

**A INFLUÊNCIA DOS IMPACTOS DE ALAGAMENTOS NOS PREÇOS DE
APARTAMENTOS MODELAGEM POR INFERÊNCIA ESTATÍSTICA
APLICADA NA ZONA URBANA DA CIDADE DE BELÉM-PA**

AUTORES

Erico Gaspar Lisboa

Rogério Duarte de Souza Gomes

Wankes Solony de Carvalho Chaves Junior

REALIZAÇÃO

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência dos impactos dos alagamentos nos preços de apartamentos na cidade de Belém/PA. Para tanto, desenvolveu-se uma metodologia hedônica que, além dos referidos impactos, incluiu-se as variáveis de mercado associadas as características físicas de um apartamento e condições de bem-estar urbano. Definido os graus de impacto de alagamentos, a metodologia hedônica foi aplicada para valorar apartamentos em 16 bairros. Por 87 observações catalogadas entre dezembro/2022 e janeiro/2023 (inverno amazônico), os preços de apartamentos se desvalorizaram pelo “alto” a “moderado” impacto dos alagamentos próximo de 14%. Entretanto, bairros com “baixo” impacto valorizaram apartamentos um pouco superior a 18,5%. Portanto, adotar políticas públicas que possam mitigar impactos dos alagamentos das cidades, apresentam-se preponderantes para a valoração dos imóveis urbanos.

Palavras-chave: Influência; Alagamentos; Preços; Apartamentos; Belém/PA.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the influences of flooding impacts on apartment prices in Belém town. For this proposal, beside these impacts, we developed the hedonic methodology includes the market variables associated with an apartment's physical characteristics and urban welfare. We applied the hedonic method to value apartments in 16 neighborhoods by defining on flood degree the influences. For 87 sample data cataloged between December/2022 and January/2023 (Amazonian winter), apartment prices will be unvalued by the "high" to "moderate" impact of flooding by up to 14%. However, neighborhoods with "low" impact valued apartments up to 18.5%. Therefore, to provide public policies that can mitigate the flooding impacts of Amazon cities, they are presented as preponderant for evaluating urban properties.

Keywords: Influence, Flooding, Prices, Apartments, Belém/PA.

1. INTRODUÇÃO

A verticalização urbana é um processo construtivo de edifícios acima de 3 pavimentos (superior a 10 m de altura) comumente identificada nas cidades brasileiras. Inicialmente estudado e conceituado por Mendes (1992) como um modo intensivo de reprodução do solo, oriundo de sua produção e apropriação de diferentes formas de capital, a verticalização na forma de habitação, aliado a inovações tecnológicas construtivas, altera a paisagem urbana.

Entretanto, este processo está associado a um aumento na valorização imobiliária de unidades do tipo apartamento, sendo este o produto do mercado de bens imóveis de edifícios, especialmente nas áreas centrais das cidades (e.g., FARIAS et al., 2020). Acerca deste aspecto, alguns trabalhos investigaram as relações entre preços e características de apartamentos de edifícios, concluindo que, apartamentos em edifícios altos tendem a serem mais valorizados, e que fatores endógenos, como a área total e a presença de sacadas, também influenciam nos preços (e.g., GREGOLETTO, 2013).

Adicionalmente, outros trabalhos dedicaram-se em investigar os impactos positivos que a verticalização urbana pode proporcionar, como melhorias sobre as infraestruturas e condições de bem-estar urbano (e.g., no setor de transporte, energia, saneamento), e outras externalidades (e.g., HITAJ et al., 2018; Van VUUREN; KJELLANDER; NILSSON 2023).

Assim, estas melhorias associadas a fatores exógenos a um imóvel, como a acessibilidade a serviços, infraestruturas e a qualidade ambiental, podem aumentar significativamente o seu valor. Esses fatores são vistos como sinais de qualidade de vida para os residentes dos bairros onde um bem imóvel está inserido, influenciando a sua valoração (e.g., BARCELLOS, 2013; FRANCO; MACDONALD, 2018; FREEMAN et al., 2019; MOORE et al., 2020).

Por outro lado, outras investigações foram conduzidas para avaliar os impactos negativos da verticalização urbana, e.g., pelo aumento da densidade populacional e na diversidade de usos do solo, pela poluição do ar, problemas de mobilidade e por congestionamento do tráfego veicular e, mais enfaticamente referido neste trabalho, por problemas relacionados a impermeabilização dos solos, potencializando os alagamentos e seus danos (e.g., ANDRADE; MAIA, 2007; RAJAPAKSA et al., 2016).

Embora tenha se concentrado em propriedades residenciais, alguns estudos constataram os impactos dos alagamentos na determinação do valor de

bens imóveis (e.g., ZHAI; FUKUZONO; IKEDA, 2003; EVES, 2004; MCKENZIE; LEVENDIS, 2010; RAJAPAKSA et al., 2016; JUNG; YOON, 2018). Ainda que haja um consenso de que os alagamentos tendem a influenciar negativamente o valor de imóveis, a localização pode ter atributos suficientes para que este impacto não seja negativo (e.g., BABCOCK; MITCHELL, 1981; ZULKARNAIN et al., 2020).

No Brasil algumas cidades como Recife (e.g, SEABRA, SILVEIRA-NETO; MENEZES, 2016; CIARLINI, RAMOS; FERREIRA, 2022), Fortaleza (e.g., NUNES; NETO; FREITAS, 2019); Rio de Janeiro (e.g, MARTINS, 2012), São Paulo (e.g., HERMANN; HADDAD, 2005; FÁVERO; BELFIORE; DE LIMA, 2008; CAMPOS, 2017), Belo Horizonte (e.g. PAIXÃO; LUPORINI, 2020), Curitiba (e.g, LEZCANO, 2004; JOHN; PORSE, 2016), apresentaram estudos sobre a influência dos impactos positivos e negativos (amenidades urbanas) nos preços de imóveis que, igualmente aos trabalhos revisados anteriormente, recorreram a modelagens estatísticas com base na teoria dos preços hedônicos (ROSEN, 1974).

Entretanto, em cidades amazônicas como Belém (estado do Pará, norte do Brasil) tais avaliações hedônica de amenidades são incipientes, cujos estudos pioneiros foram realizados por Duarte et al., (2013); Rocha e Magalhães (2013); Soares (2018); Lima (2021). Neste sentido, a eleição da cidade de Belém/PA é justificável pelo fato de que, dentre as metrópoles brasileiras, ainda não há estudos que tenham avaliado a influência do impacto dos alagamentos nos preços de apartamentos.

A este propósito, a zona urbana da cidade de Belém é caracterizada por apresentar bairros verticalizados (OLIVEIRA, 2007), mas que são naturalmente susceptíveis aos alagamentos, principalmente durante o período de inverno amazônico (e.g., PONTES et al., 2017; MOREIRA et al., 2019). Entretanto, qual seria a relação existente entre esta amenidade (alagamentos) e o mercado imobiliário de apartamentos da cidade de Belém?

Assim, avaliar a influência dos impactos dos alagamentos em bairros mais verticalizados na zona urbana da cidade de Belém é o principal objetivo deste trabalho. Adotando-se uma metodologia hedônica (por inferência estatística), esta pesquisa revelou que bairros mais impactados por alagamento depreciaram preços de apartamentos em até 13,96%. Por outro lado, bairros localizados em cotas altimétricas mais elevadas, e cujo impacto dos alagamentos é “baixo”, valorizaram-se em até 18,64%. Portanto, adotar medidas que possam mitigar os impactos dos alagamentos urbanos, apresentam-se como preponderantes para a valoração de bens imóveis do tipo apartamentos.

2. VALORAÇÃO DE BENS IMÓVEIS POR INFERÊNCIA ESTATÍSTICA

No Brasil, assim como em outros países, valorar um bem imóvel é atividade exclusiva de engenheiros e arquitetos (DUARTE et al., 2013). Deste modo, com base na teoria dos preços hedônicos, para valorar bens imóveis urbanos e as suas externalidades, a inferência estatística é procedimento preferencialmente recomendado pela norma brasileira NBR 14.653/2 (ABNT, 2011), a partir da implementação de quatro etapas:

- (i) Seleção de variáveis independentes: Consiste no processo de selecionar variáveis independentes (X_i) ($i = 1, 2, \dots, n$) que podem influenciar na variação da variável dependente (Y_i). Para tanto, algumas técnicas são utilizadas como o cálculo do coeficiente de correlação (R), de determinação (R^2) e ajustado ($R^2_{ajustado}$); o quadrado médio dos erros; da estimativa do C_p de Mallows (baseado no erro quadrático médio dos valores ajustados) (MALLOWS, 1995); da informação de Akaike e Bayesiano, etc. Adicionalmente, a seleção automática pode ser realizada por “Forward”, “Backward” e “Stepwise” (MONTGOMERY; RUNGER, 2012);
- (ii) Predição: Consiste na obtenção de um modelo matemático, cuja variação de Y_i seja explicada por uma ou n -variáveis X_i , onde $Y_i = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Pela extração de dados amostrais de uma população é possível estabelecer os parâmetros de X_i , de modo a tornar possível a explicação sobre o comportamento de Y_i através de uma equação:

$$\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \quad (1)$$

Em que $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_n$ se refere aos parâmetros (regressores) das variáveis $X_1, X_2, \dots, X_n$. O termo ε_i se refere ao erro na estimativa de Y_i representado pela função, $\hat{Y}_i$. Assim, é esperado que a diferença (ΔY) entre Y_i e $\hat{Y}_i$ seja igual a 0. Por razões algébricas, tem-se que o termo ΔY^2 é igual a $(Y_i - \hat{Y}_i)^2$, onde ΔY^2 é o desvio quadrático total.

Pelos dados amostrais, pode-se, depois de devidos ajustes, obter uma relação satisfatória entre Y_i e $X_1, X_2, \dots, X_n$ pela função $\hat{Y}_i$. Para tanto, para estimar $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_n$, é comum recorrer ao método dos mínimos quadrados ordinários (MQO).

