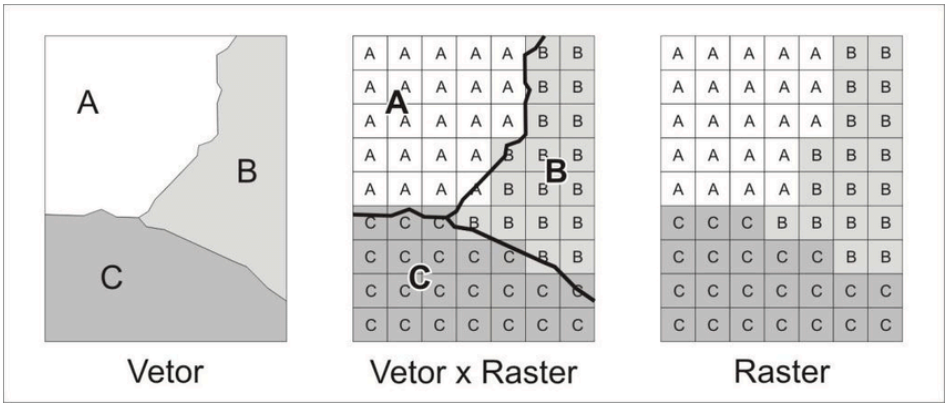
Figura 04: Esquema de um SIG



Fonte: Autor, 2025

Nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que utilizam estrutura vetorial, os dados espaciais são representados por coordenadas x e y. Pontos são definidos por um par de coordenadas, linhas por uma sequência ordenada de coordenadas e polígonos por conjuntos fechados de coordenadas formando áreas. Essa abordagem é eficiente na representação de elementos geográficos com limites bem definidos, como estradas, rios e lotes urbanos. No entanto, seu desempenho é limitado quando se trata de fenômenos contínuos, como variações topográficas ou distribuição de tipos de solo, para os quais o modelo raster é mais apropriado vide Figura 05).

Figura 05: Representação de raster e vetor



Fonte: Adaptado de Câmara e Monteiro (2001)

O termo SIG (Sistema de Informações Geográficas) pode ser compreendido de duas formas distintas (Figura 06), dependendo do contexto em que é utilizado:

- SIG como sistema aplicado: Refere-se à implementação prática de um SIG, envolvendo a integração de equipamentos, dados geográficos, softwares especializados, recursos humanos capacitados e métodos técnicos. Nessa concepção, o SIG é utilizado para resolver problemas reais ligados ao território como o planejamento urbano, a gestão ambiental, a regularização fundiária ou o cadastro territorial.
- SIG como software: Neste caso, o termo se refere a programas computacionais específicos, desenvolvidos para manipular e analisar dados espaciais. Alguns exemplos populares são o QGIS (software livre) e o ArcGIS (software pago). Esses programas oferecem ferramentas para edição de mapas, criação de camadas temáticas, análises espaciais, georreferenciamento, entre outras funcionalidades.

Figura 06: Sistema e Software - SIG



Fonte: Autor, 2025

Ambas as interpretações são complementares: o software SIG é a ferramenta essencial dentro da aplicação prática de um SIG completo, que envolve toda uma infraestrutura organizacional e tecnológica voltada à gestão geoespacial.

2.2.4.1 Qgis

O QGIS é um software livre de código aberto voltado ao uso em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), amplamente utilizado por profissionais, pesquisadores e estudantes que atuam com a análise e a gestão do espaço geográfico. Trata-se de uma ferramenta que possibilita a visualização, edição, análise, gerenciamento de dados geoespaciais e a composição de mapas temáticos (QGIS, 2025).

Por meio de uma comunidade ativa de desenvolvedores e usuários, o QGIS promove o compartilhamento de ferramentas e modelos de processamento espacial, o que amplia suas possibilidades de aplicação em estudos urbanos, ambientais, rurais e de infraestrutura, consolidando-se como uma importante plataforma de apoio à tomada de decisão baseada em informações geográficas.

2.2.5 Cadastro e Tributação

Entende-se que os municípios, no exercício de sua autonomia tributária, passaram a criar e manter cadastros de imóveis e de seus respectivos proprietários, essencialmente para fins de tributação, por meio do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) e do Imposto sobre Transmissão de Bens Imóveis (ITBI) que são parte de sua receita (Rúbio, 2012). Devido a isso passaram a investir em cadastros com a finalidade principal de aumentar a arrecadação de tributos, muitas vezes limitando sua utilização a esse único aspecto.

Nas palavras de Afonso, Araujo e Nóbrega (2013):

> *O IPTU é um tributo tipicamente local, que onera os proprietários de imóveis localizados na área urbana do município. Sua base de cálculo é o valor venal do imóvel, que é o resultado do somatório do valor do terreno com o valor atribuído à edificação. Para determinação dessa base, o administrador municipal estima o preço provável do imóvel nas condições de mercado, tendo em vista os atributos registrados no cadastro imobiliário da prefeitura. O montante devido do imposto é apurado mediante a aplicação de uma alíquota ao*

valor venal do imóvel (Afonso, Araujo e Nóbrega, 2013, pág. 20).

Segundo a Constituição Federal de 1988, contém instrumentos que permitem a cobrança do IPTU de acordo com o princípio da progressividade fiscal, em que os impostos devem aumentar à medida que a renda ou riqueza dos contribuintes aumenta, de forma a promover justiça tributária.

Nesse pressuposto, as propriedades localizadas em áreas valorizadas da cidade, especialmente aquelas com infraestrutura urbana plenamente desenvolvida, estejam sujeitas a uma maior cobrança do IPTU, sob o princípio de redistribuição de recursos em que imóveis situados em regiões com melhor infraestrutura e maior valor de mercado devem contribuir mais significativamente para os cofres públicos. Em contrapartida, os recursos arrecadados com esse modelo tributário mais progressivo devem ser utilizados pelo poder público para intervir em áreas urbanas menos favorecidas, promovendo a expansão ou a melhoria da qualidade dos serviços essenciais, como saneamento básico, mobilidade urbana, iluminação e pavimentação, conforme Figura 07.

Figura 07: Representação IPTU



Fonte: Autor, 2025

Como parte da receita de tributação municipal, tem-se também o ITBI que segundo De Cesare (2005) é um tributo municipal que incide sobre as transações onerosas que envolvem a transferência da propriedade de imóveis como, por exemplo, a compra e venda de casas, apartamentos, terrenos ou salas comerciais.

Ainda de acordo com a autora, a base de cálculo do ITBI é o valor de mercado do imóvel no momento da transação, que pode ser declarado pelo contribuinte ou avaliado pela administração pública municipal, com base em critérios técnicos ou tabelas de referência (geralmente entre 2% e 3% do valor da venda).

No meio disso, é comum que alguns contribuintes tentem subdeclarar o valor real da transação imobiliária com o objetivo de reduzir o valor do ITBI a ser pago. Essa prática, embora irregular, ainda ocorre em diversos municípios, especialmente onde a fiscalização é deficiente ou inexistente (Afonso, Araujo e Nóbrega, 2013). Para evitar essa situação, as prefeituras precisam ter equipes capazes de avaliar corretamente o valor venal dos imóveis segundo os preços de mercado.

É importante diferenciar o valor venal do valor de mercado de um imóvel, pois embora ambos estejam relacionados à sua estimativa monetária, têm finalidades distintas e são calculados com base em critérios diferentes (Anjos e Antunes, 2015), em que:

- O valor de mercado corresponde ao preço pelo qual um imóvel pode ser negociado livremente entre compradores e vendedores, estando sujeito a variações de oferta e demanda, localização, momento econômico e condições específicas do bem. Por isso, esse valor pode flutuar significativamente em curtos períodos, especialmente em regiões urbanas com alta valorização imobiliária.
- O valor venal é uma estimativa mais estável e padronizada dependente das informações contidas no banco de dados do cadastro territorial, da valorização da região e de suas características.

O valor venal é geralmente inferior ao valor do imóvel, e calculado com base em critérios técnicos definidos pelos municípios.

2.3 Avaliação de Imóveis

Embora frequentemente utilizados como sinônimos no cotidiano, preço e valor são conceitos distintos no campo da economia e da gestão pública. O valor está relacionado à “percepção subjetiva” que um indivíduo atribui a um bem ou serviço, ou seja, quanto ele está disposto a pagar, com base em necessidades, desejos, expectativas e condições pessoais. Já o preço é um dado “objetivo e quantificável”,

que representa o quanto realmente será o custo monetário efetivo de um bem ou produto (Barnuevo, 2015).

Fundamentado na Norma Brasileira da ABNT, a NBR 14.653-2/2011 dá as diretrizes de avaliação de imóveis para fins urbanos o valor de mercado é definido como a estimativa do valor pelo qual um imóvel seria negociado em uma transação à vista, entre partes livres, informadas e dispostas, em uma data de referência específica, considerando as condições normais de mercado vigentes naquele momento, nos procedimentos da Figura 08.

Figura 08: Procedimentos da avaliação



Fonte: Autor, 2025

Ainda segundo a Norma, que trata da avaliação de imóveis urbanos, os métodos mais utilizados (principalmente para terrenos) elencam-se:

- Método Comparativo Direto de Dados de Mercado: Baseia-se na comparação entre o imóvel a ser avaliado e outros imóveis semelhantes (testemunhos) que foram recentemente negociados no mercado. Os testemunhos podem se basear em sites de venda de imóveis, corretores de imóveis ou até dos próprios proprietários.

- Método da Renda (ou Capitalização da Renda): Indicado quando o terreno gera receita, como no caso de aluguéis de estacionamentos, feiras ou concessões temporárias. A ideia é transformar o valor da renda futura em valor presente, utilizando uma taxa de capitalização.
- Método da Quantificação do Custo (ou Método do Custo): Método mais comum na avaliação de edificações, mas pode ser aplicado a terrenos em loteamentos recentes ou urbanizações planejadas, considerando o custo de urbanização, mais o valor do terreno nu.
- Método Involutivo (ou Método Residual): Utilizado principalmente para terrenos com potencial de incorporação imobiliária. O valor do terreno é estimado subtraindo-se os custos de construção, encargos e lucro da receita final esperada da venda do empreendimento.

Figura 09: Métodos de avaliação



Fonte: Autor, 2025

Em concordância a Bandeira (2019), determinar com exatidão o valor de mercado de um bem sem que a transação comercial de fato ocorra é uma tarefa extremamente complexa em muitos casos devido à natureza dinâmica e subjetiva do mercado imobiliário, influenciado por inúmeros fatores econômicos, sociais e territoriais. Neste aspecto, a prática da avaliação exige a aplicação de técnicas

estatísticas e metodologias comparativas, com o objetivo de reduzir ao máximo a diferença entre o valor estimado e o valor que seria efetivamente praticado em uma negociação real.

2.4 Planta de Valores Genéricos - PVG

Diante da inviabilidade técnica e operacional de se avaliar individualmente cada imóvel de uma cidade, especialmente em grandes centros urbanos, os municípios adotam como alternativa a avaliação em massa, com o objetivo de estimar os valores venais dos terrenos de forma padronizada. Esse processo é formalizado por meio da Planta de Valores Genéricos (PVG), também conhecida como Planta Genérica de Valores (PGV) (Antunes, 2017). Segundo o Autor:

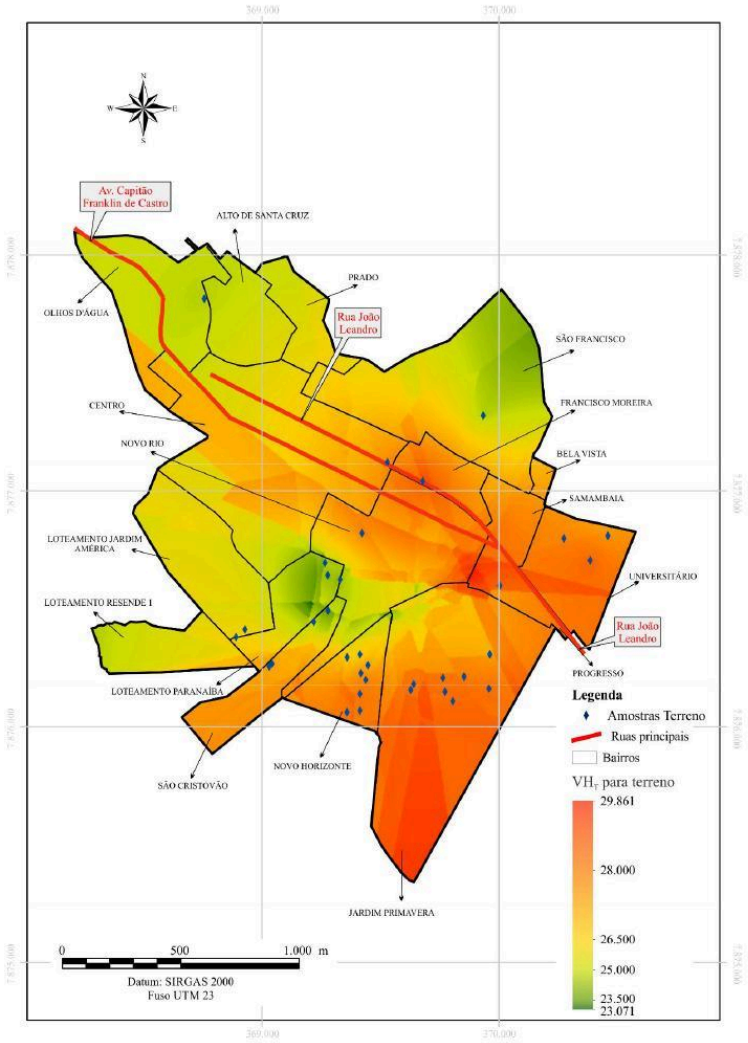
> *como o próprio nome indica, consiste na planta do perímetro urbano do município, onde estão apontados os valores venais do metro quadrado de terrenos, em cada face de quadra, devidamente homogeneizados em relação aos seus diversos atributos e referidos a uma mesma data. A PVG, quando concebida como um produto cartográfico oriundo do cadastro, apresenta diversas vantagens para se observar fenômenos de mercado, pois estes estarão evidenciados através de feições em um mapa, tais como zonas homogêneas, curvas isótimas e pólos de valorização* (Antunes, 2017, págs. 60 e 61).

A distribuição espacial dos valores por m² (metro quadrado) dos imóveis urbanos é elaborada com base nos valores venais obtidos por meio de avaliações padronizadas, considerando critérios como localização, infraestrutura, zoneamento e uso do solo. Essa sistematização tem como principal finalidade estabelecer a base de cálculo para a arrecadação dos tributos municipais, ao refletir as diferenças reais de valorização entre as diversas regiões da cidade, contribuindo para uma política de tributação mais justa, proporcional e eficaz.

O principal instrumento utilizado como referência para o cálculo do Imposto Predial e Territorial Urbano, é a PVG. Nela, estão definidos os valores venais por metro quadrado aplicáveis a terrenos e edificações em diferentes regiões da cidade. Para calcular o imposto, os valores venais contidos na PVG são multiplicados pela

área do imóvel (terreno e/ou construção), além de em diversos municípios, aplicar-se coeficientes de ponderação que ajustam o valor conforme características específicas do imóvel, como a área ou padrões construtivos (Carvalho Jr, 2011), como exemplificado na Figura 10.

Figura 10: Exemplo de PVG



Fonte: Faria Filho, Gonçalves e Luiz, 2019

O processo de elaboração de uma Planta de Valores Genéricos é de responsabilidade da administração municipal, mas sua validação depende da aprovação pela Câmara de Vereadores. Esse trâmite legislativo pode tornar a PVG demasiadamente defasada, uma vez que atualizações periódicas da planta muitas vezes enfrentam resistência política.

Para Carvalho Júnior (2010), essa resistência é compreensível, já que os vereadores sofrem pressão direta da população, especialmente por se tratar de um

imposto direto e altamente perceptível, o Imposto Predial e Territorial Urbano - IPTU. Por ser um tributo que incide anualmente sobre a propriedade e cujo valor é amplamente notado pelos contribuintes, qualquer tentativa de atualização ou aumento pode gerar insatisfação e desgaste político, tornando o tema sensível dentro das câmaras municipais.

2.5 Geoestatística

A estatística segundo Santos (2008), é um conjunto de procedimentos e técnicas que servem para recolher, organizar, sintetizar e descrever um conjunto de elementos de forma que permita a análise de informações e a inferência dos dados.

Ronald Aylmer Fisher (1934), afirma que o objetivo do método estatístico é a redução dos dados. Uma massa de dados deve ser substituída por um pequeno número que represente corretamente essa massa, e contendo tanto quanto possível a totalidade da informação pertinente contida dentro dos dados originais.

A geoestatística é reconhecida como uma subárea especializada da estatística aplicada, voltada ao estudo de fenômenos espaciais representados por variáveis regionalizadas. Essas variáveis apresentam um comportamento intermediário entre o completamente aleatório e o totalmente determinístico, ou seja, variam de forma contínua no espaço, mas com certo grau de incerteza, o que impede sua descrição por funções matemáticas simples (Landim, 2006)

A origem da geoestatística remonta aos trabalhos de Daniel Krige (1951), que, ao analisar dados de concentração de ouro em minas sul-africanas, identificou que a variância estatística por si só não era suficiente para explicar o comportamento espacial do fenômeno estudado. Krige observou que era necessário considerar também a distância entre os pontos amostrados, pois havia uma relação de dependência espacial entre eles. Essa constatação foi fundamental para o surgimento do conceito de geoestatística, que incorpora tanto a localização geográfica quanto as correlações espaciais entre as observações.

Com base nessas premissas, Georges Matheron (1963, 1971) formalizou a teoria das variáveis regionalizadas, consolidando os fundamentos matemáticos da geoestatística. Segundo essa teoria, uma variável regionalizada é uma função numérica que se distribui no espaço de forma contínua, mas cujas variações são

irregulares e não podem ser descritas por modelos matemáticos determinísticos simples. Essa abordagem permite modelar fenômenos naturais ou socioeconômicos com forte componente espacial, como a distribuição de valores de imóveis, características do solo, ou padrões de uso e ocupação do território urbano.

2.5.1 Métodos de interpolação espacial

A interpolação geoestatística prevê valores de uma variável em pontos onde não há dados, com base em informações de pontos conhecidos. Como expresso nos estudos de Yamamoto e Landim (2013), os métodos de interpolação espacial podem ser classificados, de forma geral, em modelos determinísticos e modelos estocásticos. Essa divisão baseia-se na forma como os valores desconhecidos são estimados e na maneira como cada abordagem trata a incerteza dos dados espaciais. Segundo os autores, os modelos determinísticos utilizam critérios essencialmente geométricos, baseando-se na distância euclidiana entre os pontos amostrados e os pontos a serem estimados. Esses métodos assumem que locais mais próximos apresentam maior similaridade e, portanto, maior influência sobre os valores interpolados. No entanto, não consideram a variabilidade estatística dos dados nem fornecem medidas explícitas de incerteza associadas às estimativas. Métodos como o *IDW* (Inverse Distance Weighting) e o *Spline* são exemplos típicos dessa abordagem.

Por outro lado, os modelos estocásticos tratam os dados espaciais como realizações de processos aleatórios. Essa abordagem permite não apenas estimar valores para pontos não amostrados, mas também quantificar a incerteza associada a essas estimativas. Os Modelos geoestatísticos pertencem a essa categoria, sendo a krigagem um dos principais exemplos (Yamamoto e Landim, 2013).

Marcuzzo, Andrade e Melo (2011) apontam que os métodos mais utilizados para tratar a modelagem espacial:

- IDW (Inverse Distance Weighting) – Peso Inverso da Distância: Estima valores com base na média ponderada dos pontos vizinhos, atribuindo mais peso aos pontos mais próximos. É amplamente utilizado, mas não considera a estrutura de dependência espacial dos dados.

