FERRAMENTAS DE GEORREFERENCIAMENTO PARA AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS URBANO

GEOREFERENCING TOOLS FOR URBAN PROPERTY VALUATION

HERRAMIENTAS DE GEOREFERENCIACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE PROPIEDADES URBANAS

10.56238/IIMultiCientifica-108

Isaías Antonio dos Santos
Doutorando em Liderança Educacional
Instituição: Must University - USA
E-mail: isaias.felix8@hotmail.com

RESUMO
Diante da importância dos investimentos imobiliários para a movimentação dinâmica da economia brasileira, a presente dissertação se dedica à compreensão da relação existente entre o mercado imobiliário, estatística e ferramenta de georreferenciamento. Esse estudo compreende, por meio de estudos descritivos, teóricos e empíricos, inclusive com aplicação de estudo de caso prático relativo à cidade de Itapetininga, a utilização da inferência estatística para a avaliação dos imóveis, sendo esta a conferência de aspectos econômicos definidos perante à descrição das propriedades em período delimitado. Justifica-se a escolha do tema pela grande importância tida pela inferência estatística para a avaliação de lotes urbanos em diversas áreas, sejam estas de engenharia, arquitetura, economia, etc.; não apenas em âmbito acadêmico como também pragmático e científico.

Palavras-chave: Inferência Estatística. Avaliação de Imóveis. Localização dos Imóveis.

ABSTRACT
Given the importance of real estate investments for the dynamic movement of the Brazilian economy, this dissertation is dedicated to understanding the relationship between the real estate market, statistics, and georeferencing tools. This study comprises, through descriptive, theoretical, and empirical studies, including the application of a practical case study related to the city of Itapetininga, the use of statistical inference for property valuation, which is the verification of economic aspects defined through the description of properties in a defined period. The choice of theme is justified by the great importance of statistical inference for the evaluation of urban lots in various areas, whether in engineering, architecture, economics, etc.; not only in the academic scope but also in the pragmatic and scientific scope.

Keywords: Statistical Inference. Property Valuation. Property Location.

RESUMEN
Dada la importancia de las inversiones inmobiliarias para el movimiento dinámico de la economía brasileña, esta disertación se dedica a comprender la relación entre el mercado inmobiliario, las estadísticas y las herramientas de georeferenciación. Este estudio comprende, a través de estudios descriptivos, teóricos y empíricos, incluyendo la aplicación de un estudio de caso práctico relacionado con la ciudad de Itapetininga, el uso de la inferencia estadística para la valoración de propiedades, que es la verificación de aspectos económicos definidos a través de la descripción de propiedades en un período definido. La elección del tema se justifica por la gran importancia de la inferencia estadística

para la evaluación de lotes urbanos en diversas áreas, ya sean de ingeniería, arquitectura, economía, etc.; no solo en el ámbito académico sino también en el ámbito pragmático y científico.

Palabras clave: Inferencia Estadística. Valoración de Propiedades. Ubicación de Propiedades.



1 INTRODUÇÃO

Abunahman (2008) afirma que o ramo da construção civil tem crescido exponencialmente nas últimas décadas e este fato é visível até mesmo para olhos leigos, tendo em conta a vasta quantidade de imóveis sendo erguidos, sejam estes casas ou apartamentos e até mesmo empreendimentos comerciais, sendo o setor do mercado imobiliário crucial para o desenvolvimento da economia brasileira. Dessa forma, ao se analisar a grande procura das relações contratuais advindas da construção civil se percebe a necessidade e a importância dos estudos referentes a este setor.

Mendonça e Sachsida (2012) afirmam que a economia imobiliária se refere à aplicação de técnicas econômicas ao mercado imobiliário na tentativa de descrever, explicar e prever padrões de preços, oferta e demanda. O campo estreitamente relacionado à economia habitacional tem escopo mais restrito, concentrando-se nos mercados imobiliários residenciais, enquanto a pesquisa de tendências imobiliárias se concentra nos negócios e nas mudanças estruturais que afetam o setor. Ambos se baseiam na análise de equilíbrio parcial, economia urbana, economia espacial, pesquisa básica e extensiva, pesquisas e finanças.

Mediante a relevância do tema, esse artigo tem como pano de fundo a relação existente entre o mercado imobiliário e a estatística, sendo a última definida como a possibilidade de realizar cálculos e funções matemática, a partir de valores amostrais, para inferir conclusões condizentes com a realidade (ROBERTS, 1969). No caso, dedica-se a explanar, por meio de estudos descritivos, teóricos e empíricos, a utilização da inferência estatística para a avaliação dos imóveis, sendo esta a conferência de aspectos econômicos definidos perante à descrição das propriedades em período delimitado. Justifica-se a escolha do tema pela grande importância tida pela inferência estatística para a avaliação de lotes urbanos em diversas áreas, sejam estas de engenharia, arquitetura, economia, etc.; não apenas em âmbito acadêmico como também pragmático e científico.

Assim, a partir da fundamentação teórica e do estudo de caso, este trabalho tem como objetivo principal compreender a aplicação da inferência estatística na avaliação de imóveis por meio da a análise descritiva dos dados; da avaliação das ferramentas de georreferenciamento (Google Earth, GPS de navegação e GPS RTK) e, principalmente, da verificação das ferramentas que fornecem o melhor modelo para avaliação de imóveis.

Assim, com o intuito de contemplar o objetivo acima, a primeira sessão do trabalho corresponde à introdução em que se dedica à explanação sobre o pano de fundo do trabalho, principais objetivos e metodologia aplicada. Da segunda à sexta seção, dedica-se à fundamentação teórica com o estudo de

conceitos atrelados ao tema da inferência estatística voltada à avaliação de imóveis. Nesse percurso são estudados os seguintes conceitos: mercado imobiliário, avaliação de imóveis, avaliação de imóveis urbanos, conceitos de estatística e inferência estatística. Os tópicos 7 e 8 se dedicam ao estudo de caso e à análise e resultados obtidos com estes. E, por fim, a seção 9 corresponde à conclusão desse trabalho em que são apontados os pontos de maior relevância obtidos com a trajetória trilhada no presente artigo.

2 MERCADO IMOBILIÁRIO

2.1 CONCEITOS GERAIS

Segundo Mendonça e Sachsida (2012), o estudo econômico voltado às questões imobiliárias pode ser descrito como a aplicação de técnicas econômicas ao mercado imobiliário, sendo que esta descreve, explica e prevê os padrões de preços, oferta e demanda. O campo está estreitamente relacionado à economia habitacional, concentrando-se nos mercados imobiliários residenciais, e na pesquisa de tendências imobiliárias, concentrando-se nos negócios e nas mudanças estruturais que afetam o setor. Ambos se baseiam na análise de equilíbrio parcial - oferta e demanda -, economia urbana, economia espacial, pesquisa básica e extensiva, além de finanças. O mercado imobiliário é composto por diferentes agentes com funções específicas: usuários, que adquirem ou alugam imóveis para moradia ou investimento; proprietários, que compram imóveis para locação ou arrendamento; locatários, que utilizam os imóveis mediante aluguel; desenvolvedores, responsáveis pela preparação de terrenos e criação de novos empreendimentos; renovadores, que reformam imóveis para reinseri-los no mercado; e facilitadores, como bancos, corretores, advogados e órgãos públicos, que viabilizam as transações imobiliárias.

Souza (2012) ressalta que as opções de usuários, proprietários e locatários formam o lado da demanda do mercado; enquanto os proprietários, desenvolvedores e renovadores formam o lado da oferta. Para aplicar análises simples de oferta e demanda aos mercados imobiliários, é necessário realizar modificações nas premissas e procedimentos microeconômico padrão. Em particular, as características peculiares do mercado imobiliário incluem a durabilidade, heterogeneidade, altos custos de transação, possíveis atrasos prolongados, imobilidade, além de investimentos e consumos adequados.

Tavares *et al.* (2010) ressalta que, quanto à durabilidade, pode-se afirmar que o setor imobiliário é durável em decorrência do tempo de vida do seu produto comercial, o edifício. Este pode durar

décadas ou mesmo séculos, enquanto a terra que o embasa é praticamente indestrutível. Por esse motivo, os mercados imobiliários são modelados pela relação entre mercado de estoque e fluxo. Embora a proporção seja altamente variável ao longo do tempo, a grande maioria da oferta da construção civil consiste no estoque de edifícios existentes, enquanto uma pequena proporção consiste no fluxo de novos empreendimentos. O estoque de suprimento imobiliário em qualquer período é determinado pelo estoque existente no período anterior, pela taxa de deterioração do estoque existente, pela taxa de renovação do estoque existente e pelo fluxo de novos empreendimentos no período atual. Os efeitos de ajustes no mercado imobiliário tendem a ser mitigados pelo estoque relativamente grande de edifícios existentes.

A heterogeneidade se refere ao fato de que cada unidade imobiliária é única em termos de localização, construção e financiamento de forma a impossibilitar a uniformização dos preços, aumentar os custos de pesquisa, criar assimetria de informações e restringir em demasia a substitutibilidade. Para contornar esse problema, os economistas, começando com Muth (1960), definem a oferta em termos de unidades de serviço; isto é, qualquer unidade física pode ser desconstruída nos serviços que fornece. Olsen (1969) descreve essas unidades de serviços habitacionais como um construto teórico não observável. O estoque habitacional se deprecia, tornando-o qualitativamente diferente dos novos edifícios e fazendo com que o processo de equilíbrio do mercado opere em vários níveis de qualidade. Além disso, o mercado imobiliário é tipicamente dividido em segmentos residencial, comercial e industrial. Também pode ser dividido em subcategorias como recreativas, geradoras de renda, históricas ou tombadas, etc (TAVARES *et al.* (2010).

Quanto aos altos custos de transação, Tavares *et al.* (2010) afirma que se sabe que a comprar e locação de imóveis custa muito mais do que a maioria dos outros tipos de transações, já que os custos incluem gastos com pesquisas, taxas imobiliárias, custos de mudança, taxas legais, impostos sobre transferências de terras e taxas de registro de escrituras. Os custos de transação para o vendedor geralmente variam entre 1,5% e 6% do preço de compra no Brasil; enquanto em alguns países da Europa continental, os custos de transação para comprador e vendedor podem variar entre 15% e 20%.

Quanto à possibilidade de atrasos prolongados, sabe-se que o processo de ajuste de mercado está sujeito a delongas devido ao tempo necessário para financiar, projetar e construir uma nova oferta além da taxa relativamente lenta de mudança de demanda. Devido a essas defasagens, existe um grande potencial de desequilíbrio no curto prazo em que mecanismos de ajustes tendem a ser morosos frente à relação a mercados mais fluidos (TAVARES *et al.*, 2010).

De forma geral, pode-se afirmar que o investimento no mercado imobiliário possui uma resposta positiva, já que os imóveis podem ser adquiridos com a expectativa de obtenção de retorno, sendo um bem de investimento; ou com a intenção de usufruto, sendo um bem de consumo; ou ambos. Essas funções podem ser separadas - com os participantes do mercado concentrando-se em uma ou outra função - ou combinadas. A natureza dupla do bem significa que não é incomum que as pessoas invistam em imóveis - ou seja, investir mais dinheiro em um ativo do que vale no mercado aberto (TAVARES *et al.*, 2010).

---8/*-Tavares *et al.* (2010) coloca que a imobilidade se refere também a uma característica inerente ao produto final, sendo que o setor imobiliário é localmente imóvel e, portanto, os consumidores chegam ao bem; e não o bem se desloca ao consumidor. Essa fixação espacial significa que o ajuste do mercado deve ocorrer por pessoas que se deslocam para unidades habitacionais, e não pelo movimento dos bens. Por exemplo, se os gostos mudam e mais pessoas exigem casas suburbanas, as pessoas precisam encontrar moradias nos subúrbios, porque é impossível levar a casa e o lote existentes para o subúrbio. A fixação espacial combinada com a proximidade das unidades habitacionais nas áreas urbanas sugere o potencial de externalidades inerentes a um determinado local.

Tavares *et al.* (2010) coloca que a imobilidade se refere também a uma característica inerente ao produto final, sendo que o setor imobiliário é localmente imóvel e, portanto, os consumidores chegam ao bem; e não o bem se desloca ao consumidor. Essa fixação espacial significa que o ajuste do mercado deve ocorrer por pessoas que se deslocam para unidades habitacionais, e não pelo movimento dos bens. Por exemplo, se os gostos mudam e mais pessoas exigem casas suburbanas, as pessoas precisam encontrar moradias nos subúrbios, porque é impossível levar a casa e o lote existentes para o subúrbio. A fixação espacial combinada com a proximidade das unidades habitacionais nas áreas urbanas sugere o potencial de externalidades inerentes a um determinado local.

A partir da tabela 1, pode-se notar a variabilidade no valor no m² de acordo com o passar dos anos para imóveis residenciais com o mesmo padrão na cidade de São Paulo. Nota-se que o fator relativo ao período e todos os outros fatores atrelados a este - situação financeira do país, condições de crédito imobiliário, políticas públicas e afins -, refletem em demasia no valor final do imóvel.

Tabela 1. Vendas de imóveis residenciais.

Unidades	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Média
1 dorm.	1.657	733	1.870	634	976	2.126	3.897	3.878	4.202	8.391	6.122	4.474	3.420	4.779	6.466	**3.575**
2 dorms.	6.717	8.443	9.332	13.601	10.773	14.184	15.089	13.298	13.371	14.674	9.835	11.344	8.954	14.475	18.943	**12.202**
3 dorms.	7.049	8.225	9.254	11.314	12.710	12.633	11.328	8.483	7.263	7.669	4.607	3.657	3.218	3.661	3.364	**7.629**
4 dorms.	4.760	6.409	7.868	11.066	8.388	6.889	5.555	2.657	2.122	2.585	1.012	673	578	714	1.156	**4.162**
Total	**20.183**	**23.810**	**28.324**	**36.615**	**32.847**	**35.832**	**35.869**	**28.316**	**26.958**	**33.319**	**21.576**	**20.148**	**16.170**	**23.629**	**29.929**	**27.568**

Participação	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Média
1 dorm.	8%	3%	7%	2%	3%	6%	11%	14%	16%	25%	28%	22%	21%	20%	22%	13%
2 dorms.	33%	35%	33%	37%	33%	40%	42%	47%	50%	44%	46%	56%	55%	61%	63%	44%
3 dorms.	35%	35%	33%	31%	39%	35%	32%	30%	27%	23%	21%	18%	20%	15%	11%	28%
4 dorms.	24%	27%	28%	30%	26%	19%	15%	9%	8%	8%	5%	3%	4%	3%	4%	15%
Total	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**

Fonte: Secovi - SP (2019)

2.2 VALOR DE MERCADO, PREÇO E CUSTO

Surbhi (2014) define preço, custo, valor de mercado e valor para o cliente na seguinte ordem: preço como a quantidade de dinheiro repassada pelo comprador ao vendedor em troca de determinado produto e serviço; ou seja, a quantia cobrada pelo vendedor referente à mercadoria é chamada de preço, que inclui o custo e a margem de lucro. O custo, segundo o citado autor, é o valor incorrido nos insumos, como terra, mão-de-obra, capital, empresa, etc., na produção de qualquer produto; ou seja, é o valor gasto pela empresa na fabricação de um produto. O valor de uma mercadoria é definido como o preço de venda esperado da propriedade por meio de uma série de avaliações; ou seja, o valor, geralmente, é a visão subjetiva do vendedor unido à especulação sobre uma provável venda ou provável custo para substituir sua propriedade. O valor para o cliente, por outro lado, é o significado e a utilidade de qualquer produto para um cliente que, geralmente, não é expresso em termos monetários, mas varia de cliente para cliente em conformidade com suas expectativas. Tentando destacar as diferenças de valor de mercado, valor atribuído pelo cliente, preço e custo, Parker (2015) descreveu o primeiro como a estimativa do valor assumindo mediante as circunstâncias específicas, como o cenário, data, compradores potenciais, vendedores potenciais, ausência de relação comprador-vendedor e divulgação através do marketing, sendo que, no caso, o público alvo reagiu com conhecimento de causa, prudência e sem compulsão, Já o valor atribuído pelo cliente é visto como o valor de uma mercadoria para o proprietário ou potencial proprietário, sendo este encarado como um investimento individual ou objetivo operacional. Parker (2015) delimita o preço como o valor pedido, oferecido ou pago por um ativo; portanto, devido às habilidades financeiras, motivações ou interesses especiais de um determinado vendedor ou comprador, o preço pode ser diferente do valor oferecido ao

ativo por terceiros. Enquanto o custo, segundo o autor, é o valor necessário para criar ou adquirir o ativo e, quando o ativo foi adquirido ou criado, seu custo é algo estipulado. Parker (2015) também ressalta que o preço está relacionado ao custo, já que o preço pago por uma mercadoria é seu custo para o comprador.

Olajide *et al.* (2016) postularam que, em uma configuração normal, o valor e o custo devem estar diretamente opostos um ao outro, enquanto o valor tende a medir o agregado ao valor presente; o custo, por outro lado, mede os dispêndios em relação ao trabalho, materiais ou ambos. O valor, de acordo com os autores, é a medida dos direitos atrelados à renda e se coloca como resultado da propriedade ou da utilização; enquanto o custo é o preço pago pelo valor. Os autores reiteraram ainda que o valor de mercado de um produto deve exceder ou igualar seu custo de produção ao longo do tempo, caso os produtores tenham o incentivo para continuar a produção. Em outras palavras, o valor está relacionado ao grau de utilidade derivável de um produto ao longo do tempo, enquanto o custo está relacionado à mensuração do que é necessário para produzir uma unidade de produto. No entanto, Olajide *et al*. (2016) identificaram poucas situações em que valor e custo tendem a se sobrepor. Tais casos observados incluem onde a oferta de um produto é superior à sua demanda; onde um produto é introduzido recentemente no mercado e também nos casos de propriedades que normalmente não são encontradas no mercado, como igreja, santuário, cemitério e coisas semelhantes - a abordagem para a ausência de comparáveis é levar o valor do ponto de vista dos custos, pois eles, raramente, são vendidos ou comprados.