- (iii) Estimação de regressores: Consiste em implementar o método MQO para obter $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_n$ do tipo BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*), i.e., os quais tenham a menor variância entre estimadores (parâmetros) lineares

não-viesados, de modo a não violar as hipóteses de Gauss-Markov as quais sejam: (a) o modelo de regressão é linear nos parâmetros; (b) a amostragem é aleatória; (c) erros são homocedásticos e tem distribuição normal; e, (d) as variáveis independentes não são colineares entre si.

- (iv) Inferência propriamente dita: Inclui-se a análise da variância (ANOVA) que afere o desempenho do modelo, a significância (α) de $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_n$ e da função, $\hat{Y}_i$. As medidas de desempenho estão relacionadas aos erros de estimação de $\hat{Y}_i$ pela soma do quadrado dos erros (SQE), que é igual a $\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$; e, devido a regressão (SQR), sendo igual a $\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$. Em que $\bar{Y}$ é o valor médio da i -amostras. A soma dos quadrados totais (STQ) é igual à soma de SQE e SQR.

No geral, pela relação entre SQR e STQ é que se calcula R^2 , indicando o quão “preciso” é o modelo $\hat{Y}_i$ para explicar a variável Y_i , e $R^2_{ajustado}$. O termo α de $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_n$ é aferida pelo teste de Student (teste-T), cujo valor aceitável é igual ou inferior a 30% ($\alpha \leq 30\%$). Implementa-se o teste de Fisher-Snedecor (teste-F) para avalia a significância de $\hat{Y}_i$, pelo que o modelo é relevante quando α for igual ou inferior a 1%, 2,5% ou 5% (ABNT, 2011).

Seguindo estas quatro etapas, a modelagem estatística adotada neste trabalho recorreu ao *software* SisDEA®, de modo a verificar: não violação das hipóteses de Gauss-Markov; o desempenho do modelo pela análise do coeficiente R^2 e $R^2_{ajustado}$, e, os termos α de $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_n$ e $\hat{Y}_i$, pelo teste-T e teste-F respectivamente. Adotou-se neste trabalho não tolerar valores de $R^2 < 0,81$, e para $R^2_{ajustado}$ entre 0,49 – 0,81 (DUARTE et al., 2013).

Atendido as hipóteses de Gauss-Markov, a homocedasticidade é avaliada pela análise gráfica entre ε_i e $\hat{Y}_i$, e caso não seja possível confirmá-la, realiza-se o teste estatístico de White (WHITE, 1980). O enquadramento dos erros à distribuição normal é aferido pela regra dos 3σ em que: 1σ [63%-73%], $1,64\sigma$ [85% -95%] e $1,96\sigma$ [95%-100%] se referem ao intervalo admissível de probabilidade. Caso não haja enquadramento, recorre-se ao teste qui-quadrado para validar esta hipótese (POITRAS, 2006).

Além do gráfico ε_i e $\hat{Y}_i$, para avaliar não-colinearidade entre X_i calculou-se a estatística VIF (*Variance Inflation Factor*) (GAZOLA, 2002), procedimento indicado para quando houver mais de duas X_i (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2006). Ainda se avalia a presença de erros padrões atípicos (impactantes ao apresentarem-se superior a 5% da amostra), e influenciantes pela análise gráfica da estatística de Cook, que calcula uma distância “ d_c ” inferior a 1 (COOK, 1977).

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Considerando que a variável dependente (Y_i) seja o preço em oferta de apartamentos, as variáveis independentes ($X_1, X_2, \dots, X_n$) foram associados a fatores endógenos e exógenos. Os fatores endógenos dizem respeito as características físicas de um imóvel como a área privativa, vagas de garagem, padrão construtivo, etc.

Denominado de amenidades urbanas, Sheppard (1999); Seabra, Silveira-Neto e Menezes (2016) referiram que os fatores exógenos a bens imóveis estão relacionados a localização, qualidade da vizinhança e facilidade de acesso aos centros urbanos, e que podem modificar as decisões de moradia dos agentes econômicos.

Assim, as amenidades urbanas transcendem as fronteiras físicas de um bem imóvel, pelo que inexiste as conhecidas curvas de oferta e demanda para precificar um determinado bem imóvel pela influência dos fatores exógenos, denominando-as de “variáveis de não-mercado”.

Embora atualmente não haja quaisquer dúvidas que os fatores endógenos de um imóvel podem influenciar na formação do preço de mercado, determinar a influência dos fatores exógenos na ausência de informações de “não-mercado” na precificação de um bem imóvel ainda é uma condição limitante (e.g., SEABRA, SILVEIRA-NETO E MENEZES, 2016).

Para superar a referida limitação, é recorrente se adotar modelos com base na teoria dos preços hedônicos pela utilização da estatística de regressão linear (COURT, 1939; ROSEN, 1974). Considerando que o objetivo deste trabalho é avaliar qual a influência do impacto das inundações no preço de apartamento na cidade de Belém/PA, “locus” onde será realizado o estudo de caso, inicialmente, recorreu-se a três etapas. A primeira etapa está associada a pesquisa de mercado, de modo que foram considerados dois aspectos de preparação dos dados e definição das variáveis:

- A preparação de dados de imóveis do tipo apartamento, levantados em plataforma “web” de anúncios de venda, foi caracterizada pela seleção de bairros mais verticalizados, urbanizados e naturalmente suscetíveis alagamentos da cidade de Belém/PA, realizado entre dezembro de 2022 a fevereiro de 2023 (período do inverno amazônico). Baseado em IBAPE (2011); IVSC (2020); Yang, Chau e Chen (2021), o preço de oferta foi reduzido em 10%.

- A definição das variáveis independentes é caracterizada pela seleção daquelas mais utilizadas para realizar as avaliações imobiliárias, recorrendo a uma consulta às instituições financeiras locais que financiam crédito imobiliário. Ainda assim, recorreu-se a consulta de estudos científicos para definir as variáveis que referem aos alagamentos e ao bem-estar urbano.

Deste modo, a amostra foi composta por 87 dados relacionadas as variáveis: (1) área privativa, (2) disponibilidade de sacada gourmet, (3) número de quartos, (4) número de banheiros, (5) número de suítes, (6) número de vagas de garagem, (7) padrão construtivo, (8) condição de bem-estar urbano, (9) impacto de alagamentos, e, (10) preço dos apartamentos em oferta no mercado.

Importante considerar que, quanto a aquisição de dados, recorreu-se a variáveis que sejam publicamente disponíveis (*open data source* – ODS), pois em países em desenvolvimento há barreiras no fornecimento de dados por agências imobiliárias e órgãos públicos, além de inexistirem incentivos à consolidação de um portal de registros de transações imobiliárias, como referido por Abidoye e Chan (2018); Lima et al., (2021).

Parte-se do pressuposto que as amostras de apartamentos estão em condições de habitabilidade, de modo que a depreciação física não foi considerada como uma variável. E, ainda, que a valoração de um apartamento é função de 9 variáveis independentes: 7 variáveis de mercado (fator endógeno) e 2 variáveis de “não-mercado” (fator exógeno), pela seguinte equação:

$$\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \varepsilon_i \quad (2)$$

Acerca das variáveis de “não-mercado”, parte-se do pressuposto que, a partir de um grau de impacto de alagamento e das condições de bem-estar urbana, existe uma influência positiva e negativa na valoração de um apartamento, posto que ambas as variáveis podem ser consideradas como amenidades e/ou desamenidades.

O padrão construtivo, o impacto dos alagamentos e as condições de bem-estar urbano foram relacionados a códigos alocados de 1 a 3. O padrão construtivo foi associado apenas a tipologia da fachada predial e pelo fato de dispor de uma guarita e “hall” de entrada estruturada (com algum tipo de conforto térmico, iluminação e paisagismo) sendo classificado três classes:

- Baixo (B): Edificação com fachada caracterizada por não ter revestimento cerâmico (apenas pintura) e/ou guarita e *hall* de entrada estruturada (código 1);
- Moderado (M): Edificação com fachada caracterizada por não ter revestimento cerâmico (apenas pintura) ou ainda ser parte revestida e pintada, ter guarita e *hall* de entrada parcialmente estruturada (código 2);
- Alto (A): Edificação com fachada caracterizada por ter revestimento cerâmico, ter guarita e *hall* de entrada estruturada (código 3).

Figura 1 – Definição do padrão do construtivo da edificação.

“Baixo” (código 1)	“Moderado” (código 2)	“Alto” (código 3)
		

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Quanto ao impacto de alagamento, adotou-se que, quanto maior for abrangência de área alagável num bairro, maior o impacto dos alagamentos, classificando em três magnitudes:

- Baixo (B): A área alagável é abrangente de 0% – <10% da área total do bairro ou bacia hidrográfica (código 1);
- Moderado (M): A área alagável é abrangente de 10% – <50% da área total do bairro ou bacia hidrográfica (código 2);
- Alto (A): área alagável é abrangente de 50% – 100% da área total do bairro ou bacia hidrográfica (código 3).

A partir desta adoção, considera-se que o impacto de alagamentos foi associado ao risco à mobilidade. Portanto, com base na proposta de Rezende (2018), o referido impacto foi representado pelas consequências no trânsito de automóveis e pessoas considerando o tempo de permanência do alagamento.