- Spline Curve: Utiliza funções matemáticas suaves para gerar superfícies contínuas. É adequado quando se deseja suavidade e continuidade nos dados, mas pode superestimar ou subestimar variações abruptas.
- Krigagem (Kriging): É o principal método de interpolação da geoestatística. Estima valores com base em modelos de variância espacial obtidos a partir de semivariogramas. Além de fornecer uma estimativa, também gera um erro de predição para cada ponto. Existem várias versões, como:
    - Krigagem Ordinária – a mais usada, assume média constante e desconhecida;
    - Krigagem Universal – considera uma tendência (ou derivada) nos dados;
    - Krigagem Indicadora – usada para dados categóricos ou variáveis com distribuição não normal;
    - Co-Krigagem – utiliza variáveis secundárias para melhorar a estimativa da principal.

A distinção entre um modelo determinístico ou estocástico é essencial para orientar a escolha do método de interpolação mais adequado ao objetivo da análise e à natureza dos dados disponíveis.

2.5.2 Ordinary Kriging (Krigagem Ordinária) e dependência espacial

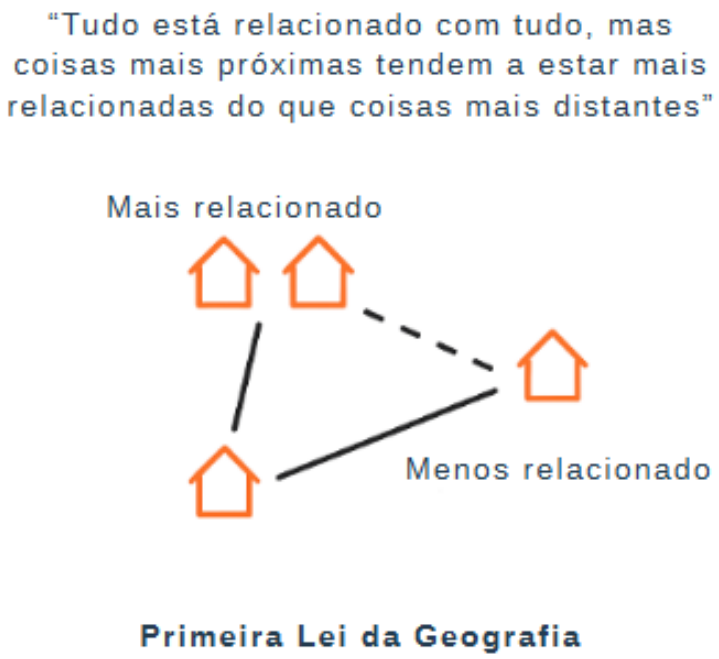
A krigagem possui diversas subdivisões, entre as quais se destaca a krigagem ordinária, amplamente utilizada na modelagem de uma variedade de fenômenos naturais e antrópicos, especialmente em estudos voltados às Geociências.

Constituí-se de um conjunto de técnicas voltadas à estimação e predição de superfícies, com o objetivo de aproximar dados a partir de pontos amostrados. Seu princípio fundamental baseia-se na dependência espacial, segundo a qual um ponto geográfico tende a ser mais semelhante aos seus vizinhos imediatos do que àqueles mais distantes (Isaaks e Srivastava, 1989). Demonstra então que a estrutura teórica da krigagem é o conceito de variável regionalizada, desenvolvido por Matheron.

O termo “dependência espacial” refere-se à relação existente entre os elementos amostrados. Quando há dependência entre as observações, é possível afirmar que elementos próximos tendem a apresentar maior semelhança entre si. Caso essa dependência não esteja presente, tal afirmativa não se aplica (Jacomo, 2011).

Concomitantemente, pode-se associar tal conceito à 1ª Lei da Geografia, formulada por Waldo Tobler (1970), em que: “Tudo está relacionado com tudo, mas coisas mais próximas tendem a estar mais relacionadas do que coisas mais distantes”, vide Figura 11.

Figura 11: Primeira lei da geografia



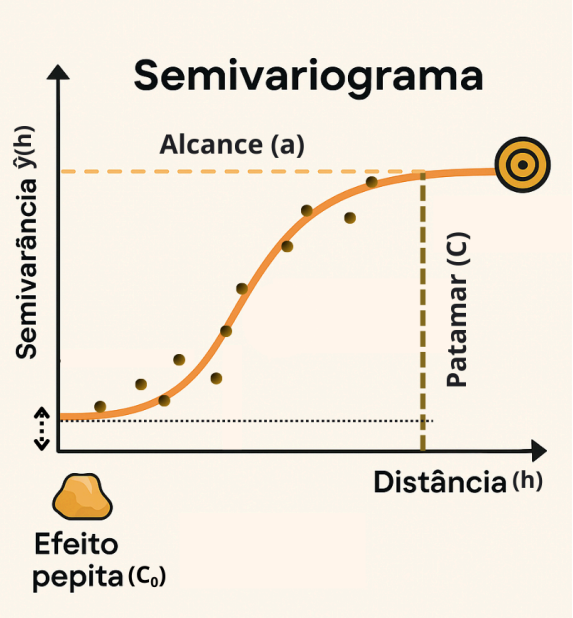
Fonte: Adaptado de Tobler, 1970

2.5.3 Semivariograma e modelos teóricos

O semivariograma é uma ferramenta que expressa, de forma quantitativa, a maneira como um fenômeno varia no espaço. Ele revela a estrutura espacial do fenômeno analisado, indicando o nível de dependência espacial entre os pontos. Além disso, fornece os parâmetros necessários para estimar valores em locais onde não houve amostragem direta (Landim, 2004).

Com base no semivariograma experimental, realiza-se o ajuste de modelos teóricos que representam a estrutura espacial dos dados. Segundo Isaaks e Srivastava (1989), os principais parâmetros que compõem esses modelos são: semivariância y(h), o alcance (a), o patamar (C), e o efeito pepita (C_0), segundo Figura 12.

Figura 12: Semivariograma



Fonte: Autor, 2025

Alcance (a): a distância até onde há dependência espacial entre os dados, ou seja, distância a partir da qual as amostras tornam-se independentes.

Patamar (C): o valor máximo da variância espacial onde o semivariograma se estabiliza, a partir do qual as variáveis amostrais deixam de apresentar correlação espacial.

Efeito pepita (C_0): Representa a variabilidade não explicada espacialmente, perceptível na origem do semivariograma, geralmente associada a distâncias inferiores à menor separação amostral. Na ausência de continuidade espacial observável, considera-se o chamado “efeito pepita puro” geralmente porque as amostras estão muito afastadas para captar essa relação.

Observa-se então que pontos próximos costumam ter características parecidas, então a semivariância entre eles é pequena. Mas, à medida que os

pontos se afastam, a semivariância tende a crescer, pois a correlação espacial entre eles enfraquece (Guimarães, 2004).

De acordo com Camargo (1998), Os modelos teóricos são funções matemáticas utilizadas para descrever a estrutura de dependência espacial existente entre os dados observados. Ao “modelar” um semivariograma, o processo de ajuste do modelo teórico não ocorre de forma direta ou automática, sendo, na verdade, um procedimento interativo.

Baseado nisso, aquele que modela realiza um ajuste inicial, seguido de uma análise visual e estatística da sua aderência, avaliando se a curva teórica representa adequadamente os dados. Caso o resultado não seja satisfatório, o modelo é revisto e ajustado novamente, até que se obtenha uma representação considerada adequada. Esse processo de manipulação de parâmetros dos modelos é fundamental para garantir a confiabilidade das estimativas, já que erros no ajuste do semivariograma podem comprometer a acurácia dos resultados gerados por interpoladores geoestatísticos (Borssoi, 2007).

São exemplos de modelos teóricos para o semivariograma demonstrados na tabela 01:

Tabela 01: Modelos teóricos do semivariograma

Modelo	Forma	Fórmula	Características
Linear	Cresce indefinidamente	$\gamma(h) = c \cdot h$	Não tem patamar, ou seja, a semivariância continua aumentando indefinidamente. É útil em situações onde a variabilidade continua aumentando com a distância, sem atingir estabilização.
Linear com Patamar	Cresce até o alcance, depois estabiliza	$\gamma(h) = c_0 + c \cdot h$, se $h \leq a$; $\gamma(h) = c_0 + c \cdot a$, se $h > a$	Inclui patamar. Reflete variabilidade crescente até certo ponto, após o qual as amostras deixam de estar correlacionadas.

Esférico	Cresce rápido até o alcance	$\gamma(h) = c_0 + c\cdot[(3h)/(2a) - (h^3)/(2a^3)]$, se $h \leq a$; $\gamma(h) = c_0 + c$, se $h > a$	Crescimento rápido no início e nivelamento ao patamar. Representa bem fenômenos naturais com correlação espacial que se estabiliza após certa distância.
Exponencial	Crescimento assintótico	$\gamma(h) = c_0 + c\cdot[1 - \exp(-h/a)]$	Crescimento rápido no início. Útil quando há correlação espacial a pequenas distâncias, mas com uma transição mais abrupta do que o modelo gaussiano.
Gaussiano	Crescimento suave e assintótico	$\gamma(h) = c_0 + c\cdot[1 - \exp(-(h/a)^2)]$	A semivariância cresce lentamente próximo da origem, Indica alta continuidade espacial (muito suave). Bom para dados com alta autocorrelação em pequenas distâncias.

Fonte: adaptado de Camargo, Fucks e Câmara (2004)

2.5.4 Parâmetros de validação

2.5.4.1 Índice de Moran (Moran I.)

A dependência espacial diz respeito à correlação entre os valores de uma mesma variável aleatória observada em diferentes pontos do espaço. Entre as medidas mais utilizadas para dados espaciais agregados está o Índice Global de Moran, que permite avaliar uma medida geral da dependência espacial e do grau de similaridade entre o valor de uma variável em um local específico e os valores observados nas localidades vizinhas (MORAN, 1950).

Este índice permite verificar a existência de agrupamentos ou um padrão aleatório nos dados variando de -1 a 1, onde segundo Upton e Fingleton (1985):

- Moran I. próximo de +1: Indica uma forte autocorrelação espacial positiva, onde os valores próximos geograficamente tendem a ser similares. Boa dependência espacial, o que é ideal para a Krigagem, pois pressupõe que pontos próximos têm valores similares.
- Moran I. próximo de 0: Sugere ausência de autocorrelação espacial, onde os valores são distribuídos aleatoriamente no espaço. Pouca ou

nenhuma dependência espacial, o que pode indicar que a Krigagem pode não ser muito eficaz nesse caso.

- Moran I. próximo de -1: Indica uma autocorrelação espacial negativa, onde valores próximos geograficamente tendem a ser dissimilares. Dependência espacial inversa, o que geralmente não é útil para a Krigagem Ordinária.

2.5.4.2 Valor P. (P. Value)

O valor-p é definido como a probabilidade de se obter um valor da estatística de teste maior ou igual ao observado nos dados analisados, sendo expresso como uma medida usada para determinar a significância de um teste de hipótese (Ferreira e Patino, 2015). No caso de análises espaciais, determina se a relação espacial observada é estatisticamente significativa, ou seja, se o padrão espacial identificado pode ou não ser atribuído ao acaso. Caso não, assume-se que a “hipótese nula”, neste caso, a ausência de dependência espacial.

Segundo Ferreira e Patino (2015), adota-se tradicionalmente como ponto de corte o valor de 0,05 para a rejeição da hipótese nula. Isso indica que, mesmo na ausência de uma diferença real, valores extremos da estatística de teste ocorreriam em menos de 5% das vezes.

2.5.4.3 Razão de dependência espacial (RD)

Proposto por Cambardella et al. (1994), a razão de dependência espacial pode ser medido pela relação entre o efeito pepita e o patamar, dado por: $RD = \frac{C0}{C}$, onde pode ser utilizado para classificar o grau de dependência espacial da variável em questão. Para o valor encontrado:

- RD < 0,25: Dependência espacial forte
- 0,25 < RD < 0,75: Dependência espacial moderada
- 0,75 > RD: Dependência espacial fraca

2.5.4.4 Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) ou Root Mean Square Error (RMSE)

A Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) é comumente utilizada para avaliar a precisão das estimativas em relação aos dados observados, fornecendo valores de erro expressos nas mesmas unidades da variável analisada (Cruz et al., 2017).

No contexto da geoestatística, o RMSE auxilia na validação dos modelos de interpolação espacial, onde segundo Legates e McCabe Jr (1999):

- RMSE baixo: Indica que a estimativa está fazendo previsões próximas aos valores observados. Quanto menor o RMSE, melhor a precisão.
- RMSE alto: Sugere que existem maiores erros de previsão, indicando menor precisão.

Considera-se também que o RMSE deve ser interpretado em relação à escala dos dados. Um RMSE de 10 pode ser grande ou pequeno, dependendo dos valores dos dados observados.

2.5.4.5 Coeficiente de Determinação (R^2)

Baseado em Chiode (2021), o coeficiente de determinação é uma medida estatística que expressa o quanto da variabilidade dos dados observados pode ser explicada. Onde:

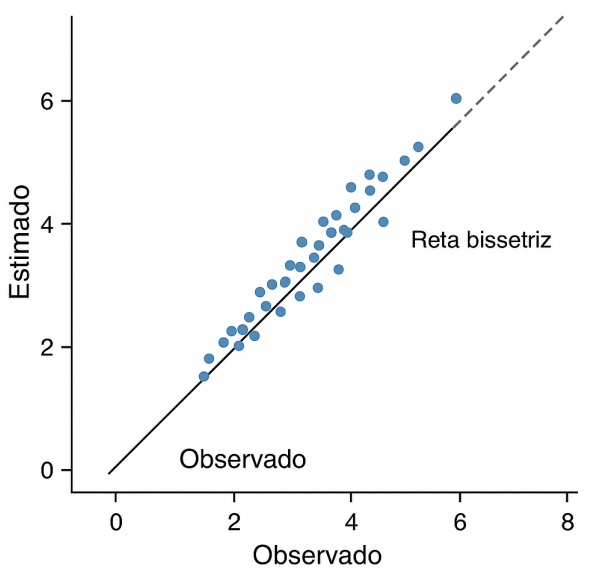
- R^2 próximo de 1: Indica que uma grande proporção da variância nos dados observados é explicada pelo modelo, tendo boa capacidade preditiva.
- R^2 próximo de 0: Sugere que o modelo explica pouca ou nenhuma variância dos dados observados, em que a capacidade preditiva do modelo é baixa.

2.5.4.6 Validação Cruzada (Cross-Validation)

A Validação Cruzada é uma técnica comumente empregada para verificar a qualidade das estimativas em geoestatística. De acordo com Andriotti (2002), o método consiste em remover, sucessivamente, um ponto do conjunto de dados e estimá-lo por krigagem como se esse ponto não estivesse presente. O procedimento

é repetido para todos os pontos amostrais, permitindo a comparação entre os valores observados e os valores estimados, demonstrado na Figura 13.

Figura 13: Modelo de validação cruzada



Fonte: Autor, 2025

Segundo Cressie (1989), quando os valores estimados, comparados com os observados, se alinham ao longo de uma reta de regressão próxima da reta bissetriz (ou seja, da linha onde os valores estimados seriam iguais aos observados), e apresentam baixa dispersão, isso indica que o modelo utilizado produz estimativas consistentes e confiáveis.

2.6 Contextualização da temática na área de estudo

A cidade de Maceió, capital do estado de Alagoas, abrange uma área de 509,295 km², situada entre as latitudes 09°21’31”S e 09°42’49”S e longitudes 35°33’56”W e 35°38’36”W. Segundo o último censo do IBGE (2025), estima-se que a população seja de aproximadamente 994.464 habitantes, sendo o 16º município mais populoso do país. É dividida em Zonas Rural e Urbana, contendo a Zona Urbana 50 bairros e 8 Regiões Administrativas (Maceió, 2005), como mostram as Figuras 14 e 15.

Deve-se apontar que o processo de urbanização da cidade de Maceió, ao longo dos anos, esteve significativamente condicionado às regiões de planície litorânea e lagunar, em virtude de sua formação geográfica privilegiada, pelo destaque na produção e comercialização de produtos e especiarias. O porto de

Maceió, no bairro do Jaraguá na Região Administrativa 01, foi um dos principais influenciadores do crescimento urbano e do povoamento das regiões vizinhas por pescadores e trabalhadores dessa região (Modesto, 2010; Farias, 2019).

Não obstante, ao longo do crescimento urbano do século XX, os bairros litorâneos como Pajuçara começam a ser ocupados também pelas famílias abastadas, expulsando os pescadores que residiam até então nessa parte da cidade, de modo que as famílias mais pobres passassem a ocupar as áreas do atual bairro da Ponta da Terra (Modesto, 2010). Segundo Correia (2016), é possível notar que na distribuição da riqueza e da pobreza em Maceió, as rendas mais altas estão dispostas ao longo de avenidas principais, condomínios fechados de alto padrão e nos bairros de Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca e Mangabeiras, na orla marítima, onde os residentes possuem o maior poder aquisitivo.

Nesse aspecto, nota-se que o crescimento urbano traz consigo melhorias que nem sempre afetam toda a população igualmente. O impacto de tal crescimento atinge especialmente as classes menos favorecidas, que acabam excluídas de zonas urbanas em expansão devido à dificuldade de absorver os custos de vida elevados gerados pelas melhorias locais, no chamado processo de “Gentrificação” (Santos, et al. 2016).

Sob essa perspectiva, quando se analisa o mercado imobiliário em Maceió, percebe-se que ele acaba sendo influenciado pela Gentrificação, onde juntamente com o aumento do custo de vida da região nota-se um crescimento no valor dos tributos pagos, ocasionados por uma expansão urbana que cria diferentes espaços socioeconômicos, com discrepantes cobranças tributárias.

A situação na capital alagoana, se resume a uma Planta de Valores Genéricos defasada, que não é atualizada desde 26 de dezembro de 1997 (quase 28 anos), conforme lei nº 4.674 (Maceió, 1997) que instituiu a primeira PVG do município, levando-se a questionar o valor tributário pago atualmente e o valor venal que são atribuídos aos imóveis pela prefeitura. Isso pode ser o reflexo da dificuldade de caracterizar as diferentes singularidades dos imóveis (edificações e terrenos) fazendo com que o estabelecimento do valor dos bens se torne uma missão complexa, que o uso de técnicas inadequadas leve a modelos avaliativos imprecisos e conclusões errôneas (Florêncio, 2012).

Em resposta às dificuldades, as técnicas de geoestatística podem ser usadas para auxiliar na estimativa de valores sobre a terra, no apoio ao planejamento e gestão urbana, buscando alcançar o melhor equilíbrio possível entre a precisão na avaliação que geralmente demanda um alto nível de complexidade e a eficácia do método aplicado.

Segundo Dantas et al (2007) a krigagem ordinária apresenta uma abordagem para solução da construção de uma PVG. Essa metodologia permite que a representação dos valores atribuídos às parcelas seja determinado com base em variáveis espaciais e características específicas da região, como localização e infraestrutura. Essa capacidade de representação mais fiel do espaço contribui significativamente para a eficiência do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM).