De forma esquemática, a Figura 1 evidencia os principais atores atrelados aos conceitos estudados neste subtópico.

Figura 1. Valor, preço e custos e seus principais atores.



Fonte: Adaptado de Olajide *et al.* (2016)

2.2.1 Valor de mercado versus preço de mercado

Para compreender o valor de mercado, é necessário entender primeiro o conceito de preço de mercado. Segundo Salvatore (1978), o preço de mercado corresponde ao valor que um comprador disposto e qualificado está disposto a pagar por um imóvel e que o vendedor aceita receber. Esse preço é definido pela transação realizada e influencia negociações futuras, sendo determinado pela oferta e demanda locais, pelas condições do imóvel e pelos preços praticados em vendas de propriedades semelhantes.

Por sua vez, o valor de mercado representa uma estimativa do preço pelo qual um imóvel poderia ser vendido em um mercado competitivo, considerando suas características, benefícios, a dinâmica do mercado imobiliário e a negociação de imóveis similares (GONZÁLEZ, 2003).

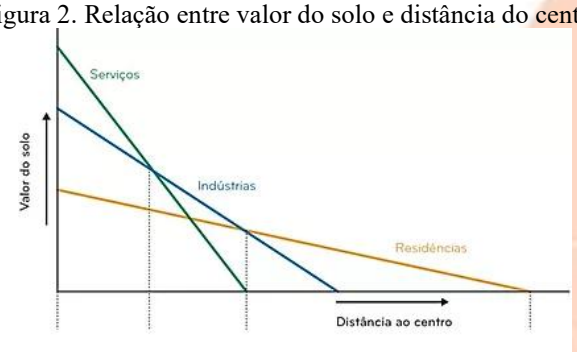
Conforme González (2003), a principal diferença entre valor de mercado e preço de mercado é que o valor corresponde a uma estimativa, podendo ser superior ao preço que um comprador realmente está disposto a pagar. O valor influencia o preço apenas quando há demanda. Assim, com aumento da oferta e redução da demanda, os preços tendem a cair, independentemente do valor estimado. Em contrapartida, quando a oferta diminui e a demanda aumenta, o valor exerce maior influência sobre o preço. Dessa forma, valor de mercado e preço de mercado tendem a coincidir em situações de equilíbrio entre oferta e demanda. Ao longo da história, a teoria do valor imobiliário evoluiu a partir das contribuições das escolas clássica, marginalista e marxista, que apresentaram diferentes interpretações sobre a formação do valor do solo (NIGRIELLO, 1977). A Escola Clássica compreendia o valor do solo como decorrente da renda obtida por sua exploração agrícola, enfatizando a diferença entre o lucro da produção e os custos de investimento. Nesse contexto, o solo rural possuía maior relevância econômica, embora já se reconhecesse que a localização influenciava a renda da propriedade. A transição para a Escola Marginalista marcou a valorização do solo urbano, entendido como um bem cujo valor decorre de sua utilidade e da renda futura que pode proporcionar.

Na perspectiva marginalista, o valor do imóvel está associado ao potencial de uso e à capacidade de geração de renda, e não apenas à produção agrícola (NIGRIELLO, 1977). Haig (1926) acrescenta que o valor do solo também depende dos custos de transporte, uma vez que a localização influencia simultaneamente os custos de deslocamento e os valores de aluguel. Wendt (1957), por sua vez, argumenta que a valorização imobiliária não depende exclusivamente da proximidade ao centro urbano, mas da acessibilidade proporcionada por toda a estrutura urbana. A Escola Marxista amplia essa abordagem ao considerar que o valor dos imóveis resulta da interação entre fatores econômicos,

sociais e urbanos, como coeficiente de ocupação do solo, acessibilidade, renda da população, características do entorno e disponibilidade de infraestrutura e serviços (NIGRIELLO, 1977). Michel (1967) destaca que a valorização do solo decorre também da atividade coletiva, distinguindo a mais-valia comercial, associada às áreas centrais e aos polos de concentração econômica, e a mais-valia geral, relacionada à valorização das áreas periféricas em função das condições de acesso. Dessa forma, imóveis localizados próximos aos centros urbanos tendem a apresentar maior valorização.

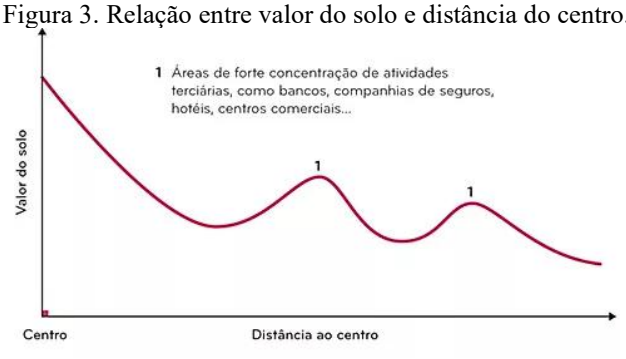
No contexto brasileiro contemporâneo, a avaliação imobiliária busca estimar com precisão o valor de mercado dos imóveis, atendendo tanto às necessidades da administração pública, para fins tributários, quanto às demandas do setor privado nas negociações imobiliárias (MOREIRA, 2007). Para isso, utilizam-se os procedimentos estabelecidos pela ABNT, especialmente a série NBR 14653, que define conceitos, métodos e critérios para avaliações de bens, incluindo imóveis urbanos. A NBR 14653-2 estabelece que a avaliação deve considerar fatores como localização, uso atual e potencial, características físicas, infraestrutura urbana, restrições legais e físicas e o grau de aproveitamento do terreno (MOREIRA, 2007). Apesar desses avanços normativos, muitos municípios brasileiros ainda utilizam plantas genéricas de valores que nem sempre são elaboradas conforme os métodos técnicos recomendados, comprometendo a precisão das avaliações imobiliárias.

Figura 2. Relação entre valor do solo e distância do centro.



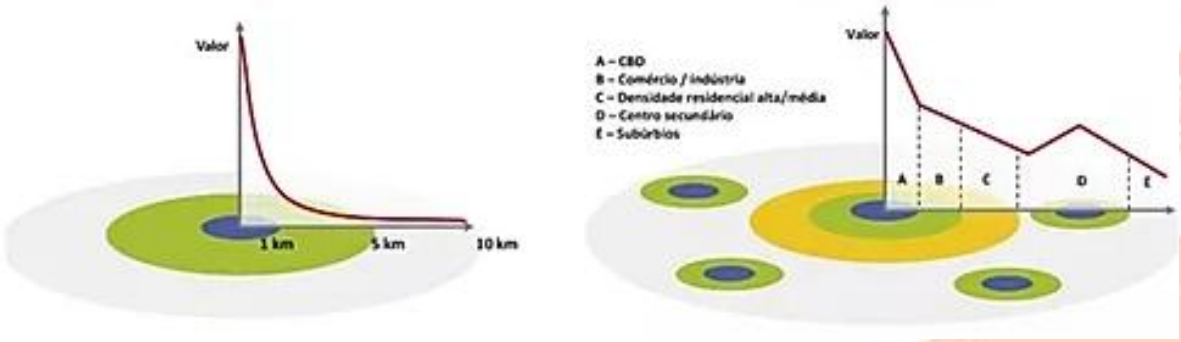
Fonte: Adaptado de Moreira (2007)

Figura 3. Relação entre valor do solo e distância do centro.



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 4. Relação entre valor do solo e distância do centro para cidades monocêntricas (à esquerda) e cidades policêntricas (à direita).



Fonte: Adaptado de Moreira (2007)

3 AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS

3.1 ANÁLISE HISTÓRICA DOS MODELOS DE AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS

Otensmann (1977) demonstrou que a taxa de crescimento populacional é uma variável importante para explicar a valorização da terra, mas ressaltou que ela deve ser analisada em conjunto com o tamanho da população e a renda média. A combinação dessas três variáveis resultou em um modelo de avaliação satisfatório.

Xu *et al.* (1993) aplicaram modelos hedônicos à avaliação de propriedades rurais, destacando que o valor da terra é determinado pela soma dos valores de seus atributos individuais, abordagem viabilizada pelos avanços da Análise Multivariada e da Teoria Econômica.

Azar (1994) utilizou Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para identificar terrenos mais valorizados em Beirute, considerando quatro fatores: declividade, vista para a cidade, vista para o mar e proximidade das rodovias. Como não foi possível definir pesos distintos para as variáveis, todas receberam a mesma importância, permitindo a classificação dos terrenos em três grupos de valorização.

Aoki *et al.* (1994) ampliaram o conceito de acessibilidade ao incluir os custos de transporte monetários e os impactos físicos e mentais dos deslocamentos. O primeiro modelo, baseado apenas na acessibilidade, apresentou coeficiente de determinação de 0,79. Ao incorporar variáveis relacionadas ao uso e à ocupação do solo, o desempenho do modelo melhorou ($R^2 = 0,90$), indicando que fatores urbanos também influenciam significativamente o valor dos imóveis.

Cheshire e Sheppard (1995) verificaram que, além da acessibilidade, serviços locais, características da vizinhança e elementos espaciais, como a proximidade de escolas, aumentam a capacidade explicativa dos modelos de avaliação imobiliária.

Pasha e Butt (1996) demonstraram que atributos específicos das residências, como número de quartos e banheiros, exercem influência individual sobre o valor dos imóveis, permitindo estimar a contribuição de cada característica.

Forrest *et al.* (1996) analisaram o impacto da construção de uma linha de metrô na Grande Manchester e constataram que imóveis muito próximos ao traçado sofreram desvalorização devido ao aumento da poluição sonora, enquanto as demais residências da região apresentaram pouca variação de preço.

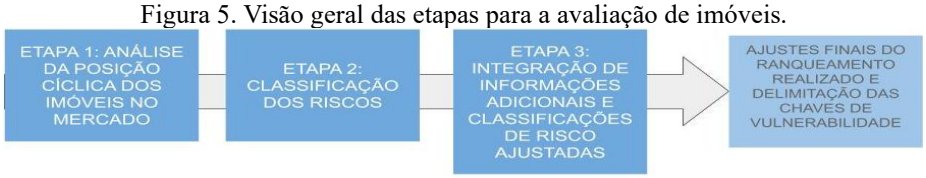
Abelson (1997) desenvolveu um modelo teórico que relacionou os preços de terrenos e residências à distância do distrito central de negócios (CBD), às melhorias na infraestrutura viária e ao acesso ao saneamento básico, evidenciando a importância desses fatores na valorização imobiliária.

Levin e Wright (1997), por meio de séries temporais sobre o mercado imobiliário de Londres entre 1965 e 1995, observaram que o crescimento da renda familiar, a disponibilidade de crédito e a especulação contribuíram para a elevação contínua dos preços dos imóveis.

Por fim, Phang e Wong (1997) verificaram, em Singapura, que renda, oferta de habitação e taxas de juros tiveram influência limitada sobre os preços dos imóveis privados. O principal fator explicativo foi a forte correlação com os preços das habitações públicas, refletindo a predominância desse segmento no mercado habitacional do país.

3.2 METODOLOGIAS APLICÁVEIS

Figura 5. Visão geral das etapas para a avaliação de imóveis.



Fonte: Miron (2002)

González e Formoso (2006) classificam o risco do mercado imobiliário em quatro níveis. A categoria **sem exposição** indica ausência de vulnerabilidades relevantes para a política macroprudencial. A **baixa exposição** sinaliza a necessidade de monitoramento contínuo, embora as vulnerabilidades identificadas não justifiquem intervenções imediatas.

A **exposição média** evidencia a presença de vulnerabilidades que demandam a adoção de políticas macroprudenciais. Por fim, a **exposição pronunciada** caracteriza um cenário de vulnerabilidades generalizadas, exigindo medidas macroprudenciais para mitigar os riscos ao mercado imobiliário e ao sistema financeiro.

3.2.1 Análise da posição cíclica dos imóveis no mercado - Etapa 1

González e Formoso (2006) afirmam que a avaliação da posição cíclica do mercado imobiliário e sua relação com os ciclos financeiro e de negócios é fundamental para a análise de riscos e para a formulação de políticas públicas. Os indicadores estatísticos e a manifestação das vulnerabilidades variam conforme a fase do ciclo. Em mercados imobiliários maduros próximos a um ponto de inflexão, por exemplo, aumentos nos preços dos imóveis exigem maior atenção, pois cresce a probabilidade de reversão da tendência no curto prazo.

A literatura também busca caracterizar os ciclos imobiliários quanto à sua duração e amplitude. Agnello e Schuknecht (2011) destacam que as fases do ciclo apresentam relação com episódios anteriores, alternando períodos de expansão (“boom”) e retração. Entretanto, essas fases não são simétricas: as retrações tendem a ser mais longas e intensas que os períodos de expansão (CLAESSENS *et al.*, 2011). Bracke (2011) observa que as recuperações duram, em média, seis anos, enquanto as retrações persistem por cerca de quatro anos e meio, sendo essa dinâmica influenciada pelo contexto político e econômico.

Além disso, os ciclos do mercado imobiliário, especialmente o habitacional, mantêm forte relação com os ciclos de negócios e de crédito (BARRAS, 1994). Agnello e Schuknecht (2011) identificam a taxa de juros, a desregulamentação do mercado de crédito e o financiamento hipotecário como fatores determinantes para a ocorrência de expansões e crises. As crises imobiliárias tornam-se ainda mais severas e prolongadas quando associadas a crises de crédito.

3.2.2 Classificação de riscos - Etapa 2

A classificação obtida na Etapa 2 identifica os principais riscos do mercado imobiliário por meio da seleção de indicadores-chave avaliados em relação a três limiares de risco. Esses indicadores compõem um painel de avaliação que sintetiza os riscos de investimento em imóveis e é complementado pelas informações da Etapa 3 e pela análise de especialistas, servindo como base para as etapas subsequentes da avaliação de riscos (GONZÁLEZ; FORMOSO, 2006).

Segundo Freitas (2000), os indicadores do painel são organizados em três categorias: garantia, financiamento e famílias. A extensão da garantia reúne indicadores relacionados aos preços dos imóveis; a de financiamento contempla as condições de crédito; e a das famílias abrange indicadores de balanço patrimonial. O conjunto de indicadores pode ser atualizado conforme a disponibilidade de dados confiáveis e harmonizados, reduzindo o risco de distorções estatísticas.

A seleção desses indicadores fundamenta-se na literatura sobre bolhas imobiliárias e modelos de alerta precoce, buscando equilíbrio entre abrangência e comparabilidade internacional. A classificação concentra-se principalmente nos aspectos cíclicos do mercado, enquanto fatores estruturais, como a importância sistêmica do setor imobiliário e a exposição das instituições financeiras, são analisados em etapas posteriores (FREITAS, 2000).

A extensão da garantia permite identificar aumentos excessivos e desalinhamentos nos preços dos imóveis, frequentemente associados à formação de bolhas imobiliárias e ao aumento do risco de crises financeiras. Esses indicadores apresentam elevada capacidade de alerta precoce para prever crises e recessões no setor imobiliário (BARRELL *et al.*, 2010).

Já a extensão das famílias avalia fragilidades nos balanços patrimoniais e o potencial de materialização do risco de crédito. Evidências mostram que elevados níveis de endividamento das famílias estão associados a recessões imobiliárias mais prolongadas (MIAN; SUFI, 2014). Entre os principais indicadores destacam-se a relação dívida/renda, ativos financeiros em relação à dívida e o

índice de serviço da dívida, considerado importante preditor de crises bancárias sistêmicas (DREHMANN; JUSELIUS, 2012).

Os limiares de risco são definidos com base em modelos de alerta precoce, na distribuição estatística dos indicadores e na validação por especialistas (LO DUCA *et al.*, 2017). Sempre que possível, utilizam-se critérios que equilibram erros do tipo I e II, conforme a metodologia proposta por Alessi e Detken (2011); quando isso não é viável, recorre-se à distribuição dos indicadores e ao julgamento especializado.

De acordo com Freitas (2000), as classificações econômicas são interpretadas em quatro níveis: **sem risco**, quando há estabilidade ou baixa vulnerabilidade; **baixo risco**, indicando necessidade de monitoramento; **risco médio**, caracterizado por sinais de desequilíbrio ou crescimento acima do esperado; e **risco pronunciado**, que representa elevada vulnerabilidade, com supervalorização de preços, expansão excessiva do crédito ou fragilidade significativa dos balanços das famílias.

3.2.3 Integração de informações adicionais e classificações de risco ajustadas - Etapa 3

Calado, Giotto e Securato (2011) afirmam que a Etapa 3 tem como objetivo integrar informações adicionais relevantes para consolidar uma classificação final de risco de forma transparente. O resultado consiste em classificações para cada categoria de análise e uma classificação geral, fundamentada tanto nos indicadores do painel de avaliação quanto em informações específicas de cada país, evidências provenientes de modelos e na opinião de especialistas.

Nessa etapa, o modelo explicita as informações utilizadas, seus respectivos pesos e a forma como influenciam os resultados obtidos na Etapa 1. Organizado em três categorias, o processo permite confrontar os resultados do painel com informações complementares, garantindo a incorporação de aspectos específicos de cada país à avaliação de riscos (CALADO; GIOTTO; SECURATO, 2011).

As informações complementares podem incluir séries temporais, indicadores não harmonizados, resultados de modelos e análises de especialistas ou autoridades nacionais. Modelos relacionados aos preços dos imóveis subsidiam a avaliação da categoria garantia; indicadores sobre dinâmica de crédito e empréstimos apoiam a categoria financiamento; enquanto informações sobre balanços patrimoniais e risco de crédito das famílias complementam a categoria famílias. Para cada categoria, estabelece-se um conjunto mínimo de informações que deve confirmar ou justificar eventuais divergências em relação à classificação inicial (CALADO; GIOTTO; SECURATO, 2011).