Acerca das condições de bem-estar urbano, recorreu-se a proposta de Ribeiro e Ribeiro (2013) que desenvolveu o índice IBEU composto de cinco dimensões da estruturação e vida urbana: mobilidade (D_1), condições ambientais (D_2), habitacionais (D_3) e de serviços coletivos urbanos (D_4), e a infraestrutura (D_5), expresso por:

$$IBEU = \sum_{i=1}^n D_i / 5 \quad (3)$$

Em que D_i é o número de dimensões, onde $i = 1, 2, 3, 4, 5$. As definições e características de cada uma das dimensões (D_i) consideradas pelo índice IBEU estão referidas pela Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização e definição sobre as dimensões do índice IBEU

D_i	Caracterização e definição
D_1	Considera a proporção de pessoas que se desloca de casa para o trabalho
D_2	Considera a proporção de pessoas que moram em áreas arborizadas, com disponibilidade de lançamento de esgoto secundário no sistema de drenagem, considerando que no Brasil o sistema de esgotamento é separador absoluto, e com a disponibilidade de resíduo sólido acumulado no entorno dos domicílios
D_3	Considera a proporção de pessoas que moram em aglomerados subnormais, em domicílio com até 2 residentes por dormitório, e até com 4 residentes por banheiro, e que habitem em domicílios com materiais das paredes e o próprio domicílio adequados ou inadequados para moradias.
D_4	Considera a proporção de pessoas que moram em domicílios com fornecimento de água e coleta de esgoto, com fornecimento de energia e coleta de resíduos sólidos
D_5	Considera a proporção de pessoas que moram em domicílios cujo entorno possui logradouros com disponibilidade de iluminação pública, pavimentação, calçada, meio-fio/guia, bueiro ou boca-de-lobo, rampa para cadeirantes e que estejam identificados

Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Ribeiro e Ribeiro (2013).

Os indicadores que compõem as cinco dimensões do índice IBEU são quantificadas pela relação entre a diferença da proporção observada (P_o) e a pior proporção (P_w), e a melhor proporção (P_b) e P_w , expresso por:

$$D_i = (P_o - P_w) / (P_b - P_w) \quad (4)$$

A confiabilidade do índice IBEU foi verificada pelo cálculo do coeficiente Alfa de Cronbach (PEREIRA, 1999). O índice IBEU é enquadrado em cinco faixa de valores: (i) 0,001 – 0,500, (ii) 0,501 – 0,7000, (iii) 0,701 – 0,800, (iv) 0,801 – 0,900; e, (v) 0,901 – 1,00. Neste trabalho se classificou o IBEU em categorias:

- Boa (B): A variação do IBEU está entre 0,800 – 1,00 (código 1);
- Regular (R): A variação do IBEU está entre 0,701 – 0,800 (código 2);
- Pobre (P): A variação do IBEU está entre 0,001 – 0,700 (código 3).

A compreensão de bem-estar urbano atribuída ao IBEU foi diretamente associada ao que uma cidade deve propiciar às pessoas em termos de condições materiais de vida a serem providas e utilizadas de forma coletiva. A dimensão imaterial não é considerada, pelo que às vivências de desconforto, tensão, insegurança, medo e até felicidade, realização, e outras, cujos diferentes contextos sociais conformados nas metrópoles pela segregação residencial e segmentação territorial não foram aferidos (RIBEIRO; RIBEIRO, 2013).

A segunda etapa está relacionada a aplicação do procedimento estatístico para valorar um bem imóvel do tipo apartamento. Nesta etapa, a regressão linear é adotada para se obter ($\hat{Y}_i$), e deste modo, estimar o preço dos apartamentos em função das variáveis $X_1, X_2, \dots, X_n$. Considerando uma amostra de 87 dados coletados no mercado imobiliário, recorre-se ao método MQO para obtenção de $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$.

Considerando que as etapas (iii) e (iv) da inferência estatística sejam satisfeitas, estima-se ($\hat{Y}_i$) para obter o preço de apartamentos pelos atuais graus de impacto de alagamentos por bairro. Para considerar a influência destes graus de impactos no preço de um bem imóvel urbano, avalia-se a amplitude positiva ($\blacktriangle$) ou negativa ($\blacktriangledown$), expresso em termos percentuais por:

$$A_i = [1 - (\hat{Y}_i / \hat{Y}_i')] \times 100 \quad (5)$$

Em que ($\hat{Y}_i$) se refere ao preço de um bem imóvel estimado para os atuais graus de impacto de alagamentos. E, ($\hat{Y}_i'$) se refere a estimação de um preço de um bem imóvel para condições “ideais” [“alto” para “baixo”, i.e., (3)→(1); e, “moderado” para “baixo”, i.e., (2)→(1)] e “não-ideais” [“baixo” para “alto”, i.e., (1)→(3)] da referida amenidade. Não foi considerado a condição “moderado” para “alto”, i.e., (2)→(3), posto que tal condição já depreciaria o preço. Pelos valores obtidos de A_i , pode-se obter um preço unitário médio (em moeda brasileira – R\$/m²), por bairro considerado, estimado por ($\hat{Y}_i$) para avaliar quais sejam mais caros ($\blacktriangle$) e/ou baratos ($\blacktriangledown$) frente aos impactos dos alagamentos.

4. ESTUDO DE CASO

A cidade de Belém é a capital do estado do Pará, região norte do Brasil, sendo considerado a metrópole da Amazônia (DUARTE et al., 2013). Ainda que junto com outras cidades (Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara, Santa Izabel, Castanhal), Belém integra a região metropolitana de Belém (RMB), que é relativo ao processo de conurbação (integrados socioeconomicamente).

Entretanto, além de muito verticalizada, apenas a cidade de Belém tem cerca de 60% da população da RMB, estimada em 1.506.420 habitantes, taxa de urbanização superior a 99%, e quase 70% do PIB da região (IBGE, 2021), pelo que é justificável a sua escolha para realização deste trabalho em detrimento das demais cidades que integram a RMB. Ainda assim, a eleição da zona urbana da cidade de Belém/PA, é justificável pelo fato de que, dentre as metrópoles brasileiras, não há estudos que pudessem avaliar a influência do impacto dos alagamentos nos preços de apartamentos.

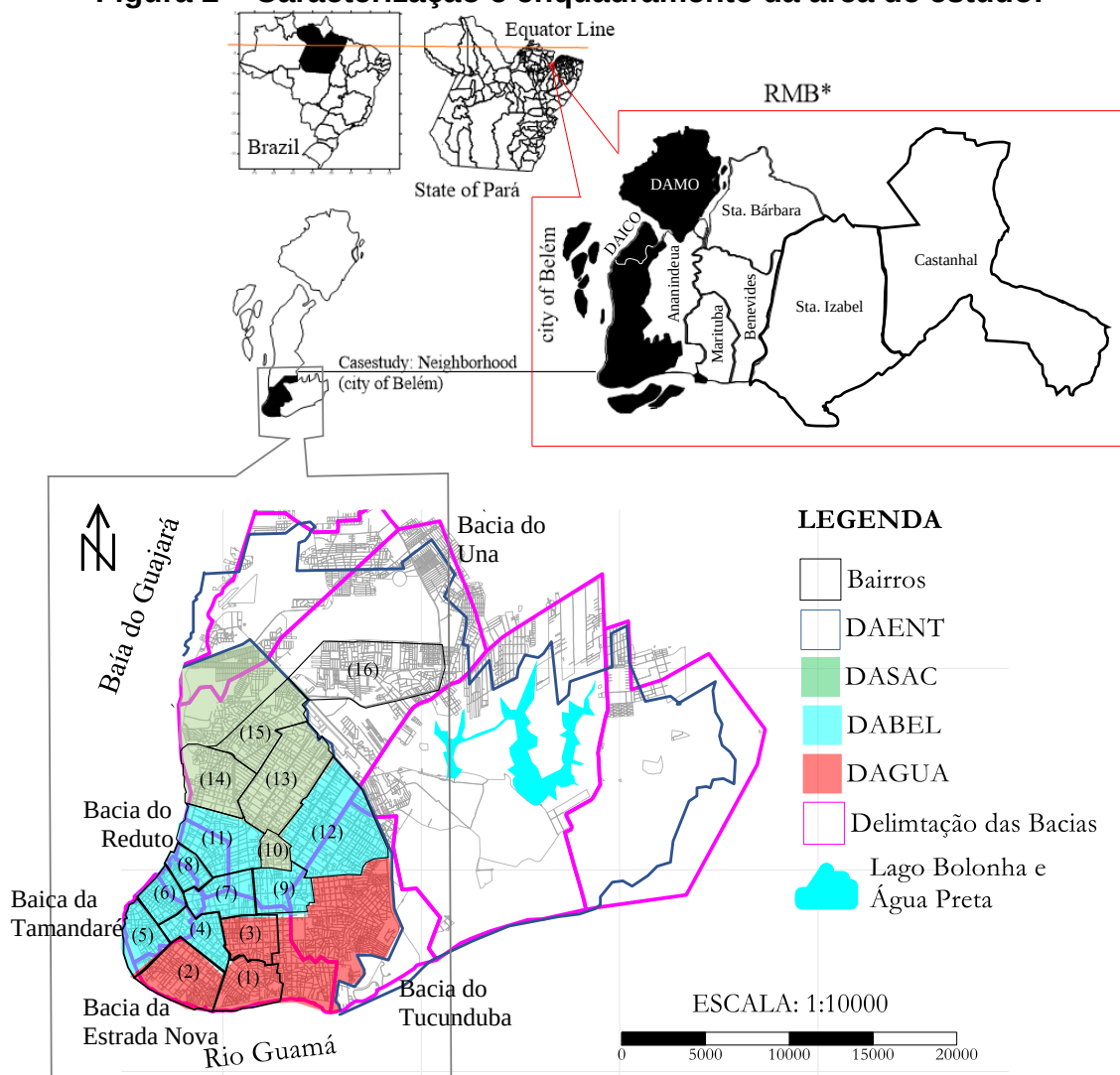
Dividida em 8 distritos administrativos (Mosqueiro – DAMO, Sacramento – DASAC, Guamá – DAGUA, Belém – DABEL, Entroncamento – DAENT, Outeiro – DAOUT, Icoaraci – DAICO; e, Benguí – DABEN), o município de Belém tem 71 bairros dispostos numa área de 1.059,458 km² (PMB, 1994; IBGE, 2021) (Figura 2).