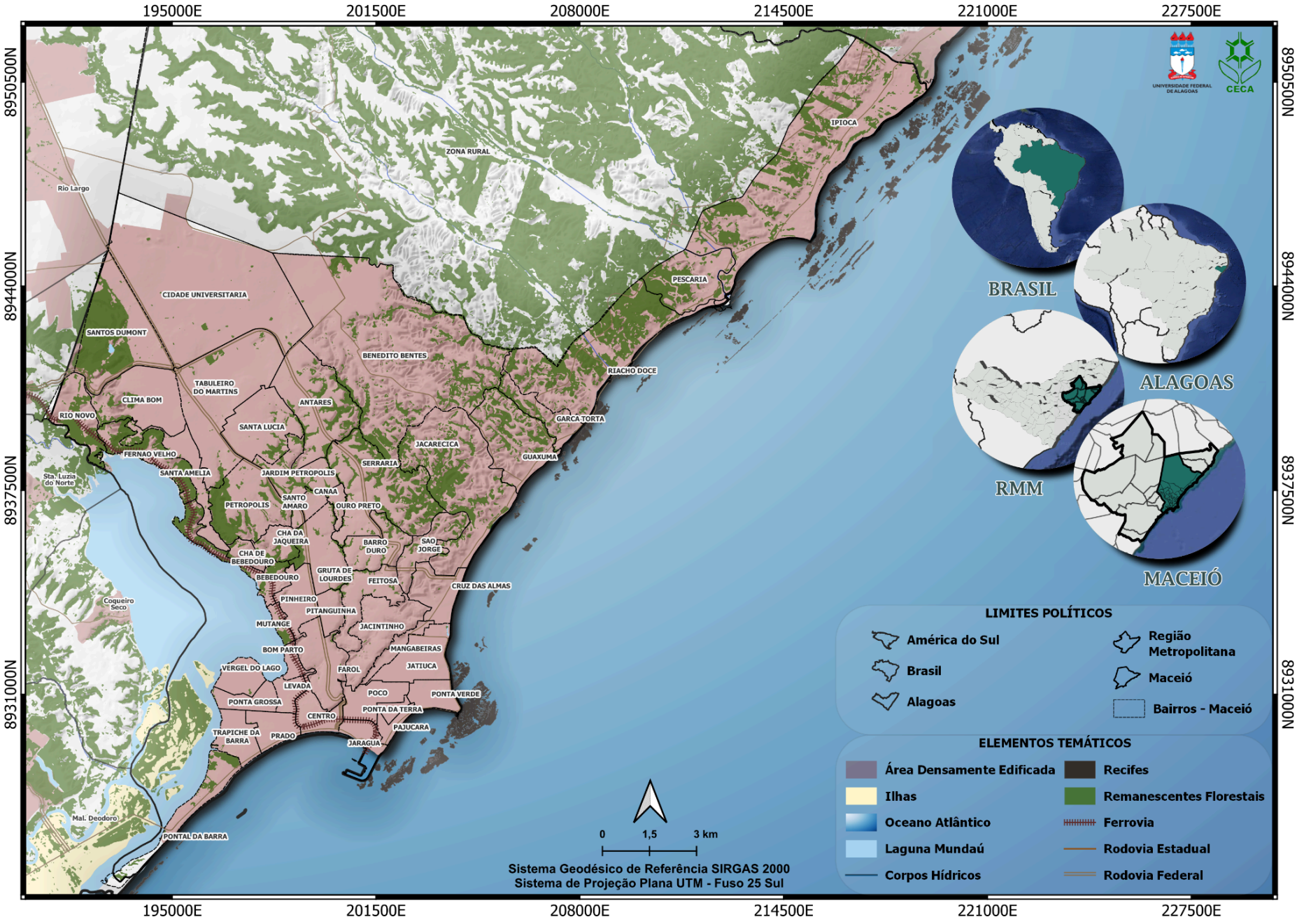
Marques *et al* (2012), investigou aplicação do interpolador krigagem ordinária para a elaboração de planta de valores genéricos associando aos equipamentos urbanos, para interpretação das áreas mais e menos valorizadas da cidade e consequentemente, na inferência das possíveis razões da distribuição espacial dos valores das parcelas.

Miranda (2018), utilizou o uso da krigagem ordinária para criação de um zoneamento fiscal no Município de Rio Largo - AL, obtendo bons resultados onde conseguiu representar a dinâmica dos valores venais praticados com base no valor da terra que serviu como suporte para a elaboração da PVG em municípios de pequeno e médio porte.

Da mesma forma, Farias Filho (2019) abordou modelos estatísticos baseados na krigagem para geração da Planta de Valores Genéricos em municípios de pequeno porte, onde analisou a distribuição espacial dos valores ao longo de vias principais e a influência no valor da terra.

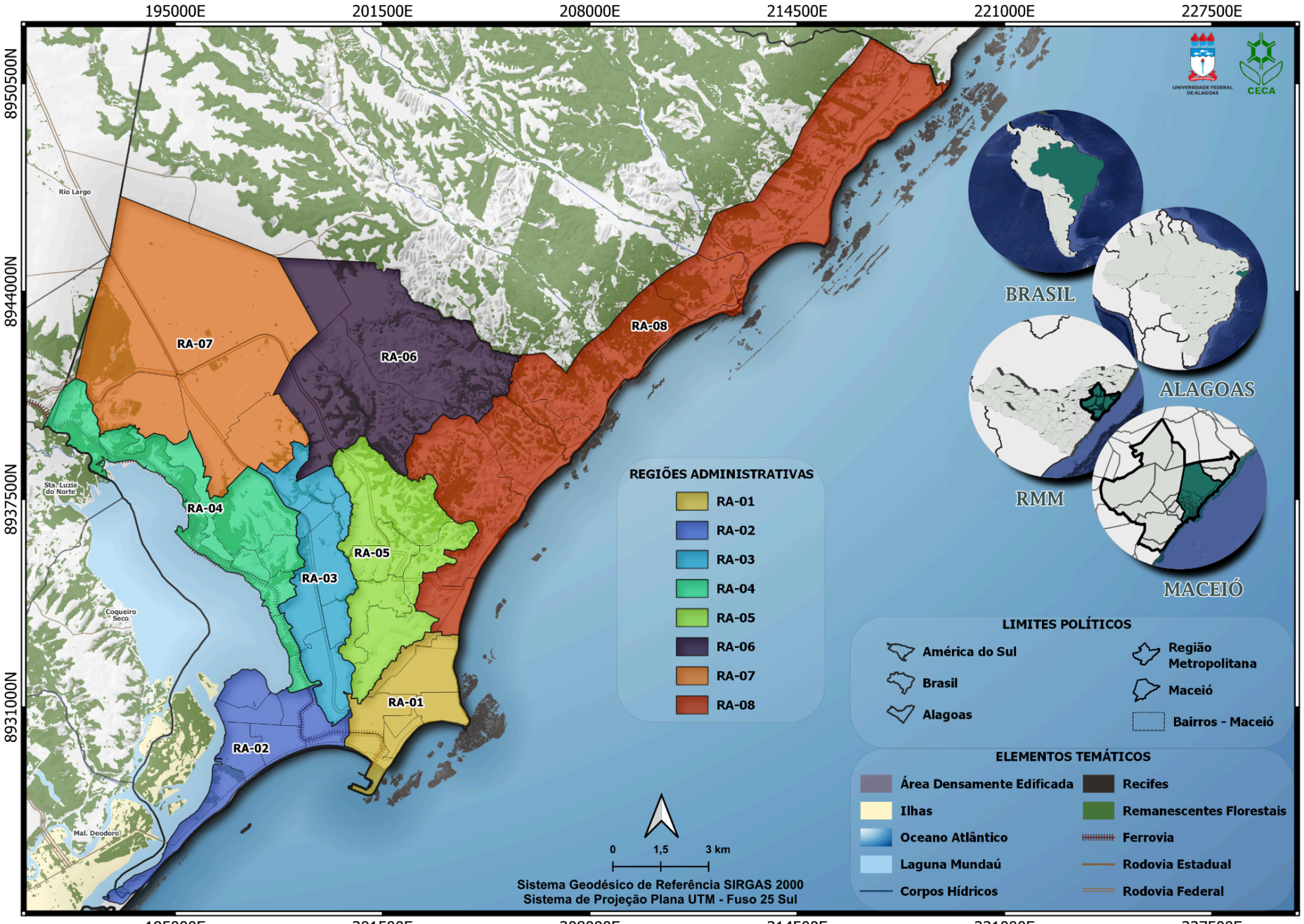
Como área de estudo escolheu-se os bairros da Região Administrativa 01. A RA-01 engloba os bairros da Jatiúca, Mangabeiras, Pajuçara, Poço, Ponta da Terra e Ponta Verde, devido aos bairros apresentarem características já bem consolidadas, com infraestrutura bem desenvolvida e Base Cartográfica bem estruturada (Farias, 2019), além da existência de mais amostras de m² de terrenos na região.

Figura 14: Localização Maceió



Fonte: Autor, 2025

Figura 15: Regiões Administrativas

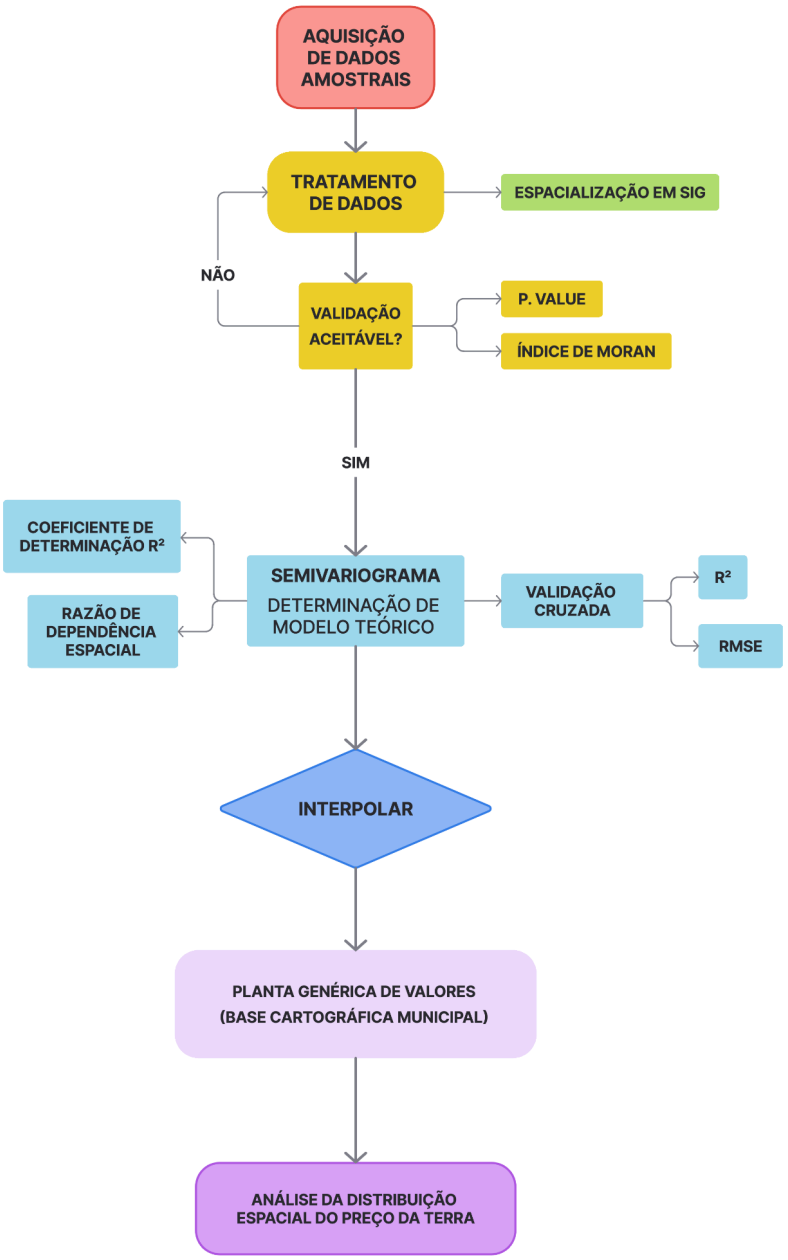


Fonte: Autor, 2025

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho pode ser sumariamente representada através da Figura 16.

Figura 16: Etapas metodológicas



Fonte: Autor, 2025

Inicialmente, em análise a Figura 16, são descritos os procedimentos para a aquisição dos dados amostrais (na cor avermelhada), com a devida identificação de suas fontes, garantindo a confiabilidade e a representatividade da base de informações utilizada.

Os dados coletados foram catalogados e espacializados (na cor esverdeada) posteriormente na plataforma SIG, o QGIS. Essa espacialização das variáveis envolvidas, promoveu a visualização, organização e preparação das informações para análise.

Empregou-se do complemento da plataforma, desenvolvido por Gustavo Pereira e Sárvio Magalhães: *Smart-Map*, para realizar a análise geoestatística, modelagem do semivariograma e conferencia dos parâmetros de averiguação (coloração amarelada), além da interpolação das amostras de terrenos pela krigagem ordinária. Nessa etapa realizou-se a validação dos parâmetros geoestatísticos (na cor azul claro), a escolha do modelo teórico utilizado e a qualidade das estimativas.

Após a interpolação, gerou-se um raster contendo informações do valor do m² na região de estudo, que foi utilizado como base para os estudos da distribuição espacial dos valores da terra e a criação da PVG (na cor arroxeada).

3.1. Aquisição dos dados

Os dados foram coletados a partir de diferentes fontes como institutos de pesquisas, órgãos públicos e entidades científicas, conforme a Tabela 02. Inicialmente, foram organizados no software Microsoft Excel 365 (versão 2019), que possibilitou a filtragem, estruturação e tratamento preliminar das informações. Após essa etapa, os dados organizados foram exportados para um Sistema de Informação Geográfica (SIG), a fim de viabilizar sua espacialização e posterior análise, utilizando o *software* Quantum GIS (QGIS), versão 3.34.1.

Tabela 02: Fonte dos dados.

Dados	Fonte	Ano
Amostras m² terrenos	SEMURB - PMM	2024
Base Cartográfica de Maceió	IPLAN - PMM	2024
Equipamentos Públicos	IPLAN - PMM	2024
Renda Média do Bairro	IBGE	2010 (adaptado IPCA)

Hidrografia	IBGE	2024
Rodovias e ferrovias	DNIT	2024
Remanescentes Florestais	MapBiomas	2022
Área densamente edificada	IBGE	2020

Fonte: Autor, 2025.

Os 68 dados amostrais contendo o valor do metro quadrado de terrenos, cedidos pela Coordenação de Patrimônio Público e Avaliações de Imóveis do Município, foram previamente avaliados conforme os parâmetros da NBR 14.653, o que tornou mais sólido as análises baseadas nessas amostras.

3.2. Tratamento dos dados

Para a realização do tratamento e análise dos dados, utilizou-se o *software* QGIS, versão 3.34.1, por ser uma ferramenta de código aberto, amplamente difundida nas Geociências. A utilização do ambiente SIG possibilitou a análise geoespacial dos dados amostrais do valor de imóveis territoriais urbanos, permitindo a identificação precisa das áreas localizadas na RA-01. Inicialmente, os dados amostrais foram organizados, tratados e padronizados em uma planilha do Microsoft Excel e posteriormente importados para o QGIS através da função “texto delimitado” e inseridas como dados pontuais. A inserção dessas informações no QGIS favorece uma visualização detalhada, contribuindo significativamente para a interpretação e compreensão espacial dos dados. Além disso, a integração dos dados amostrais ao ambiente digital permitiu cruzamentos de informações com outras camadas temáticas, enriquecendo ainda mais a análise.

Para garantir a consistência espacial e a compatibilidade cartográfica em análises na escala regional, com foco na RA-01 do município de Maceió (AL), fez-se uso de dados georreferenciados no Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, com a projeção plana UTM no fuso 25 Sul, EPSG:31985.

Os 68 dados amostrais também foram tabelados estatisticamente conforme tabela 03, onde é possível notar que o valor do metro quadrado dos terrenos possuem uma amplitude de R$5.221,54 onde oscilam de R$1.009,94 à R$6.231,48.

Tabela 03: Estatística dos dados.

Estatística	Valor
Contagem	68
Soma	158678
Média	2441,2
Mediana	2197,31
Mínimo	1009,94
Máximo	6231,48
Intervalo	5221,54
Minoria	1009,94
Maioria	1882,88
Q1	1652,69
Q3	2834,36

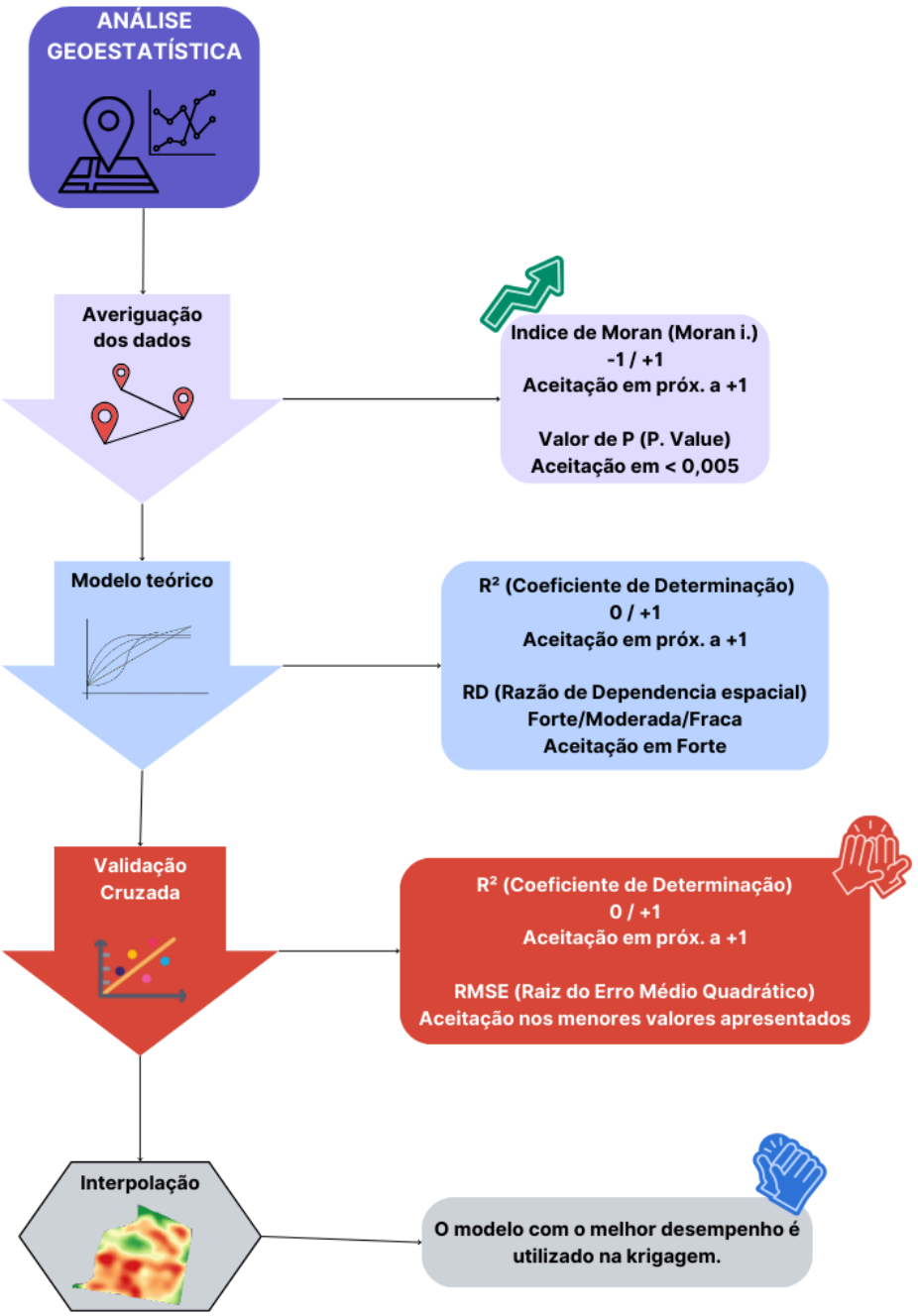
Fonte: Autor, 2025.

