ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO COLETIVO DE ESGOTO NA VALORIZAÇÃO IMOBILIÁRIA: Metodologia Hedônica aplicada na Área Urbana de Belém/PA

INFLUENCE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF COLLECTIVE SEWAGE TREATMENT ON REAL ESTATE VALORIZATION: Hedonic Methodology Applied in the Belém Urban Area

Érico Gaspar Lisboa
Universidade da Amazônia |Belém | Brasil | erico.lisboa@unama.com
Gabriel Almeida Silva
Universidade da Amazônia | Belém | Brasil | galmeidas.silva@gmail.com

Resumo

Ainda que promover o saneamento das cidades possa valorizar o setor imobiliário, a geração de odores pela operação de sistemas coletivos por estações elevatórias (EEE) e de tratamento de esgoto (ETE) pode desvalorizar imóveis situados em zonas que lhes sejam circunvizinhas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos impactos da implantação e operação do sistema de tratamento coletivo de esgoto, considerando-os amenidades urbanas, na valoração imobiliária. A metodologia hedônica foi desenvolvida para estimar tais influências pela definição de zonas de impacto, bem-estar urbano e características físicas de imóveis. Por interpolação espacial mapeou-se áreas de influências positivas e negativas pela implantação e operação de EEE e ETE. Aplicado à Zona de Gestão Sede-ETE-Sul de Belém/PA, observou-se tendência média de desvalorização entre 22,97%-66,83% de casas até 500m da EEE e ETE e, além de 1.500m, valorização média entre 4,94%-66,67%. Portanto, avaliar a influência da implementação de infraestruturas sanitárias pode auxiliar a gestão e o planejamento urbano.

Palavras-chave. Saneamento. Odor. Amenidades. Setor imobiliário. Planejamento Urbano.

Abstract

Even if promoting sanitation in cities can increase the value of the real estate sector, generating odors due to the operation of collective systems through pumping stations (EEE) and sewage treatment stations (ETE) can devalue properties in neighboring areas. This work aimed at the influence assessment due to the implementation impacts of the collective sewage treatment system, as urban amenity, on real estate valuation. The hedonic methodology is processed to estimate these influences by defining impact zones, urban well-being, and the physical characteristics of real estate. Spatial interpolation mapped the positive and negative influence areas due to the EEE and ETE implementation. Applied to the ZG-Sede-ETE-Sul at Belém/PA, an average devaluation trend of 22.97%-66.83% was observed for houses up to 500m from the EEE

Como citar:
LISBOA, E.G.; SILVA, G.A. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO COLETIVO DE ESGOTO NA VALORIZAÇÃO IMOBILIÁRIA: Metodologia Hedônica aplicada na Área Urbana de Belém/PA. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

and ETE, beyond 1,500m, an average appreciation of 4.94%-66.67%. Although, the influences assessment implementing sanitation infrastructure can aid urban planning and management.

Keywords: Sanitation. Odors. Amenities. Real estate. Urban Planning.

INTRODUÇÃO

A implementação de infraestruturas urbanas pode proporcionar bem-estar aos habitantes das cidades [1]. Entretanto, acerca das infraestruturas de saneamento, da totalidade dos esgotos gerados pelos principais centros urbanos do Brasil, pouco mais de 50% tiveram tratamento. Na região norte, próximo dos 22% dos esgotos produzidos são tratados [2].

Para colmatar este cenário, o Plano Nacional do Saneamento Básico (PLANSAB) previu mais de R$500 bilhões para universalizar o saneamento de cidades brasileiras, que incluiu o tratamento dos esgotos [3]. Portanto, implantar infraestrutura sanitária gera impactos positivos (amenidades) que, além de melhorar a qualidade ambiental, de vida e saúde pública, valorizam o setor imobiliário das cidades [4][5][6][7][8].

Entretanto, são poucas pesquisas que avaliam a influência negativa (desamenidades) da operação de sistemas de tratamento coletivo de esgoto sobre o mercado imobiliário, quer pela proliferação de insetos, dispersão e propagação de bioaerossóis e odores ofensivos [9][10].

Embora os estudos sobre a influência de (des)amenidades sobre preços de imóveis usualmente recorreram a modelagens baseadas na teoria hedônica [11]; em cidades da Amazônia brasileira, como Belém/PA, apenas estudos recentes conduzidos por [12][13][14][15][16] investigaram a influência de externalidades, como a violência, regularização fundiária, questões de infraestrutura, áreas verdes e risco e impacto de inundações e alagamentos sobre o preço de aluguéis comerciais e de apartamentos.

Considerando a importância destes estudos para auxiliar a gestão e o planejamento urbano (como delimitar áreas de uso e ocupação do solo e cobrança de impostos) e para avaliar os custos sociais de (des)amenidades, escolheu-se Belém/PA pois não há pesquisas que avaliaram a influência de implementar sistemas de tratamento coletivo de esgoto na dinâmica do setor imobiliário.