Os distritos de DABEL, DAGUA e DASAC são os mais urbanizados, localizados no grande delta do rio Amazonas, mais precisamente na foz do rio Guamá junto à baía do Guajará, pelo que, aditado da topografia plana e de baixa elevação em relação ao nível do mar, são condicionantes naturais que favorecem a ocorrência de alagamentos, principalmente durante a estação mais chuvosa (e.g., PONTES et al., 2017; MOREIRA et al., 2019).

Pegado et al., (2014) consideraram as áreas naturalmente alagáveis dos bairros da cidade de Belém expressas pela Tabela 2. Coincidentemente, bairros que se enquadram aos graus de “moderado” e “alto” impacto de alagamentos são os mais verticalizados, com importante concentração de prédios que detém alturas que variam entre 10 a 120 m.

Ainda assim, toda a área urbana da cidade de Belém está coberta por extensa rede fluvial, de modo que intervenções estruturais no sistema de drenagem foram realizadas na bacia do Tamandaré, Reduto, Una, Tucunduba e Estrada Nova (e.g., TABOSA et al., 2016; SOARES et al., 2018a; SOMBRA et al., 2018).

Figura 2 – Caracterização e enquadramento da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

A bacia do Tamandaré, com 2 km², que integra áreas parciais dos bairros Batista Campos (4), Cidade Velha (5) e Campina (6), ainda que atualmente lhe sejam associadas “boas” e “regulares” condições de bem-estar urbano, enquadra-se num contexto de intervenções no sistema de drenagem desde a fundação colonial do século XVI e XIX (SOARES et al., 2018a), e que apresentaram “moderado” grau de impacto dos alagamentos.

A bacia do Reduto, cujas ações intervencionistas estão associadas ao período da *Belle Époque*, integram as áreas parciais dos bairros da Campina (6),

Nazaré (7) e Umarizal (11), e integralmente o bairro do Reduto (8) (e.g., SOMBRA et al., 2018; COSTA et al., 2020).

Tabela 2 – Caracterização dos bairros, áreas alagáveis e do IBEU.

Bairros	Area (ha)	Area alagável (%)	Código (X ₄)	IBEU	Código (X ₅)
(1) Condor	170	100	3 (A■)	0,608	3 (P■)
(2) Jurunas	226	84,96	3 (A■)	0,703	2 (R■)
(3) Cremação	149	51,68	3 (A■)	0,865	1 (B■)
(4) Batista campos	144	34,72	2 (M■)	0,800	2 (R■)
(5) Cidade Velha	116	42,24	2 (M■)	0,800	2 (R■)
(6) Campina	95,8	>10	2 (M■)	0,850	1 (B■)
(7) Nazaré	150	< 10	1 (B■)	0,790	2 (R■)
(8) Reduto	79	48,1	2 (M■)	0,810	1 (B■)
(9) São Braz	167	15,57	2 (M■)	0,888	1 (B■)
(10) Fátima	61	52,46	3 (A■)	0,800	2 (R■)
(11) Umarizal	250	27,7	2 (M■)	0,900	1 (B■)
(12) Marco	480	9,79	1 (B■)	0,821	1 (B■)
(13) Pedreira	371	23,45	2 (M■)	0,759	2 (R■)
(14) Telégrafo	231	66,67	3 (A■)	0,907	1 (B■)
(15) Sacramento	367	68,39	3 (A■)	0,663	3 (P■)
(16) Marambaia	421	10,69	2 (M■)	0,744	2 (R■)

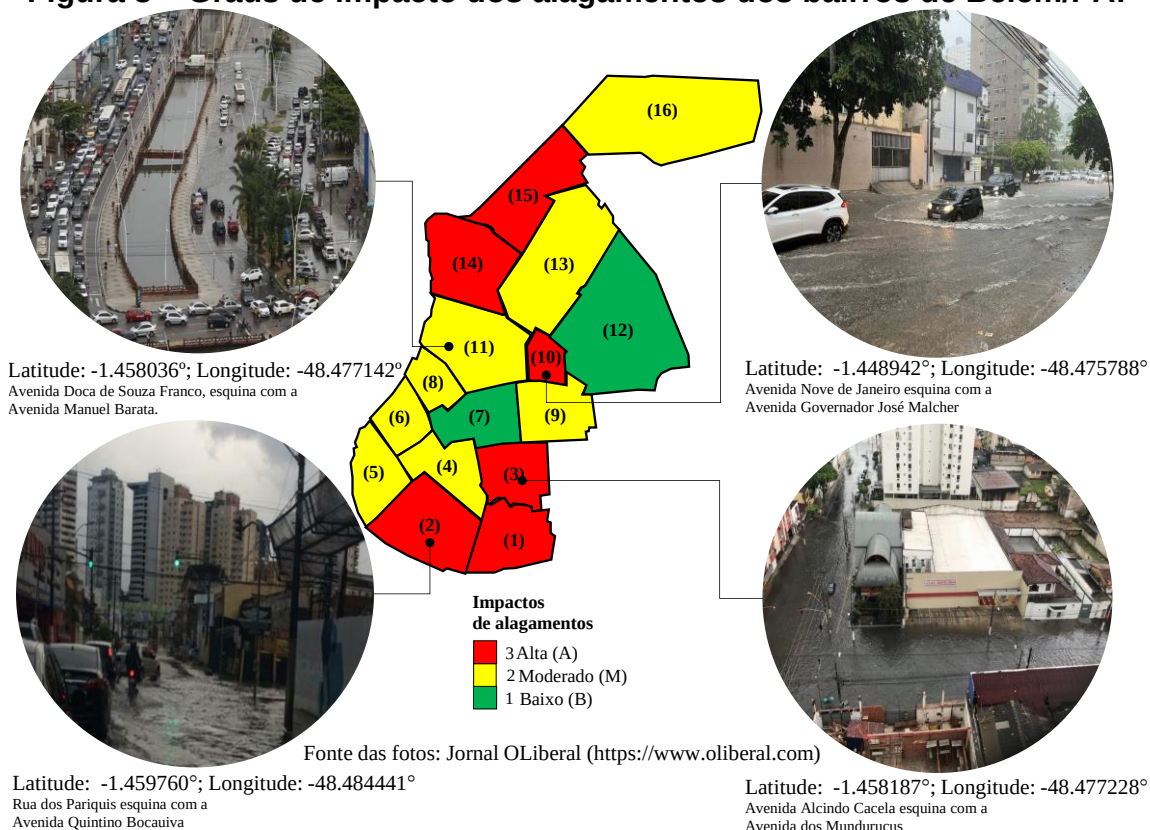
Fonte: Elaborado pelos Autores.

A maior bacia do conjunto hidrográfico de Belém é do Una, com 36,26 km² (PMSB, 2020). Integrada pelos bairros de maior densidade populacional da cidade, Marambaia (16), Sacramento (15), Telégrafo (14), Pedreira (13), Fátima (10) e parte de dos bairros do Marco (12), Nazaré (7), São Braz (9) e Umarizal (4), nesta bacia, ainda que intervenções tenham sido realizadas no sistema de drenagem, persistem alguns de pontos de alagamentos.

Na bacia do Tucunduba, 53,8% da área de 10,55 km² se situa abaixo da cota topográfica de 4 m. Com 14 cursos d'água, que resulta numa extensão de 13.985 m de canais, esta bacia drena integralmente dois e, parcialmente, cinco bairros da cidade de Belém, dentre estes os bairros de São Brás (9) e Marco (12) (COSTA et al., 2020).

Os bairros da Condor (1), Jurunas (2) e Cremação (3), e parte das áreas dos bairros da Batista Campos (4) e Nazaré (7) integram a bacia da Estrada Nova. Esta bacia com 9,64 km², apresenta a maior densidade populacional do município de Belém, e ainda assim, é considerada uma das mais críticas devido às inundações frequentes que atingem mais de 35% de sua área. Além disso, alguns destes bairros, como (1), (2) e (3) carecem de serviços urbanos de saneamento básico e água potável, e apresentam maior concentração de aglomerados subnormais (ARAÚJO JÚNIOR; AZEVEDO, 2022) (Figura 3).

Figura 3 – Graus de impacto dos alagamentos dos bairros de Belém/PA.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Importante considerar que está em andamento obras e planejamento de Engenharia para mitigar os impactos dos alagamentos e ampliar o sistema de esgotamento sanitário pelo Programa de Saneamento da Bacia da Estrada Nova (PROMABEN) (PMSB, 2020).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Avaliação do processo de modelagem estatística

O procedimento estatístico inferencial resultou em um modelo matemático produzido pela regressão linear, cujos regressores foram calculados pelo método MQO. Pelos 87 dados amostrais, o software SisDea[®] identificou que as variáveis que aferiram a disponibilidade de sacada *gourmet*, número de quartos, banheiros e suítes apresentaram significância (α) > 30%, pelo que diminuíram a confiança para valores superiores a 70%.

As variáveis em que α foram < 30% apresentaram significância estatística: área privativa (X_1), número de vagas de garagem (X_2), padrão construtivo (X_3), impacto de alagamentos (X_4), condição de bem-estar urbano (X_5) e o preço dos apartamentos em oferta no mercado (Y_i). Assim, pelo algorítmico do software SisDea[®], 243 modelos foram obtidos, sendo aquele que apresentou melhor desempenho estimou R , R^2 e $R^2_{ajustado}$ em 0,9498; 0,9022 e 0,8953, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultados da análise de regressão linear.