3.3. Análise Geoestatística

Para realização das análises geoestatísticas, utilizou-se o método de Krigagem Ordinária, considerando o princípio de que pontos próximos no espaço têm mais chances de apresentar valores similares, o que em um contexto urbano, é comum que terrenos vizinhos apresentem valores semelhantes, por fatores como infraestrutura ou localização. O método não apenas reconhece isso, mas modela essa relação, gerando estimativas mais precisas.

Cada uma das etapas da análise geoestatística, demonstradas na Figura 17, teve como objetivo garantir a qualidade, confiabilidade e robustez das estimativas espaciais da krigagem ordinária, desde a organização inicial dos dados até a escolha do melhor modelo preditivo com base em critérios estatísticos e validação cruzada.

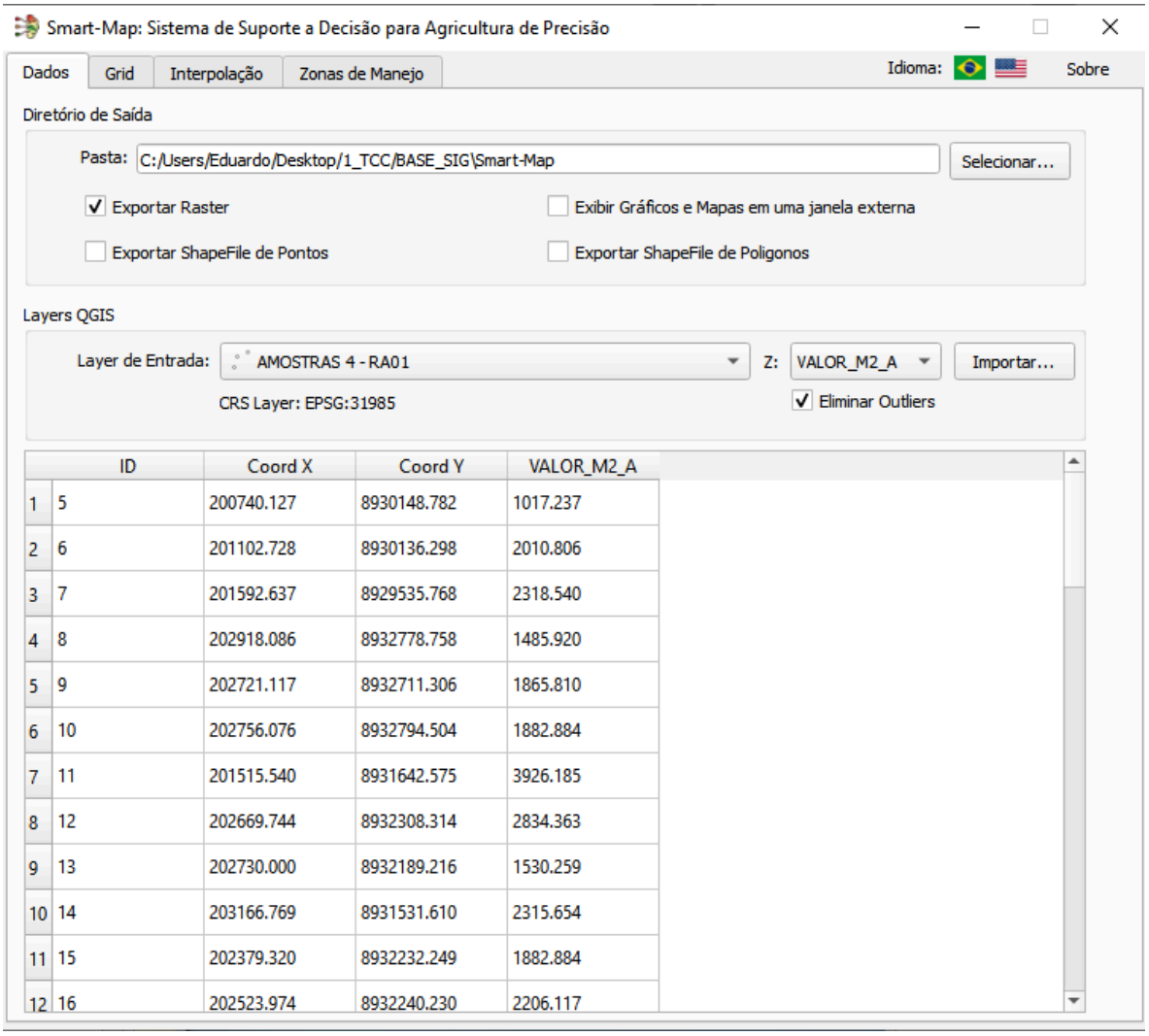
Figura 17: Etapas da krigagem



Fonte: Autor, 2025

Com as amostras georreferenciadas no QGIS, utilizou-se do do plugin SmartMap (Figura 18) para a análise da dependência espacial, escolha do modelo teórico e interpolação dos dados conforme procedimentos citados na Figura 17.

Figura 18: Tela de visualização SmartMap



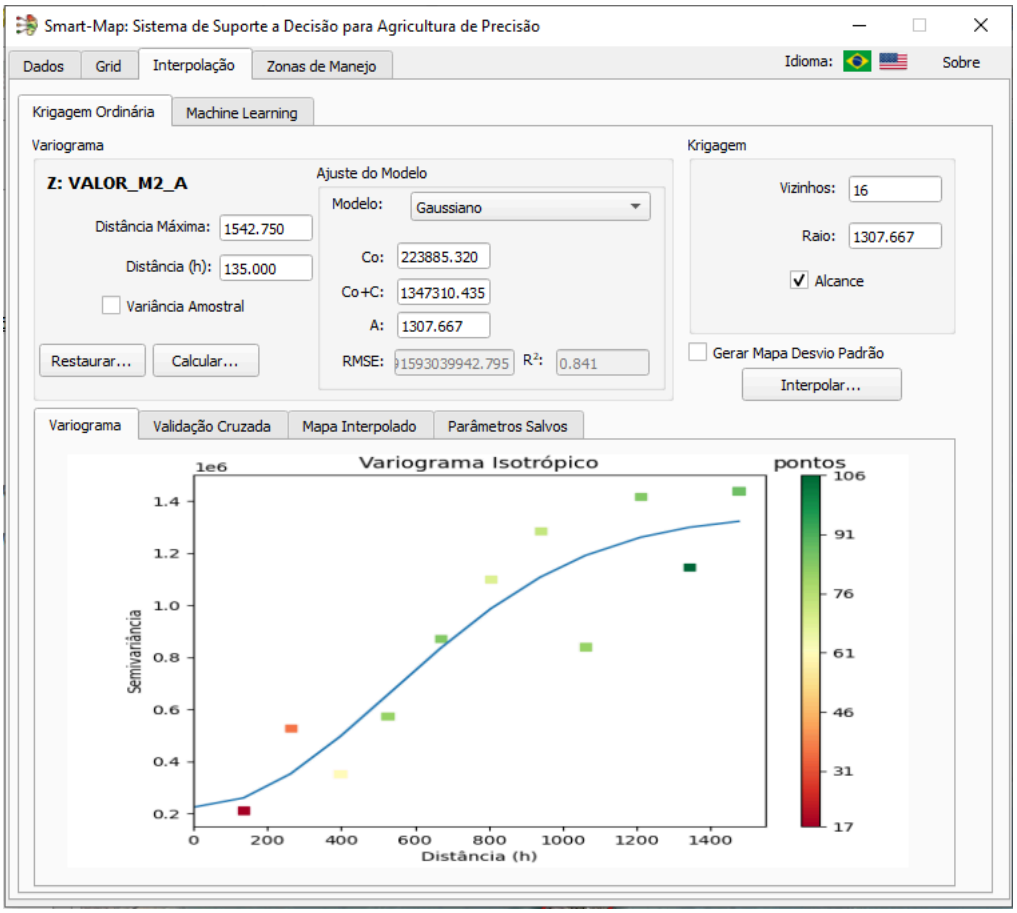
	ID	Coord X	Coord Y	VALOR_M2_A
1	5	200740.127	8930148.782	1017.237
2	6	201102.728	8930136.298	2010.806
3	7	201592.637	8929535.768	2318.540
4	8	202918.086	8932778.758	1485.920
5	9	202721.117	8932711.306	1865.810
6	10	202756.076	8932794.504	1882.884
7	11	201515.540	8931642.575	3926.185
8	12	202669.744	8932308.314	2834.363
9	13	202730.000	8932189.216	1530.259
10	14	203166.769	8931531.610	2315.654
11	15	202379.320	8932232.249	1882.884
12	16	202523.974	8932240.230	2206.117

Fonte: Autor, 2025

A averiguação dos dados, baseou-se no Índice de Moran e P.value para a análise da dependência espacial; para Moran I próximo de +1 reflete uma forte dependência espacial positiva, que significa que áreas próximas tendem a ter valores semelhantes, enquanto o P.value < 0,005 aponta uma significância que seria muito improvável que a autocorrelação espacial observada tenha acontecido por acaso.

Para seleção do modelo teórico do semivariograma analisou-se dentre: linear, linear com patamar, exponencial, esférico e gaussiano. O SmartMap permite uma fácil demonstração visual (Figura 19) da curva conforme a alteração entre os modelos.

Figura 19: Semivariograma SmartMap

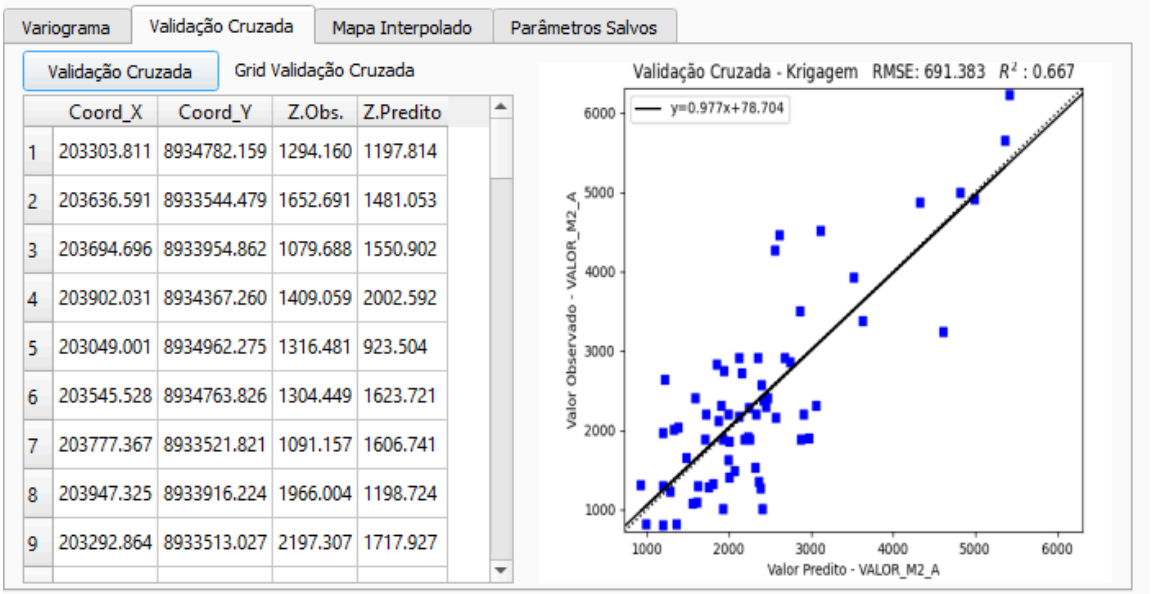


Fonte: Autor, 2025

O coeficiente de determinação R^2 foi utilizado como medida da capacidade explicativa do modelo, em que valores próximos de 1 indicam que a maior parte da variância espacial dos dados é explicada pelo modelo, o que é desejável para garantir confiabilidade nas estimativas obtidas pela interpolação geoestatística. Também baseou-se na Razão de Dependência Espacial (RD) que permitiu avaliar a força da dependência espacial entre os dados amostrais, calculada a partir da razão entre o efeito pepita e o patamar do semivariograma, sendo interpretada como forte, moderada e fraca.

Para definição do modelo teórico mais adequado para o semivariograma, também se utilizou da técnica de validação cruzada em que consiste em remover temporariamente cada ponto amostral do conjunto de dados e estimar seu valor com base nos demais, comparando o valor estimado com o valor real, através da dispersão dos pontos numa reta. Com isso, é possível avaliar o desempenho do modelo em situações práticas de previsão, conforme Figura 20.

Figura 20: Validação cruzada SmartMap



	Coord_X	Coord_Y	Z.Obs.	Z.Predito
1	203303.811	8934782.159	1294.160	1197.814
2	203636.591	8933544.479	1652.691	1481.053
3	203694.696	8933954.862	1079.688	1550.902
4	203902.031	8934367.260	1409.059	2002.592
5	203049.001	8934962.275	1316.481	923.504
6	203545.528	8934763.826	1304.449	1623.721
7	203777.367	8933521.821	1091.157	1606.741
8	203947.325	8933916.224	1966.004	1198.724
9	203292.864	8933513.027	2197.307	1717.927

Fonte: Autor, 2025

3.4 Descrição da distribuição espacial do valor da terra

Definidos os parâmetros mais adequados, foi realizada então a interpolação das amostras por krigagem ordinária no SmartMap, obtendo-se um arquivo raster com as informações contínuas dos valores do m² de terrenos da RA01 de Maceió.

A valoração dos imóveis territoriais foi analisada com auxílio da base cartográfica oficial para construção da Planta de Valores Genéricos da região e posteriormente estudado através de dados estatísticos do IBGE e informações da infraestrutura municipal.

Os produtos cartográficos gerados foram utilizados como ferramenta de apoio na identificação e interpretação das áreas com maior e menor valor por m² da terra nua na Região Administrativa, onde também foram analisados os fatores que influenciam a distribuição espacial dos valores dos terrenos e se o estimado está em conformidade com o que está disposto no espaço geográfico existente.

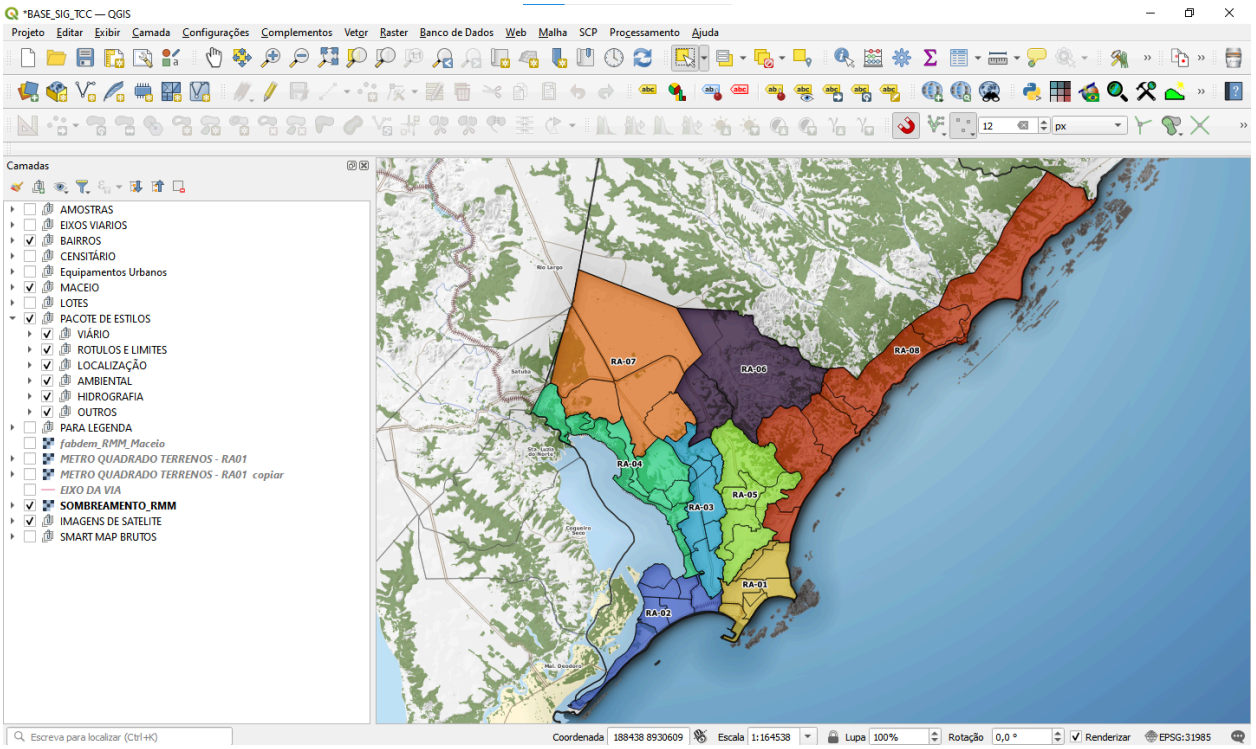
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Distribuição Amostral

Para representar de maneira clara e simplificada os dados e informações coletadas, que foram posteriormente analisadas e processadas, foram elaborados mapas com o objetivo de concentrar essas informações em um único ambiente visual.

As diversas informações dispostas neste trabalho foram unidas e expressas na plataforma SIG, QGIS conforme Figura 21:

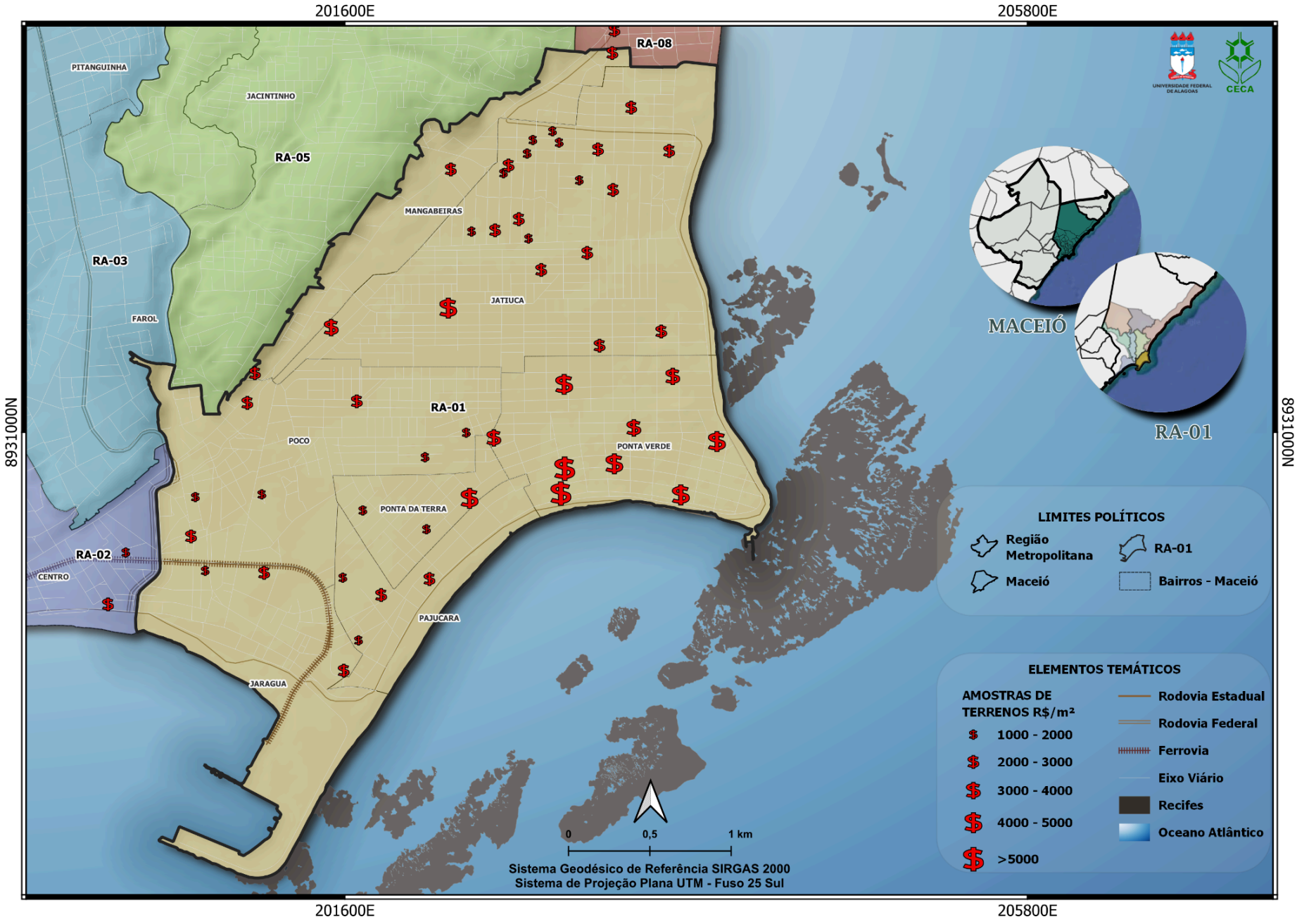
Figura 21: Base SIG



Fonte: Autor, 2025

As amostras de terreno georreferenciadas, são expressas no mapa da Figura 22, onde é possível identificar mesmo antes da interpolação padrões na distribuição espacial dos valores da terra a depender de sua localização.