Nestes termos, o atual plano de saneamento de Belém/PA delimitou regiões, bacias e sub-bacias de esgotamento onde 5 ETE e 61 EEE perfazem zonas de gestão–ZG (Sede, Outeiro e Mosqueiro). Para este sistema, adotou-se para todas as ETE tecnologia UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)+lodos ativados [5][17].

Entretanto, os impactos sócio-urbanísticos negativas, como a geração de odores às populações circunvizinhas destas estações durante suas implementações, sobretudo quanto ao mercado imobiliário das referidas ZG, não foram considerados por [17].

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência dos impactos da implantação e operação do sistema de tratamento coletivo de esgoto de Belém/PA na valoração imobiliária na área da ZG-Sede, considerando o potencial de dispersão e propagação do odor (PDPO) advindo das EEE e ETE.

METODOLOGIA

A metodologia foi desenvolvida em três etapas. Na primeira definiu-se a regressão estatística linear. A definição de variáveis e modelagem hedônica são etapas desenvolvidas para estimar a influência da implantação e geração de odores de EEE e ETE. A caracterização da área de estudo foi a última etapa.

REGRESSÃO ESTATÍSTICA LINEAR

A teoria dos preços hedônicos [11] é base para valorar imóveis e suas externalidades, sendo a regressão estatística linear procedimento preferencialmente recomendado pela [18]. Assim, implementa-se quatro fases. A primeira consiste na seleção variáveis independentes (X_i) (i=1,2,...,n) que influenciam na estimação da variável dependente (Y_i). O coeficiente de correlação (R), determinação (R^2) e ajustado (R^2_a), o quadrado médio dos erros; estimativa do C_p de Mallows [19]; informação de Akaike, etc, e ainda "*Forward*", "*Backward*" e "*Stepwise*" [20], são técnicas que podem ser utilizadas.

A predição é a fase que se obtém o modelo matemático, cuja variação de Y_i seja explicada por n-variáveis X_i. Pela extração de amostras da população se estima os parâmetros de X_i, possibilitando explicar o comportamento de Y_i por:

$$\widehat{Y_\iota} = \beta_0 \pm \sum_{i=1}^{n} \beta_i X_i + \varepsilon_i$$

Onde β_0 e β_i se refere aos parâmetros das variáveis X_i. O termo ε_i é o erro na estimativa de Y_i representado pela função $\widehat{Y_\iota}$. Assim, é esperado que a diferença (ΔY) entre Y_i e $\widehat{Y_\iota}$ seja 0, em que $\Delta Y^2=(Y_i-\widehat{Y_\iota})^2$ é o desvio quadrático total. Pelas amostras, pode-se, depois de ajustes, obter relação satisfatória entre Y_i e X_i por $\widehat{Y_\iota}$. Para estimar β_0 e β_i recorre-se ao método dos mínimos quadrados ordinários (MQO).

A terceira fase dedica-se em estimar os parâmetros pelo método MQO. Assume-se que tais parâmetros devem ser BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*), i.e., que tenham menor variância entre estimadores (parâmetros) lineares não-viesados, não violando as hipóteses de Gauss-Markov: (i) o modelo de regressão é linear nos parâmetros; (ii) amostragem é aleatória; (iii) erros homocedásticos e tem distribuição normal; e, (iv) variáveis independentes não são colineares entre si.

A fase inferencial inclui a análise da variância (ANOVA), cujo desempenho do modelo é avaliado, e a significância (α) de β_0 e β_i e $\widehat{Y_\iota}$. O desempenho está relacionado aos erros de estimação de $\widehat{Y_\iota}$ pela soma do quadrado dos erros (SQE) igual $\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \widehat{Y_\iota}\right)^2$; e, devido a regressão (SQR) igual a $\sum_{i=1}^{n}\left(\widehat{Y_\iota} - \bar{Y}\right)^2$. Em que $\bar{Y}$ é o valor médio de i-amostras. A soma dos quadrados totais (STQ) é igual à soma de SQE e SQR.

Pela relação entre SQR e STQ se calcula R^2, indicando o quão "preciso" é o modelo $\widehat{Y_\iota}$ para explicar a variável Y_i, e R^2_a. O termo α de β_0 e β_i é aferida pelo teste Student (teste-T), sendo $\alpha \leq 5\%$ aceitável. O teste Fisher-Snedecor (teste-F) avalia a significância de $\widehat{Y_\iota}$, onde o modelo é relevante quando α estiver entre 1%-5%.

Seguindo estas fases, recorre-se ao *software* SisDEA® para modelagem estatística verificando: não violação das hipóteses de Gauss-Markov; o desempenho do modelo pela análise de R^2 e R^2_a, e, os termos α de β_0 e β e $\widehat{Y}_i$, pelo teste-T e teste-F, respectivamente. Adota-se não tolerar R^2<0,81, e R^2_a entre 0,49–0,81 [12].