Variáveis/Parâmetros	β_n (10^{-7})	Transf.	Intervalos	Teste-T	α (%)
Área privativa (X_1)/(β_1)	1043,65	1/(X_1)	40 – 250 m ²	4,50	0,01
Vagas garagem (X_2)/(β_2)	1,351	(X_2)	0 – 3	1,60	3,90
Padrão constr. (X_3)/(β_3)	-9,098	ln (X_3)	1 – 3	4,07	0,01
I. alagamentos (X_4)/(β_4)	-1,840	1/(X_4)	1 – 3	1,43	0,95
IBEU (X_5)/(β_5)	1,262	(X_5)	1 – 3	3,40	23,12
Preço unitário (Y)/(β_0)	14,627	1/(Y_i)	250 – 2.500	20,66	0,01
R	0,9498	-	-	-	-
R^2	0,9022	-	-	-	-
$R^2_{ajustado}$	0,8953	-	-	-	-
Teste-F	130,962	-	-	-	1,00
SQR	4,673	-	-	-	-
SQE	5,067	-	-	-	-
STQ	5,180	-	-	-	-

Importante ressaltar que, o valor de $\alpha = 23,12\%$ pode estar associado ao fato de que X_5 é um índice IBEU que agregou dimensões que poderiam ser adotadas como variáveis, sendo enquadramento no grau I de Fundamentação, conforme os termos da NBR 14.653/2 (ABNT, 2011). Pelo modelo produzido,

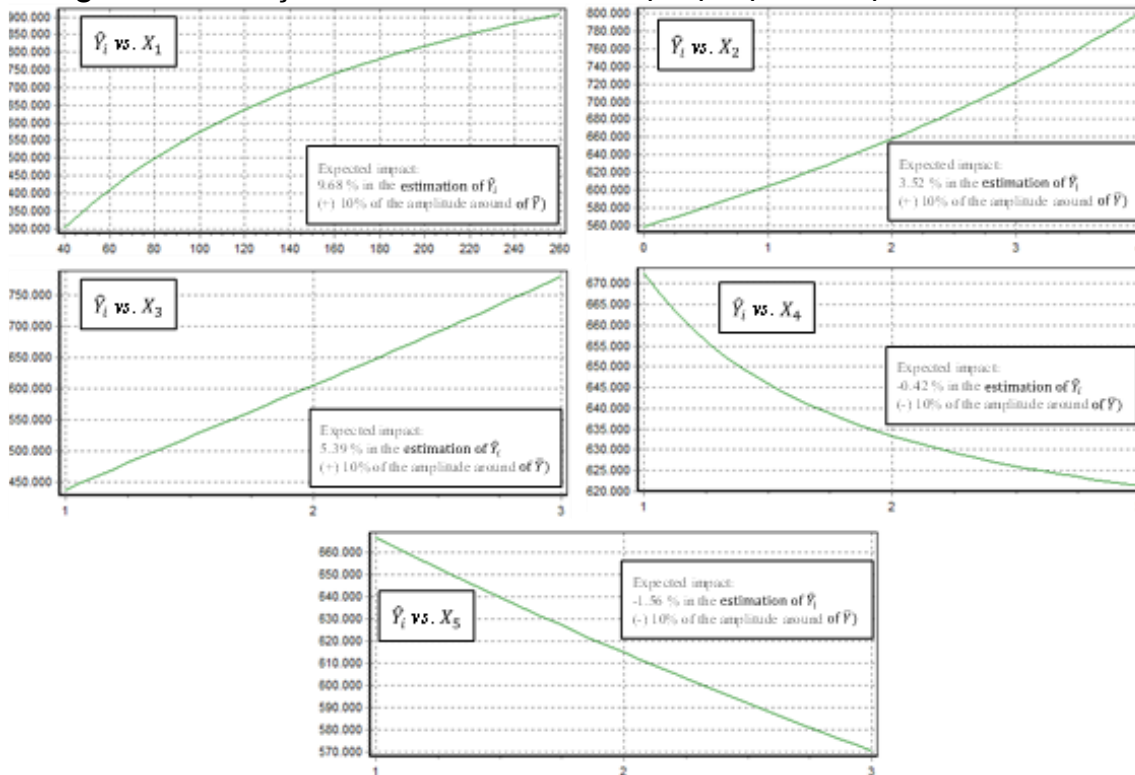
90,22% das variações observadas na estimação dos preços dos apartamentos são explicados linearmente por X_1 , X_2 , X_3 , X_4 e X_5 . Por outro lado, menos de 10% das referidas variações devem estar associadas a outras variáveis que não foram consideradas pela modelagem. Entretanto, diante do valor de R^2 superior a 90%, o poder de explicação do modelo pode ser considerado forte.

Em geral, as cinco variáveis juntas conseguem explicar, em grande parte (mais de 90%), a variação do preço de mercado dos apartamentos localizados nos 16 bairros considerados da cidade de Belém. A análise de consistência e sensibilidade do modelo foram verificadas considerando a variação de Y em relação a X_1 , X_2 , X_3 , X_4 e X_5 , sendo expresso por:

$$(\widehat{1/Y_i}) = \beta_0 + \beta_1(1/X_1) + \beta_2 X_2 + \beta_3 \ln(X_3) + \beta_4(1/X_4) + \beta_5 X_5 + \varepsilon_i \quad (6)$$

A Figura 3 apresenta análise gráfica da consistência e compatibilidade com o comportamento das variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 e X_5 com os preços dos apartamentos (Y_i).

Figura 4 – Relação entre as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 e X_5 , e a variável Y_i .



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Além da coerência quanto as demais variáveis, pode-se notar que, quanto maior for o impacto dos alagamentos e mais pobre for as condições de bem-estar urbano menor será o preço dos apartamentos. Assim, considerando um percentual de 10% em torno do valor médio, $\bar{Y}$, o impacto esperado das variáveis X_4 e X_5 são negativos, repercutindo na estimativa de $\hat{Y}_i$ em -0,42% e 1,56%, respectivamente. Por outro lado, as variáveis X_1 , X_2 e X_3 , impactaram positivamente na estimativa dos preços de apartamentos em 9,68%, 3,52% e 5,39%, respectivamente (Figura 4).

Considerando a combinação das variáveis explicativas (área privativa, número de vagas de garagem, padrão construtivo, impacto dos alagamentos e bem-estar urbano), o modelo para estimar o preço de apartamentos é compatível com a realidade, de modo que pode ser realizar uma inferência na população de apartamentos, pois apresentou valores de α de cada variável menor do que 30%, e confiabilidades superiores a 76%. O modelo global se aprestou com uma confiabilidade de 99,99%, pois o teste-F avaliou α igual 1% (Tabela 2).

No geral, a modelagem estatística não violou as hipóteses de Gauss-Markov. Pela regra dos 3σ , os erros foram enquadrados em 1σ [71%], $1,64\sigma$ [92%] e $1,96\sigma$ [96%], em que os intervalos admissíveis de probabilidade foram considerados normalmente distribuídos, não sendo necessário recorrer ao teste qui-quadrado.

Pelo cálculo da estatística VIF verificou-se a não colinearidade entre X_1 , X_2 , X_3 , X_4 e X_5 . Ainda se avaliou a presença de erros padrões atípicos (inferior a 5% da amostra, pelo que não foram excluídos) e não foram detectados dados influenciadores pela estatística de Cook, sendo disponibilizado no anexo.

A avaliação gráfica da homocedasticidade entre ε_i e $\hat{Y}_i$ não foi suficiente para sua validação, sendo necessário recorrer ao teste de White validando tal condição. cujos resultados e procedimentos estão disponíveis no anexo.

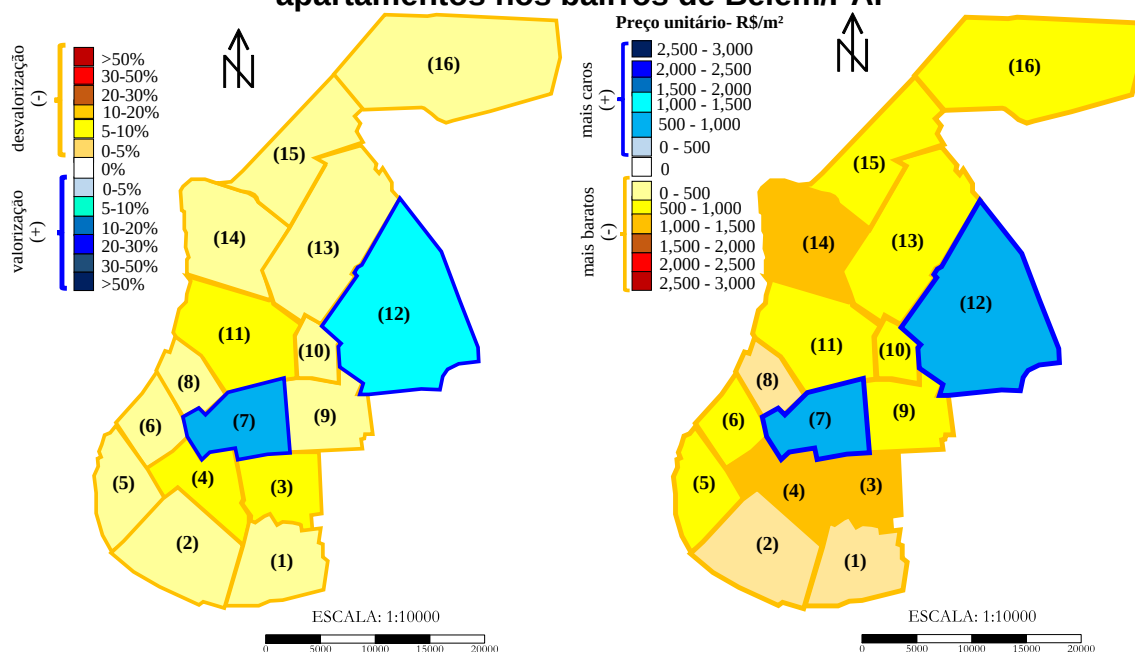
5.2. Aplicação da modelagem estatística nos bairros de Belém/PA

Pelas amostras representativas de cada um dos 16 bairros considerados nesta pesquisa, notou-se que, aqueles mais impactados pelos alagamentos, os preços dos apartamentos depreciaram entre 3,88% a 13,96%. Nos Estado Unidos da América (EUA), McKenzie e Levendis (2010) estimaram uma desvalorização de 4,6% em imóveis localizados em áreas mais suscetíveis a inundações. Estes percentuais alinham-se à desvalorização dos bairros da Condor (1), Jurunas (2), Reduto (8), Pedreira (13) e Marambaia (16), que apresentaram preços de apartamentos desvalorizados entre 3,88% a 4,78%.