Figura 22: Localização e Expressividade das amostras

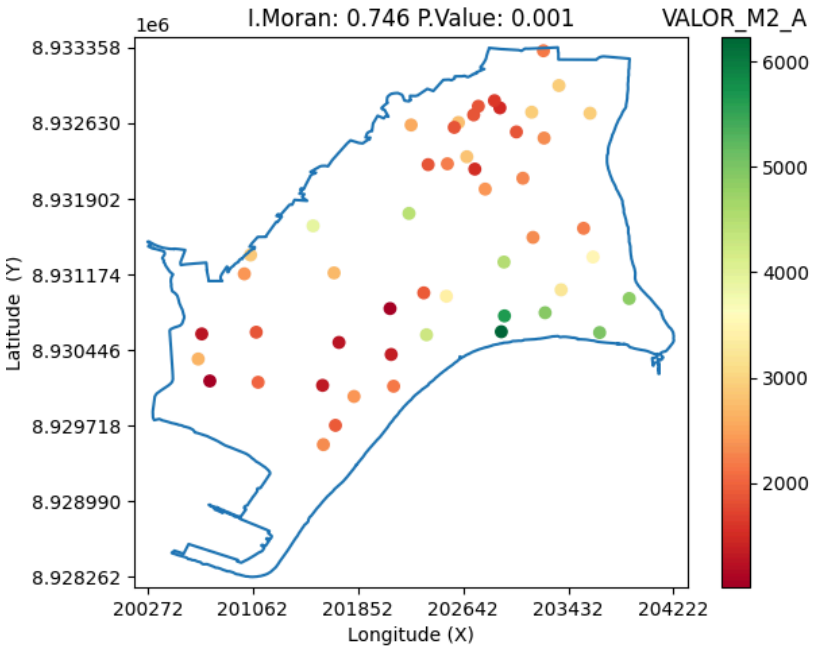


Fonte: Autor, 2025

4.2 Validação Geoestatística

Para interpolação por krigagem, é necessário entender o grau de dependência espacial entre os pontos. Isso foi feito através do Índice de Moran e o P.Value, que avaliam se há dependência espacial significativa. Segundo a análise dos dados (Figura 23), observa-se:

Figura 23: Índice de Moran e P.Value

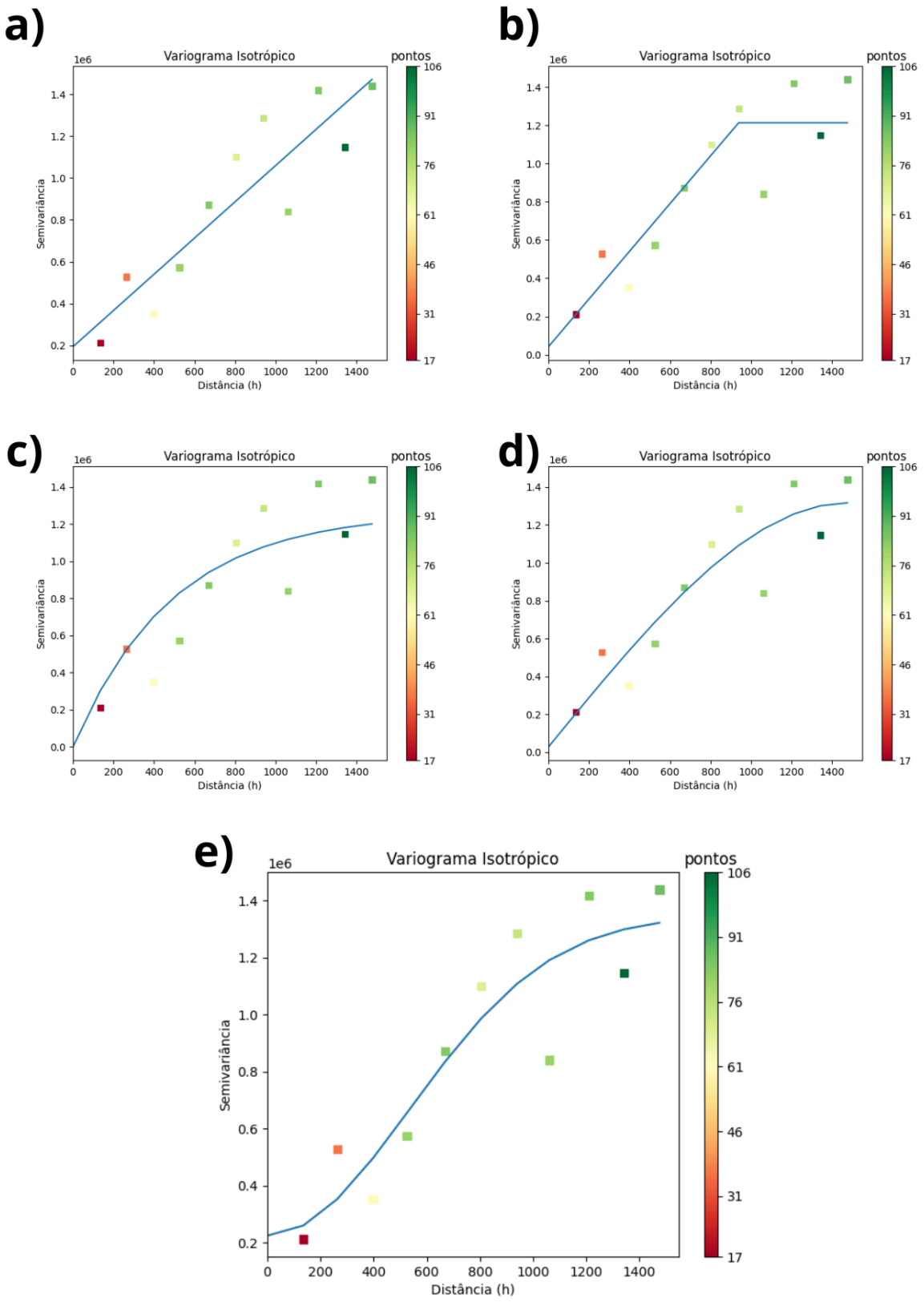


Fonte: Autor, 2025

Para as amostras de m² de terreno especializadas, obteve-se um Índice de Moran de 0,746 e um P.Value de 0,001. este resultado expressa que a dependência espacial observada é estatisticamente significativa.

Os modelos teóricos de semivariograma (esférico, exponencial, gaussiano etc.) foram testados para representar a estrutura espacial dos dados (ver Figura 24). Foi escolhido o modelo com base em indicadores como o R^2 e a razão de dependência espacial (RD), pois indicam simultaneamente alta capacidade preditiva e forte dependência espacial, aspectos fundamentais para o sucesso da interpolação por Krigagem. O número de vizinhos foi definido empiricamente com base em testes baseados no raio de busca, que foi definido igual ao alcance (a) máximo para cada respectivo modelo.

Figura 24: Modelos Teóricos analisados para o conjunto amostral de dados do trabalho a) Linear; b) Linear com patamar; c) Exponencial; d) Esférico; e) Gaussiano



Fonte: Autor, 2025

Conforme os parâmetros de estudo, apresentou-se os seguintes resultados dos modelos:

Tabela 04: Resultados Modelos (R^2 e RD)

	R^2	RD
Linear	0,808	Forte
Linear com Patamar	0,837	Forte
Exponencial	0,765	Forte
Esférico	0,840	Forte
Gaussiano	0,847	Forte

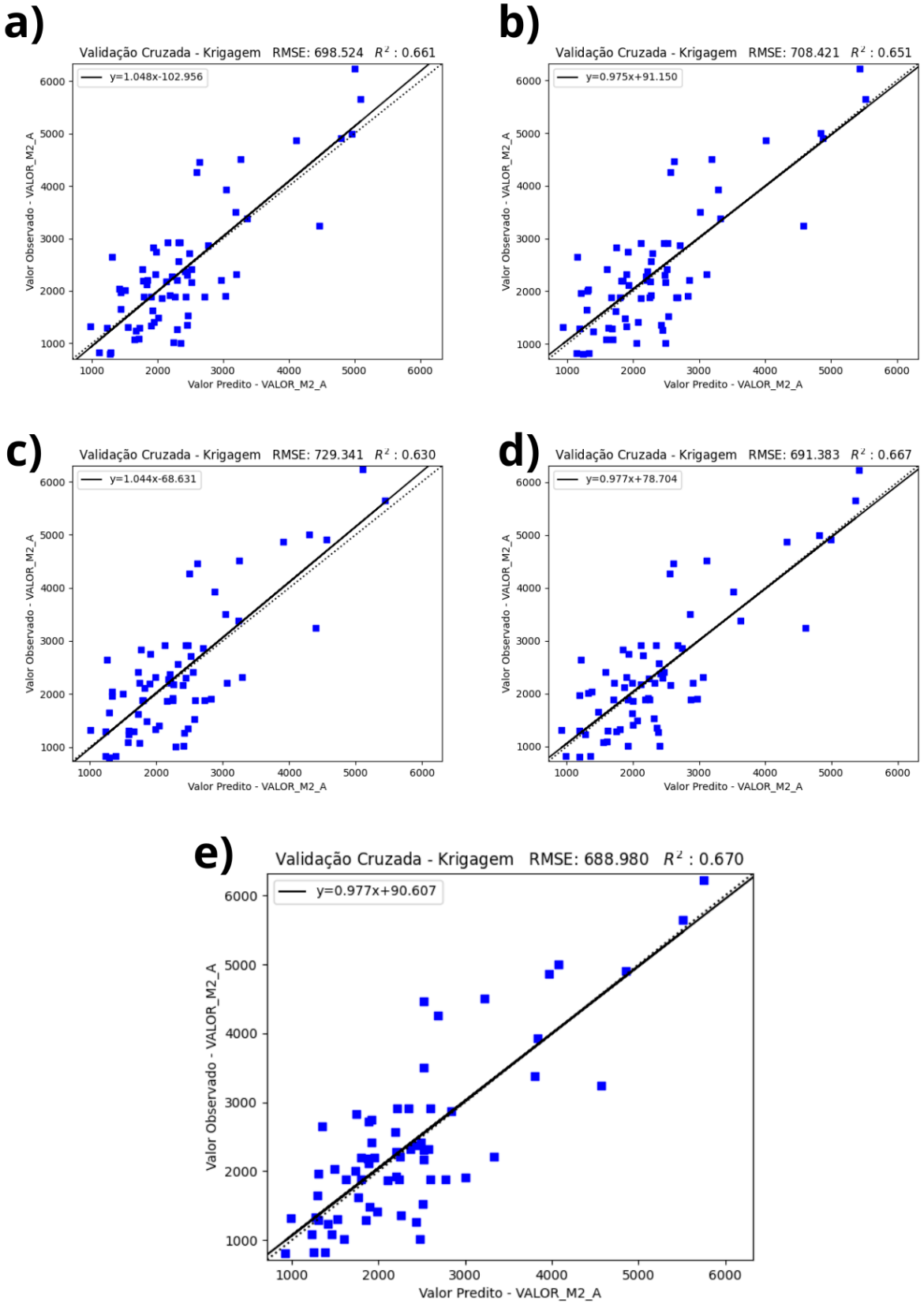
Fonte: Autor, 2025

Também aplicou-se a validação cruzada para verificar a precisão das estimativas realizadas pelos modelos. Os indicadores estatísticos foram o RMSE, índice que mede o desvio médio entre os valores observados e os valores estimados pelo modelo, onde os valores de RMSE mais baixos indicam maior precisão, ou seja, as estimativas estão mais próximas dos valores reais. Além dele também se baseou no coeficiente de determinação R^2, dessa vez como uma medida da proporção da variância total dos dados observados que é explicada pelas previsões do modelo durante a validação cruzada.

Observou-se o comportamento dos valores estimados, quando comparados aos valores observados, alinhados ao longo de uma reta de regressão que se aproxima da reta bissetriz. A baixa dispersão dos pontos em torno da linha, indica que o modelo geoestatístico adotado apresenta boa capacidade preditiva e produz estimativas consistentes e confiáveis (ver Figura 25).

Os modelos com maior R^2 e menor RMSE foram considerados os mais adequados para a etapa final de interpolação, assegurando que os mapas resultantes refletissem com fidelidade os padrões espaciais observados nos dados amostrais.

Figura 25: Validação Cruzada: a) Linear; b) Linear com patamar; c) Exponencial; d) Esférico; e) Gaussiano



Fonte: Autor, 2025

Conforme os parâmetros mencionados, apresentou-se os seguintes resultados para a validação cruzada:

Tabela 05: Resultados Validação Cruzada (R^2 e RMSE)

	R^2	RMSE
Linear	0,661	698,524
Linear com Patamar	0,651	708,421
Exponencial	0,630	729,341
Esférico	0,667	691,383
Gaussiano	0,670	688,980

Fonte: Autor, 2025

Pela análise geoestatística foi possível afirmar que o modelo Gaussiano apresentou os melhores resultados segundos os parâmetros propostos tanto pela análise da modelagem quanto pelos resultados da validação cruzada. Os valores da modelagem estão apresentados na tabela 05

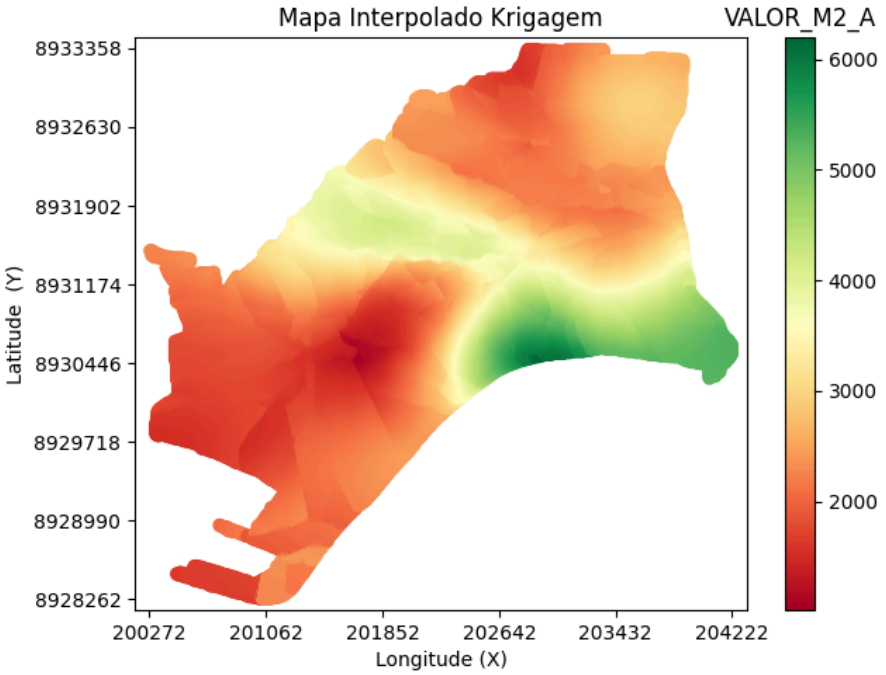
Tabela 06: Valores da modelagem modelo Gaussiano

Modelo	Gaussiano
Efeito Pepita (Co)	219884,489
Patamar (C)	1296907,878
Alcance (a)	1265,832

Fonte: Autor, 2025

Tendo este modelo como escolha, foi realizada então a interpolação das amostras por krigagem ordinária no SmartMap, obtendo-se um arquivo raster com as informações contínuas dos valores do m² de terrenos da RA01 de Maceió, conforme Figura 26.

Figura 26: Raster obtido da Interpolação do SmartMap

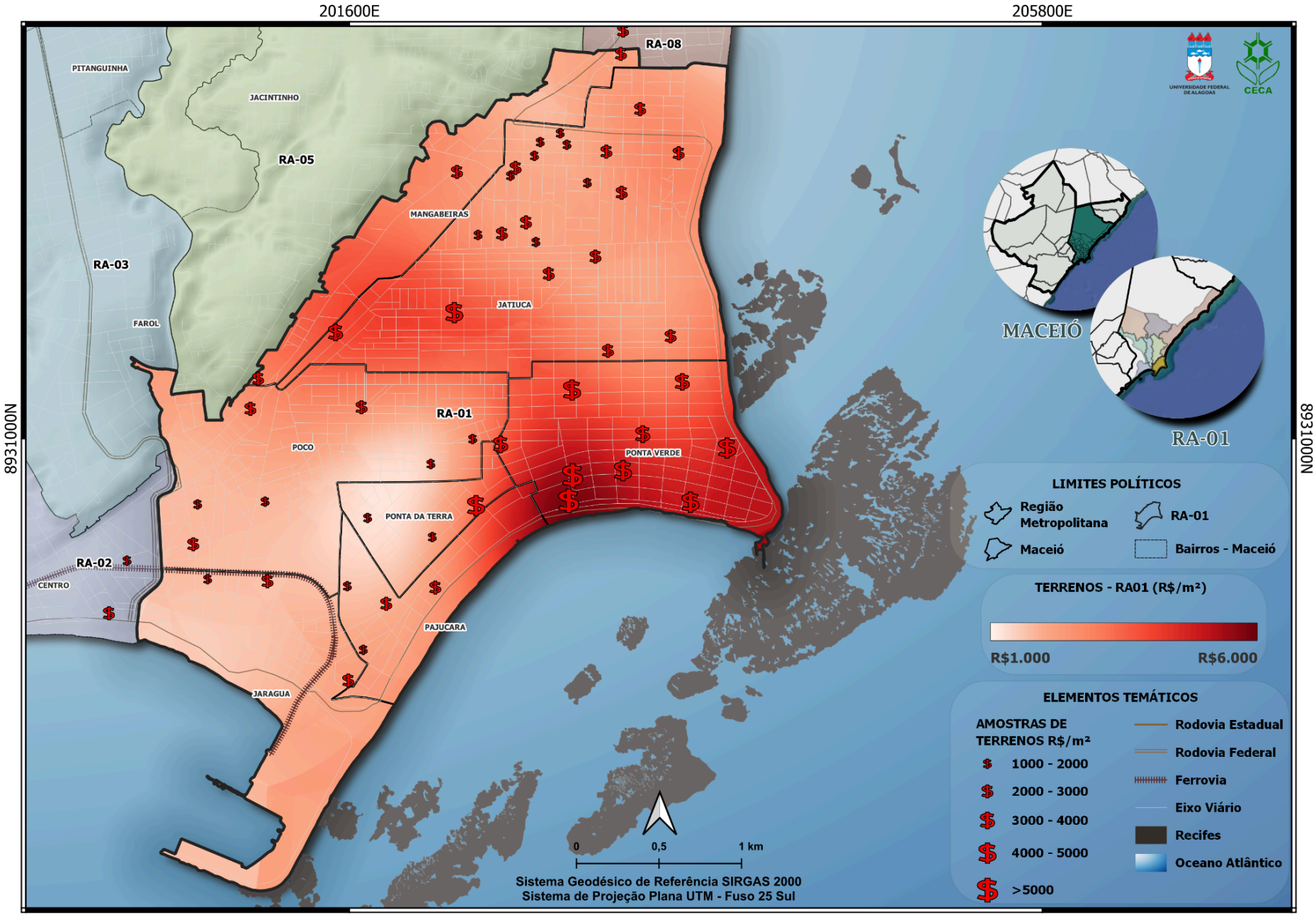


Fonte Autor, 2025

Observou-se segundo mapa da Figura 27 através do raster gerado uma intensidade de altos valores no bairro Ponta Verde e na região de divisa com Pajuçara, além de um leve pico ascendente a noroeste, sentido Jatiúca-Mangabeiras. Pode-se perceber que as demais áreas mostram valores homogêneos aos arredores com uma ressalva a região próxima a Ponta da Terra de divisa com o Poço, que demonstra uma notável mancha de valores mais baixos que os arredores na região. Associando a localização e expressividade das amostras com o resultado da interpolação, nota-se que os valores de ambos estão condizentes entre si.