Avalia-se a homocedasticidade pelo teste de White [21]. A distribuição normal dos erros é aferida pela regra 3σ onde: 1σ[63%-73%], 1,64σ[85% -95%] e 1,96σ[95%-100%] são intervalos admissíveis de probabilidade em que, caso não haja enquadramento, faz-se o teste qui-quadrado [22]. Calcula-se a estatística VIF (*Variance Inflation Factor*) para avaliar não-colinearidades entre X_i [23]. Ainda se avalia a presença de erros padrões atípicos ("outliers") e influenciantes pela estatística de Cook [24].

DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS E MODELAGEM HEDÔNICA

As variáveis X_i foram definidas em exógenas e endógenas. As variáveis endógenas estão relacionadas as características físicas de um imóvel (e.g., área privativa, número de suítes, padrão construtivo). As variáveis exógenas de imóveis estão relacionadas a localização, bem-estar, qualidade da vizinhança, etc; podendo modificar as decisões de moradia de agentes econômicos, denominada de amenidades urbanas [5][25].

As amenidades transcendem as fronteiras físicas de imóveis, inexistindo as curvas de "oferta x demanda" para precificar sua influência, denominando-as "variáveis de não-mercado" [25]. Embora não haja dúvida que variáveis endógenas influenciam na formação do preço de mercado, aferir a influência de amenidades na precificação de um imóvel ainda é condição limitante [5]. Para superá-la, é recorrente adotar modelagem hedônica pela utilização da regressão estatística linear [11].

Considerando que o objetivo deste trabalho é avaliar a influência dos impactos da implementação do tratamento coletivo de esgoto na valorização imobiliária da cidade de Belém, "*locus*" onde será realizado o estudo de caso, recorreu-se a três fases.

A primeira fase se refere a preparação de dados, sendo implementada pela premissa da aleatoriedade na coleta amostral, cujos imóveis foram levantados em plataforma "*web*" de anúncios de venda. Baseado em [26], o preço de oferta foi reduzido em 10%.

Recorreu-se a variáveis disponíveis em plataforma de vendas de imóveis, pois em países em desenvolvimento há barreiras no fornecimento de dados por agências imobiliárias e órgãos públicos, além de inexistirem incentivos à consolidação de portais de registros de transações imobiliárias [12][15].

Assume-se o pressuposto que as casas devem estar em condições de habitabilidade, onde a depreciação física não foi considerada variável e que o seu valor seja função de variáveis de mercado (endógeno) e "não-mercado" (exógeno). A amostra extraída da população de casas considerou a área privativa, suítes, padrão construtivo, condição de bem-estar urbano, propagação e impacto da geração de odor, e preço de casas.

O padrão construtivo foi associado ao custo unitário básico da construção (CUB): R$2.023,63/m² (Baixo), R$2.432,71 (Médio); e, R$3.088,17 (Alto) de fevereiro/2024 [27]. Acerca de variáveis "não-mercado", considerou-se que o impacto socioambiental

da implementação do tratamento coletivo de esgotos por EEE e ETE, e o bem-estar urbano influenciam na valoração de casas, de forma positiva ou negativa.

Acerca das condições de bem-estar urbano, adotou-se o índice IBEU composto das dimensões: mobilidade (D1), condições ambientais (D2), habitacionais (D3), serviços coletivos urbanos (D4) e a infraestrutura (D5) [28]:

$$IBEU = \sum_{i=1}^{n} D_i/5$$

Onde Di é o número de dimensões (i=1,2,3,4,5), cujas definições e características considera a proporção de pessoas que:

D1) Gastam até 1 hora no percurso da casa ao trabalho;
D2) Residem em áreas arborizadas, com disponibilidade ou não de lançamento de esgoto no entorno dos domicílios;
D3) Residem 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;
D4) Residem em domicílios com fornecimento de água e coleta de esgoto, de energia e coleta de resíduos sólidos;
D5) Residem 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.

A confiabilidade do IBEU foi verificada pelo coeficiente Alfa de Cronbach [29]. As faixas de valores do índice foram enquadradas em três magnitudes: Pobre (P) (1): A variação do IBEU está entre 0,001–0,700, Regular (R) (2): A variação do IBEU está entre 0,701–0,800; e, Boa (B) (3): A variação do IBEU está entre 0,801–1,00.

A concepção do IBEU não considerou vivências de desconforto, tensão, insegurança, medo, felicidade, etc, identificados nos diferentes contextos sociais das metrópoles, pela segregação residencial e segmentação territorial [28].

Pela síndrome NIMBY (*Not In My Back Yard*), [5][30] considerou-se a insatisfação da vizinhança com transtornos (e.g., ruídos, odores, bioaerossóis) advindos de EEE e ETE durante sua operação, podem ocasionar a desvalorização imobiliária.

Assim, considerou-se que os impactos socioambientais negativos pela operação de EEE e ETE mais frequentes foram: proliferação de odores e desvalorização dos imóveis ao redor das estações. Os impactos positivos da implantação mais comuns foram: a melhoria na qualidade ambiental (rios), da saúde pública e na qualidade da vida urbana [5][6][31].