Segundo Fortuna (2010), a classificação pode sofrer ajustes quando as novas evidências diferirem da avaliação inicial. Os coeficientes de ajuste são: **0**, quando as informações confirmam a classificação existente; **±0,5**, quando indicam subestimação ou superestimação moderada do risco; e **±1**, quando apontam divergências significativas na avaliação.

Após a análise das evidências da Etapa 3 e consultas às autoridades nacionais, define-se a magnitude dos ajustes, que, em princípio, deve permanecer limitada aos parâmetros estabelecidos. Entretanto, diante de limitações de dados e métodos, ajustes mais amplos podem ser adotados para refletir vulnerabilidades específicas. Caso as classificações das categorias sejam incompatíveis com a classificação geral, os fundamentos estatísticos e analíticos devem ser reavaliados. Ao final, a classificação geral é obtida a partir da consolidação das classificações ajustadas, seguindo a mesma metodologia aplicada na Etapa 1 (FORTUNA, 2010).

3.3 MÉTODO COMPARATIVO DE DADOS DE MERCADO

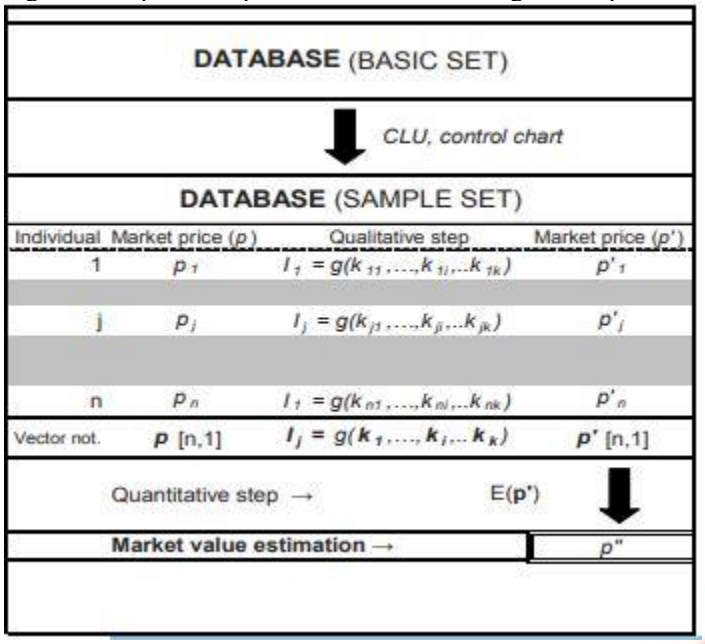
De acordo com Oliveira (2007), a abordagem comparativa está prevista nas normas internacionais e nas normas brasileiras de avaliação de bens, especialmente nas NBR 14653-1, NBR 14653-2 e NBR 14653-3. Seu objetivo é estimar o valor de mercado de imóveis existentes ou em construção, entendido como o preço provável de negociação entre comprador e vendedor bem informados, atuando livremente e sem compulsão (FIKER, 1985).

Essa metodologia utiliza imóveis comparáveis e seus preços de mercado para estimar o valor do bem avaliado. Embora seja considerada uma das abordagens mais realistas, a utilização de poucas amostras pode comprometer os resultados, uma vez que os preços podem refletir transações atípicas ou informações incorretas (DANTAS, 2012). Assim, o valor obtido constitui sempre uma estimativa fundamentada em procedimentos quantitativos e estatísticos (FORTUNA, 2010).

Fortuna (2010) destaca que o primeiro passo consiste na construção de um banco de dados de imóveis, que pode ser específico para cada avaliação (*ad hoc*) ou composto por uma base geral continuamente atualizada. A partir da seleção de imóveis semelhantes, obtém-se um conjunto de preços de mercado utilizado na estimativa. A abordagem comparativa desenvolve-se em duas etapas: inicialmente, busca-se um vetor de preços representativo dos imóveis comparáveis, reduzindo os efeitos da heterogeneidade; em seguida, aplica-se o tratamento quantitativo para obter uma estimativa imparcial do valor de mercado, cuja técnica depende da distribuição dos preços observados.

A Figura 6 apresenta o procedimento geral da abordagem comparativa para obtenção do valor de mercado de imóveis.

Figura 6. Esquema de procedimentos da abordagem comparativa.



Fonte: Adaptado de Fortuna (2010)

3.3.1.1 Etapa qualitativa e intuitiva

Fortuna (2010) explica que para encontrar $p \rightarrow p'$, existem muitos procedimentos. A dimensão vetorial permanece, portanto, para cada p de p, sendo que ele contém: $p' = f(p)$, onde f representa a função de transformação. Essa função, em essência, deve incluir cada variável relevante que influencia o preço. Para o cálculo detalhado, pode-se fornecer algumas técnicas usuais, por exemplo, $p' = p / I$, em que se representa o índice total de diferenças. Cada diferença em particular tem seu próprio coeficiente *ki*, que um avaliador classifica, de acordo com sua qualificação, sendo essa a diferença entre imóveis semelhantes e é usada apenas para avaliação de imóveis. Então $I = g\ (k1, \ldots, ki, \ldots kk)$ e a função g pode ser ponderada no caso de elementos heterogêneos qualitativos no conjunto de amostras. As formas usuais de função g são Πki ou média geométrica de todos os coeficientes. Cabe ao avaliador avaliar qual o método de cálculo mais adequado. De qualquer forma, a etapa qualitativa termina encontrando o vetor p', sendo que o passo qualitativo tem menos problemas e pode ser fortemente influenciado por um fator subjetivo mais valioso, diferentemente do quantitativo. Portanto,

é necessário que objetive-se essa etapa, especialmente na preparação de um conjunto de amostras adequado com os dados de entrada devem confiáveis.

3.3.1.2 Etapa qualitativa e formal

Segundo Fortuna (2010), nesta etapa realiza-se o processamento estatístico do vetor **p'**, composto pelos preços de mercado de imóveis comparáveis definidos pelo avaliador. Como esses valores dependem da análise do especialista, a escolha de um método de estimativa adequado é essencial para obter o vetor **p''**, correspondente à estimativa final dos preços.

O procedimento mais utilizado é a estatística descritiva, que emprega gráficos para analisar a posição, a dispersão e os limites do vetor **p'**, adotando, preferencialmente, medidas robustas conforme a distribuição dos dados (FORTUNA, 2010).

Antes da seleção das observações que comporão a amostra, é necessário avaliar a qualidade dos dados disponíveis. Para minimizar a influência da subjetividade do avaliador, recomenda-se a utilização de gráficos de controle multivariados, considerados mais eficientes do que a simples identificação de agrupamentos de imóveis, pois permitem detectar diretamente observações inconsistentes nos parâmetros relevantes da avaliação. Ao final desse processo, são eliminados os elementos inadequados para compor a amostra (FORTUNA, 2010).

3.4 CARACTERIZAÇÃO GERAL

Segundo Abunahman (2008), a avaliação de imóveis corresponde à conferência de aspectos econômicos definidos perante à descrição das propriedades em período delimitado. A base utilizada para esta avaliação corresponde à análise de dados considerados cruciais para a avaliação propriamente dita. Portanto, a avaliação de imóveis é responsável pela aferição de questões econômicas e físicas atinentes a um bem imóvel. Na tabela abaixo, citam-se exemplos em que há a requisição da avaliação de imóveis:

Tabela 2. Casos típicos de requerimento de avaliação de imóveis.

TRANSFERÊNCIA DE PROPRIEDADES	Auxilia na determinação de preço pelo vendedor e na perspectiva de compra do comprador
BASE PARA TAXAÇÕES	Tem como um comum exemplo os Impostos Territoriais Urbanos, cobrados pela administração municipal de onde o imóvel se encontra, baseado no seu valor venal.
JUSTO VALOR LOCACIONAL	Possibilita ao proprietário e o locatário determinar um valor rentável ao imóvel objeto de locação, bem como fornecer subsídios ao Juízo para aplicar sentença, quando há ações renovatórias ou revisionais
APLICAÇÕES SECURITÁRIAS	

Fonte: Adaptado de Abunahman (2008)

No Brasil, com a estabilização da Lei de Terra promulgada em 1850, a avaliação de imóveis foi compreendida como uma disciplina relativa ao mercado imobiliário. Contudo, a visibilidade desta modalidade de avaliação ocorreu anos depois com o pico em 1977, ano em que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) desenvolveu a normatização responsável pelo estabelecimento preciso dos níveis avaliativos. A NBR 5676/ 1977 foi substituída em 2001 pela NBR 14653, sendo esta utilizada para a determinação das metodologias e parametrizações relativas aos laudos e pareceres de avaliação mercadológica dos imóveis. A NBR 5676 é composta pelos seguintes pontos:

- NBR 14653-1 – Avaliação de bens – Parte 1: Procedimentos gerais;
- NBR 14653-2 – Avaliação de bens – Parte 2: Imóveis urbanos;
- NBR 14653-3 – Avaliação de bens – Parte 3: Imóveis rurais;
- NBR 14653-4 – Avaliação de bens – Parte 4: Empreendimentos;
- NBR 14653-5 – Avaliação de bens – Parte 5: Máquinas, equipamentos, instalações e bens industriais em geral;
- NBR 14653-6 – Avaliação de bens – Parte 6: Recursos naturais e ambientais;
- NBR 14653-7 – Avaliação de bens – Parte 7: Patrimônios históricos.

No ano de 2013, o Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CREA) determinou por meio do Manual de Fiscalização de Engenharia e Avaliações que apenas profissionais com formação em engenharia podem realizar avaliações imobiliárias.

3.5 LOCALIZAÇÃO COMO CRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS URBANO

Segundo Dantas (2003), a autocorrelação espacial corresponde à associação entre valores de uma mesma variável em função da proximidade geográfica, contrariando a hipótese de independência da estatística clássica. Dantas *et al.* (2006), Boyel e Kiel (2001) e Bowen *et al.* revisaram a aplicação

das estatísticas espaciais ao mercado imobiliário, destacando a importância da dependência espacial na formação dos preços. Can (1997) foi um dos primeiros autores a incorporar a autocorrelação espacial em modelos de avaliação imobiliária, propondo duas abordagens: a modelagem da dependência espacial no termo de erro e o modelo de regressão espacial com variável dependente defasada. A omissão da dependência espacial pode gerar estimativas enviesadas quando essa relação é substantiva; já a não consideração da dependência nos erros reduz a eficiência das estimativas, embora elas permaneçam imparciais. Dubrin (2003) descreve dois métodos amplamente utilizados para modelar a dependência espacial: o uso de matrizes de pesos espaciais, que representam a influência da localização, e a modelagem direta da matriz de covariância dos erros por meio da abordagem geoestatística, conhecida como krigagem. Diante disso, o próximo subtópico aborda as ferramentas de localização e georreferenciamento aplicadas ao processo de avaliação de imóveis urbanos. No próximo capitulo será discutido ferramentas para avaliação de imóveis.

3.5.1 Google Earth

Moran (2001) afirma que o Google Earth, cuja tela inicial é representada na Figura 7, é um programa virtual de escala global originalmente chamado de *Earth Viewer* e foi criado por *Keyhole Inc.* Ele mapeia a terra pela superposição de conteúdo obtido por imagens de satélites, fotografias aéreas e GIS em um globo 3D. A edição gratuita fornece imagens de satélite ao mundo e cada local do globo terrestre possui uma classificação diferente. O grau de resolução disponível se baseia nos pontos de interesse, mas a maioria das terras é coberta em pelo menos 15 metros de resolução. Las Vegas, Nevada e Cambridge, Massachusetts, incluem exemplos de alta resolução, com 15 cm. O recurso Camadas no Google Earth fornece uma variedade de pontos de dados de interesses geográficos que pode selecionar para exibir na sua área de visualização. Pode-se usar o KML *(Keyhole Markup Language)* para adicionar camadas personalizadas e compartilhar locais e informações com outros usuários do *Google Earth* e *Google Maps* (*Google Earth*, 2008). O KML se trata da linguagem XML e de um formato de arquivo responsável pela modelagem e armazenamento de recursos geográficos, como pontos, linhas, imagens, polígonos e modelos para exibição no *Google Earth.*

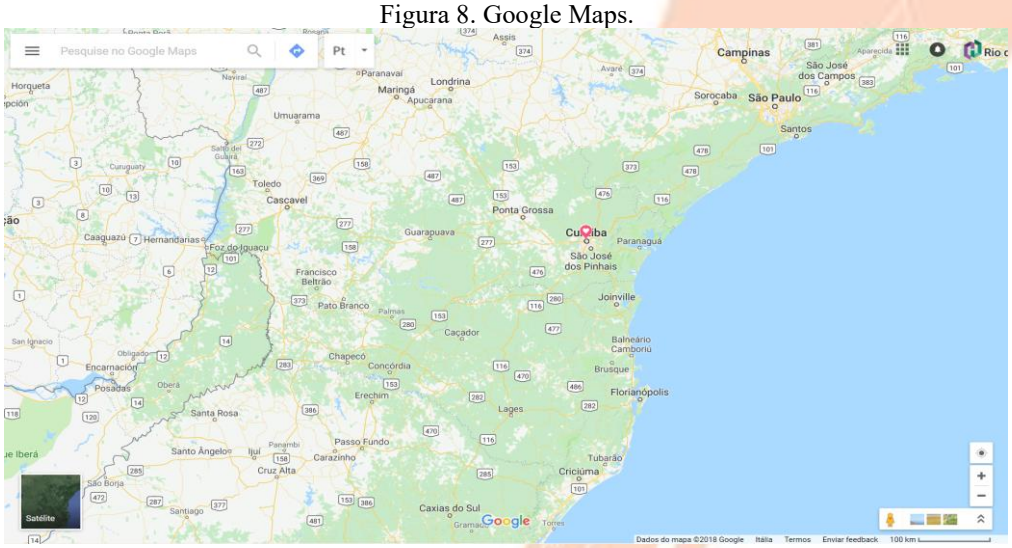
Figura 7. Google Earth.



Fonte: Google Earth (2019)

No *Google Maps*, associado ao *Google Earth* e cuja tela de navegação é representada na Figura 7, o usuário possui recursos como mover, dar zoom e percorrer as ruas sem que a página seja recarregada. Após o lançamento da API (*Application Programming Interface*), foi possível que mapas integrados com sites para serviços específicos e desenvolvidos por outras empresas compartilhem da mesma interface. Para usar a API do *Google Maps*, é necessário apenas um editor de documentos e um servidor da web, por exemplo, IIS *(Internet Information Services*). Como o processo de operação deve se comunicar alternadamente com o servidor do *Google Maps*, o servidor do site possuir um servidor público de endereço permanente. A API do Google Maps permite incorporações realizadas na própria páginas da web, sendo uma única chave da API do Google Maps válida para um único "diretório" em nosso servidor *Web* (MORAN, 2001).

Figura 8. Google Maps.



Fonte: Google Maps (2019)

Moran (2001) ressalta que o uso do Google Maps para exibição de mapa é extremamente simples, possibilitando a localização dos imóveis no contexto urbano bem como a correlação destes em conjuntos maiores e a compreensão dos respectivos entornos. Para tal fim, é necessário apenas linhas de código, incluindo a chave obtida na inscrição na API seguido do salvamento como páginas da Web HTML ou formato de arquivo ASP *(Active Server Page*). Nota-se que as imagens mostradas nos mapas de satélite do Google têm pelo menos um ano de idade e, em alguns lugares, datam de 2001. Os dados GIS usados no Google Maps são fornecidos pela *Tele Atlas* e *NAVTEQ*, enquanto os pequenos fragmentos de alta resolução, de 1 a 0,6 metros. As imagens de satélite são em grande parte e fornecidas pela DigitalGlobe e seu satélite *QuickBird*, com algumas imagens também de fontes governamentais. A principal base de imagens global chamada *NaturalVue* foi derivada do *Landsat* 7, com 15 metros de resolução no solo, imagens da MDA Federal.

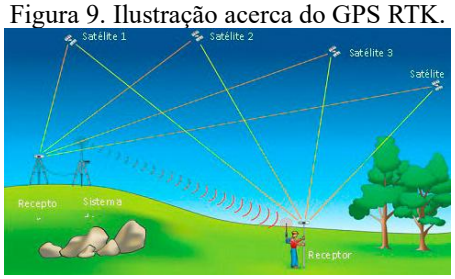
Portanto, pode-se concluir que o *Google Earth* associado ao *Google Maps.* corresponde a um forte banco de dados, constantemente atualizado, que propicia a compreensão das espacialidades relativas ao espaço urbano e a identificação dos imóveis.

3.5.2 GPS de navegação e GPS RTK

O Global Positioning System (GPS), originalmente denominado NAVSTAR GPS, é um sistema de radionavegação por satélite desenvolvido pelo governo dos Estados Unidos e operado pela United States Space Force (USSF). Esse sistema fornece informações de posicionamento geográfico e tempo para receptores localizados em qualquer região do planeta, desde que exista linha de visada com os satélites (COSTA *et al.*, 2008).

Entre suas modalidades, destaca-se o GPS em tempo real (*Real Time Kinematic* – RTK), capaz de fornecer posicionamento cinemático com precisão centimétrica em tempo real. Conforme Costa *et al.* (2008), essa tecnologia elimina a necessidade de processamento posterior dos dados, permitindo a obtenção imediata de informações em campo. A Figura 9 apresenta o princípio de funcionamento do sistema GPS RTK.

Figura 9. Ilustração acerca do GPS RTK.



Fonte: Adaptado de Pacific Crest (2009).

O sistema de posicionamento e orientação RTK possui ampla aplicação em atividades que exigem elevada precisão. Entre seus principais usos destacam-se o posicionamento e a orientação de máquinas na mineração, movimentação de terra e agricultura, além da geração de bases de dados para cadastro e avaliação de imóveis. Também é empregado em levantamentos sísmicos, cadastrais e de propriedades, especialmente em ambientes com baixa cobertura de GPS, como florestas densas e cânions urbanos.

Outra importante aplicação ocorre em levantamentos rodoviários, incluindo inspeção, definição de eixos e inventário viário realizados com veículos em movimento, bem como em sistemas inteligentes de transporte, que dependem de informações contínuas e precisas sobre a posição dos veículos.