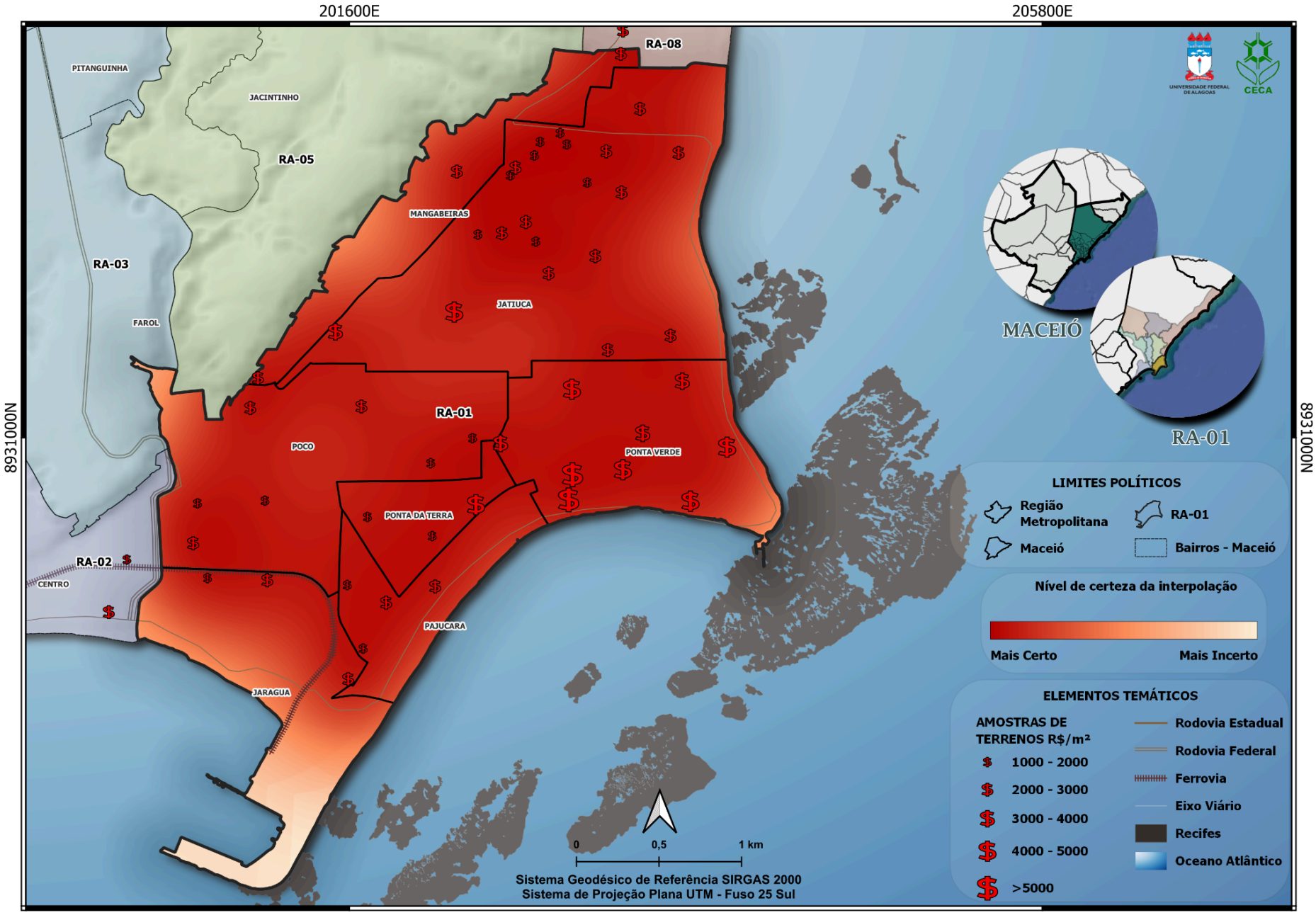
Na Figura 28 consta um mapa de incertezas associado às predições realizadas. As áreas com maior intensidade da cor preta apresentaram menor variação, refletindo estimativas mais confiáveis. Pode-se notar que a região do porto do Jaraguá (ao sul do mapa: 9°41'2.54"S 35°43'25.95"O) apresenta um grau de incerteza dos valores estimados mais elevado, predominantemente pela cor mais esbranquiçada. Isso se deve principalmente à inexistência de amostras mais próximas à região.

Figura 27: Interpolação do metro quadrado de terrenos RA01



Fonte: Autor, 2025

Figura 28: Nível de certeza da interpolação

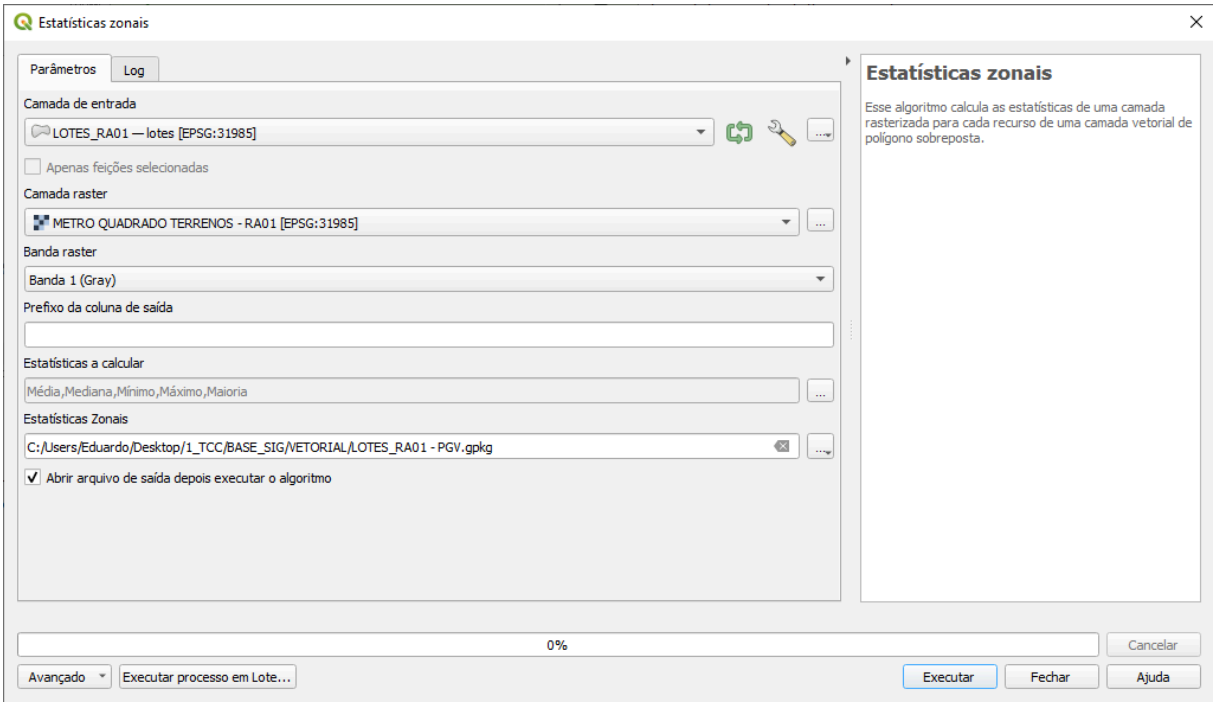


Fonte: Autor, 2025

4.3 Análise da Planta de Valores Genéricos - RA-01

Após a realização da interpolação geoestatística dos dados amostrais, o raster resultante foi inserido no QGIS com o objetivo de viabilizar a análise espacial detalhada. Para isso, foi aplicado o recurso de “estatísticas zonais” (ver Figura 29), que permite extrair informações estatísticas (como média, mínimo, máximo, desvio padrão, entre outras) de um raster com base em unidades vetoriais. Utilizou-se a base cartográfica municipal, em especial as vias e lotes da Região Administrativa 01, extraindo os valores de mediana (que neste trabalho foi chamado de “Estimado”), máximos e mínimos equivalentes a delimitação desses vetores.

Figura 29: Estatísticas Zonais



Fonte Autor, 2025

Essa abordagem possibilitou a quantificação e comparação dos valores interpolados dentro de zonas geográficas específicas, contribuindo para a compreensão da distribuição espacial do valor da terra nua.

Aplicou-se o valor estimado aos logradouros da RA-01, conforme Figura 30, tendo como embasamento que cada segmento da via receberia um valor de mediana correspondente ao estimado, similar a características de algumas PVGs de avaliarem por face de quadra. Esse processo transforma a superfície contínua de valores interpolados em uma estrutura vetorial organizada por trechos de

logradouros, oferecendo uma representação mais próxima da realidade urbana e possibilitando análises detalhadas de valorização fundiária ao longo das vias públicas.

Figura 30: Tabela PGV

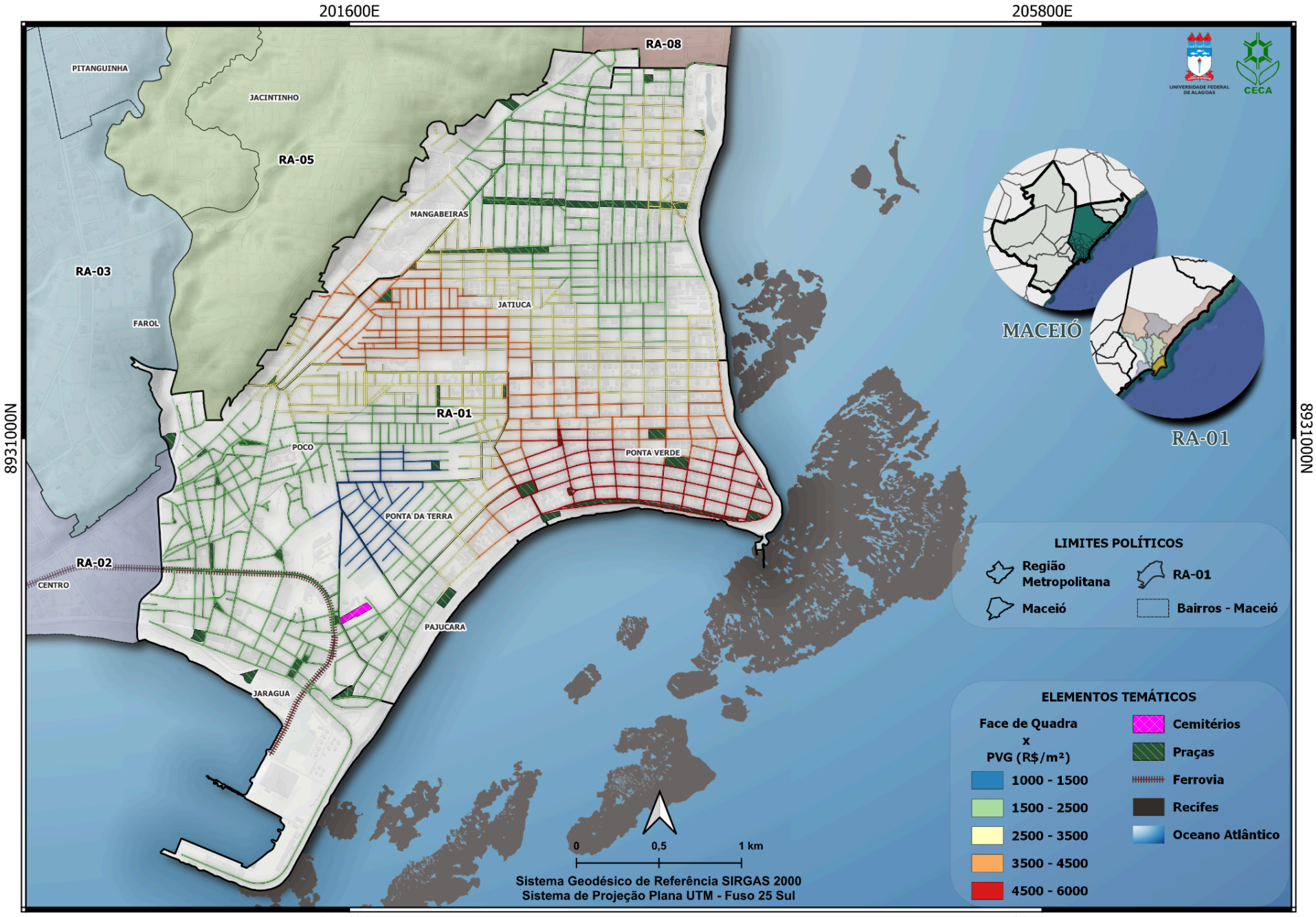
VIAS - PGV (BUFFERS) Explodidas por vertices copiar — Total de feições: 3648, Filtrado: 3648, Selecionado: 0

	NOME	COD_LOGRAD	TIPO	CEP	BAIRRO	HIERARQUIA	COMPRIMENT	ESTIMADO	MINIMO	MAXIMO
622	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	5487,685...	5340,200...	5558,291...
623	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	5567,972...	5554,975...	5577,669...
624	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	5550,637...	5536,503...	5562,749...
625	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	5519,800...	5500,935...	5536,503...
626	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	5456,134...	5380,939...	5500,935...
627	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	5331,802...	5271,098...	5380,939...
628	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	5196,321...	5118,179...	5271,098...
629	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	5026,853...	4960,851...	5118,179...
630	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	4900,333...	4860,887...	4960,851...
631	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	4823,976...	4779,380...	4865,018...
632	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	4768,050...	4745,032...	4780,383...
633	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	4733,644...	4720,185...	4756,760...
634	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	4728,939...	4720,185...	4754,768...
635	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	4761,555...	4753,281...	4762,717...
636	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	4786,964...	4760,756...	4813,238...
637	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	4926,486...	4813,238...	4976,453...
638	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	4996,797...	4976,453...	5016,195...
639	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	5044,810...	5016,195...	5070,732...
640	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	5096,538...	5070,732...	5116,975...
641	Avenida Engenheiro Mario de Gusmão	000000077	AV	57035-000	PONTA VERDE	COLETORA	1558,13	5121,878...	5037,744...	5131,067...
642	Avenida Engenheiro Paulo Brandão Nogueira	000001391	AV	57036-550	JATIUCA	COLETORA	470,45	2232,012...	2229,379...	2233,681...
643	Avenida Engenheiro Paulo Brandão Nogueira	000001391	AV	57036-550	JATIUCA	COLETORA	470,45	2230,980...	2230,638...	2231,323...
644	Avenida Engenheiro Paulo Brandão Nogueira	000001391	AV	57036-550	JATIUCA	COLETORA	470,45	2262,059...	2202,595...	2265,614...
645	Avenida Engenheiro Paulo Brandão Nogueira	000001391	AV	57036-550	JATIUCA	COLETORA	470,45	2199,760...	2199,149...	2202,595...
646	Avenida Engenheiro Paulo Brandão Nogueira	000001391	AV	57036-550	JATIUCA	COLETORA	470,45	2199,835...	2199,220...	2206,826...

Fonte: Autor, 2025

A PVG construída pode ser analisada no mapa da Figura 31. Observa-se as oscilações de valores ao longo de uma mesma via, explicadas pela influência de fatores físicos, urbanísticos, econômicos e sociais que afetam diretamente a percepção de valor.

Figura 31: PVG - RA01 (Por segmento de via)

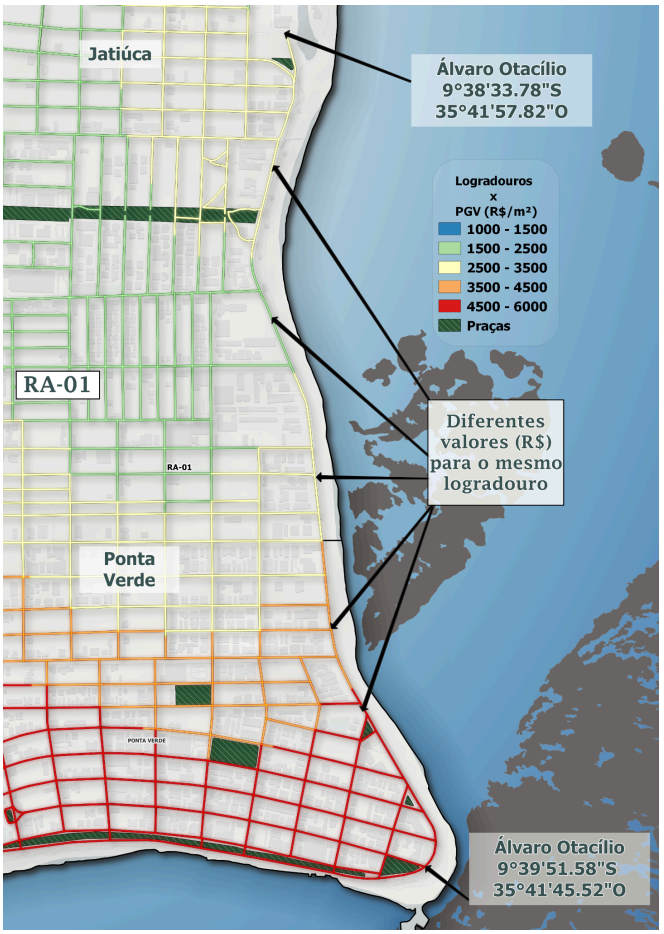


Fonte: Autor, 2025

Observa-se que o mapa da Figura 31 mostra que valores elevados estão mais concentrados na orla marítima: especialmente no bairro Ponta Verde (na cor vermelho escuro) e em partes da Jatiúca, Mangabeiras e Pajuçara (na cor laranja). Sob uma análise visual, nota-se que há o predomínio da cor verde (que representa um intervalo de R$1.500 - R$2.500) na RA-01, principalmente nos bairros Poço, Jaraguá e Jatiúca, e uma notável região de menor valor, na maior parte da Ponta da Terra.

Segundo exemplo da Figura 32, observa-se que a característica do preço da terra varia a depender de sua localização, persiste. Imóveis, mesmo que sejam localizados no mesmo logradouro, sofrem oscilações de valores dependentes da região.

Figura 32: Análise de logradouro - Álvaro Otacílio



Fonte: Autor, 2025

Tomando como exemplo a Avenida Álvaro Otacílio (9°38'33.78"S, 35°41'57.82"O até 9°39'51.58"S, 35°41'45.52"O) que margeia os bairros Jatiúca e Ponta Verde, o valor dos terrenos apresentam quatro faixas de valores distintos ao

longo da via. A avenida possui um forte foco comercial e turístico, voltada a empreendimentos residenciais e comerciais na região da Jatiúca e de atividades turísticas em Ponta Verde.