Considerou-se que, imóveis localizados no raio de 500m da EEE e ETE enquadraram-se em zonas diretamente impactadas (ZID) pela geração de odores durante a operação destas estações [5][6][8].

Diferente da EEE, na ETE ocorre a depuração do esgoto, i.e, infraestrutura onde haverá efetiva operacionalização da tecnologia de tratamento. Logo, imóveis que se situarem entre 500-1.500m da ETE, enquadram-se em zona moderada de impacto pela geração

de odores e beneficiada pela implantação do sistema de tratamento coletivo (ZIBI) [5]. Imóveis situados além de 500 da EEE e de 1.500m da ETE, enquadram-se em zonas beneficiadas diretamente pela implantação do referido sistema (ZBD), pois os odores não são mais ofensivos [5][6][8].

Para aferir a influência do impacto da geração do odor, considerou-se três magnitudes: (1) Alto(A) impacto da geração de odor (ZID), (2) Moderado(M) impacto da geração de odor (ZIBI); e, (3) Baixo(B) impacto da geração de odor (ZBD).

Convém referir que a propagação de odores está relacionada as magnitudes da direção e intensidade dos ventos [5][8]. Nas ZID e ZIBI, quando imóveis situados nos quadrantes da rosa dos ventos de maior frequência de direção e intensidade, maior será o potencial de propagar o odor advindo de EEE e ETE, atribuindo o código "0"; e, quando menor for esta frequência, atribui-se o código "1".

A segunda fase está relacionada a aplicação do procedimento para valorar imóvel pela regressão linear. Assim, obtém-se o modelo estatístico para estimar Y_i em função de X_1, X_2,..., X_n e suas influências.

Considerando que amostras foram coletados no mercado imobiliário, recorreu-se ao método MQO para obter β_0 e β_i. E, para que as últimas fases da regressão estatística linear sejam satisfeitas, estima-se o preço de imóveis pelas atuais condições de amenidades. Para estimar a influência destas condições, quanto a propagação do odor, recorre-se a formulação proposto por [16]:

$$I_i = \left[1 - \left(\frac{\widehat{Y}_i'}{\widehat{Y}_i}\right)\right] x100$$

Onde "I_i" é a influência que pode ser positiva (+) e negativa (-), máxima [$I_{i(máx)}$] e mínima [$I_{i(mín)}$], do odor no valor de imóveis, que serão interpolados por método geoestatístico. E, $\widehat{Y}_i$ é preço estimado para imóveis pelo modelo produzido. O $\widehat{Y}_i'$ é estimação do preço do imóvel pelo modelo, aferindo-se a influência das condições quanto ao impacto da geração de odor na ZID, ZIBI e ZBD:

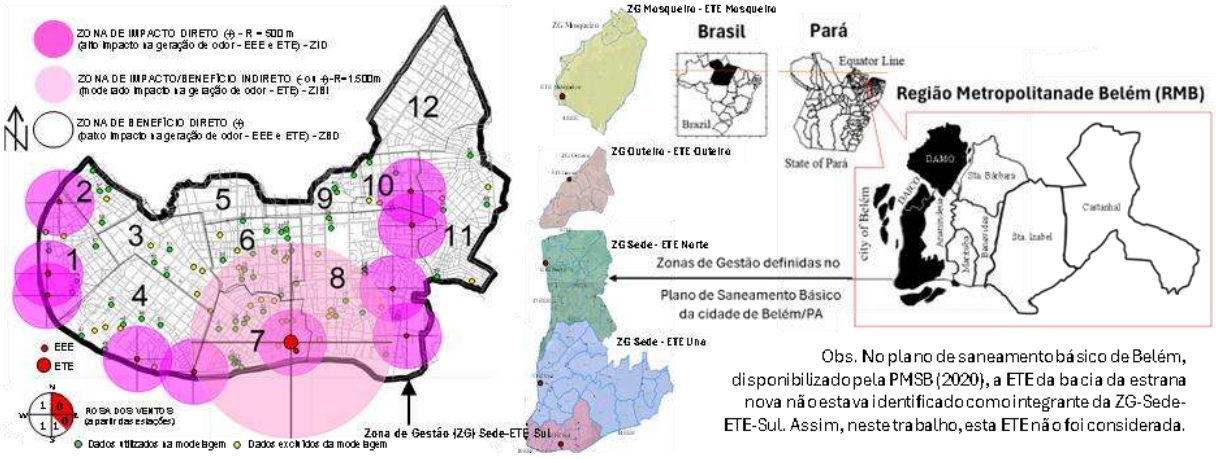
- $I_{i(máx)}$ e $I_{i(mín)}$ do impacto "B" substitui-se o código (3)→(1) e (3)→(2), respectivamente.
- $I_{i(máx)}$ e $I_{i(mín)}$ do impacto "M" substitui-se o código (2)→(1) e (2)→(3), respectivamente.
- $I_{i(máx)}$ e $I_{i(mín)}$ do impacto "A" substitui-se o código (1)→(3) e (1)→(2), respectivamente

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O *ranking* do saneamento do Instituto Trata Brasil apontou que Belém/PA faz o tratamento de pouco mais de 2,38% de todo o esgoto gerado da área urbana. Esta situação colocou a capital paraense na 97ª posição, dentre as cem principais cidades do Brasil, impondo-lhe a pior condição de saneamento [32].