Entretanto, Eves (2004) referiu que, imóveis no Reino Unido que se localizam em áreas suscetíveis a inundações podem ter preços depreciados entre 5% a 40%, em detrimento de imóveis localizados em áreas não inundáveis. Estes percentuais foram constatados nos bairros da Cidade Velha (5), Umarizal (11), Fátima (10) e Sacramento (15), que apresentaram uma tendência de desvalorização de apartamentos entre 5,09% a 5,81%. E, apartamentos localizados nos bairros da Campina (6), São Braz (9), Batista Campos (4), Cremação (3) e Telégrafo (14) desvalorizaram entre 6,14% a 13,96%.

Em geral, na cidade de Belém, as desvalorizações dos preços de apartamentos nos bairros classificados de “moderado” impacto de alagamento variaram entre 3,88 % a 11,75%. Os bairros de “alto” impacto de alagamento, tem uma tendência de desvalorização dos preços de apartamentos entre 4,40% a 13,96%. Por outro lado, em bairros onde é “baixo” o impacto dos alagamentos, uma valorização dos preços de apartamento foi constatada entre 9,23% a 18,64%, nos bairros de Nazaré (7) e Marco (12), respectivamente (Figura 5A).

Figura 5 – Mapa da Influência do impacto dos alagamentos: (A) Na (des)valorização dos apartamentos; (B) Nos preços unitários de apartamentos nos bairros de Belém/PA.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Em termos de preço unitário, obtidos pelos percentuais de valorização e desvalorização, Ai, notou-se que nos bairros (1), (2), (3), (4), (5), (6), (8), (9), (10), (11), (13), (14), (15) e (16), pelo fato de estarem enquadrados em áreas de “alto”

a “moderado” impacto de alagamentos, os preços de apartamentos tendem a ficaram mais baratos entre R\$ 143,83/m² a R\$ 965,82/m² (Figura 5B).

Estes valores se alinham a pesquisa de Zhai, Fukuzano e Ikeda (2003) que avaliaram preços de bens imóveis mais baratos em cerca de 8.888,3 yen/m² (cerca de R\$ 354,81/m²) em áreas mais sujeitas a inundação no Japão. Por outro lado, enquadrados como áreas de “baixo” impacto de alagamentos, os bairros (7) e (12) são mais caros entre R\$ 510,32/m² e R\$ 1.153,51/m² (Tabela 4).

Tabela 4 – Dados da influência dos alagamentos na (des)valorização e sobre os preços unitários de apartamentos nos bairros de Belém/PA.

Bairros		(Des)valorização	Preço unitário
		A _i (%)	R\$/m ²
(1)	Condor	-04,78(▼)	263,19(▼)
(2)	Jurunas	-04,40(▼)	156,71(▼)
(3)	Cremação	-12,65(▼)	756,61(▼)
(4)	Batista Campos	-11,75(▼)	965,82(▼)
(5)	Cidade Velha	-05,09(▼)	248,78(▼)
(6)	Campina	-06,14(▼)	312,62(▼)
(7)	Nazaré	+09,23(▲)	510,32(▲)
(8)	Reduto	-03,98(▼)	167,97(▼)
(9)	São Braz	-06,70(▼)	471,30(▼)
(10)	Fátima	-05,81(▼)	343,21(▼)
(11)	Umarizal	-05,10(▼)	832,12(▼)
(12)	Marco	+18,64(▲)	1.153,51(▲)
(13)	Pedreira	-03,88(▼)	143,83(▼)
(14)	Telégrafo	-13,96(▼)	385,37(▼)
(15)	Sacramenta	-05,76(▼)	308,12(▼)
(16)	Marambaia	-04,01(▼)	223,68(▼)

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Ainda que os percentuais de aumento de preço dos apartamentos tenham sido próximos a 20%, tais resultados encontram fundamento nos trabalhos de Babcock e Mitchell (1981), que referiram sobre uma valorização entre 20% a 30% de bens imóveis localizados em áreas altamente suscetíveis a inundações.

Neste sentido, Zulkarnain et al., (2020) analisaram que esta valorização pode ocorrer não diretamente em detrimento das inundações, mas, sobretudo, com efeito da localização de um imóvel que possui atributos suficientes para que a influência de desamenidades (como o impacto de alagamentos), não influencie negativamente nos preços de bens imóveis.

Portanto, a influência dos alagamentos na zona urbana da cidade de Belém/PA, sobre a perspectiva das consequências para o trânsito de automóveis e pessoas nos preços de apartamentos está diretamente relacionada ao grau do referido impacto, como sintetiza a Tabela 5.

Tabela 5 – Influência do grau de impacto dos alagamentos.

Impacto dos alagamentos	(Des)valorização de preços de apartamentos (%)	Preço unitário de apartamentos – R\$/m²
Alto – (A [■])	-04,40(▼) -13,96 (▼)	156,71(▼) 756,61(▼)
Moderado – (M [■])	-03,88(▼) -11,75 (▼)	143,83 (▼) 965,82 (▼)
Baixo – (B [■])	+09,23 (▲) +18,64 (▲)	510,32 (▲) 1.153,51 (▲)

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Quando o impacto for “alto”, o alagamento influenciou negativamente nos preços dos apartamentos entre 4,40% a 13,96%, a ponto de tornar-se os preços unitários mais baratos entre R\$ 156,71/m² até R\$ 756,61/m². Ao passo que, o fato de um bairro está situado em área cujo impacto dos alagamentos seja “baixo”, a influência no preço dos apartamentos é positiva entre 9,23% até 18,64%, a ponto de torná-lo os preços unitários mais caros entre R\$ 510,32/m² até R\$ 1.153,51/m² (Tabela 5).

Portanto, pelos resultados obtidos constata-se que, especificamente na cidade de Belém/PA, a influência é positiva nos preços dos apartamentos em bairros com menor risco de alagamentos, em detrimento daqueles com maior risco, de modo que a segurança contra alagamentos agrega mais valor a um bem imóvel do que a insegurança.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho se propões avaliar a influência dos impactos dos alagamentos no preço de bens imóveis do tipo apartamentos na cidade de Belém/PA. Para tanto, se desenvolveu uma metodologia baseado na teoria dos preços hedônicos, em que se recorreu a inferência estatística linear múltipla, cujos regressores foram estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários.

Aplicando o modelo hedônico em uma região que concentra cerca de 16 bairros mais verticalizados e urbanizados da cidade de Belém/PA, observou-se uma desvalorização de apartamento em bairros com impacto “moderado” e “alto”. Entretanto, bairros com “baixo” impacto de alagamento apresentaram-se valorizados. Portanto, a segurança contra alagamentos agrega mais valor a um bem imóvel do que a insegurança.

Importante ressaltar que estas conclusões foram baseadas nos dados catalogados e na metodologia desenvolvida que permitiram aferir sobre a influência das amenidades nos apartamentos de bairros localizados na zona urbana da cidade de Belém/PA. Ainda assim, convém considerar que a inserção de amostras e de outros fatores exógenos ou endógenos podem influenciar os preços de apartamentos, valorizando-os ou desvalorizando-os.

Finalmente, pode-se concluir que este estudo tem um caráter auxiliador para incorporadores, investidores, e para a implementação de eficazes políticas públicas de saneamento e planejamento urbano a fim de mitigar impactos dos alagamentos de cidades amazônicas, como Belém/PA, uma vez que tais implementações apresentam-se preponderantes para a valoração dos imóveis urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIDOYE, R.B; CHAN, A.P.C. (2018). Achieving property valuation accuracy in developing countries: the implication of data source. *International Journal of Housing Markets and Analysis*, Vol. 11 No. 3, pp. 573-585. <https://doi.org/10.1108/IJHMA-07-2017-0068>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14653-2: Avaliação de bens Parte 2: Imóveis Urbanos, Brasil, 2011

ANDRADE, M. O; MAIA, M.L.A. Aplicação do modelo dos preços hedônicos para avaliação da influência da acessibilidade ao transporte público sobre o preço da terra urbana. In: XXI ANPET - Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro, Brasil. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2007.

ARAÚJO JÚNIOR, A., AZEVEDO, A. (2022). Bacia hidrográfica da Estrada Nova: dinâmica física e social em Belém (PA). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(5), 2178-2193. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2178-2193>.

BABCOCK, M.; MITCHELL, B. Impact of flood hazard on residential property values in Galt (Cambridge), Ontario. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 16, n. 3, p. 3–8, 1981.

BARCELLOS, D. F. Proposição de métodos de valoração para avaliação de impactos socioambientais de desastres naturais: o caso das inundações na região serrana do estado do Rio de Janeiro em 2011. Brasília, 2013.

CAMPOS, R. B. A.. (2017). O mercado imobiliário residencial no município de São Paulo: uma abordagem de preços hedônicos espacial. *Nova Economia*, 27(1), 303–337. <https://doi.org/10.1590/0103-6351/2441>

CIARLINI, M. G. C., de SOUSA RAMOS, F., de OLIVEIRA FERREIRA, M. (2022). LOCAÇÃO DE IMÓVEIS: uma aplicação de preços hedônicos para a cidade do Recife. *Revista Econômica do Nordeste*, 53(2), 124-143.

COOK, R. D. (1977). Detection of influential observation in linear regression. *Technometrics*, 19(1), 15-18.