Terrenos próximos à orla de praias urbanas como as de Maceió, tendem a ter valores significativamente superiores em razão da valorização paisagística, atratividade turística e presença de infraestrutura voltada ao lazer e turismo. Os empreendimentos verticais residenciais de luxo, como condomínios ou torres mistas (residencial e comercial), costumam valorizar o entorno devido à modernização da área, melhoria na infraestrutura e novo perfil socioeconômico dos moradores.

Da mesma forma, aplicou-se as “estatísticas zonais” do raster de valores interpolados para os lotes da base cartográfica existente da RA01. Desta forma, foi possível atribuir a cada parcela os valores estimados provenientes da interpolação geoestatística. Essa operação permitiu uma análise espacial mais precisa, pois os valores da mediana do raster foram agregados individualmente a cada lote como valor estimado (ver Figura 33).

Figura 33: Planilha PVG - Lotes

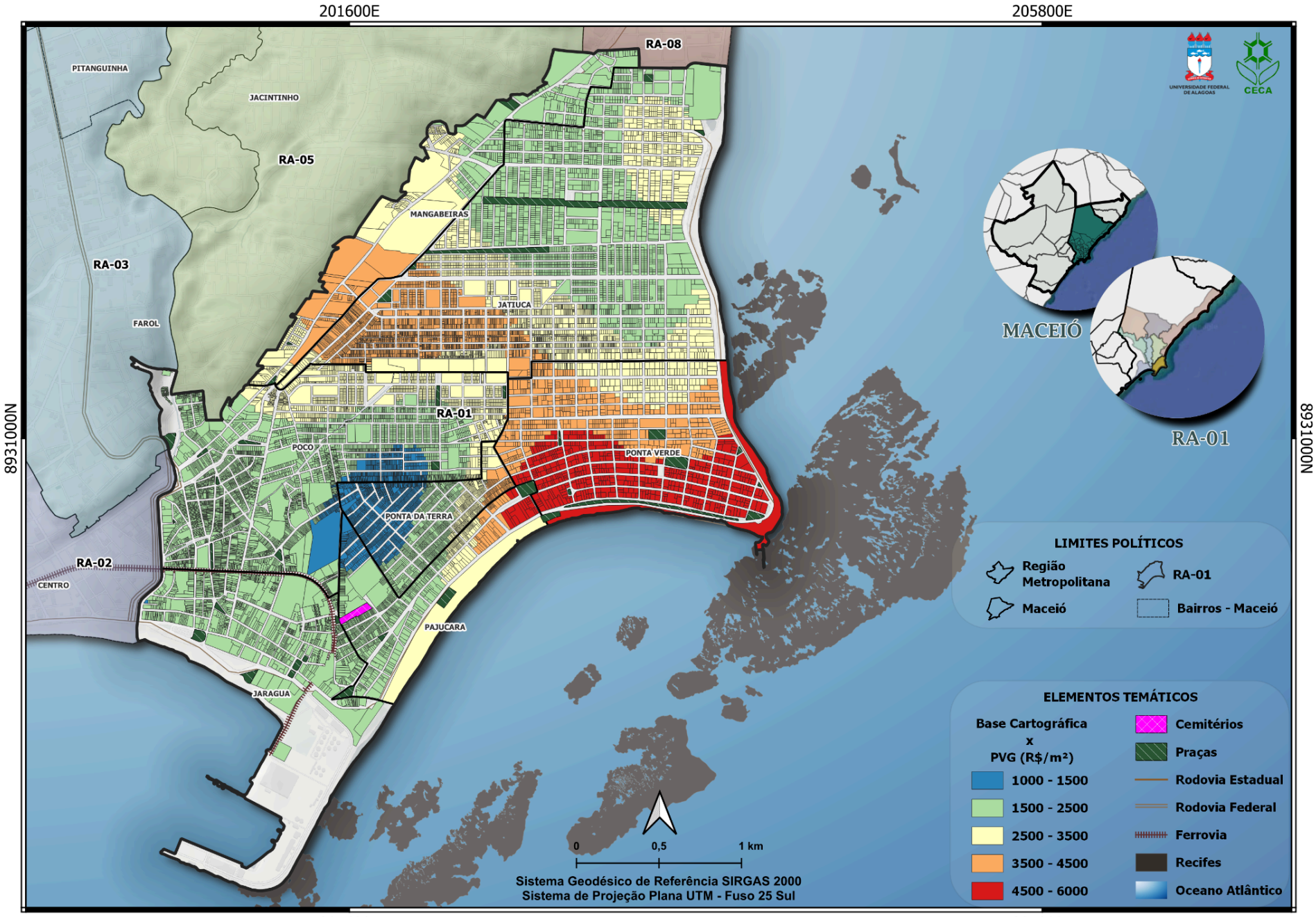
Camada unida — Total de feições: 15739, Filtrado: 15739, Selecionado: 0

	BAIRRO	REGIAO_ADM	AREA	HTP	RENDA MEDIA 2010	RENDA IPCA 2024	ESTIMADO	MINIMO	MAXIMO
14791	PONTA DA TERRA	RA_1	136,87918	05.0097.0084	1220,05	2666,66	1363,594...	1344,504...	1383,644...
14792	PONTA DA TERRA	RA_1	154,13086	05.0097.0328	1220,05	2666,66	1421,874...	1410,083...	1439,854...
14793	PONTA DA TERRA	RA_1	140,36067	05.0097.0089	1220,05	2666,66	1357,237...	1338,348...	1377,096...
14794	PONTA DA TERRA	RA_1	246,33198	05.0097.0070	1220,05	2666,66	1389,914...	1370,095...	1410,645...
14795	PONTA DA TERRA	RA_1	291,53687	05.0097.0338	1220,05	2666,66	1435,826...	1423,181...	1454,666...
14796	PONTA DA TERRA	RA_1	64,9754	05.0097.0030	1220,05	2666,66	1441,986...	1438,126...	1445,845...
14797	PONTA DA TERRA	RA_1	248,72986	05.0096.0092	1220,05	2666,66	1347,706...	1328,206...	1368,705...
14798	PONTA DA TERRA	RA_1	156,74753	05.0096.0083	1220,05	2666,66	1353,476...	1335,150...	1374,788...
14799	PONTA DA TERRA	RA_1	144,32726	05.0096.0075	1220,05	2666,66	1354,905...	1340,755...	1369,983...
14800	PONTA DA TERRA	RA_1	154,07071	05.0097.0348	1220,05	2666,66	1460,124...	1450,159...	1470,134...
14801	PONTA DA TERRA	RA_1	56,581	05.0097.0022	1220,05	2666,66	1447,998...	1444,125...	1451,871...
14802	PAJUCARA	RA_1	196,76583	05.0051.0215	2883,09	6301,56	2077,721...	2067,704...	2090,293...
14803	PAJUCARA	RA_1	131,61955	05.0051.0208	2883,09	6301,56	2079,426...	2071,082...	2087,701...
14804	PAJUCARA	RA_1	157,83685	05.0051.0203	2883,09	6301,56	2078,926...	2066,594...	2089,418...
14805	PAJUCARA	RA_1	323,64095	05.0051.0268	2883,09	6301,56	2071,276...	2050,868...	2088,570...
14806	PAJUCARA	RA_1	71,27981	05.0055.0221	2883,09	6301,56	2011,095...	2010,338...	2011,852...

Fonte: Autor, 2025

Com essa análise, obtém-se uma valoração mais contextualizada e sensível às nuances do território, isso possibilita que, mesmo dentro da mesma face de quadra, se reconheçam variações locais significativas conforme mapa da Figura 34.

Figura 34: Distribuição dos valores pela base cartográfica



Fonte: Autor, 2025

Notou-se que a integração dos dados da camada raster com os lotes da base cartográfica evidenciou os padrões de valorização espacial dentro do bairro, possibilitando identificar áreas com maior ou menor valor estimado por metro quadrado.

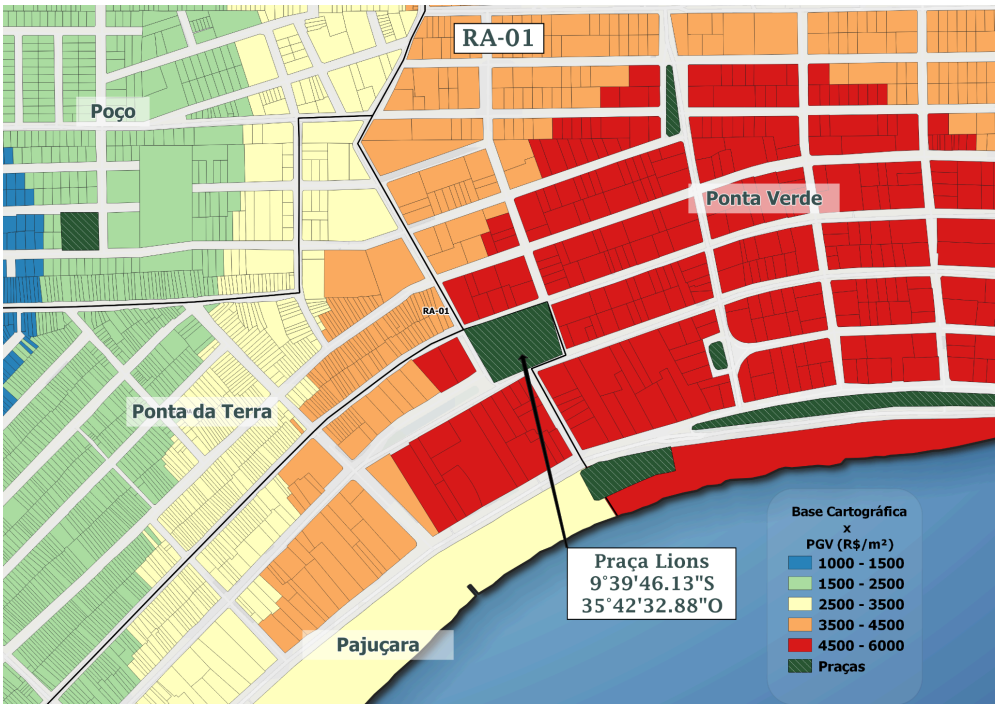
A partir da análise do mapa da figura 34, é possível observar regiões de valores homogêneos principalmente nas cores verde e amarela (intervalos de R$1.500 - R$2.500 e R$2.500 - R$3.500) em predomínios nos bairros Poço e Jaraguá a sudoeste da RA-01 e em Jatiúca e alguns trechos da Mangabeiras. Isso aponta que a disposição espacial do valor da terra nessas regiões é similar.

Como esperado, Ponta Verde expressa os maiores valores fundiários (R$4.500 - R$6.000), seguindo por uma região transitória até a Mangabeiras. Nota-se também que uma parte da região da Ponta da Terra e algumas quadras do Poço se destacam por apresentar os menores valores da RA-01 (na cor azul de R$1.000 - R$1.500), que não contrasta com as áreas vizinhas.

Cita-se a oscilação dos valores de m² em regiões transitórias entre bairros mais “valorizados” com menos “valorizados”. Por exemplo: próximo a praça Lions (9°39'46.13"S, 35°42'32.88"O), divisa entre Pajuçara, Ponta da Terra e Ponta Verde, existem regiões onde o valor oscila do maior para o menor dentro do mesmo bairro (Figura 35). Nota-se que a paleta de valores oscila do vermelho escuro, passando pelo laranja, até ao verde, conforme a face de quadra se afasta das regiões mais valorizadas.

Associa-se a uma relação que se dá pela face de quadra: imóveis em frente a logradouros mais valorizados, praças, áreas turísticas ou centros comerciais, tendem a ser mais valorizados. Isso aponta que o valor da terra não é único e igual para todo o bairro por inteiro, mas sim que reforça que a valorização ou depreciação ocorre segundo a localização do imóvel.

Figura 35: Análise de face de quadra



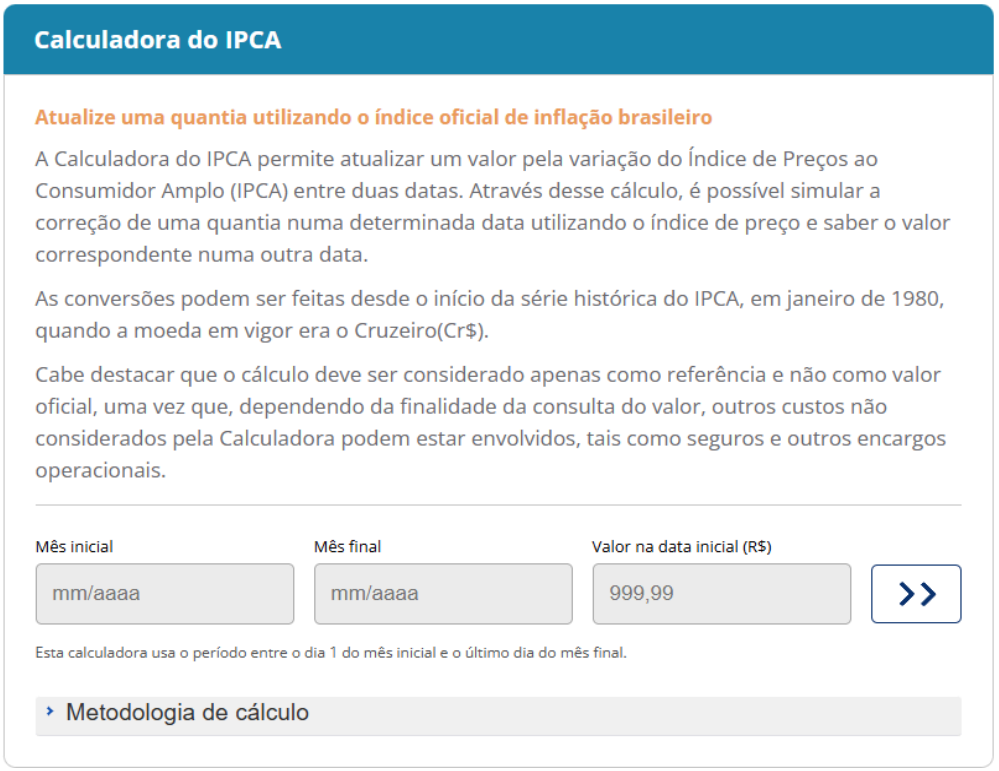
Fonte: Autor, 2025

Bairros como Jatiúca, Jaraguá e Ponta Verde detém um alto potencial turístico, como orlas marítimas, áreas históricas, pontos culturais ou naturais de destaque, oferecendo infraestrutura diferenciada, maior fluxo de pessoas e uma economia local aquecida.

Nesse contexto evidencia-se que essas áreas tendem a apresentar valores de terrenos mais elevados (com valores partindo dos R$2.000 até R$6.000), comprovando o impacto direto dessas características na dinâmica imobiliária. Isso reflete uma valorização impulsionada não apenas pela localização geográfica, mas também pelo potencial de exploração comercial e funcional que essas regiões oferecem, como o poder aquisitivo de seus residentes.

Dado tal argumentativa, analisou-se a influência da renda média do bairro sobre o valor dos terrenos na RA01. Inicialmente foi necessário adaptar os valores de renda para os dias atuais, já que os dados remontam a 15 anos. Para isso utilizou-se os dados do censo do IBGE de 2010 adequando a renda média da época com a calculadora de inflação pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA (também do IBGE). Graças a isso, obteve-se uma estimativa precisa de quanto seria a renda dos bairros para o ano de 2024.

Figura 36: Calculadora IPCA



Fonte: IBGE, 2025

De forma geral, bairros com maior renda tendem a apresentar terrenos mais valorizados, refletindo o poder aquisitivo dos moradores e a demanda por infraestrutura urbana qualificada, acessibilidade e serviços de qualidade.

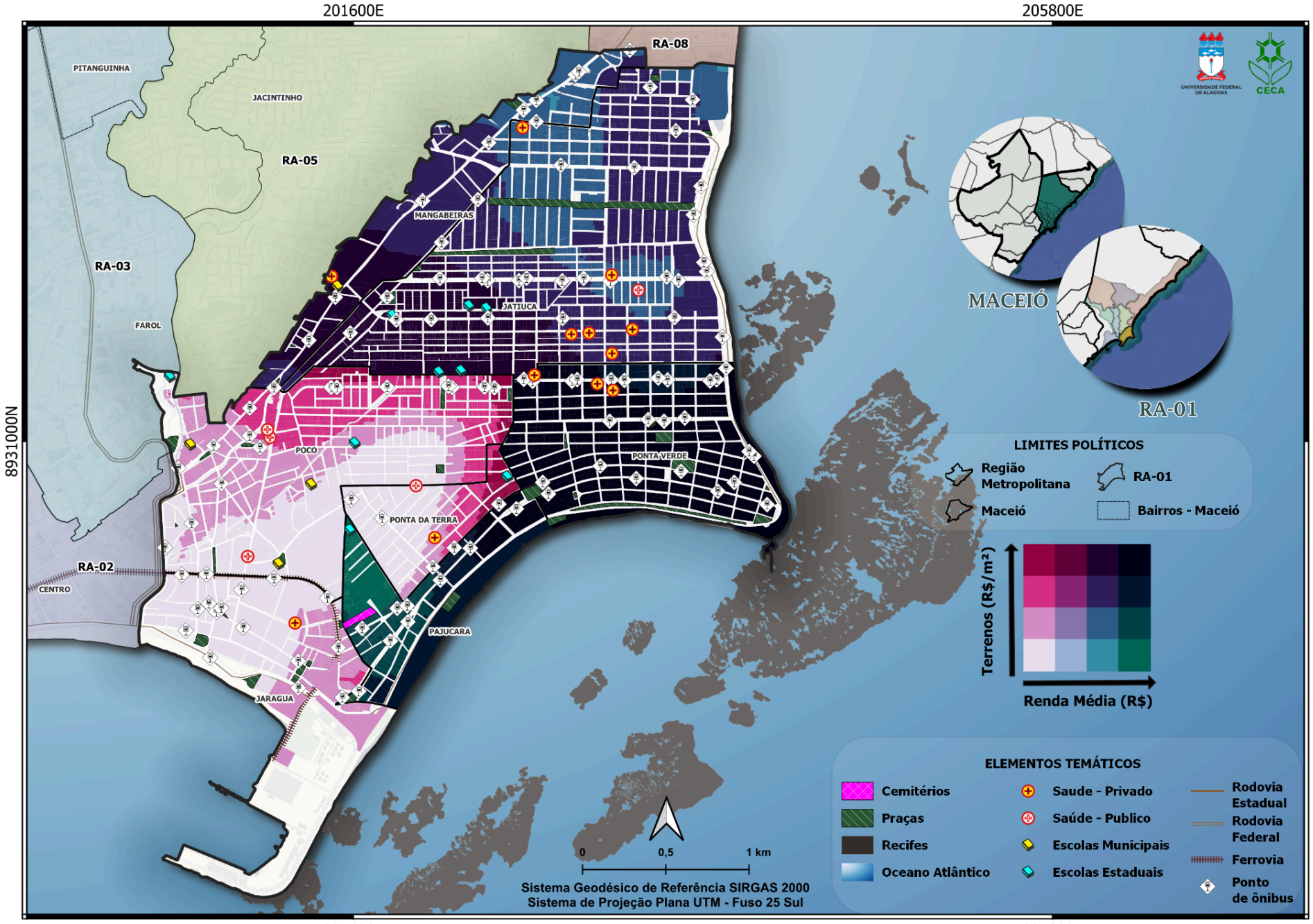
Áreas com alta renda média costumam concentrar empreendimentos de padrão superior, condomínios fechados, comércio seleto e equipamentos urbanos bem distribuídos. Isso gera maior valorização fundiária, visto que há procura constante por terrenos nessas regiões por incorporadoras e moradores com maior poder de compra. Já em bairros com baixa renda média, os terrenos tendem a ser menos valorizados, muitas vezes devido à precariedade da infraestrutura, maior índice de informalidade ou menor atratividade econômica.