O atual plano de saneamento básico de Belém adotou a concepção de centralizar bacias de esgotamento sanitário, reduzindo ETE e aumentando EEE. Atendendo a sugestão de [33], delimitou-se 5 regiões, 36 bacias e 64 sub-bacias de esgotamento; e, 5 ETE e 61 EEE enquadradas em 3 zonas de gestão–ZG (Sede, Outeiro e Mosqueiro) [17] (Figura 1).

Figura 1: ZG-Sede–ETE-Sul enquadrado à cidade de Belém/PA.



Fonte: os autores.

A tecnologia UASB+lodo ativado, reconhecida pela geração de odor [34], será adotada para operar na ETE-Sul com capacidade de 900 L/s, e implantada em área urbana [17]. Delimitando-se as ZID e ZIBI pelas 10 EEE, inseridas no bairro da Cidade Velha, Batista Campos, Jurunas, Cremação, Condor, Guamá, Canudos, Terra Firme, e, parcialmente na Campina, Nazaré, São Braz e Marco, a Tabela 1 apresenta área e IBEU.

Tabela 1: Caracterização dos bairros e condição de bem-estar urbano na ZG-Sede-ETE-Sul.

Bairros	Área (ha)	IBEU	Código
(1) Cidade Velha	125,79	0,800	2(R)
(2) Campina	102,81	0,850	3(B)
(3) Batista campos	142,71	0,800	2(R)
(4) Jurunas	235,82	0,642	1(P)
(5) Nazaré	151,32	0,888	3(B)
(6) Cremação	147,51	0,730	2(R)
(7) Condor	170,88	0,638	1(P)
(8) Guamá	417,54	0,572	1(P)
(9) São Braz	162,63	0,865	3(B)
(10) Canudos	77,73	0,790	2(R)
(11) Terra Firme	243,66	0,492	1(P)
(12) Marco	489,23	0,829	3(B)

Fonte: os autores.

Em geral, Belém/PA apresentou predominância de direção do vento no sentido nordeste (NE) à sudeste (SE) [35]. Assim, pela rosa dos ventos, considerou-se que há potencial de dispersão e propagação do odor (PDPO) advindo de EEE e ETE nestes quadrantes (código “0”) (0º a 120º), e fora dele há baixo PDPO (código “1”).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

AVALIAÇÃO DA MODELAGEM ESTATÍSTICA

Pelo *software* SisDEA®, 500 modelos foram obtidos e o melhor desempenho estimou R, R^2 e R^2_a em 0,9167; 0,8404; e, 0,8244, de modo que as variáveis indicaram $\alpha \leq 5\%$. Pelo modelo produzido, 84,04% das variações observadas na estimação de preços são explicados linearmente por X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 e X_6. E, 15,96% destas variações foram

associadas a variáveis não consideradas. Assim, por R^2>80% o poder de explicação do modelo foi considerado forte.

Adotando-se o princípio da parcimônia [36], em geral, as seis variáveis conseguem explicar mais de 84% da variação do preço de mercado de casas localizados na ZG-Sede-ETE-Sul. A consistência e sensibilidade do modelo foram verificadas pela variação de Y_i em relação a X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 e X_6, cujos parâmetros (β_0 e β_i) estão na Tabela 2.

Tabela 2: ANOVA, testes estatísticos e resultados da regressão estatística linear.

Variáveis	Equação	β(x10³)	Teste-T	α(%)	E(%)	VIF
Área privativa (X_1) (m²)	$X_1^{1/2}$	18,280	4,70	0,00	23,83	1,52
Suíte (X_2)	X_2	72,230	5,71	0,00	19,36	1,40
Padrão construtivo (X_3)	$Ln(X_3)$	343,53	4,68	0,00	7,77	1,14
Propagação do odor (X_4)	X_4	138,77	3,83	0,03	67,17	1,23
Impacto da geração de odor (X_5)	$Ln(X_5)$	-149,92	2,73	0,83	3,61	1,32
Bem-estar urbano (X_6)	$1/X_6^2$	-150,33	-5,26	0,00	4,77	1,10
Preço unitário (Y) (R$/m²)	Y	-2677,15	-4,99	0,00	-	-

Fonte: os autores.

Além da coerência quanto as demais variáveis, pode-se notar que, quanto maior for o impacto da geração do odor menor será o preço dos imóveis. No geral, considerando 10% em torno da média – E(%), imóveis situados em zonas de baixo impacto da geração de odor (ZID), advindo de EEE e ETE, pode aumentar o seu valor em 3,61%.