Devido à sua elevada precisão, o GPS RTK é amplamente utilizado em levantamentos cadastrais voltados à avaliação imobiliária. Segundo Costa *et al.* (2008), os principais indicadores de desempenho do sistema são: precisão do posicionamento com cobertura total (quatro ou mais satélites), cobertura parcial (dois a quatro satélites) e interrupção total do sinal (zero ou um satélite), além do tempo necessário para recuperação do RTK após interrupções parciais ou completas do sinal GPS.

4 CONCEITOS DE ESTATÍSTICA

4.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS

A Análise Exploratória de Dados (AED), segundo Hochheim (2006), é uma abordagem estatística que utiliza principalmente técnicas gráficas para compreender um conjunto de dados antes da aplicação de análises mais complexas. Seu objetivo é identificar padrões, revelar a estrutura dos dados, destacar variáveis relevantes, detectar anomalias, verificar pressupostos estatísticos e subsidiar a construção de modelos mais simples e eficientes. Mais do que um conjunto de técnicas, a AED representa uma filosofia de análise que prioriza a exploração dos dados antes da adoção de modelos

estatísticos, permitindo que sua estrutura seja identificada de forma natural. Para isso, utiliza recursos como histogramas, gráficos de probabilidade, gráficos de médias, desvios-padrão e gráficos de caixa, organizados de modo a facilitar a visualização, a interpretação e o reconhecimento de padrões e relações entre as variáveis (HOCHHEIM, 2006).

4.2 ANÁLISE UNIVARIADA

A análise univariada consiste na avaliação de uma única variável com o objetivo de descrevê-la, resumir suas características e identificar padrões nos dados, sem investigar relações de causa e efeito com outras variáveis (HOCHHEIM, 2006). Essa abordagem utiliza medidas estatísticas adequadas ao nível de mensuração da variável. Para variáveis nominais, empregam-se tabelas de frequência e moda; para variáveis ordinais, mediana e medidas de dispersão; para variáveis de intervalo, média aritmética e desvio-padrão; e, para variáveis de razão, acrescentam-se medidas como média geométrica, média harmônica e coeficiente de variação. Além disso, para variáveis de intervalo e razão, podem ser analisadas a assimetria e a curtose, fornecendo uma descrição mais completa da distribuição dos dados (HOCHHEIM, 2006).

4.3 ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS

Segundo Hochheim (2006), uma série temporal é um conjunto de observações registradas em intervalos sucessivos de tempo, permitindo analisar a evolução de um fenômeno ao longo do período observado. A análise de séries temporais busca identificar padrões, tendências e características dos dados, além de possibilitar previsões de valores futuros com base em observações passadas. Diferentemente dos estudos transversais, essa abordagem considera a dependência temporal entre as observações, em que valores próximos no tempo tendem a apresentar maior relação. Os métodos de análise podem ser classificados em técnicas no domínio do tempo, como autocorrelação e correlação cruzada, e no domínio da frequência, como análise espectral e wavelets. Além disso, podem ser divididos em métodos paramétricos, que assumem uma estrutura estatística para o processo analisado, e não paramétricos, que estimam diretamente as características dos dados sem pressupor um modelo específico (HOCHHEIM, 2006).

4.4 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Segundo Hochheim (2006), a regressão linear simples é utilizada para estimar o comportamento de uma variável dependente a partir de uma variável independente, enquanto a regressão múltipla amplia essa análise ao considerar duas ou mais variáveis explicativas. Para que o modelo produza resultados confiáveis, devem ser atendidos pressupostos como linearidade entre as variáveis, ausência de multicolinearidade, independência das observações e resíduos com média zero e variância constante (homocedasticidade). A qualidade do ajuste é avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2), que varia de 0 a 1 e indica a proporção da variabilidade da variável dependente explicada pelo modelo. Além disso, a interpretação dos coeficientes de regressão (betas) considera o efeito de cada variável independente mantendo as demais constantes, permitindo identificar a contribuição individual de cada preditor na explicação da variável resposta (HOCHHEIM, 2006).

4.5 MODELOS DE DEFASAGEM ESPACIAL

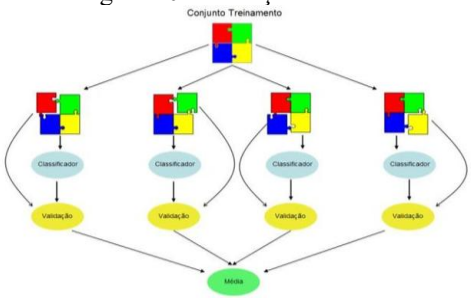
Segundo Hochheim (2006), os modelos estatísticos espaciais são amplamente utilizados em estudos como crescimento regional, gastos públicos e avaliação de imóveis, permitindo analisar a influência da localização sobre os fenômenos investigados. Esses modelos incorporam a autocorrelação espacial por meio de variáveis de defasagem espacial ou processos de erro espacial, considerando que observações geograficamente próximas tendem a apresentar maior semelhança. Além disso, destacam-se os desafios relacionados à endogeneidade das variáveis explicativas, decorrente de erros de medição, variáveis omitidas ou relações simultâneas entre os fatores analisados. Em aplicações como modelos hedônicos de preços de imóveis, a consideração da autocorrelação espacial e da endogeneidade é fundamental para aumentar a precisão das estimativas. Para a estimação desses modelos, podem ser utilizados métodos como mínimos quadrados em dois estágios, variáveis instrumentais e modelos de máxima verossimilhança, conforme as características dos dados e da estrutura espacial analisada (HOCHHEIM, 2006).

5.6 VALIDAÇÃO CRUZADA

Segundo Hochheim (2006), a validação cruzada é uma técnica utilizada para avaliar a capacidade de um modelo estatístico de generalizar seus resultados para novos conjuntos de dados. O método consiste em dividir a amostra em subconjuntos, utilizando um deles para o treinamento do modelo e outro para sua validação ou teste. Esse procedimento permite estimar o desempenho preditivo

do modelo, identificar problemas como sobreajuste (*overfitting*) e viés de seleção, além de aumentar a confiabilidade dos resultados. Para reduzir a variabilidade das estimativas, o processo é repetido em diferentes particionamentos dos dados, sendo os resultados combinados para fornecer uma avaliação mais robusta da capacidade preditiva do modelo (HOCHHEIM, 2006).

Figura 10. Validação cruzada.



Fonte: Adaptado de Hocchein (2006)

Sabe-se, conforme Hocchein (2006), que dois tipos de validação cruzada podem ser distinguidos: validação cruzada exaustiva e não exaustiva. O primeiro se refere aos métodos de validação cruzada que aprendem e testam todas as maneiras possíveis de dividir a amostra original em um conjunto de treinamento e validação; já o segundo não calcula todas as formas de dividir a amostra original.

4.7 KRIGAGEM

Segundo Hochheim (2006), a krigagem é um método de interpolação espacial baseado em processos gaussianos, amplamente utilizado para estimar valores em locais onde não há observações disponíveis. A técnica calcula uma média ponderada dos valores conhecidos, considerando a estrutura de dependência espacial entre os dados, o que permite obter estimativas lineares imparciais e de alta precisão. Além de aplicações em análise espacial e avaliação de recursos naturais, a krigagem pode ser interpretada sob uma perspectiva bayesiana, combinando informações observadas com uma distribuição prévia para realizar previsões. Entre suas principais variações destacam-se a krigagem comum, simples, universal, de indicadores, disjuntiva e lognormal, cada uma adequada a diferentes pressupostos sobre a média e a estrutura espacial dos dados (HOCHHEIM, 2006).

4.8 REDES NEURAIS

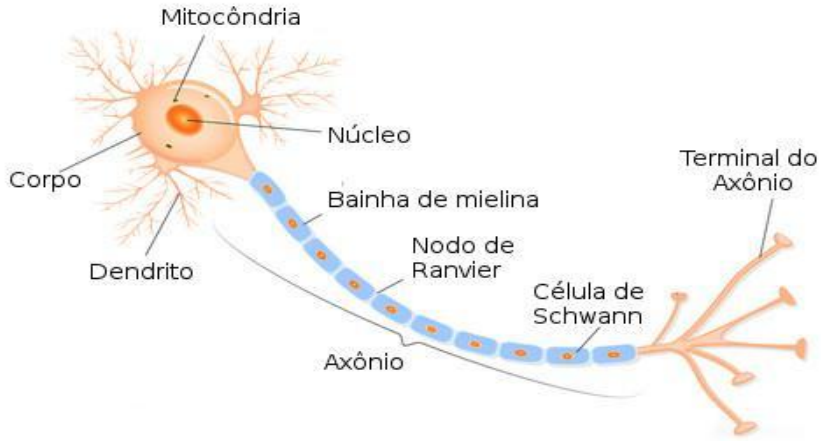
As redes neurais artificiais são modelos computacionais inspirados no funcionamento do cérebro humano, constituído por bilhões de neurônios interconectados que processam informações e aprendem a partir da experiência (TRIPPI; TURBAN, 1992). Com base nessa analogia, as redes neurais artificiais são capazes de aprender padrões em grandes volumes de dados, realizar reconhecimento de informações, classificação e previsão, aperfeiçoando seu desempenho por meio de treinamento com exemplos previamente conhecidos (BEALE; JACKSON, 1990). Diferentemente dos modelos estatísticos tradicionais, como a regressão múltipla, as redes neurais conseguem capturar relações complexas e não lineares entre as variáveis, além de apresentar maior robustez diante de dados incompletos ou com ruídos. Estudos demonstram que essa abordagem tem proporcionado ganhos significativos de desempenho em diversas áreas, incluindo engenharia, transportes, biologia e avaliação de imóveis, apresentando maior precisão preditiva em comparação aos métodos estatísticos convencionais (ALMOND; JENKINS; GRONOW, 1997; FALAS, 1995; SUBRAMANIAN *et al.*, 1993).

4.8.1 Redes neurais artificiais

Segundo Santos (2018), as redes neurais artificiais foram desenvolvidas com base no funcionamento do cérebro humano, buscando reproduzir sua capacidade de aprendizagem, processamento de informações e tomada de decisões. Inspiradas na estrutura dos neurônios biológicos, apresentam características como robustez, tolerância a falhas, aprendizagem por experiência, processamento de informações incompletas e processamento paralelo, tornando-se ferramentas eficientes para solucionar problemas complexos e realizar previsões em diferentes áreas.

O autor também explica que o processamento cerebral ocorre por meio dos neurônios, células compostas por corpo celular (soma), núcleo, dendritos e axônio. As informações são processadas na soma e transmitidas por impulsos elétricos ao longo do axônio até suas ramificações finais. A comunicação entre os neurônios ocorre por meio das sinapses, que liberam substâncias químicas responsáveis pela transmissão dos sinais às dendrites do neurônio receptor. A partir desses estímulos ou inibições, o neurônio processa novamente a informação e a retransmite pelo axônio (SANTOS, 2018). A Figura 11 ilustra a estrutura e o funcionamento de um neurônio humano.

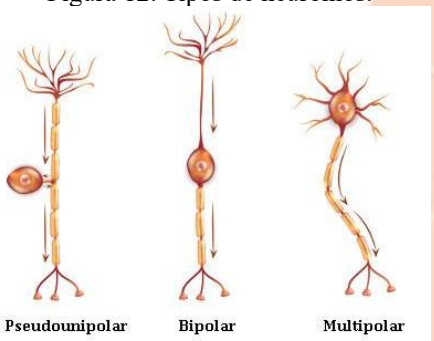
Figura 11. Neuroanatomia.



Fonte: SANTOS (2018)

Os neurônios podem ser classificados de acordo com o número de prolongamentos celulares (Figura 12). Os **bipolares** possuem um dendrito e um axônio; os **pseudounipolares** apresentam um único prolongamento que se divide em dois próximos ao corpo celular, sendo bipolares durante a fase embrionária; e os **multipolares** possuem mais de dois prolongamentos, constituindo o tipo predominante no sistema nervoso. Quanto à função, os neurônios são classificados em **sensoriais (aferentes)**, responsáveis por conduzir estímulos ao sistema nervoso central; **interneurônios**, que estabelecem conexões entre neurônios; e **motores (eferentes)**, encarregados de transmitir impulsos do sistema nervoso central para os demais órgãos e tecidos do organismo.

Figura 12. Tipos de neurônios.

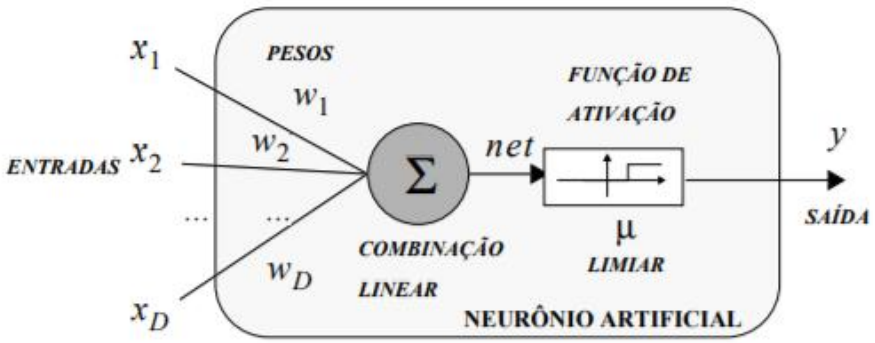


Fonte: Elaborada pelos autores

Assim, com a necessidade e curiosidade em trazer uma referência aos neurônios e ao cérebro humano para os laboratórios e para a ciência computacional, e também para a ciência em geral, nasce a área da computação chamada de neurocomputação. O que marcou a criação das redes neurais

artificiais foi a apresentação de um modelo de um neurônio artificial por McCulloch e Pitts, no ano de 1943. Nessa linha de pesquisa foi criada a concepção do *perceptron* por Rosenblatt, em 1958 e o *adaline* por Widrow e Hoff, no ano de 1960. A maior característica do *perceptron* foi a apresentação de um algoritmo de aprendizagem capaz de adaptar os pesos internos do neurônio de maneira que seja capaz de resolver o problema de classificação linear, em caso da separabilidade linear das classes. Na Figura 13 pode-se observar o modelo de neurônio artificial apresentado por McCulloch e Pitts, no ano de 1943. Este modelo tenta simular as reações naturais que acontecem dentro de uma célula do sistema nervoso. A função de ativação no modelo apresentado não é o único jeito de produzir o valor de saída do neurônio.

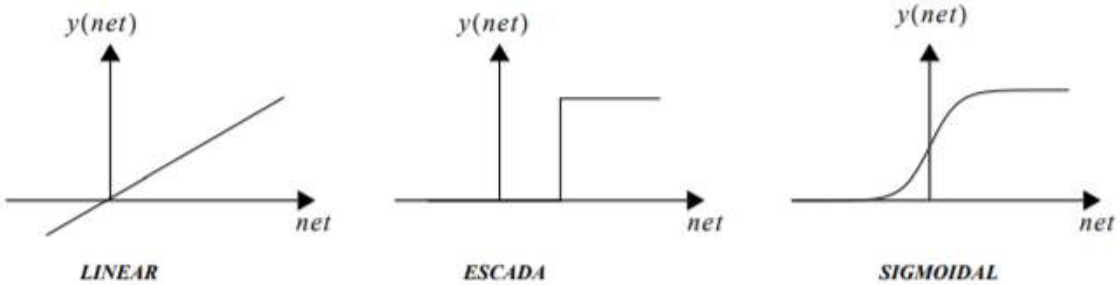
Figura 13. Modelo de neurônio de McCulloch e Pitts.



Fonte: MCCULLOCH E PITTS (1943)

A Figura 14 demonstra diferentes tipos de funções para ativação deste neurônio, onde a função linear produz uma saída linear contínua, a função de escada, uma saída binária (não-linear discreta) e a função sigmoidal, uma saída não-linear contínua. Onde, eventualmente o neurônio possui uma memória local, onde o estado de ativação anterior é tomado em consideração no cálculo da ativação atual.

Figura 14. Funções de ativação do neurônio.



Fonte: MCCULLOCH e PITTS (1993)

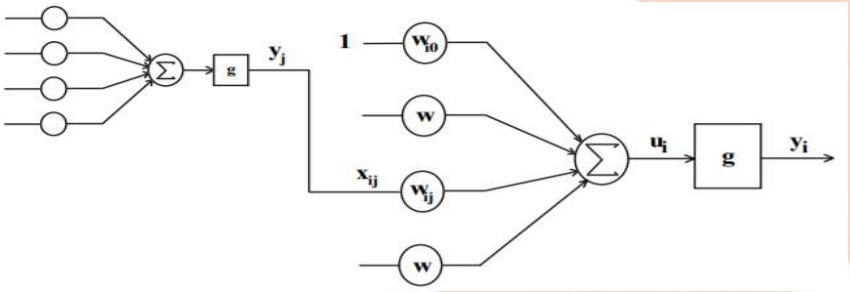
Para compreender a topologia e a construção das redes neurais artificiais (RNA), é necessário definir entidades, valores e funções matemáticas que orientam seu funcionamento (MCCULLOCH; PITTS, 1993).

Segundo McCulloch e Pitts (1993), uma RNA é uma estrutura de processamento composta por neurônios artificiais interconectados, implementável em dispositivos eletrônicos. Cada neurônio possui um comportamento de entrada e saída determinado por sua função, pelas conexões com outros neurônios e por possíveis entradas externas. O conhecimento da rede é armazenado, principalmente, nos pesos das conexões, característica fundamental para sua capacidade de aprendizagem e processamento.

Castro (2001) destaca que, embora uma rede possa ser projetada para desempenhar determinada função, sua adaptação ocorre por meio de estratégias de aprendizado que ajustam parâmetros configuráveis, permitindo a interação com o ambiente e o aperfeiçoamento do desempenho.

Apesar de ainda haver limitações no conhecimento sobre os padrões de conexão dos neurônios biológicos, as redes neurais artificiais utilizam arquiteturas padronizadas, desenvolvidas para resolver problemas específicos. As conexões entre os neurônios artificiais originam as sinapses que estruturam as redes neurais, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15. Processo de conexão de neurônios artificiais.