Cruzando-se os dados de renda média adaptados pelo IPCA com os lotes da base cartográfica da PVG obteve-se um mapa bivariado analisando a disposição da renda média com os valores do m² dos terrenos. Para isso, inicialmente transformou-se a classificação visual da camada vetorial tanto da renda quanto do m² de dados quantitativos para qualitativos, através da própria classificação do QGIS em quatro quartis onde foram divididos em:

- Renda Média do Bairro:
    - Renda Baixa
    - Renda Média
    - Renda Média-Alta
    - Renda Alta
- Valor do metro quadrado de terreno:
    - Zona Baixa
    - Zona Média
    - Zona Média-Alta
    - Zona Alta

Observou-se a relação entre ambas variáveis juntamente com a distribuição de equipamentos públicos de saúde e educação e pontos de paradas de ônibus para acessibilidade, conforme mapa da Figura 37.

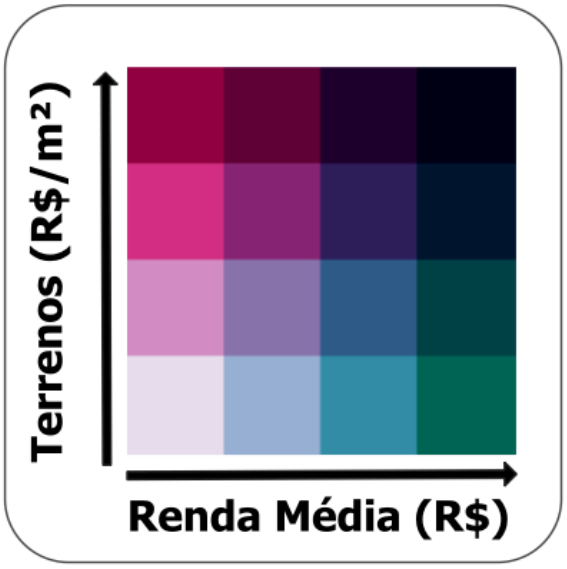
Figura 37: PVG x Renda Média (adaptada)



Fonte: Autor, 2025

Para compreensão do mapa bivariado, foi necessário o uso de uma matriz policromática em que os valores do m² de terreno são dispostos verticalmente e a renda média é disposta horizontalmente. A intensidade da cor expressa o aumento da classe e a “multiplicação” de uma cor por outra gera uma nova paleta que contém o cruzamento das duas informações.

Figura 38: Matriz policromática



Fonte: Autor, 2025

Com base nisso, pode-se observar que em diversas zonas da RA01 onde existem as maiores rendas, o valor dos terrenos é mais acentuado. O que reforça a afirmação que o poder aquisitivo dos proprietários de altas rendas, influencia o entorno.

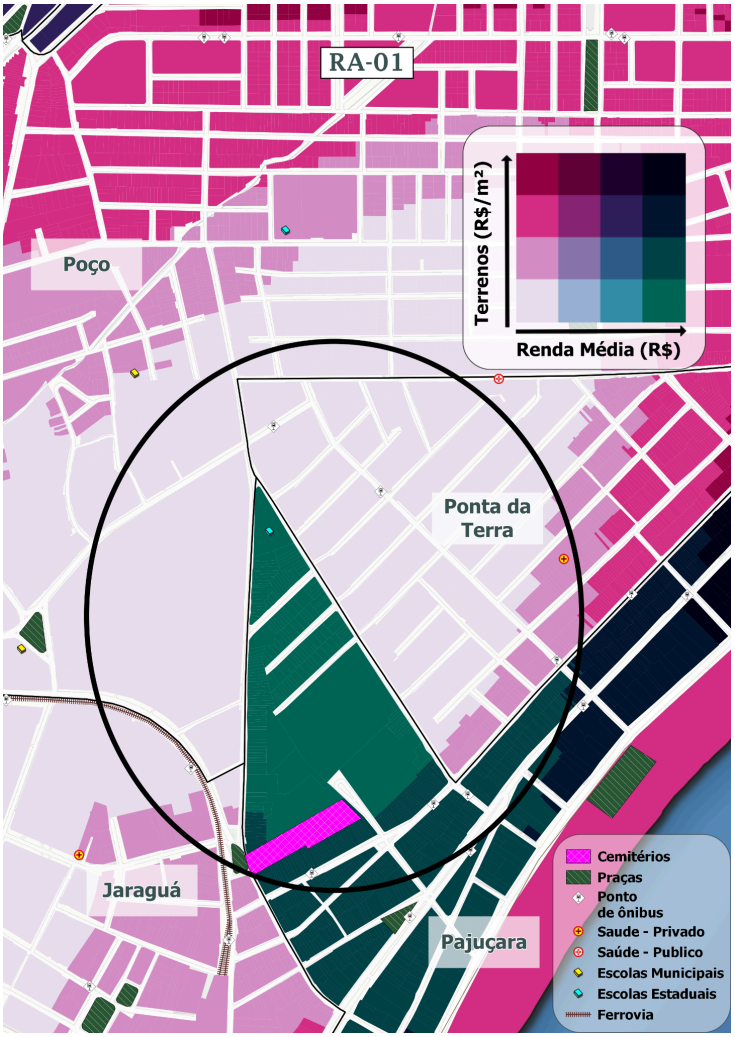
Ressalva-se a zona de transição dos Bairros Poço e Ponta da Terra com Ponta Verde e Jatiúca (em que a cor oscila entre todos os tons do Magenta da Matriz policromática) que apontam uma menor renda nos dois primeiros bairros, mas que o valor da terra ainda é influenciado pelos bairros vizinhos.

Nota-se que existe uma excelente distribuição de paradas de ônibus nas regiões mais valorizadas que as de menor valor. Para equipamentos de educação, por ser uma RA que detém bairros fortemente voltados ao turismo e comércio, não existem muitas escolas públicas no entorno, ao contrário das particulares (que são voltadas aos residentes com maiores condições financeiras).

Assim como para saúde, onde é possível notar que predomina uma concentração de hospitais e clínicas privadas na divisa de Jatiúca com Ponta Verde, existindo pouquíssimas unidades públicas. Uma ressalva para o Bairro do Poço que ainda conta com centros de saúde e o Hospital da Mulher (de coordenadas 9°39'34.66"S e 35°43'24.82"O)

Outro ponto de interesse é a região limite da Pajuçara com os bairros Poço e Ponta da Terra, expresso na Figura 39. Devido a renda ser “média” para todo o bairro, essa região em especial não apresenta as mesmas características que o lado litorâneo como alto potencial turístico ou comercial, resultando numa situação onde a renda média local supera o valor dos terrenos. Nesses casos, há uma desconexão entre valor fundiário e perfil socioeconômico, o que pode indicar processos de gentrificação ou de pressão imobiliária.

Figura 39: Análise de região PVG x Renda



Fonte: Autor, 2025

5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem de métodos geoestatísticos integrados ao ambiente SIG revelou-se uma solução eficiente para compreender a dinâmica espacial dos valores da terra nua na Região Administrativa RA-01. A organização inicial dos dados amostrais em planilhas e sua posterior espacialização no QGIS permitiram representar, analisar e interpretar padrões de distribuição fundiária de maneira clara e acessível.

A identificação de dependência espacial significativa, por meio do Índice de Moran associado ao P.Value, validou o uso da krigagem como método de interpolação espacial como satisfatório. A escolha do modelo teórico mais adequado baseou-se em critérios técnicos como o coeficiente de determinação (R^2) e a Razão de Dependência Espacial (RD), assegurando a confiabilidade do modelo empregado. A validação cruzada, utilizando parâmetros como o RMSE e o R^2, confirmou a coerência das estimativas geradas. A proximidade entre os valores estimados e observados, com alinhamento próximo à reta bissetriz e baixa dispersão, evidenciou a consistência e a precisão do modelo na reprodução dos padrões espaciais observados.

A interpolação dos dados por krigagem ordinária e sua posterior aplicação em camadas vetoriais de vias e lotes permitiu o cruzamento dos valores estimados e a criação de uma Planta de Valores Genéricos (PVG) por segmentos viários e lotes territoriais. Tal ferramenta contribui diretamente para a compreensão das dinâmicas internas do tecido urbano, permitindo inferências sobre fatores que influenciam a valoração imobiliária, principalmente a importância da localização.

A análise espacial demonstrou ainda como determinados elementos do tecido urbano, como a presença de regiões turísticas ou empreendimentos comerciais, exercem influência direta na valorização fundiária. A comparação entre o valor estimado dos terrenos e a renda média dos bairros indicou uma conexão esperada, porém com variações que revelam a ação de fatores externos à renda, como acessibilidade, infraestrutura e atratividade econômica.

Em síntese, a aplicação da geoestatística no SIG viabiliza uma leitura mais precisa da distribuição espacial dos valores da terra nua, como demonstrado neste trabalho. A elaboração de uma PVG a partir dos dados amostrais, associada à

análise cruzada com variáveis como renda média, permitiu compreender melhor os contrastes internos da malha urbana e identificar zonas com maior ou menor valorização.

Ademais, afirma-se que não existe um único método de interpolação que seja universalmente melhor, pois a escolha depende de vários fatores como a natureza dos dados, a dependência espacial e o objetivo da interpolação. Outros métodos podem expressar resultados relevantes, mas a escolha da krigagem se sobressai pela obtenção de estimativas confiáveis, com controle estatístico dos erros, validação cruzada rigorosa, e transparência na modelagem da variância espacial. A análise da estrutura de dependência espacial, é fundamental em contextos urbanos com grande heterogeneidade socioeconômica, como a RA-01 da cidade de Maceió.

Em perspectiva futura, estudos acerca da comparação entre métodos de interpolação aplicados a uma PVG, seriam essenciais para a comprovação da excelência da krigagem nessa área. Outro ponto seria a análise do valor do m² ao longo dos anos como estudo do crescimento dos valores imobiliários da mesma região e as prováveis causas relacionadas.

Por fim, com base nos resultados obtidos, aponta-se a necessidade de um planejamento urbano integrado, que considere tanto os aspectos físicos do território quanto os socioeconômicos, incluindo a renda média da população e a influência de áreas turísticas ou comerciais sobre o valor dos terrenos. A adoção de uma Planta de Valores Genéricos tecnicamente fundamentada pode contribuir significativamente para esse processo, proporcionando maior equidade tributária e subsidiando estratégias eficazes para o planejamento e a gestão urbana.

REFERÊNCIAS

ANDRIOTTI, J. L. S. Notas de geoestatística. **Acta Geologica Leopodensia**, v. 24, n. 55, p. 3-14, 2002.

AFONSO, J. R. R.; ARAÚJO, E. A.; NÓBREGA, M. A. R. D. **O IPTU no Brasil: um diagnóstico abrangente**. Rio de Janeiro: FGV, 2013.

ANTUNES, A. F. B. Elementos de Cadastro Territorial Multifinalitário. **Cadastro técnico rural e urbano**. Curso de Engenharia Cartográfica e Agrimensura. Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR** 14653-1**:** Avaliação de Bens. Parte 1: Procedimentos gerais. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR** 14653-2. Avaliação de Bens. Parte 2: Imóveis Urbanos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2004.

BAENINGER. R. População e cidades: subsídios para o planejamento e para as políticas sociais. **Campinas: Nepo/UNICAMP**; Brasília: UNFPA, v.1, p.209-222, 2010.

BANDEIRA, S. R. V.. **Regressão espacial e avaliação de terrenos: um estudo de caso para a Cidade de Fortaleza-CE**. 2019. 67f. Dissertação (Mestrado em Economia do Setor Público) - Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2019.

BARNUEVO, S. **Marketing e a diferença entre preço e valor**. 2012. Disponível em: <http://www.genteemercado.com.br/133683/>

BORSSOI, J. A.. **Diagnostics techniques in spatial linear gaussians models**. 2007. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2007.

BRANDÃO, A. C. **Princípio da Vizinhança Geodésica no Levantamento Cadastral de Parcelas Territoriais**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2003.

BRASIL, Ministério de Desenvolvimento Regional. Portaria n° 3.242, de 9 de novembro de 2022, aprova as diretrizes para a criação, a instituição e a atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM), nos municípios brasileiros. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 11 de nov. 2022.

FEDERAL, Senado. **Constituição**. Brasília (DF), 1988.

CÂMARA, Gilberto et al. **Análise espacial e geoprocessamento**. Análise espacial de dados geográficos. Brasília: EMBRAPA, p. 21-54, 2004.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. I**ntrodução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE,** p. 12-41, 2001.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G.. Análise espacial de superfícies. **Análise espacial de dados geográficos. Planaltina: Embrapa Cerrados,** p. 79-122, 2004.

CAMARGO, E. C. G.. Geoestatística: fundamentos e aplicações. **Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos: INPE**, v. 29, 1998.

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

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

CHIODE, Angelo de Souza; ELIAN, Silvia Nagib. **Avaliação de propostas de coeficientes de determinação do tipo R^2 em modelos de regressão logística com resposta nominal**. 2021.

CORIOLANO, G. P.; RODRIGUES, W.; OLIVEIRA, A. F. D.. Estatuto da Cidade e seus instrumentos de combate às desigualdades socioterritoriais: o Plano Diretor

Participativo de Palmas (TO). **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, p. 131-145, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.7213/urbe.05.002.AC04.

CORREIA, Renato Braga. **Condominiarização urbana: uma análise da segregação residencial da classe de alta renda, no litoral norte de Maceió/AL**. 2016. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente , Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

CRESSIE, N. Geostatistics. **The American Statistician**, v. 43, n. 4, p. 197–202, 1989.

CRUZ, M. A. S., DA MOTA; P. V. M.; DE ARAGÃO, R.; ROCHA, R. O. F. Avaliação das precipitações geradas pelo modelo climático regional ETA-HadGEM2-ES para o Estado de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 2017.

DALAQUA, R.R.; AMORIM, A.; FLORES, E. Utilização de métodos combinados de avaliação imobiliária para a elaboração da Planta de Valores Genéricos. **Boletim de Ciências Geodésica,**. v. 16, n. 2, p.232- 252, 2010.

DANTAS, R. A.; PORTUGAL, J. L.; PRADO, J. F. Aplicação de cidades por inferência espacial: um estudo de caso para a cidade de Aracaju. *In:* XXII Congresso Panamericano de avaliações IBAPE e XIII COBREAP - Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 2007, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza/CE, 2007.

DE ARAÚJO FLORENCIO, L.. Modelos Espaciais para Avaliações de Imóveis em Massa com Base em Modelos de Regressão GAMLSS. **Latin American Real Estate Society (LARES)**, 2012.

DE FRANÇA, I. S.. Planejamento, gestão urbana e os seus desafios em escalas não metropolitanas. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 3, n. 43, p. 103-128, 2021. Disponível em: https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/7722. Acesso em: 11 abr. 2025.

FARIA FILHO, R. F.; GONÇALVES, R. M. L.; LUIZ, H. T. G..Modelos estatísticos para geração da Planta de Valores Genéricos: uma aplicação em município de

pequeno porte. **Urbe. Revista Brasileira De Gestão Urbana,** v. 11, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.e20180192.

FARIAS, B. F. **Cadastro, mapeamento e enfrentamento dos vazios urbanos: SIG como ferramenta de implementação do PEUC e seus sucedâneos em Maceió, Alagoas.** 2020. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura) – Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Agrimensura, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2019.

FARIAS, B. F.; SAMPAIO, R. S.. Geoprocessamento no mapeamento e análise do esvaziamento urbano: estudos na região administrativa 01 de Maceió, Alagoas. **XVIII ENANPUR - Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional. Anais... Natal**, 2019.

FERREIRA, J. C.; PATINO, C. M.. O que realmente significa o valor-p?. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 41, p. 485-485, 2015.

FISHER, R. A. **Statistical methods for research workers**. London: Oliver & Boyd, 1934.

GOMES, D. J. C.. **Patrimônio imobiliário público do município de Maceió: mapeamento, cadastro e análises para as regiões administrativas 03 E 05**. 2019. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura) – Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Engenharia de Agrimensura, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2019.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Brasil: IBGE, 2025.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R. M.. An introduction to applied geostatistics. **New York: Oxford University Press**, 1989.

JACOMO, C. A. **Modelos Geoestatísticos Espaço-Tempo aplicados a dados pluviométricos no Oeste do estado de São Paulo**. 2011. Dissertação. (Mestrado

em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, SP, 2011.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 52, n. 6, p. 119-139, 1951.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Unesp, 2004.

LANDIM, P. M. B.. Sobre geoestatística e mapas. **Terra e Didatica**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LEGATES, D. R.; MCCABE JR, G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water resources research**, v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.

LOCH, C. **Cadastro técnico rural multifinalitário como base à organização espacial do uso da terra a nível de propriedades rural**. 1993, 128f. Tese (Acesso a Classe de Professor Titular) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1993.

MACEIÓ. **Lei n°. 5.488, de 08 fev. de 2005**. Institui o plano diretor do município de Maceió, estabelece diretrizes gerais de política de desenvolvimento urbano e dá outras providências. Disponível em: Lei Ordinária 5486 2005 de Maceió AL.

MATHERON, G.. The theory of regionalised variables and its applications. **Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique**, v. 5, p. 212, 1971.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. D. R.. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física 04**, p. 793-804, 2011.

MARQUES, AP da S. et al. Aplicação do interpolador krigagem ordinária para a elaboração de planta de valores genéricos. **Revista Brasileira de Cartografia, v. 2**, n. 64, p. 175-186, 2012.

MENDES, M. C. P.; FONTES, M. S. G. D. C.; MAGAGNIN, R. C.. Experiências participativas no planejamento e gestão urbana: uma revisão sistemática. **Revista**

de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 10, n. 1, p. 1 - 18, 2021. DOI: 10.5585/geas.v10i1.19346. Disponível em: https://periodicos.uninove.br/geas/article/view/19346. Acesso em: 11 abr. 2025

MIRANDA, C. R.. **Elaboração de um zoneamento de auxílio a Planta Genérica de Valores como instrumento de planejamento urbano face à realidade do município de Rio Largo**. 2019. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura) - Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Agrimensura, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2018.

MODESTO, Maria da Gloria Santos et al. **Condomínios horizontais e loteamentos fechados: dinâmica de privatização do tecido urbano**. 2010.

MORAN, P. A. P. Notes on continuous stochastic phenomena. **Biometrika,** v. 37, n. ½, p. 17-23, 1950.

PAIVA, C. A. P.; ANTUNES, A. F. B. Geração de planta de valores genéricos a partir do cadastro territorial urbano. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n 69, n.3, p.505-518, 2017.

SANTOS C. G., BARROS, C. R. A., BARROS A. C. A., GARCIA D. S., COSTA F. P., MAIA R. F. e TANI R. A. Expansão urbana do bairro de Cruz das Almas, Maceió/AL: uma mudança do espaço urbano e do estilo de vida de seus moradores. **In: 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável**. Maceió, 2016.

SILVA, E.. **Cadastro técnico multifinalitário: base fundamental para avaliação em massa de imóveis**. 2006. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.

SOUZA, M. L. D. Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos. Rio de janeiro: Bertrand Brasil, 2002, 560p. **Geografia em Atos (Online)**, Presidente Prudente, v. 1, n. 4, p. 169–174, 2002.

TOBLER, W. R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. **Economic geography**, v. 46, n. sup1, p. 234-240, 1970.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B.. Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo: **Oficina de Textos**. 2013. Disponível em:

https://repositorio.usp.br/directbitstream/c0b2cb71-7a23-4e0b-93c5-ca1c681c980c/2401176_compressed.pdf.