Pela combinação das variáveis explicativas, o modelo para estimar preços é compatível com a realidade, possibilitando realizar inferência na população de casas, pois cada variável apresentou α≤5%, e confiabilidades superiores a 95%. O modelo global foi confiável em 99,99%, pois o teste-F avaliou α=1% (Teste-F igual a 53,98).

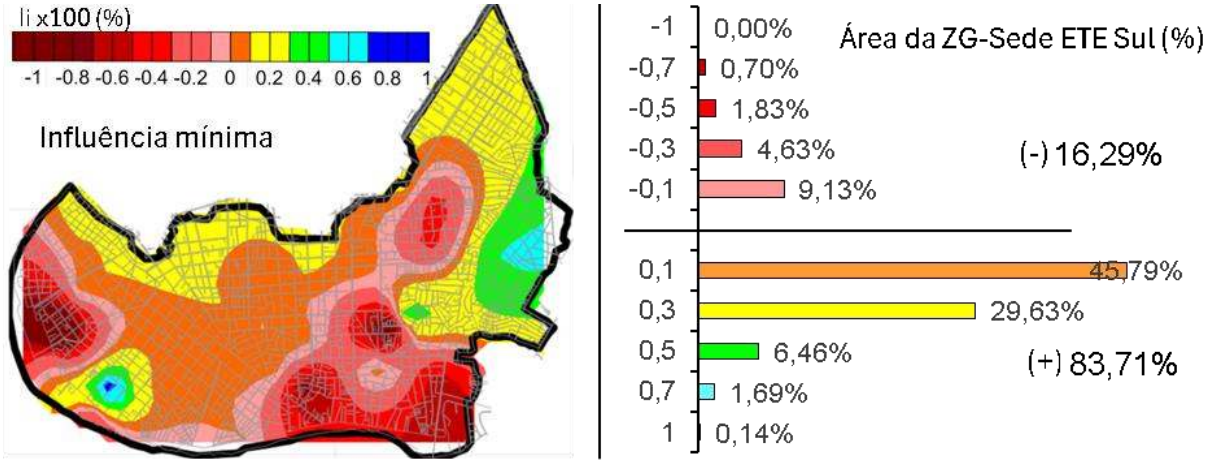
No geral, a modelagem não violou as hipóteses de Gauss-Markov. Pela regra dos 3σ, os erros se enquadraram em 1σ[68%], 1,64σ[91%] e 1,96σ[95%], tendo distribuição normal. Pelo VIF indicou-se não colinearidade entre X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 e X_6 (1<VIF≤10). Os "*outliers*" <5% da amostra, e não foi detectado dados influenciantes pela distância de Cook. Pelo teste de White não foi violado a condição de homoscedasticidade.

INFLUÊNCIA DA GERAÇÃO DE ODOR NO VALOR DE IMÓVEIS

Pelas amostras representativas da ZG-Sede-ETE-Sul notou-se que os preços das casas que estão inseridas na ZID, a geração de odor advindo de EEE e ETE pode depreciar seu valor nominal entre 29,53%-93,2%. E, na ZIBI, os imóveis apresentaram tendência de se desvalorizar e valorizar entre 11,14%-100% e 3,58%-50,95%, respectivamente. Na ZBD os imóveis tenderam a valorizar entre 2,97%-100%.

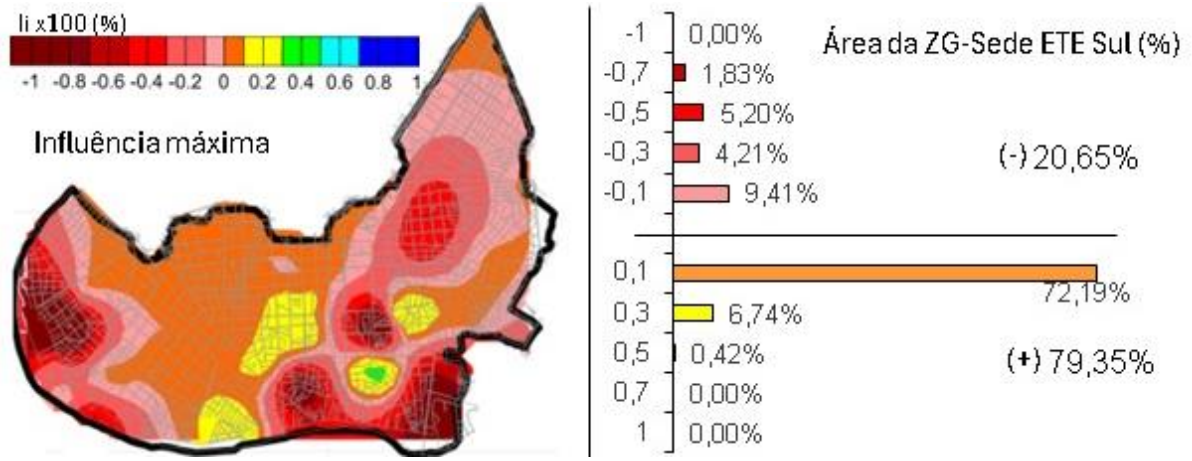
Pela interpolação espacial dos percentuais de influência mínima, máxima e média, por método geoestatística, com a utilização do *software Golden Surfer®*, 16,29%, 20,65% e 15,45% da área da ZG-Sede-ETE-Sul tenderam a se desvalorizar pelo impacto da geração do odor, respectivamente ilustrado na Figura 2, Figura 3 e Figura 4.