Fonte: CASTRO (2001)

Assim, existem três camadas em uma rede neural artificial: camada de entrada, camada intermediária e camada de saída. Porém existem algumas redes sem a camada intermediária. Em suma existem três tipos de arquitetura de redes neurais artificiais, as redes f*eedforward* de uma única camada, as redes *feedforward* de múltiplas camadas, e redes recorrentes. Compreendendo o que são neurônios artificiais e redes de neurais artificiais, pode-se ressaltar a aplicação deste conhecimento como uma das formas de avaliação de imóveis.

5 INFERÊNCIA ESTATÍSTICA

A inferência estatística fundamenta a análise de dados e a tomada de decisões em diferentes áreas do conhecimento, sendo composta por conceitos relacionados à probabilidade, distribuições de probabilidade, estimação de parâmetros e testes de hipóteses. Segundo Meyer (2014), a probabilidade corresponde à estrutura matemática utilizada para analisar eventos aleatórios, sendo expressa por valores entre 0 e 1, nos quais 0 representa impossibilidade e 1 representa certeza. Esse conceito constitui a base para a construção de modelos estatísticos e para a quantificação da incerteza inerente aos fenômenos observados.

A estatística, por sua vez, é responsável pela coleta, organização, análise e interpretação dos dados, permitindo a obtenção de conclusões sobre populações a partir de amostras (BUSSAB; MORETTIN, 2002). As variáveis podem ser qualitativas ou quantitativas, sendo estas classificadas em discretas ou contínuas (ANDRADE, 2009). A descrição dos dados é realizada por meio de medidas de tendência central, como média, mediana e moda, e medidas de dispersão, como amplitude, amplitude interquartil e desvio-padrão, que sintetizam o comportamento e a variabilidade dos dados (VIEIRA, 2013).

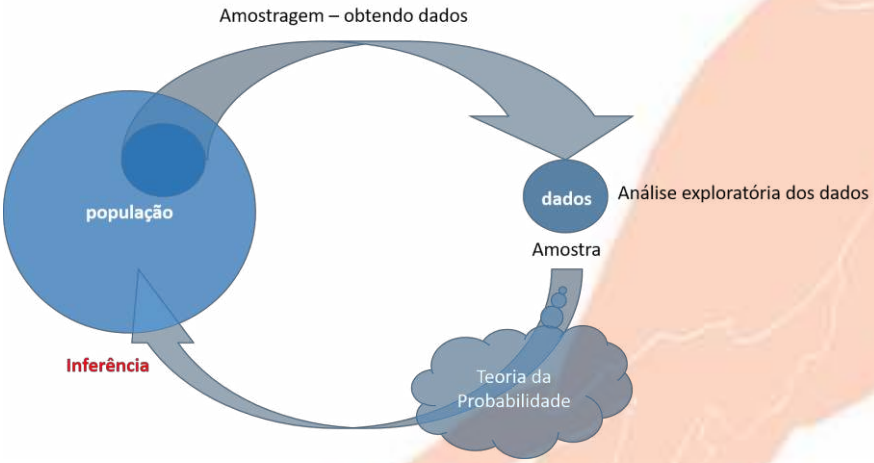
As distribuições de probabilidade descrevem os valores possíveis de uma variável aleatória e suas respectivas probabilidades de ocorrência (DEGROOT; SCHERVISH, 1975). Entre as principais distribuições destacam-se a binomial, aplicada a experimentos com dois resultados possíveis; a normal, amplamente utilizada em engenharia, economia e avaliação de imóveis; e a log-normal, frequentemente empregada para representar retornos financeiros (PLACKETT, 1983). Essas distribuições constituem importantes ferramentas para análise de riscos, estimação de probabilidades e cálculo de métricas como o Valor em Risco (VaR), embora sua aplicação deva considerar as limitações inerentes aos modelos estatísticos (ANDRADE, 2009).

A distribuição normal, também denominada distribuição gaussiana, caracteriza-se pela simetria em torno da média e pela concentração da maior parte das observações em sua região central, sendo definida pelos parâmetros média e desvio-padrão (PLACKETT, 1983). Sua relevância é reforçada pelo Teorema do Limite Central, segundo o qual a distribuição das médias amostrais tende à normalidade à medida que o tamanho da amostra aumenta, mesmo quando a população original não apresenta distribuição normal (ANDRADE, 2009). Esse princípio fundamenta grande parte dos métodos utilizados na inferência estatística.

Outro conceito essencial é o intervalo de confiança, que estabelece uma faixa de valores com determinada probabilidade de conter o verdadeiro parâmetro populacional, fornecendo estimativas mais informativas do que valores pontuais (ANDRADE, 2009). Complementarmente, os testes de hipóteses permitem verificar a plausibilidade de afirmações sobre parâmetros populacionais por meio da formulação das hipóteses nula e alternativa, definição do procedimento estatístico, análise dos dados e interpretação dos resultados (DANTAS, 2005; DEVORE, 2006).

Além desses procedimentos, a análise de regressão possibilita investigar relações entre variáveis dependentes e independentes, permitindo explicar e prever comportamentos desde que sejam atendidos pressupostos como linearidade, independência, homocedasticidade e normalidade dos resíduos (MILONE, 2004). Em conjunto, essas técnicas compõem o arcabouço da inferência estatística, cujo objetivo é produzir conclusões confiáveis sobre populações a partir de dados amostrais. Conforme Magalhães e Lima (2000) e Barbetta (2004), a qualidade dessas conclusões depende da representatividade da amostra e da correta aplicação dos métodos estatísticos, aspectos fundamentais para pesquisas científicas e para estudos de avaliação de imóveis.

Figura 16. Inferência estatística - Relação entre população e amostra.



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Segundo Barbetta (2004), a inferência estatística baseia-se na incerteza quanto à distribuição que melhor representa a variabilidade dos dados observados. A partir de uma amostra, formulam-se hipóteses sobre a distribuição ou os parâmetros populacionais, considerando que determinadas observações são mais prováveis em algumas distribuições do que em outras. Assim, a ocorrência dos dados permite identificar a distribuição mais plausível para descrever o fenômeno analisado.

A Estatística e a Probabilidade desempenham papel fundamental na tomada de decisões estratégicas, pois fornecem suporte quantitativo para análise de cenários e a redução das incertezas. De acordo com Mintzberg *et al.* (2003), as decisões estratégicas devem considerar, de forma integrada, fatores econômicos, organizacionais e mercadológicos, enquanto Virgillito (2010) destaca que a estratégia envolve tanto o planejamento quanto a implementação das ações.

Entre as ferramentas mais utilizadas destaca-se o Controle Estatístico do Processo (CEP), que monitora o desempenho por meio de limites de controle, possibilitando a identificação de tendências e variações significativas (DAMODARAN, 2003). Entretanto, Diehl (2010) ressalta que diferentes métodos estatísticos e probabilísticos apresentam finalidades específicas e que sua utilização conjunta tende a proporcionar resultados mais consistentes.

Nesse contexto, Perez e Famá (2003) e Lopes e Galdino (2006) afirmam que não existe um método universalmente superior para apoiar decisões, recomendando a combinação de diferentes abordagens. Entre os principais critérios de avaliação destacam-se o valor contábil, o valor de mercado, a cotação das ações e o potencial de rentabilidade futura. Complementando essa perspectiva, Martins (2010) classifica os modelos de avaliação em métodos comparativos de mercado, baseados em ativos e passivos ajustados e fundamentados no fluxo de caixa descontado, todos apoiados em análises estatísticas e probabilísticas para estimar o valor econômico das organizações.

6 ESTUDO DE CASO

6.1 ITAPETININGA

6.1.1 Caracterização geral

Itapetininga é um município localizado em São Paulo e pertencente à Região Metropolitana de Sorocaba (Figura 18). Este município se localiza na latitude 23º35'30" sul e a uma longitude 48º03'11" oeste, se encontra na altitude de 670 metros. O município possui os seguintes distritos: Conceição, Gramadinho, Morro do Alto, Rechan, Tupy e Varginha. O município corresponde à sede da Região de Governo de Itapetininga, sendo esta composta por doze municípios: Alambari, Angatuba, Boituva, Campina do Monte Alegre, Capela do Alto, Cerquilho, Cesário Lange, Guareí, Quadra, São Miguel Arcanjo, Sarapuí e Tatuí, que possuem, juntos, mais de 520 mil habitantes. Dentre os municípios, pode-se observar na Figura 18 aqueles que são vizinhos à cidade de Itapetininga.

Figura 17. Localização de Itapetininga dentro do Estado de São Paulo e do Brasil.



Fonte: Prefeitura de Itapetininga (2020)[1]

Figura 18. Cidades do entorno de Itapetininga.



Fonte: Prefeitura de Itapetininga (2020)

Segundo informações encontradas no site da prefeitura do município:

> A economia de Itapetininga ocupa o 26° lugar entre as 475 cidades brasileiras de médio porte e possui mais de 12 mil empresas em atividade. Esse destaque se dá em virtude de apresentarmos forte desenvolvimento econômico, principalmente devido a instalações de grandes indústrias nas áreas de alimentos, têxtil, química, moveleira, autopeças e recursos energéticos, incluindo gás natural. Itapetininga também é polo comercial e de serviços, sendo referência para as demais cidades da região, com uma grande vocação agrícola e vasta extensão

[1] Disponível em: https://www.itapetininga.sp.gov.br/. Acesso em: 05 fev. 2020.

rural, apresentando o 12º maior PIB do agronegócio paulista (PREFEITURA DE ITAPETININGA, 2020, s.p).

Segundo informações encontradas no site da prefeitura do município, Itapetininga corresponde ao terceiro maior município de São Paulo e se encontra localizado na bacia do Alto de Paranapanema. A distância em relação à capital é de 171 km e a 184 km em relação ao Paraná. Quanto à demografia, pode-se citar as características abaixo:

Tabela 3. Localização de Itapetininga dentro do Estado de São Paulo e do Brasil.

População total	144.377
População estimada IBGE 2018	162.231
- Urbana	131.050
- Rural	13.327
- Homens	72.167
- Mulheres	72.210
Densidade demográfica (hab/km²)	80,41
Mortalidade infantil até 1 ano (por mil)	12
Expectativa de vida (anos)	76,86
Taxa de fecundidade (filhos por mulher)	1,7
Taxa de alfabetização	93,11%
Índice de Desenvolvimento Humano (IDH-M)	0,763
- IDH-M Renda	0,728
- IDH-M Longevidade	0,864
- IDH-M Educação	0,705

Fonte: Elaborado pelo autor com base na Prefeitura de Itapetininga (2020)

6.1.2 Mercado imobiliário

De acordo com informações obtidas por meio de noticiário *on line*[2] em que fora citado o levantamento realizado pela Associação dos Registradores Imobiliários, o município de Itapetininga passou por forte crescimento nos negócios imobiliários a partir do ano de 2019. Segundo os dados levantados, os negócios obtiveram crescimento de 11,3% no primeiro trimestre de 2019 em comparação ao ano anterior.

No cartório de registro de imóveis, constatou-se a realização de 100 atendimento diários ao público, sendo que grande parte corresponde a novos negócios no mercado imobiliário, como por exemplo a solicitação de matrícula de imóveis para a verificação da documentação. Entre 2017 e 2018, de forma geral, o valor do m² teve um acréscimo de 17%; já entre 2018 e 2019, 27%. Os principais motivos que justificam esse aumento se referem aos lançamentos ocorridos na cidade, como os novos loteamentos e a linha de crédito fornecida pela Caixa, já que, 90% dos imóveis foram financiados.

[2] Disponível em: https://www.itapetininga.sp.gov.br/. Acesso em: 05 fev. 2020.

Figura 19. Imóveis comercializados em Itapetininga.



Fonte: Elaborado pelo autor com base na Prefeitura de Itapetininga (2020)

7 ANÁLISES E RESULTADOS

A base de dados era composta por 353 imóveis e 18 variáveis de caracterização, além das variáveis referentes às coordenadas geográficas de cada ferramenta utilizada. Na análise descritiva das variáveis numéricas foram utilizadas medidas de posição, tendência central e dispersão. Já na descrição das variáveis categóricas (variáveis qualitativas) foram utilizadas as frequências absolutas e relativas.

Para relacionar o valor do imóvel com as variáveis foi realizada inicialmente uma análise univariada. Para as variáveis numéricas, utilizou-se a correlação de Spearman (HOLLANDER E WOLFE, 1999). A correlação de Spearman é uma medida limitada entre -1 e 1, sendo que quanto mais próximo o coeficiente estiver de -1 maior a correlação negativa e quanto mais próximo o coeficiente estiver de 1 maior a correlação positiva. Para as variáveis categóricas foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis (HOLLANDER E WOLFE, 1999) e nas comparações múltiplas foi utilizado o teste de Nemenyi (HOLLANDER E WOLFE, 1999).

A fim de verificar quais fatores influenciam no valor do imóvel, utilizou-se o método *Stepwise* (EFROYMSON, 1960) para seleção das variáveis. O método *Stepwise* é definido como uma mescla dos métodos *Backward* e *Forward*. Dessa forma, primeiramente, usando o método *Forward* (EFROYMSON, 1960), as variáveis que apresentassem um valor-p inferior a 0,25 na análise univariada eram selecionados para a análise multivariada.

Na análise multivariada foi aplicado o método *Backward* (EFROYMSON, 1960). O método *Backward* é o procedimento de retirar, por vez, a variável de maior valor-p, repetindo o procedimento

até que restem no modelo somente variáveis significativas. Para o método *Backward* foi adotado um nível de 5% de significância. Na análise multivariada foi utilizada a Regressão Linear com erros padrões robustos (WHITE, 1980) para a matriz de covariância dos coeficientes estimados. Em alguns modelos é comum encontrar problemas de heterocedasticidade dos dados, o que faz com que as suposições do modelo de Regressão Linear sejam violadas. Essa violação faz com que os erros-padrões não sejam estimados corretamente, o que gera estimativas inconsistentes no modelo. Quando isso ocorre, é necessário utilizar estimadores robustos para a matriz de covariância para que as estimativas sejam consistentes. Nos últimos anos, muitos métodos para heterocedasticidade consistente (HC) (WHITE, 1980) foram sugeridos na literatura, o que fez com que eles se tornassem populares agora.

Para verificar a presença de multicolinearidade entre as variáveis explicativas no modelo foi utilizada a estatística VIF do inglês V*ariance Inflation Factor* (MONTGOMERY *et al.*, 2015), sendo que variáveis que apresentassem um VIF superior a 10 eram retiradas do modelo.

Para verificar os pressupostos de normalidade e homocedasticidade dos resíduos do modelo foram utilizados os testes de Jarque-Bera e Breush-Pagan, respectivamente. Para verificar a dependência espacial dos resíduos utilizou-se o Índice de Moran (MORAN, 1948), o teste de Multiplicador de Lagrange do inglês *Lagrange Multiplier* (erro e defasagem) e o teste de Multiplicador de Lagrange Robusto (erro e defasagem) (BERA; YOON, 1993). O Índice de Moran é uma das formas mais clássicas para medir a autocorrelação espacial e possui como hipótese nula a inexistência da dependência espacial. Porém, este teste não distingue qual estrutura de dependência espacial está presente no modelo, se é no erro ou na defasagem da variável dependente. Os testes de Multiplicador de Lagrange têm como hipótese nula a inexistência da dependência espacial no erro ou na defasagem. De acordo com Florax *et al.* (2003) para definir o tipo de modelo espacial tem-se a seguinte estratégia:

1) estima-se o modelo de regressão linear múltipla pelo método dos mínimos quadrados (MQO);
2) verifica a dependência espacial dos resíduos do modelo estimado em (1) pelos testes LM (erro e defasagem) e LM Robusto (erro e defasagem);
3) se ambos os testes forem não significativos, deve-se utilizar as estimativas do modelo de regressão linear, caso contrário segue-se o item (4);
4) se ambos os testes forem significativos, a especificação do modelo espacial será definida pelo teste de maior significância;
5) se apenas um teste for significativo, a especificação do modelo espacial será definida por este mesmo teste.

Para verificar o efeito da dependência espacial e inserir este efeito no modelo é necessário inserir uma matriz de pesos espaciais W (ANSELIN, 1999). Na matriz W os pesos são padronizados por linha, de forma que a soma dos pesos em cada linha é igual a 1. A importância dos vizinhos é dada através do peso correspondente ao inverso da distância ou ao inverso do quadrado da distância entre eles (DANTAS, 2003).

Realizados os testes de dependência espacial e de especificação do modelo espacial é necessário a aplicação do Modelo de Defasagem Espacial ou do Modelo de Erro Espacial. Neste trabalho, foi necessário utilizar apenas o Modelo de Defasagem Espacial.

No Modelo de Defasagem Espacial, a dependência espacial é criada através da interação espacial entre os imóveis e seus preços, ou seja, o preço dos imóveis vizinhos também exercerá influência sobre o preço dos imóveis, além das características físicas do imóvel em questão (DANTAS, 2003). Neste modelo, a variável dependente – valor do imóvel é espacialmente defasada.

As redes neurais artificiais (RNAs) são modelos computacionais inspirados pelo sistema nervoso central de um animal (em particular o cérebro) que são capazes de reconhecer padrões. Geralmente são apresentadas como sistemas de "neurônios interconectados, que podem computar valores de entradas", simulando o comportamento de redes neurais biológicas. A propriedade mais importante das redes neurais é a habilidade de aprender. No processo de aprendizagem, é necessário fornecer dados de entrada (input) e informar qual é a saída (output) esperada. Com isso é feito o treinamento que consiste em um processo interativo de ajustes aplicado aos seus pesos. A aprendizagem ocorre quando a rede neural atinge uma solução generalizada para uma classe de problemas.