COSTA, F. E. V., SOARES, D. A. S., BRASIL, A., SILVA, S., RODRIGUES, V., CYRUS, A.; PAZ, M. (2021). A complexidade da questão dos rios urbanos nas cidades amazônicas: o caso de Belém/PA. *Cidades amazônicas: formas, processos e dinâmicas recentes na região de influência de Belém*. Belém: EDUEPA, 240-274.

DUARTE, A. M. DE SOUZA ANGELIM, E. C., DAS NEVES, R. M., DUARTE, A. R. C., MANESCHY, C. E., NASCIMENTO, D. M., HADDAD, E. The influence of urban violence and land title irregularity on the market value of properties: A case study in Belém, an Amazon metropolis. *Cities*, v. 35, p. 147–155, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.07.006>.

EVES, C. The impact of flooding on residential property buyer behaviour: an England and Australian comparison of flood affected property. *Structural Survey*, v. 22, n. 2, p. 84–94, 1 jan. 2004.

FARIAS, F. A.; FRANCA, H. O. O.; BRANDSTETTER, M. C. G. O. Indicadores de oferta do mercado imobiliário goianiense – análise de bairros. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

FÁVERO, L. P. L. BELFIORE, PP; LIMA, GASFD Modelos de precificação hedônica de imóveis residenciais na região metropolitana de São Paulo: uma

abordagem sob as perspectivas da demanda e da oferta. Estudos Econômicos, v. 38, n. 1, p. 73-96, 2008.

FRANCO, S. F.; MACDONALD, J. L. Measurement and valuation of urban greenness: Remote sensing and hedonic applications to Lisbon, Portugal. Regional Science and Urban Economics, v. 72, p. 156-180, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2017.03.002>.

FREEMAN, R., LIANG, W., SONG, R., TIMMINS, C. (2019). Willingness to pay for clean air in China. Journal of Environmental Economics and Management, 94, 188-216. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.01.005>.

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

GREGOLETTO, D. Impactos de Edifícios Altos na Percepção da Estética Urbana. 2021. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HERMANN, B. M.; HADDAD, E. A. (2005). Mercado imobiliário e amenidades urbanas: a view through the window. Estudos Econômicos (São Paulo), 35(2), 237–269. <https://doi.org/10.1590/S0101-41612005000200001>.

HITAJ, C., LYNCH, L., MCCONNELL, K. E., TRA, C. I. (2018). The value of ozone air quality improvements to renters: evidence from apartment building transactions in Los Angeles County. Ecological Economics, 146, 706-721. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.12.022>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA (IBAPE). Norma para Avaliação de Imóveis Urbanos. Brasil, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). IBGE Cidades. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 27 jan. 2023.

INTERNATIONAL VALUATION STANDARDS COUNCIL. International Valuation Standards (IVSC) United Kingdom, 2020.

JUNG, E.; YOON, H. Is Flood Risk Capitalized into Real Estate Market Value? A Mahalanobis-Metric Matching Approach to the Housing Market in Gyeonggi, South Korea. Sustainability, v. 10, n. 11, 2018.

JOHN, E. M. C.; PORSE, A. A. (2016). Análise de Preços Hedônicos no Mercado Imobiliário de Apartamentos em Curitiba. Revista Paranaense de Desenvolvimento, 37(130), 99-115.

KUTNER, M. H., NACHTSHEIM, C. J., NETER, J., WASSERMAN, W. (2004). Applied linear regression models (Vol. 4, pp. 563-568). New York: McGraw-Hill/Irwin.

LEZCANO, L.M. Análise do efeito do risco de cheia no valor de imóveis pelo método dos preços hedônicos. 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

LIMA, G.V. B. A. Influência de inundações no valor de aluguel de imóveis comerciais em Belém, Brasil. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará. Belém.

MARTINS, J. S. Preços de imóveis residenciais novos no Rio de Janeiro: estimação através da metodologia de preços hedônicos. Dissertação (Mestrado em Finanças e Economia Empresarial) - Escola de Pós-Graduação em Economia, Fundação Getúlio Vargas - FGV, Rio de Janeiro, 2012.

MCKENZIE, R.; LEVENDIS, J. Flood Hazards and Urban Housing Markets: The Effects of Katrina on New Orleans. The Journal of Real Estate Finance and Economics, v. 40, n. 1, p. 62-76, 2010.

MENDES, C. M. O edifício no jardim, um plano destruído. A verticalização de Maringá. 1992. Tese (Doutorado em Geografia) —São Paulo: FFLCH - USP, 1992. 364f.

MONTGOMERY, D.; RUNGER, G. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros 5ª. ed. Rio de Janeiro, 2012.

MONTGOMERY, D. C., PECK, E. A., VINING, G. G. (2006). Introduction to Linear Regression Analysis. John Wiley & Sons. Inc. Hoboken, New Jersey.

MOORE, M. R., DOUBEK, J. P., XU, H., CARDINALE, B. J. (2020). Hedonic price estimates of lake water quality: Valued attribute, instrumental variables, and

ecological-economic benefits. Ecological Economics, 176, 106692.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106692>.

MALLOWS, C. L. (1995). More comments on Cp. Technometrics, 37(4), 362-372.
<https://doi.org/10.1080/00401706.1995.10484370>.

MOREIRA, F. S. A.; DIAS, G. F. M.; VITORINO, M. I.; SILVA, J. C. C (2019). Efeitos da precipitação e topografia para o risco de inundações na cidade de Belém-PA. Revista Brasileira de Geografia Física, 12(07), 2716-2728.

NUNES, D. B., BARROS, J. D. P., FREITAS, S. M. D. (2019). Modelo de regressão linear múltipla para avaliação do valor de mercado de apartamentos residenciais em Fortaleza, CE. Ambiente Construído, 19, 89-104.
<https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000100295>.

OLIVEIRA, J. M. G. C. A verticalização nos limites da produção do espaço: parâmetros comparativos entre Barcelona e Belém. COLÓQUIO INTERNACIONAL DE GEOCRÍTICA, v. 9, p. 1-15, 2007.

PAIXÃO, L. A. R.; LUPORINI, V.. (2020). Índice de preços hedônicos para apartamentos: uma aplicação a dados fiscais de Belo Horizonte, 1995-2012. Economia E Sociedade, 29(3), 967–993. <https://doi.org/10.1590/1982-3533.2020v29n3art12>.

PEGADO, R. S.; BLANCO, C. J. C.; ROEHRIG, J.; CAROÇA, C.; COSTA, F. S. (2014). Risco de Cheia e Vulnerabilidade: Uma abordagem às Inundações Urbanas de Belém/Pará/Brasil. Revista Territorium, v. 21, p.71-76, 2014

PEREIRA, J.C.R. Análise de dados qualitativos. EDUSP, São Paulo, 1999.

Prefeitura Municipal de Belém (PMB). Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão (SEGEP). Divisão Política Administrativa dos Distritos Administrativos do município de Belém conforme a Lei nº 7.682 publicado no Diário Oficial do Município, em 05 de janeiro de 1994.

PMSB, (2020). Plano Municipal de Saneamento Básico- V 3- Belém-Pa- Sistema de Esgotamento Sanitário. Disponível em: <https://arbel.belem.pa.gov.br/legislacao/pmsb-plano-municipal-de-saneamento-basico/>. Acesso em 21 de março de 2023.

POITRAS, G. (2006). More on the correct use of omnibus tests for normality. *Economic Letters*, Vol. 90, pp. 304-309. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2005.08.016>.

PONTES, M. L. C., DE LIMA, A. M. M., JÚNIOR, J. D. A. S., DE AZEVEDO SADECK, C. C. (2017). Dinâmica das áreas de várzea do município de Belém/PA e a influência da precipitação pluviométrica na formação de pontos alagamentos. *Caderno de Geografia*, 27(49), 285-303. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27n49p285>

RAJAPAKSA, D., WILSON, C., MANAGI, S., HOANG, V., LEE, B. (2016). Flood Risk Information, Actual Floods and Property Values: A Quasi-Experimental Analysis. *Economic Record*, v. 92, n. S1, p. 52-67, 1 jun. 2016. <https://doi.org/10.1111/1475-4932.12257>.

RIBEIRO, L. C. D. Q., RIBEIRO, M. G. (2013). Índice de Bem-Estar Urbano (IBEU). Rio de Janeiro, Letra Capital/Observatório das Metrópoles.

ROSEN, S. Hedonic price and implicit markets: product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*, v. 82, n. 1, p. 35-55, 1974.

ROCHA, R. D. M., MAGALHÃES, A. (2013). Valoração das amenidades urbanas: uma estimação a partir dos diferenciais salariais e do custo de habitação para as regiões metropolitanas brasileiras. *Revista de Economia Contemporânea*, 17, 69-98. <https://doi.org/10.1590/S1415-98482013000100003>.

SEABRA, D. M. DA S.; SILVEIRA NETO, R. DA M.; MENEZES, T. A. DE. Amenidades urbanas e valor das residências: uma análise empírica para a cidade do Recife. *Economia Aplicada*, v. 20, n. 1, p. 143-169, 1 mar. 2016.

SOARES, V. A. Análise de Valor de Áreas Verdes como Elemento Componente do Produto Imobiliário na Cidade de Belém. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará. Belém.

SOARES, A. A. S.; CARVALHO, A. C.; SOARES, D. A. S.; BASTOS, R. Z. Fundamentos para a gestão das inundações periódicas nas planícies de Belém (Pará-Brasil) com vistas ao seu desenvolvimento local. *Contribuciones a las ciencias sociales*, Málaga, v. 39, 2018a, p. 1-20.

SOMBRA, D.; LEITE, A. S.; QUARESMA, M.; MORAES, M. P.; ALVES, C. N. Crônica espacial de Belém: espaço geográfico e classes sociais. *GeoDiálogos*, Salvador, v. 1, n. 9, 2018, p. 15-56.