Figura 3: Influência mínima da PDPO na valoração de imóveis na área da ZG-Sede-ETE-Sul



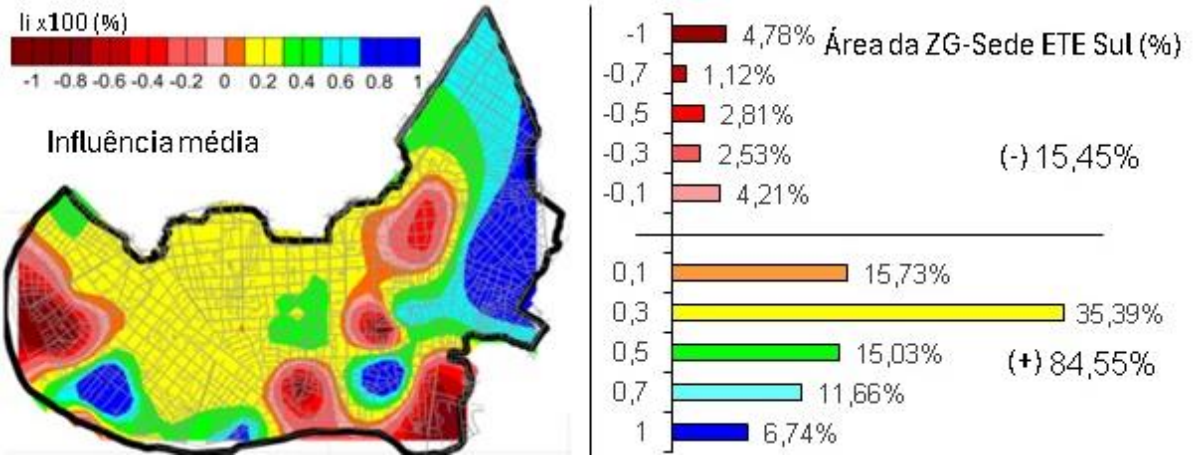
Fonte: os autores.

Figura 4: Influência máxima da PDPO na valoração de imóveis na área da ZG-Sede-ETE-Sul



Fonte: os autores.

Figura 5: Influência média da PDPO na valoração de imóveis na área da ZG-Sede-ETE-Sul



Fonte: os autores.

Os bens imóveis do tipo casa, inseridos na ZID, podem se desvalorizar no mínimo entre 29,53% até 85,92%; e no máximo entre 39,37% até 93,2%, do seu valor nominal. Por estes percentuais, em média, o fato de um imóvel estar localizado num raio de 500m

da EEE e ETE evidenciou-se tendência de desvalorização entre 22,97% até 66,83% (Tabela 3).

Tabela 3: Influência da geração do odor em ZID, ZIBI e ZBD na ZG-Sede-ETE-Sul.

Zonas de Impacto e Benefício	$I_{mín}$ (%)	$I_{máx}$ (%)	$I_{média}$ (%)
Zona de Impacto Direto (ZID)	29,53-85,92(-)	39,37-93,2(-)	22,97-66,83(-)
Zona de Impacto e Benefício Indireto (ZIBI)	3,58-50,95(+)	11,14-100(-)	3,78-37,07(-)
Zona de Benefício Direto (ZBD)	2,97-55,38(+)	11,86-100(+)	4,94-66,67(+)

Fonte: os autores.

Entretanto, imóveis que se localizaram para além de 500m e até 1.500m da ETE apresentaram tendência de desvalorização máxima entre 11,14% até 100%. Por outro lado, nesta zona onde o odor gera impactos moderados, evidenciou-se regiões que apresentaram tendência de valorização mínima entre 3,58% até 50,95%. Estes resultados podem ser explicados pelo que fato de que, embora o odor se apresente como externalidade negativa, a implantação de infraestruturas de saneamento pode ser um atributo mais influenciante na valorização imobiliária.

A este propósito, [37] referiu que a implantação de uma ETE valorizou em média o valor de imóveis em 20%. Este resultado se alinhou ao intervalo da influência positiva média entre 4,94% até 66,67% no valor de bens imóveis que se situaram na ZBD na ZG-Sede-ETE-Sul, i.e, além do 500m de EEE e de 1.500m de ETE. Portanto, nesta zona, o impacto da geração de odor é baixo, pois a tendência do fator influenciante na valorização imobiliária é o atendimento pelo serviço de esgotamento sanitário.