O modelo de Krigagem é um método de regressão utilizado em geoestatística. A técnica parte do princípio de que os pontos que estão mais próximos tendem a ter valores mais parecidos, enquanto que os pontos que estão mais distantes tendem a ter valores mais diferentes, ou seja, os valores apresentam correlação espacial. De acordo com Landim (2003), pode-se dizer que a Krigagem é um método de estimativa por médias móveis de medidas distribuídas no espaço a partir dos valores de suas proximidades e a função que relaciona a dependência espacial é o semivariograma (LANDIM; STURARO, 2002). Logo, a Krigagem consiste em minimizar a variância estimada a partir de um modelo que leva em conta a dependência espacial (LANDIM, 2003).

Na avaliação da qualidade do ajuste do modelo foram computados o MAD – desvio médio absoluto (do inglês *mean absolute deviation*), o MAPE – erro médio absoluto percentual (do inglês

mean absolute percentage error) e o RMSE – raiz do erro quadrático médio (do inglês *root mean square error*). Nos modelos de regressão linear foi computado o R^2, que representa, em uma escala de 0% a 100%, o quanto as variáveis explicam a variação do valor do imóvel.

Para verificar se os modelos ajustados estavam adequados e se possuíam boa capacidade preditiva utilizou-se o princípio da Validação Cruzada e foram calculadas as seguintes medidas de qualidade de ajuste: MAD, MAPE e RMSE. A Validação Cruzada avalia o desempenho do modelo em uma nova base de dados, sendo um processo importante para verificar o quão preciso o modelo é na prática. A Validação Cruzada evita o problema de *overfitting* ou super-ajuste (HAIR *et al.*, 2009), que ocorre quando o modelo se ajusta demais ao conjunto de treinamento e apresenta um desempenho muito inferior à uma base de validação. Neste trabalho foi utilizado o método *Holdout* (JAMES *et al.*, 2013), que é uma técnica de validação cruzada utilizada para avaliar a capacidade de generalização de um modelo a partir de uma determinada base de dados. Este método consiste em dividir a base de dados em dois subconjuntos mutualmente exclusivos e em seguida utilizar um deles para a estimação do modelo (base de treinamento) e o outro para a validação do modelo (base de teste). A base de dados pode ser dividida em partes iguais ou não, sendo que para o método ser eficiente, é recomendável que a base de teste seja entre 25% a 50% do banco de dados original. Neste trabalho utilizamos a proporção de 30% para a base de teste.

O *software* utilizado nas análises foi o R (versão 3.6.1).

7.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA

A Tabela 4 apresenta a análise descritiva das variáveis quantitativas relacionadas à caracterização dos imóveis. Dessa forma, pode-se destacar que:

- O valor médio dos imóveis foi de R$ 446.115,10, enquanto que sua mediana foi de R$350.000,00.
- O número médio de banheiros foi de 2,3 e seus valores variaram de 1 a 8.
- A média da área construída foi de 177,6 com um desvio padrão de 122,8.
- A área média do terreno foi de 290,0 com um desvio padrão de 320,9.
- O número médio de vagas de garagem foi de 2,6 e seus valores variaram de 0 a 30.
- O número médio de quartos foi de 2,7 e seus valores variaram de 1 a 6.
- O número de suítes variou de 0 a 4.

- A distância média até o polo valorizador Bairro Vila Baith via GPS de Navegação foi de 2455,5 com um desvio padrão de 1200,9.
- A distância média até o polo valorizador Av. Campos Sales via GPS de Navegação foi de 1535,9 com um desvio padrão de 879,1.
- A distância média até o polo valorizador Praça das Escolas via GPS de Navegação foi de 2266,5 com um desvio padrão de 1035,5.
- A distância média até o polo valorizador Bairro Vila Baith via GPS RTK foi de 2450,2 com um desvio padrão de 1205,7.
- A distância média até o polo valorizador Av. Campos Sales via GPS RTK foi de 1529,3 com um desvio padrão de 887,9.
- A distância média até o polo valorizador Praça das Escolas via GPS RTK foi de 2258 com um desvio padrão de 1028,8.
- A distância média até o polo valorizador Bairro Vila Baith via GPS Google Earth foi de 2454,8 com um desvio padrão de 1199,3.
- A distância média até o polo valorizador Av. Campos Sales via GPS Google Earth foi de 1531,4 com um desvio padrão de 877,7.
- A distância média até o polo valorizador Praça das Escolas via GPS Google Earth foi de 2266,3 com um desvio padrão de 1033,8.

Tabela 4. Análise descritiva das variáveis quantitativas de caracterização do imóvel.

Variáveis	N	Média	D.P.	Mín.	1º Q.	2º Q.	3º Q.	Máx.
Valor do Imóvel	353	446.115,1	342.421,9	120.000,0	240.000,0	350.000,0	550.000,0	2.950.000,0
Banheiro	353	2,3	1,2	1,0	1,0	2,0	3,0	8,0
Área construída	353	177,6	122,8	50,0	105,0	134,0	210,0	1060,0
Área do terreno	353	290,0	320,9	124,0	150,0	200,0	300,0	4200,0
Vagas de garagem	353	2,6	2,0	0,0	2,0	2,0	3,0	30,0
Nº de quartos	353	2,7	0,9	1,0	2,0	3,0	3,0	6,0
Nº de suítes	353	1,2	0,8	0,0	1,0	1,0	2,0	4,0
Distância - Bairro Vila Baith (GPS Navegação)	353	2455,5	1200,9	51,9	1681,2	2512,4	3262,8	6599,0
Distância - Av. Campos Sales (GPS Navegação)	353	1535,9	879,1	0,0	935,7	1377,8	2112,7	4797,9
Distância - Praça das Escolas (GPS Navegação)	353	2266,5	1035,5	239,5	1464,4	2283,0	3059,7	6519,5
Distância - Bairro Vila Baith (GPS RTK)	353	2450,2	1205,7	51,9	1679,8	2511,9	3260,3	6599,7
Distância - Av. Campos Sales (GPS RTK)	353	1529,3	887,9	0,0	889,0	1369,2	2127,4	4797,1
Distância - Praça das Escolas (GPS RTK)	353	2258,0	1028,8	240,0	1465,5	2277,3	3013,0	6526,6

Distância - Bairro Vila Baith (GPS Google Earth)	353	2454,8	1199,3	51,9	1682,4	2513,9	3266,3	6598,4
Distância - Av. Campos Sales (GPS Google Earth)	353	1531,4	877,7	0,0	916,4	1377,2	2114,0	4795,3
Distância - Praça das Escolas (GPS Google Earth)	353	2266,3	1033,8	239,6	1464,1	2282,8	3058,4	6518,9

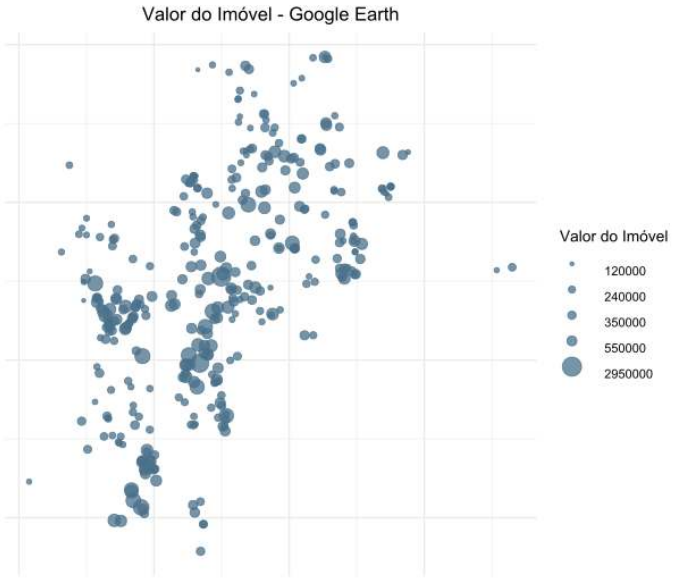
Fonte: Os autores.

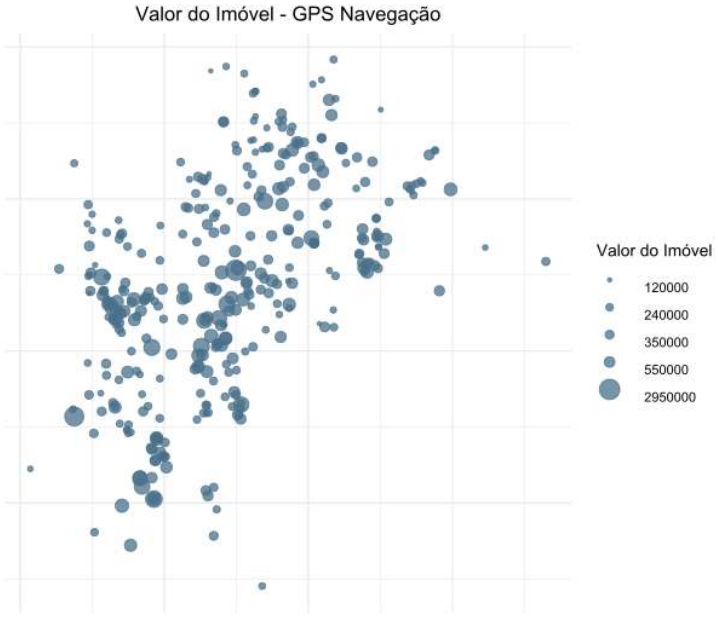
A Tabela apresenta a análise descritiva das variáveis qualitativas dos imóveis. Dessa forma, pode-se destacar que:

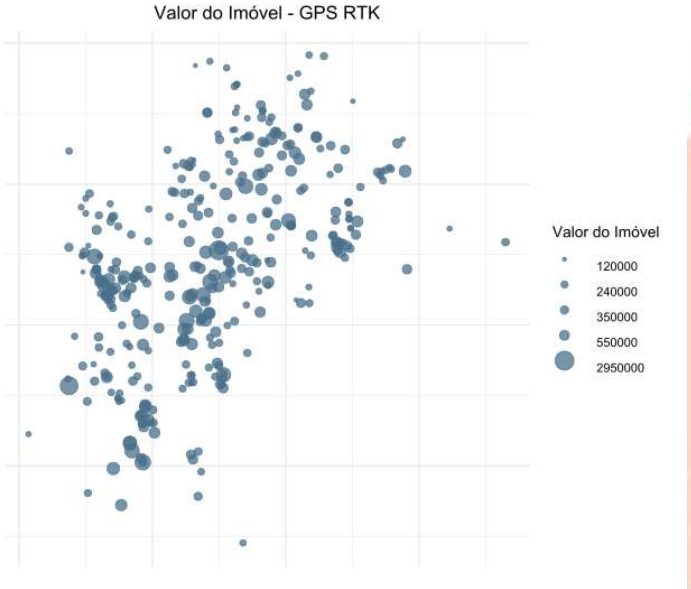
- A maioria dos imóveis (62,32%) possui alto padrão de acabamento;
- A maioria dos imóveis (78,47%) apresentou ótima conservação.

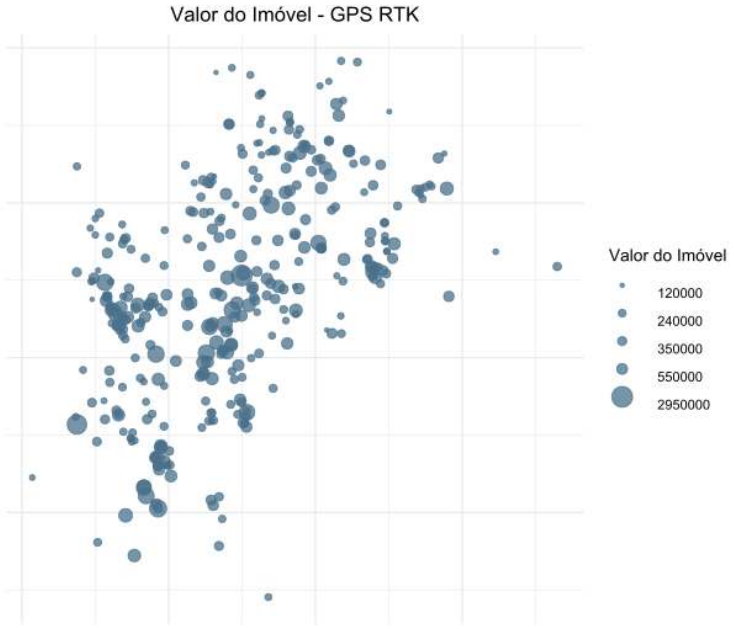
A Figura 20 ilustra o valor do imóvel para cada tipo de coordenada geográfica: Google Earth, GPS Navegação e GPS RTK. Observa-se que quanto maior for o valor do imóvel, maior será o tamanho do círculo.

Figura 20. Valor do imóvel de acordo com a coordena geográfica.




Valor do Imóvel - GPS Navegação
Valor do Imóvel
120000
240000
350000
550000
2950000


Valor do Imóvel - GPS RTK
Valor do Imóvel
120000
240000
350000
550000
2950000



Fonte: Elaborado pelo autor com base do software R (2019)

7.2 ANÁLISE UNIVARIADA

Nesta seção será apresentada a relação entre as variáveis e o valor do imóvel. A partir desta análise, serão selecionados os potenciais preditores para a análise multivariada.

Na Tabela 6 é apresentada a relação entre as variáveis quantitativas e o valor do Imóvel. Dessa forma, pode-se destacar que:

- O banheiro, a área construída, a área do terreno, o número de vagas de garagem, o nº de quartos e o nº de suítes apresentaram correlação significativa e positiva (valor-p < 0,05; r > 0) com o valor do imóvel, ou seja, quanto maior for o número de banheiros, a área construída, a área do terreno, o número de vagas de garagem, o nº de quartos e o nº de suítes, maior tende a ser o valor do imóvel.
- A distância até os polos valorizadores "Bairro Vila Baith", "Av. Campos Sales" e "Praça das Escolas" apresentaram correlação significativa e negativa (valor-p < 0,05; r < 0) com o valor do imóvel para os 3 tipos de GPS (Google Earth, RTK e Navegação), ou seja, quanto maior for a distância do imóvel em relação aos polos valorizadores menor tende a ser o valor do imóvel.

Tabela 6. Correlação entre as variáveis e o valor do imóvel.

Variáveis	r[1]	Valor-p
Banheiro	0,61	<0,001
Área construída	0,79	<0,001
Área do terreno	0,65	<0,001
Vagas de garagem	0,50	<0,001
Nº de quartos	0,61	<0,001
Nº de suítes	0,45	<0,001
Distância - Bairro Vila Baith (GPS Navegação)	-0,28	<0,001
Distância - Av. Campos Sales (GPS Navegação)	-0,21	<0,001
Distância - Praça das Escolas (GPS Navegação)	-0,16	0,003
Distância - Bairro Vila Baith (GPS RTK)	-0,28	<0,001
Distância - Av. Campos Sales (GPS RTK)	-0,22	<0,001
Distância - Praça das Escolas (GPS RTK)	-0,16	0,003
Distância - Bairro Vila Baith (GPS Google Earth)	-0,28	<0,001
Distância - Av. Campos Sales (GPS Google Earth)	-0,21	<0,001
Distância - Praça das Escolas (GPS Google Earth)	-0,16	0,003

Nota: [1]Correlação de Spearman.
Fonte: Autores.

Na Tabela 7 é apresentada a relação entre as variáveis qualitativas e o valor do Imóvel. Observa-se que houve relação significativa (valor-p<0,001) entre o padrão de acabamento e o valor do imóvel, sendo que pelo teste de comparação múltipla, os imóveis com padrão de acabamento popular apresentaram o valor do imóvel significativamente menor que os imóveis com padrão de acabamento médio e alto.

Tabela 7. Comparação entre as variáveis qualitativas e o valor do imóvel.

Variáveis		N	Média	E.P.	1º Q.	2º Q.	3º Q.	Valor-p[1]
Padrão de acabamento	Popular	27	286851,9	41793,2	132500,0	210000,0	340000,0	<0,001
	Médio	106	384811,3	21114,3	210000,0	320000,0	490000,0	
	Alto	220	495198,4	26357,6	250500,0	380000,0	550000,0	
Conservação	Baixa	42	506071,4	58939,5	230000,0	350000,0	680000,0	0,345
	Boa	34	514489,4	65833,3	210000,0	400000,0	700000,0	
	Ótima	277	428631,8	19820,3	250000,0	340000,0	500000,0	

Nota: [1]Teste de Kruskal-Wallis.
Fonte: Autores

A partir da análise univariada, foram selecionadas todas as variáveis como possíveis preditoras do valor do imóvel (valor-p<0,25), exceto a variável “Conservação”.

7.3 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

A partir das variáveis selecionadas na análise univariada foi ajustado o modelo multivariado de regressão linear. A Tabela 6 apresenta o modelo inicial, enquanto que a Tabela 7 mostra o modelo final. Além do ajuste dos modelos, são apresentadas também as estatísticas de qualidade de ajuste, os testes de normalidade, homocedasticidade e de correlação espacial dos resíduos. A Tabela 8 apresenta o modelo inicial ajustado para cada ferramenta de georreferenciamento, a qualidade de ajuste de cada modelo, os testes de normalidade, homocedasticidade e dependência espacial dos resíduos. Observa-se que pelo teste de Jarque-Bera e Breush-Pagan que os resíduos não apresentaram distribuição normal e não foram homocedásticos. Dessa forma, para contornar este problema, utilizou-se a Regressão Linear Robusta.