TABOSA, R.; SOMBRA, D.; LEITE, A.; CASTRO, C. Revisão histórico-geográfica da gestão pública sobre o sistema de abastecimento hídrico de Belém-PA. *InterEspaço: Geografia e Interdisciplinaridade*, Grajaú (MA), v. 2, n. 5, 2016, p. 196-220. <https://doi.org/10.18766/2446-6549/interespaco.v2n5p196-220>.

TAMHANE, A. C.; DUNLOP, D. D. *Statistics and data analysis: from elementary to intermediate*. Upper Saddle River: Prentice-Hall. 2000.

YANG, L.; CHAU, K. W.; CHEN, Y. Impacts of information asymmetry and policy shock on rental and vacancy dynamics in retail property markets. *Habitat International*, v. 111, n. May, p. 102359, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2021.102359>.

VAN VUUREN, A; KJELLANDER, J; NILSSON, V. Refugees and apartment prices: A case study to investigate the attitudes of home buyers. *Regional Science and Urban Economics*, v. 77, p. 20-37, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2019.02.003>.

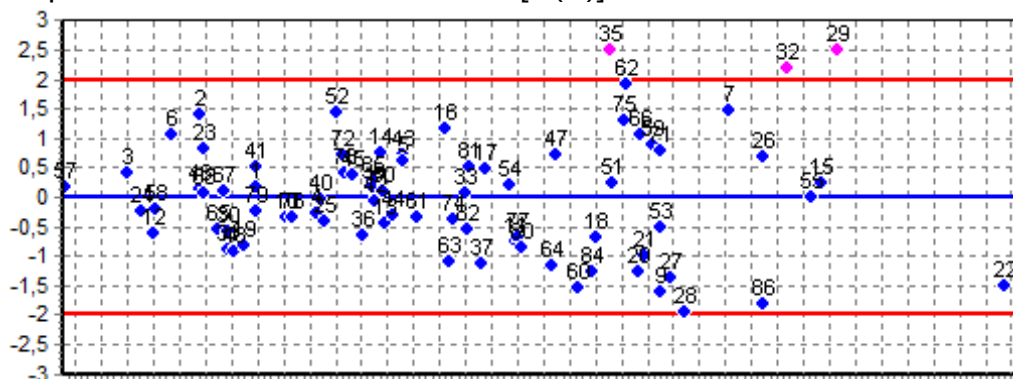
WHITE, H. (1980). A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 817-838. <https://doi.org/10.2307/1912934>.

ZHAI, G.; FUKUZONO, T.; IKEDA, S. Effect of flooding on megalopolitan land prices: a case study of the 2000 Tokai flood in Japan. *Journal of natural disaster science*, v. 25, n. 1, p. 23–36, 2003.

ZULKARNAIN, S. H., TSUJIMURA, M., YUZIR, M. A., RAZALI, M. N., TARMIDI, Z. (2020). A review of climate change (floods) and economic attributes response to residential property value in Malaysia. *Journal of Water and Climate Change*, v. 11, n. 4, p. 1084–1094, 2020. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.044>.

ANEXO

- A avaliação da homocedasticidade: análise gráfica entre os resíduos padronizados e o valor estimado $[1/(Y_i)]$.



- Ainda que haja algum indicativo de heterocedasticidade, realizou-se o teste de White. Assim, considerando os erros da estimação (ε_i) gerados pela diferença entre os dados observados (Y_i) e os valores estimados pelo modelo ($1/Y_i$), se considera a regressão auxiliar de um modelo, em que:

$$\varepsilon_i^2 = \delta_0 + \delta_1 X_1 + \delta_2 X_1^2 + \dots + \delta_n X_n + \delta_n X_n^2$$

Em que ε_i^2 é explicado pelas variáveis explicativas do modelo de regressão original, seus quadrados e interações entre elas. Os parâmetros δ_0 , δ_1 e δ_n se referem aos novos regressores obtidos pelo MQO da regressão auxiliar.

Como hipótese nula (H_0) se considera que todos os novos regressores sejam constantes, em que: $H_0: \delta_0 = \delta_1 = \dots = \delta_n = 0$. A hipótese H_0 é violada quando pelo menos um dos regressores é diferente de zero: $H_0: \delta_n \neq 0$, onde a condição de heterocedasticidade é confirmada pela hipótese alternativa (H_1). Pelo desempenho da regressão auxiliar, expressa pelo coeficiente de determinação ($R_{auxiliar}^2$), H_0 é testada pela estatística qui-quadrada, sendo este o teste de White.

Se o produto do número de dados e o $R_{auxiliar}^2$ for inferior a distribuição qui-quadrada (χ_h^2), a hipótese H_0 é aceita, se rejeitando a hipótese H_1 , pelo que se confirma a homogeneidade da variância dos erros. Caso contrário, i.e., se $n \times R_{auxiliar}^2 > \chi_h^2$, H_0 é rejeitada, H_1 é aceita, se confirmando a heterogeneidade da variância dos erros.

Pela distribuição qui-quadrada tabelada, estima-se a probabilidade de sucesso (p) de $n \times R_{auxiliar}^2$ ser igualado ou superado o valor de χ_h^2 entre 0,9999 (99,99%) até 0,001 (0,01%). Ressalta-se que a probabilidade de sucesso associada a

função qui-quadrada é dada pelo seu inverso, em que o valor- p igual a 0,9999 (99%), χ^2_h será referente a probabilidade de erro igual a 0,0001 (0,01%). O número de graus de liberdade (gl) se refere ao número de variáveis explicativas do modelo de regressão auxiliar.

Pela estatística da regressão auxiliar, efetuado pelo Microsoft Excel®, a análise de variância obteve-se $R_{auxiliar}^2 = 0,4912$. Considerando as 76 observações ($n = 76$), $n \times R_{auxiliar}^2$ foi estimado em 37,3325. O valor de χ^2_h tabelado foi obtido com auxílio do Excel® pela função <INV.QUIQUA>. Sendo $gl = 11$ (χ^2_{11}), a probabilidade de erro ao aceitar H_0 é de 0,01%, em que $n \times R_{auxiliar}^2 < \chi^2_{11}$ (37,3325 < 37,3670).

Portanto, pode-se concluir que existe fortíssimas evidências para se afirmar que os erros são homocedásticos, de modo que tal afirmativa tem uma probabilidade de erro de apenas 0,01% e uma probabilidade de sucesso de 99,99%.

- A normalidade dos erros foi associada a probabilidades de 71%, 92% e 96% se visualizando 3 “outliers”, relacionado as amostras 29, 32 e 35. Entretanto, pela regra dos 3σ permitiu validar parcialmente esta hipótese.
- Pela análise da matriz de correlações, abaixo representada, não houve indicações de colinearidade de X_1 (área privativa), X_2 (vagas de garagem), X_3 (padrão construtivo), X_4 (impacto de alagamentos) e X_5 (IBEU), pois os valores do coeficiente R foram inferiores a 0,80.

Transf.	Alias	x1	x2	x3	x4	x5
ln(x)	x1	0	0,59	-0,52	0,35	-0,17
x	x2	0,59	0	-0,37	0,26	-0,01
1/x	x3	-0,52	-0,37	0	-0,50	0,10
ln(x)	x4	0,35	0,26	-0,50	0	-0,04
x	x5	-0,17	-0,01	0,10	-0,04	0

Limitações quando o diagnóstico da colinearidade é realizado pela matriz de correlação por modelagem com mais de duas variáveis independentes, foram referidos por Montgomery; Peck; Vining (2006). Assim, se faz necessário recorrer a análise do “Variance Inflation Factor” (VIF).

A estatística do VIF mede o quanto da variância de cada coeficiente de regressão do modelo estatístico [coeficiente R^2] se encontra inflado em relação à situação em que as variáveis independentes não estão correlacionadas, expresso por:

$$VIF_j = \frac{1}{(1 - R_j^2)}$$

Em que VIF é o fator de inflação de variância. R_j^2 é o coeficiente de determinação parcial de um modelo de regressão que utiliza X_j como variável dependente e todas as demais X_i como variáveis independentes. Deste modo, considerando estimar R_j^2 para cada modelo, função de cada variável independentes:

- Modelo 1: $X_1 = 66,927 + 50,946X_2 - 11,362X_3 - 6,212X_4 + 7,441X_5$;
- Modelo 2: $X_2 = -0,222 + 0,007X_1 + 0,434X_3 + 0,063X_4 - 0,084X_5$;
- Modelo 3: $X_3 = 1,438 - 0,003X_1 + 0,907X_2 - 0,08X_4 - 0,052X_5$;
- Modelo 4: $X_4 = 1,947 - 0,001X_1 + 0,125X_2 - 0,083X_3 + 0,276X_5$;
- Modelo 5: $X_5 = 1,219 + 0,001X_1 - 0,165X_2 - 0,049X_3 + 0,272X_4$;

Tamhane e Dunlop (2000) e Kutner et al., (2004) sugeriram: se $VIF > 10$, a variável X_j é altamente colinear; se $1 < VIF \leq 10$, a colinearidade da variável X_j é aceitável; e, se $VIF \leq 1$, a colinearidade da variável X_j não é evidenciada. Assim, obteve-se colinearidade aceitável para todas as variáveis independentes (tabela abaixo):

Modelo	Variável dependente	R_j^2	VIF	Característica
1	X_1 – área privativa	0,3971	1,6587	Colinearidade aceitável
2	X_2 - vagas de garagem	0,6278	2,6869	Colinearidade aceitável
3	X_3 – padrão construtivo	0,4606	1,8538	Colinearidade aceitável
4	X_4 – Impacto de Alagamentos	0,0899	1,0988	Colinearidade aceitável
5	X_5 – IBEU	0,1130	1,1274	Colinearidade aceitável

- Pela estatística de Cook não se detectou erros influenciantes (>1).