Tabela 8. Qualidade de Ajuste

Fonte \ Tipo de GPS	GPS Google Earth				GPS Navegação				GPS RTK			
	B	E.P. (β)	Valor- t	Valor-p	B	E.P. (β)	Valor- t	Valor-p	β	E.P. (β)	Valor- t	Valor-p
Intercepto	73340,72	39128,54	1,87	0,062	73787,75	39210,41	1,88	0,061	72888,83	38803,41	1,88	0,061
Nº de banheiros	63940,10	17200,63	3,72	0,000	63790,45	17178,90	3,71	0,000	63963,78	17162,23	3,73	0,000
Área construída	1453,55	240,07	6,05	0,000	1453,59	240,00	6,06	0,000	1451,77	240,04	6,05	0,000
Área do terreno	226,89	59,65	3,80	0,000	226,82	59,63	3,80	0,000	225,18	58,29	3,86	0,000
Distância - Bairro Vila Baith	-18,65	7,87	-2,37	0,018	-18,76	7,85	-2,39	0,017	-18,33	7,80	-2,35	0,019
Distância - Av. Campos Sales	-33,56	11,97	-2,80	0,005	-33,34	11,92	-2,80	0,005	-33,39	11,49	-2,91	0,004
MAD	108351,50				108484,20				108363,70			
MAPE	24,29%				24,32%				24,29%			
RMSE	180373,40				180379,70				180349,50			
R^2	72,17%				72,17%				72,18%			
R^2 Ajustado	71,77%				71,77%				71,78%			
AIC	9560,34				9560,36				9560,24			
VIF – Máximo	2,25				2,25				2,25			
Teste Jaquera Bera (valor-p)	0,000				0,000				0,000			
Teste Breush-Pagan (valor-p)	0,000				0,000				0,000			
Teste Moran (valor-p)	0,815				0,845				0,675			
LM (erro) (valor-p)	0,951				0,658				0,475			
LM Robusto (erro) (valor-p)	0,131				0,674				0,176			
LM (Defasagem) (valor-p)	0,146				0,846				0,594			
LM Robusto (Defasagem) (valor-p)	**0,036**				0,888				0,205			

Fonte: Autores.

Tabela 8 – QUALIDADE DE AJUSTE é apresentado o modelo final para cada ferramenta de georreferenciamento, assim como a qualidade de ajuste e os testes para verificar a normalidade, homocedasticidade e dependência espacial dos resíduos. Sendo assim, controlando pelas demais variáveis, pode-se destacar que:

7.4 GOOGLE EARTH

- Houve influência significativa (valor-p<0,001) do número de banheiros sobre o valor do imóvel, sendo que a cada um banheiro acrescido, o valor do imóvel aumenta R$63.940,10.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da área construída sobre o valor do imóvel, sendo que a cada unidade acrescida na área construída o valor do imóvel aumenta R$1.453,55.

- Houve influência significativa (valor-p < 0,001) da área do terreno sobre o valor do imóvel, sendo que a cada unidade acrescida na área do terreno o valor do imóvel aumenta R$226,89.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da distância do imóvel até o bairro Vila Baith, sendo que a cada unidade acrescida na distância o valor do imóvel diminui R$18,65.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da distância do imóvel até a Avenida Campos Sales, sendo que a cada unidade acrescida na distância o valor do imóvel diminui R$33,56.
- O número de banheiros, a área construída, a área do terreno, a distância até o bairro Vila Baith e a distância até a Avenida Campos Sales foram capazes de explicar 71,77% da variabilidade do valor do imóvel.

7.5 GPS NAVEGAÇÃO

- Houve influência significativa (valor-p<0,001) do número de banheiros sobre o valor do imóvel, sendo que a cada um banheiro acrescido, o valor do imóvel aumenta R$63.790,45.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da área construída sobre o valor do imóvel, sendo que a cada unidade acrescida na área construída o valor do imóvel aumenta R$1.453,59.
- Houve influência significativa (valor-p < 0,001) da área do terreno sobre o valor do imóvel, sendo que a cada unidade acrescida na área do terreno o valor do imóvel aumenta R$226,82.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da distância do imóvel até o bairro Vila Baith, sendo que a cada unidade acrescida na distância o valor do imóvel diminui R$18,76.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da distância do imóvel até a Avenida Campos Sales, sendo que a cada unidade acrescida na distância o valor do imóvel diminui R$33,34.
- O número de banheiros, a área construída, a área do terreno, a distância até o bairro Vila Baith e a distância até a Avenida Campos Sales foram capazes de explicar 71,77% da variabilidade do valor do imóvel.

8.6 GPS RTK

- Houve influência significativa (valor-p<0,001) do número de banheiros sobre o valor do imóvel, sendo que a cada um banheiro acrescido, o valor do imóvel aumenta R$63.963,78.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da área construída sobre o valor do imóvel, sendo que a cada unidade acrescida na área construída o valor do imóvel aumenta R$1.451,77.

- Houve influência significativa (valor-p < 0,001) da área do terreno sobre o valor do imóvel, sendo que a cada unidade acrescida na área do terreno o valor do imóvel aumenta R$225,18.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da distância do imóvel até o bairro Vila Baith, sendo que a cada unidade acrescida na distância o valor do imóvel diminui R$18,33.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da distância do imóvel até a Avenida Campos Sales, sendo que a cada unidade acrescida na distância o valor do imóvel diminui R$33,39.
- O número de banheiros, a área construída, a área do terreno, a distância até o bairro Vila Baith e a distância até a Avenida Campos Sales foram capazes de explicar 71,78% da variabilidade do valor do imóvel.

Para todos os modelos ajustados, observou-se pelos testes de Jarque-Bera e Breush-Pagan que os resíduos não apresentaram distribuição normal e não foram homocedásticos. Por isso, utilizou-se a regressão linear robusta para contornar estes problemas. Além disso, pelos testes de LM (erro e defasagem) e LM Robusto (erro e defasagem) os resíduos não apresentaram correlação espacial (valor-p > 0,05) para as ferramentas de GPS Navegação e GPS RTK. Logo, as covariáveis foram capazes de explicar a parte da dependência espacial. Já para a ferramenta GPS Google Earth o teste LM Robusto (defasagem) foi significativo (valor-p = 0,036), indicando que a variável dependente apresenta defasagem espacial. Logo, o modelo indicado é o modelo de defasagem espacial.

Observa-se também que ambos os modelos apresentaram as medidas de qualidade de ajuste bem similares. Pode-se destacar que o modelo referente à ferramenta GPS RTK apresentou o menor valor do RMSE e o maior valor do R^2 ajustado. Já o modelo referente ao GPS Google Earth apresentou o menor valor do MAD. Além disso, estes modelos apresentaram o mesmo valor do MAPE.

Tabela 9. Fatores que influenciam no valor do imóvel para cada ferramenta de georreferenciamento – Modelo Final.

Fonte \ Tipo de GPS	GPS Google Earth			GPS Navegação			GPS RTK		
	β	E.P.[1] (β)	Valor-p	β	E.P.[1] (β)	Valor-p	β	E.P.[1] (β)	Valor-p
Intercepto	73340,72	39128,54	0,062	73787,75	39210,41	0,061	72888,83	38803,41	0,061
Nº de banheiros	63940,10	17200,63	<0,001	63790,45	17178,90	<0,001	63963,78	17162,23	<0,001
Área construída	1453,55	240,07	<0,001	1453,59	240,00	<0,001	1451,77	240,04	<0,001
Área do terreno	226,89	59,65	<0,001	226,82	59,63	<0,001	225,18	58,29	<0,001
Distância - Bairro Vila Baith	-18,65	7,87	0,018	-18,76	7,85	0,017	-18,33	7,80	0,019
Distância - Av. Campos Sales	-33,56	11,97	0,005	-33,34	11,92	0,005	-33,39	11,49	0,004
MAD	**108351,50**			108484,20			108363,70		
MAPE	**24,29%**			24,32%			**24,29%**		
RMSE	180373,40			180379,70			**180349,50**		
R² Ajustado	71,77%			71,77%			**71,78%**		
VIF – Máximo	2,25			2,25			2,25		
Teste Jaquera Bera (valor-p)	<0,001			<0,001			<0,001		
Teste Breush-Pagan (valor-p)	<0,001			<0,001			<0,001		
Teste Moran (valor-p)	0,815			0,845			0,675		
LM (erro) (valor-p)	0,951			0,658			0,475		
LM Robusto (erro) (valor-p)	0,131			0,674			0,176		
LM (Defasagem) (valor-p)	0,146			0,846			0,594		
LM Robusto (Defasagem) (valor-p)	**0,036**			0,888			0,205		

[1]Erro Padrão.
Fonte: Autores.

As equações do modelo são dadas por:

7.7 GPS GOOGLE EARTH

$$\begin{aligned} Valor\ Imóvel = \ & 73340{,}72 + 63940{,}10 \times \text{Nº de banheiros} \\ & + 1453{,}55 \times \text{Área Construída} \\ & + 226{,}89 \times \text{Área do terreno} \\ & - 18{,}65 \times \text{Dist. Bairro Vila Baith} \\ & - \ 33{,}56 \times \text{Dist. Av. Campos Sales} \end{aligned} \quad (1)$$

7.8 GPS NAVEGAÇÃO

$$\begin{aligned} Valor\ Imóvel = \ & 73787{,}75 + 63963{,}78 \times \text{Nº de banheiros} \\ & + 1453{,}59 \times \text{Área Construída} \\ & + 226{,}82 \times \text{Área do terreno} \\ & - 18{,}76 \times \text{Dist. Bairro Vila Baith} \\ & - 33{,}34 \times \text{Dist. Av. Campos Sales} \end{aligned} \quad (2)$$

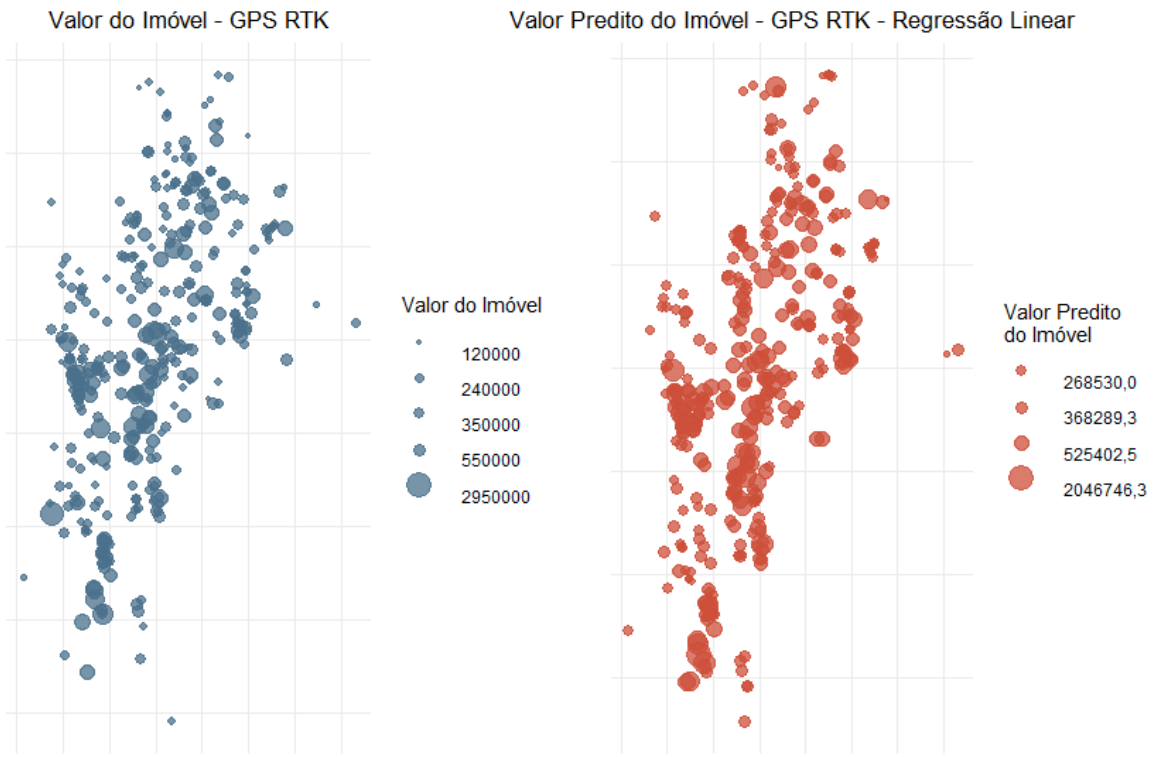
7.9 GPS RTK

$$\begin{aligned} Valor\ Imóvel = \ & 72888{,}83 + 63940{,}10 \times \text{Nº de banheiros} \\ & + 1451{,}77 \times \text{Área Construída} \\ & + 225{,}18 \times \text{Área do terreno} \\ & - 18{,}33 \times \text{Dist. Bairro Vila Baith} \\ & - 33{,}39 \times \text{Dist. Av. Campos Sales} \end{aligned} \quad (3)$$

A Figura 21 ilustra os valores reais e preditos do imóvel para cada ferramenta de georreferenciamento.

Figura 21. Valores preditos pela regressão linear para cada ferramenta de georreferenciamento.





Fonte: Elaborado pelo autor com base do software R (2019)

7.10 MODELO DE DEFASAGEM ESPACIAL

A Tabela 10 apresenta o modelo de defasagem espacial da ferramenta de georreferenciamento GPS Google Earth. Sendo assim, pode-se observar que:

- Houve influência significativa (valor-p<0,001) do número de banheiros sobre o valor do imóvel, sendo que a cada um banheiro acrescido, o valor do imóvel aumenta R$63.150,79.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da área construída sobre o valor do imóvel, sendo que a cada unidade acrescida na área construída o valor do imóvel aumenta R$1.428,03.
- Houve influência significativa (valor-p < 0,001) da área do terreno sobre o valor do imóvel, sendo que a cada unidade acrescida na área do terreno o valor do imóvel aumenta R$228,33.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da distância do imóvel até o bairro Vila Baith, sendo que a cada unidade acrescida na distância o valor do imóvel diminui R$11,89.
- Houve influência significativa (valor-p<0,001) da distância do imóvel até a Avenida Campos Sales, sendo que a cada unidade acrescida na distância o valor do imóvel diminui R$36,27.

Em comparação com o modelo de Regressão Linear Robusta para a ferramenta GPS Google Earth apresentado na Tabela 10, este modelo apresentou os menores valores das medidas de qualidade de ajuste. Mas vale destacar que estes valores ainda são similares aos valores apresentados na Tabela 6 para esta ferramenta.

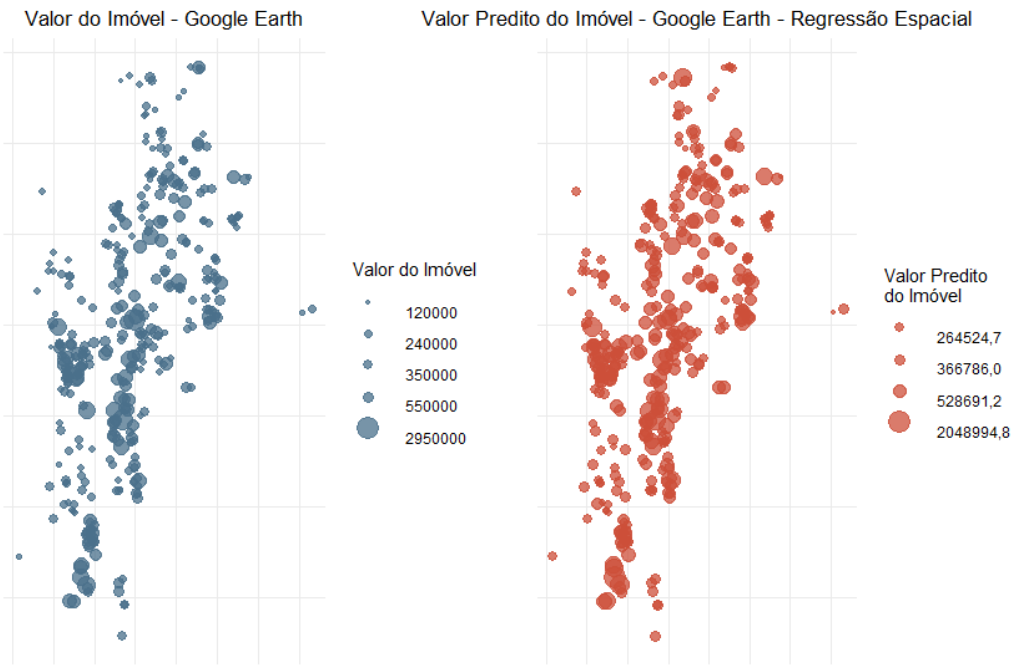
Tabela 10. Modelo de defasagem espacial.

Fonte \ Tipo de GPS	**GPS Google Earth**		
	B	**E.P.[1] (β)**	**Valor-p**
Intercepto	-34925,58	64870,33	0,590
Nº de banheiros	63150,79	9423,63	<0,001
Área construída	1428,03	117,24	<0,001
Área do terreno	228,33	40,34	<0,001
Distância - Bairro Vila Baith	-11,89	8,97	0,185
Distância - Av. Campos Sales	-36,27	11,37	0,001
MAD		107013,80	
MAPE		23,99%	
RMSE		179441,20	

Nota: [1]Erro Padrão.
Fonte: Elaborada pelos autores

A Figura 22 ilustra o valor real e predito pelo modelo de defasagem espacial para a ferramenta Google Earth.

Figura 22. Valores preditos pelo modelo de defasagem para cada ferramenta de georreferenciamento.



Fonte: Elaborada pelos autores

7.11 REDES NEURAIS

Foi ajustado o modelo de Rede Neural a fim de predizer o valor do imóvel para cada ferramenta de georreferenciamento. A Tabela 11 apresenta as medidas de qualidade de ajuste. Observa-se que o modelo referente à ferramenta GPS Google Earth apresentou os menores valores dos erros, seguido pelo modelo da ferramenta GPS RTK.

Tabela 11. Medidas de qualidade de ajuste – Rede Neural.

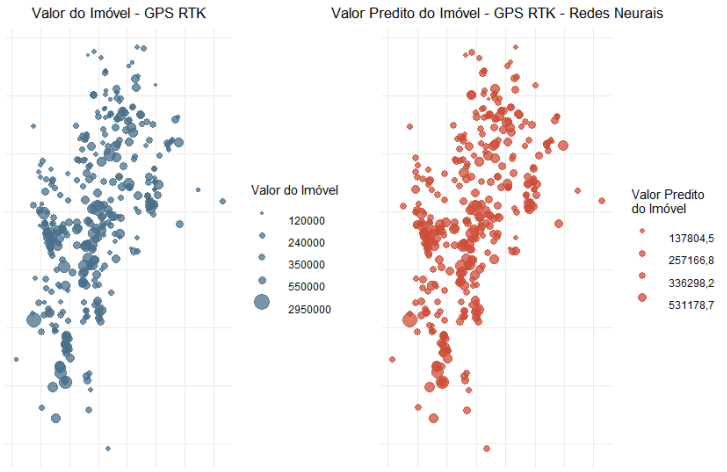
Tipo de GPS	GPS Google Earth	GPS Navegação	GPS RTK
MAD	**83092,26**	91423,20	83631,02
MAPE	**18,63%**	20,49%	18,75%
RMSE	**125943,50**	140939,70	133764,70

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 23 ilustra os valores reais e preditos pela rede neural para cada ferramenta.

Figura 23. Valores preditos pela rede neural para cada ferramenta de georreferenciamento.





Fonte: Elaborado pelo autor

7.12 VALIDAÇÃO CRUZADA

A Tabela 12 apresenta as estatísticas de qualidade de ajuste da validação cruzada dos modelos ajustados para o valor do imóvel de cada ferramenta de georreferenciamento. Observa-se que o modelo de defasagem espacial para a ferramenta GPS Google Earth foi o modelo que apresentou os menores valores do MAD e do MAPE, enquanto que o modelo de redes neurais para a ferramenta GPS Google Earth apresentou o menor valor do RMSE. Cabe destacar que estas medidas de qualidade de ajuste foram bem similares entre as técnicas utilizadas e as ferramentas de georreferenciamento. Observa-se que a Krigagem apresentou os maiores valores das medidas de erro.

Tabela 12. Estatísticas de qualidade de ajuste da validação cruzada dos modelos ajustados para o valor do imóvel.

Modelo	Estatística de qualidade de ajuste	GPS Google Earth	GPS Navegação	GPS RTK
Regressão Linear Múltipla	MAD	107859,30	108259,70	107761,90
	MAPE	28,44%	28,55%	28,42%
	RMSE	172595,80	172629,40	172337,60
Modelo de Defasagem Espacial	MAD	**105886,70**	108620,60	106965,60
	MAPE	**27,92%**	28,64%	28,21%
	RMSE	168129,20	173260,70	171052,40
Redes Neurais	MAD	108299,30	116325,40	113901,70
	MAPE	28,56%	30,68%	30,04%
	RMSE	**166022,00**	173463,30	168510,70
Krigagem	MAD	156620,70	199125,10	193612,90
	MAPE	41,30%	52,51%	51,06%
	RMSE	233141,50	273837,30	275381,00

Fonte: Elaborada pelos autores

8 CONCLUSÃO

O presente artigo permitiu compreender a importância da integração entre a inferência estatística e as ferramentas de georreferenciamento no processo de avaliação de imóveis urbanos. Ao longo da fundamentação teórica, verificou-se que a determinação do valor de mercado depende de um conjunto de fatores econômicos, físicos, espaciais e mercadológicos, exigindo metodologias capazes de reduzir a subjetividade inerente às avaliações e proporcionar maior confiabilidade aos resultados. A revisão da literatura demonstrou que a evolução dos métodos de avaliação imobiliária acompanhou o desenvolvimento das técnicas estatísticas e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitindo incorporar variáveis espaciais e atributos urbanos que influenciam diretamente a formação do valor dos imóveis. Nesse contexto, evidenciou-se que a localização representa um dos principais fatores explicativos da valorização imobiliária, justificando a utilização de ferramentas de georreferenciamento como suporte às análises técnicas.

O estudo também evidenciou que o método comparativo direto de dados de mercado, quando associado ao tratamento estatístico adequado e à utilização de bases de dados georreferenciadas, constitui uma das abordagens mais consistentes para a estimativa do valor de mercado de imóveis urbanos, conforme preconizam as normas da ABNT. A aplicação de medidas estatísticas, da análise descritiva e dos modelos de inferência contribui para aumentar a objetividade das avaliações e minimizar distorções decorrentes da heterogeneidade do mercado imobiliário.

No estudo de caso desenvolvido para o município de Itapetininga, verificou-se que as ferramentas de georreferenciamento apresentam desempenhos distintos quanto à precisão do posicionamento. O Google Earth mostrou-se uma alternativa eficiente para levantamentos preliminares e análises exploratórias, enquanto o GPS de navegação apresentou precisão intermediária, adequada para diversas aplicações práticas. Entretanto, o GPS RTK destacou-se como a tecnologia de maior precisão, fornecendo coordenadas centimétricas e reduzindo significativamente os erros de posicionamento, tornando-se a ferramenta mais indicada para avaliações imobiliárias que demandam elevado rigor técnico e confiabilidade.

Conclui-se, portanto, que a utilização integrada da estatística, das normas técnicas de avaliação e das tecnologias de georreferenciamento representa um importante avanço para a Engenharia de Avaliações, contribuindo para laudos mais precisos, transparentes e tecnicamente fundamentados. Além de ampliar a qualidade das avaliações realizadas por profissionais da engenharia, essa integração fortalece a tomada de decisões por parte do setor público, instituições financeiras, investidores e

agentes do mercado imobiliário. Por fim, recomenda-se que pesquisas futuras explorem a incorporação de técnicas de inteligência artificial, aprendizado de máquina, sensoriamento remoto de alta resolução e modelos espaciais avançados, bem como a utilização de bases de dados atualizadas em tempo real, visando aprimorar ainda mais os modelos de avaliação imobiliária e ampliar sua aplicabilidade em diferentes contextos urbanos e regionais.

REFERÊNCIAS

ABELSON, P. *House and Land Prices in Sydney from 1931 to 1989.* ***Urban Studies***, v. 34, p. 1381–1400, 1997.

ABUNAHMAN, Sérgio Antonio. **Engenharia Legal e de Avaliações**. 4. ed. São Paulo: PINI, 2008.

AJURIS. Núcleo de Inovação e Administração Judiciária. **Tomada de decisão.** Disponível em: http://www.niajajuris.org.br/index.php/artigos/280-teoria-da-decisao. Acesso em: 10 jan. 2020.

ALMOND, N.; JENKINS, D.; GRONOW, S. *Development of a Prototype Residential Valuation System.* ***Proceedings of the 5th Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management***, Mumbai, p. 204–215, 1997.

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional:** métodos e modelos para análise de decisões. 4. ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

AOKI, Y.; OSARAGI, T.; ISHIZAKA, K. *An Interpolating Model for Land-price Data with Transportation Costs and Urban Activities.* ***Environment and Planning****,* v. 21, p. 53–65, 1994.

ARONOVICH, S. Uma nota sobre os efeitos da inflação e do nível de atividade sobre o spread bancário. **Revista Brasileira de Economia**, vol. 48, n.1. 2004. Disponível em: https://epge.fgv.br/. Acesso em 20 jan. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653:1: **Avaliação de Bens:** Procedimentos Gerais. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653:2: **Avaliação de Bens:** Imóveis Urbanos. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653:3: **Avaliação de Bens:** Imóveis Rurais. Rio de Janeiro, 2004b.

AZAR, K. T. *Using GIS for estimating the spatial distribution of land value in metropolitan Beirut.* ***Urban and Regional Information Association*** - URISA, 1994.

BARBETTA, Pedro A.; REIS, Marcelo M. e BORNIA, Antonio C. **Estatística para cursos de Engenharia e informática.** São Paulo: Editora Atlas S.A., 2004.

BEALE, R.; JACKSON, T. ***Neural Computing: An Introduction.*** [S.l: s.n.], 1990.

BOYLE, K.; KIEL, K. *A survey of house price hedonic studies of the impact of environmental externalities.* ***Journal of Real Estate Literature.*** 9:2, 117-144, 2001.

BUSSAB, Wilton; MORETIN, Pedro. **Estatística Básica**. 5 ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

CAN, A. *Spatial Dependence and House Price Index Construction.* ***Journal of Real Estate Finance and Economics***, 14, 203–22, 1997.

CARAVANTES, Geraldo; PANNO, Cláudia; KLOECKNER, Mônica. **Administração:** teorias e processo. São Paulo: Pearson, 2005. 572 p.

CASTRO, F. C. C.; CASTRO, M. C. F. **Redes neurais artificiais**. DCA/FEEC/Unicamp, 2001.

CHESHIRE, P.; SHEPPARD, S. ***On the Price of Land and the Value of Amenities*.** v. 62, p. 247–267, 1995.

CLIFF, A. D.; ORD, J. K. ***Spatial autocorrelation.*** *London: Pion Press*, 1981. 178 p.

COSTA, S. M. A.; ABREU, M. A.; JUNIOR, N. J.M.; SILVA, A. L.; FORTES, L. P. S. RBMC em Tempo Real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, **Anais [...]** Recife, 2008.

DAMODARAN, A. **Avaliação de investimentos:** ferramentas e técnicas para a determinação do valor de qualquer ativo. 5. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.

DANTAS R. A.; PORTUGAL J. L.; PRADO J. F. "Avaliação de cidades por inferência espacial: um estudo de caso para a cidade de Aracaju". In: **Anais do XIII COBREAP 2006 - Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias.** Fortaleza, Brasil, 2006.

DANTAS, R. A., **Engenharia de Avaliações:** uma introdução à metodologia científica. 1.ª Ed. São Paulo: Pini, 2003.

DANTAS, Rubens Alves. **Engenharia de Avaliações:** Uma Introdução à Metodologia Científica. 3. ed. São Paulo: PINI, 2012.

DEGROOT, H.M; SCHERVISH, M.J. ***Probability and statistics.*** 1975.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística:** para engenharia e ciências. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

DIEHL, T. M. **Principais métodos de avaliação de empresas:** vantagens e desvantagens. 2010. 25 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Contábeis) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/27207. Acesso em: 23 jan. 2020.

DUBRIN, Andrew J. F**undamentos do comportamento do mercado imobiliário**. São Paulo: Pioneira *Thomson Learning*, 2003.

FALAS, T. *Neural Networks in Empirical Accounting Research: An Alternative to Statistical Models.* ***Neural Network World***, v. 5, p. 419–432, 1995.

FIKER, J. **Avaliação de Imóveis Urbanos.** [S.l: s.n.], 1993.

FIKER, J. **Perícia Judicial – Como Redigir Laudos e Argumentar Dialeticamente**. [S.l: s.n.], 1996.

FIKER, José. **Avaliação de Terrenos e Imóveis Urbanos.** São Paulo: Pini, 1985. 106 p.

FORREST, D.; GLEN, J.; WARD, R. *The Impact of a Ligth Rail System on the Structure of House Prices – A Hedonic Longitudinal Study.* ***Journal of Transport Economics and Policy***, v. 30, p. 15–29, 1996.

FORTUNA, Eduardo. **Mercado Financeiro:** Produtos e Serviços. São Paulo: Qualitymark, 2010.

FREITAS, A. A. F. **Segmentação do mercado imobiliário utilizando dados de preferência declarada.** 2000. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de PósGraduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2000a.

FRONZA, Caroline Maria. **Avaliação de Imóveis Residenciais Urbanos: Método Comparativo Direto de Dados do Mercado.** 2016. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Faculdade Guarapuava, Guarapuava, 2016.

GERTLER, M. L.; KARADI, P. *A Model of Unconventional Monetary Policy. In:* ***Journal of Monetary Economics***, v. 58, n. 1, p. 17-34, Janeiro-2011.

GONZÁLEZ, M. A. S.; FORMOSO, C. T. **Construção de modelos do mercado imobiliário para análise de viabilidade com regressão e sistemas de regras difusas.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 19-31, 2006.

GONZÁLEZ, M. A. S. **Empreendimentos Imobiliários.** Unisinos, 2003.

HAIG, R. M. *Toward an Understanding of the Metropolis: I. Some Speculations Regarding the Economic Basis of Urban Concentration.* ***The Quarterly Journal of Economics***, v. 40, p. 179–208, 1926.

HERMANN, B. M. **Estimando o preço implícito de amenidades urbanas: evidências para o município de São Paulo.** Dissertação de Mestrado não publicada, Departamento de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, 2003.

HERMANN, B. M. e HADDAD, E. A. **Muito além do jardim:** mercado imobiliário e amenidades urbanas. Working Paper, Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo, TC Nereus 04-2003, 2003.

HOCHHEIM, N. **Análises estatísticas nos investimentos imobiliários.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

ILHA, J. C.; HEINECK, L. F. Análise da oferta imobiliária e índices de velocidade vendas: um estudo para o mercado de Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8, 2000, Salvador. **Anais [...]** Salvador: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2000.

LEVIN, E. J.; WRIGHT, R. E. *Speculation in the Housing Market?* ***Urban Studies***, v. 34, p. 1419–1437, 1997.

LOPES; R. D.; GALDINO F. C. **Modelos de Avaliação de empresas:** aspectos teóricos. Administração de Empresas em Revista, v. 15, n. 16, 2006. Disponível em: http://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/admrevista/article/view/2143. Acesso em: 19 jan. 2020.

MAGALHÃES, M. N. e LIMA, A. C. P.de. **Noções de Probabilidade e Estatística**. São Paulo: IME-USP, 2000.

MARTINS, Eliseu *et al*. **Goodwill:** uma análise dos conceitos utilizados em trabalhos científicos. Rev. contab. finanç., São Paulo , v. 21, n. 52, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-70772010000100005&lang=pt. Acesso em: 10 jan. 2020.

MENDONÇA, M. J.; SACHSIDA, A. **Existe bolha no mercado imobiliário brasileiro?** IPEA, 2012, 66 p.

MEYER, Paul L. **Probabilidade Aplicações à Estatística.** 1. Ed. Revisada. Rio de Janeiro. Livro técnico S.A. 2014.

MICHEL, A. *Interaction and family planning in the french urban family.* ***Demography***, v. 4, p. 615–625, 1967.

MILONE, Giuseppe. **Estatística Geral e Aplicada.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

MINTZBERG, H.. **Criando organizações eficazes.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MIRON, L. **Proposta de diretrizes para o gerenciamento dos requisitos do cliente em empreendimentos da construção.** 2002. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MORAN, J. M. **Novas tecnologias e mediação pedagógica.** Campinas: Papirus, 2001.

MOREIRA, A. L. **Princípios de Engenharia de Avaliações.** [S.l: s.n.], 1997.

MUTH, R. F. **The demand for non-farming housing.** The demand for durable goods. Chicago: University of Chicago Press, 1960. p. 29-96.

NIGRIELLO, A. **O valor do solo e sua relação com a acessibilidade**. p. 238, 1977.

OLAJIDE, S., BELLO, K., ALABI, O. T. **Elementos de gestão imobiliária e valorização da propriedade.** ABISAM Printz, Lagos, Nigéria. 5ª Edição, pp. 71-79, 2016.

OLIVEIRA, Ana Maria de Biazzi Dias de; GRANDISKI, Paulo. Engenharia de Avaliações. In: ALONSO, Nelson Roberto Pereira. **Engenharia de Avaliações.** São Paulo: Pini, 2007. Cap. 08.

OLSEN, Edgar. A Competitive Theory of the Housing Market. **American Economic Review**, American Economic Association, v. 59, n. 4, p. 612-622, 1969.

PAGANO, Marcello ; GAUVREAU, Kimberlee. **Princípios de Bioestatística.** Tradução da 2ª edição norte-americana. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

PARKER, D. *Contemporary Global Property Management Issues.* ***Proceedings [...]*** *Faculty of Technology Management and Business. University Tun Hussein Onn Malaysia*, 2015.

PASHA, H. A.; BUTT, M. S. *Demand for Housing Attributes in Developing Countries: A Study of Pakistan.* ***Urban Studies***, v. 33, p. 1141–1154, 1996.

PEREZ, Marcelo M.; FAMÁ, Rubens. Métodos de avaliação de empresas e o balanço de determinação. **Revista Administração em Diálogo**, v. 6, n. 1, 2004. Disponível em: https://revistas.pucsp.br/index.php/rad/article/view/686. Acesso em: 15 jan. 2020.

PHANG, S.-Y.; WONG, W.-K. *Government Policies and Private Housing prices in Singapore.* ***Urban Studies***, v. 34, p. 1819–1829, 1997.

PLACKETT, R.L. *Karl Pearson and the chi-squared test.* ***International Statistical.*** *Review/Revue Internationale de Statistique,* p. 59-72, 1983.

ROBERTS, Harry V.; WALIS, N. Allen. **Curso de estatística.** Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1969.

SALVATORE, D. **Microeconomia.** São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978.

SOUZA, V. S. **Análise da rentabilidade dos fundos de investimento imobiliário.** Rio de Janeiro, 2012, 44 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Departamento de Economia: Faculdade de Economia e Finanças IBMEC.

SUBRAMANIAN, V.; HUNG, M. S.; HU, M. Y. *An Experimental Evaluation of Neural Networks for Classification.* ***Computers & Operations Research***, v. 20, p. 769–782, 1993.

SURBHI, S. **Diferenças entre preço, custo e valor.** *Worldthinknest and lightest business notebook. Keydifference.com HP EliteBook Folio,* 2014.

TAVARES, F. A. de O.; MOREIRA, A. C. e PEREIRA, E. T. Avaliação imobiliária sob a perspectiva das externalidade: Uma revisão da literatura. **Revista Universo Contábil.** FURB, v. 6, n. 3, p. 96-113, jul./set., 2010.

TRIPPI, R. R.; TURBAN, E. ***Neural Networks in Finance and Investing***. [S.l: s.n.], 1992.

VIEIRA, S. **Estatística básica.** Sonia Vieira. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

VIRGILLITO, S. B. **Pesquisa de Marketing - uma Abordagem Quantitativa e Qualitativa.** Ed: Saraiva, 2010.

WENDT, P. F. *Theory of Urban Land Values.* ***Land Economics****,* v. 33, p. 228–240, 1957.

XU, F.; MITTELHAMMER, R. C.; BARKLEY, P. W. *Measuring the Contributions of Site Characteristics to the Value of Agricultural Land.* ***Land Economics***, v. 69, p. 356–369, 1993.