CONCLUSÕES

Este trabalho se propões avaliar a influência da implantação e operação do sistema de tratamento coletivo de esgotos na valoração imobiliária na cidade de Belém/PA. Para tanto, se desenvolveu metodologia hedônica por regressão estatística linear. Aplicando-a na ZG-Sede-ETE-Sul, delimitada pelo plano de saneamento básico de Belém/PA, observou-se tendência de desvalorização de casa até 500m das EEE e ETE.

Para além de 500m e até 1.500m da ETE, existem áreas onde ocorre valorização pelo benefício indireto da implantação da infraestrutura de saneamento, e desvalorização pelo impacto indireto da geração e propagação de odor. E, para além dos 1.500 m da ETE, e de 500 m da EEE, evidenciou-se tendência de valorização de imóveis pelo benefício direto da implantação de sistemas de tratamento coletivo de esgotos.

Importante ressaltar que estas conclusões foram baseadas nos dados catalogados e na metodologia desenvolvida que permitiram aferir a influência da geração e propagação do odor advindo de EEE e ETE nos preços de casas. Convém considerar que a inserção de outras amostras e variáveis de “não-mercado”, e outras tecnologias de tratamento de esgotos podem influenciar os preços de casas, valorizando-as ou desvalorizando-as. Ainda que a modelagem hedônica desenvolvida possa ser utilizada em outras cidades, a coleta de preços deve satisfazer as condições do mercado imobiliário local.

Finalmente, pode-se evidenciar e demonstrar que este estudo tem caráter auxiliador para incorporadores, investidores e à implementação de eficazes políticas públicas de

saneamento e planejamento urbano para mitigar impactos negativos da operação dos sistemas de tratamento coletivo de esgotos de cidades amazônicas, posto que tais implementações são preponderantes para a valoração do mercado imobiliário.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de mestrado ao co-autor.

REFERÊNCIAS

[1] DE NORONHA, T; VAZ, E. V. **O impacto da estrutura urbana na arquitetura do bem-estar e da felicidade**. In: DIAS, Jorge Humberto. Perspetivas sobre a Felicidade. Contributos para Portugal no World Happiness Report (ONU) – 2º volume. Lisboa, 2020. p. 110-128.

[2] SNIS. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**; Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA: Brasília, Brasil, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa. Acesso em: 29/01/2024.

[3] PLANSAB. **Plano Nacional de Saneamento Básico- V 1**. - Relatório de Avaliação Anual. 2020.

[4] CASTANHEIRA, J. P. A., BAYDUM, V. P. A. **Percepção dos Impactos Socioambientais da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Relatados pelos Moradores do Residencial Olho d´Água, Jaboatão dos Guararapes, PE**. Revista Brasileira de Geografia Física, 8 (3), 876-887. 2015.

[5] LISBÔA, E.G. **Contribuições ao Processo de Seleção de Tecnologias de Tratamento de Esgotos em Zonas Urbanas: Proposta de uma Modelagem Multicritério**. 2023. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano) – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano, Universidade da Amazônia, Belém, 2023.

[6] LINS, G. A**. Avaliação de Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE)**. Rio de Janeiro, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

[7] 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.

[8] KAYE, R.; JIANG, K. **Development of odour impact criteria for sewage treatment plants using odour complaint history**. Water Science and Technology, v.17, n.04, p.211-217. 2000. Doi: 10.1073/pnas.0506467102.

[9] DEMİRCAN, G. **Effects of the Odour from Wastewater Treatment Plants on Resident's Living Comfort and Property Values: Case of Narlidere-İzmir.** Master (Master of Science in City Planning)–Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology (Turkey), 2008.

[10] BATALHONE, S. A., NOGUEIRA, J.M., MUELLER.B. **Economics of air pollution: hedonic price model and smell consequences of sewage treatment plants in urban areas**. Brasília, DF: Universidade de Brasília. 2002.

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

[12] 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.

[13] ROCHA, R. D. M., MAGALHÃES, A. **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. 2013. https://doi.org/10.1590/S1415-98482013000100003.

[14] 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.

[15] 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.

[16] LISBOA, E.G; GOMES, R.D.S; JUNIOR, W.S. A Influência dos Impactos de Alagamentos nos Preços de Apartamentos: Modelagem por Inferência Estatística Aplicada na Zona Urbana da Cidade de Belém/PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS (COBREAP), XXII, 2023, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia, 2023. p. 1-30.

[17] PMSB. **Plano Municipal de Saneamento Básico- V 3- Belém-PA- Sistema de Esgotamento Sanitário**. 2020. Disponível em: https://arbel.belem.pa.gov.br/legislacao/pmsb-plano-municipal-de-saneamento-basico/. Acesso em: 01/02/2024.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-2**: Avaliação de bens Parte 2: Imóveis Urbanos, Brasil, 2011.

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

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

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

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

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

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

[25] LISBOA, E.G; GOMES, R.D.S; JUNIOR, W.S. A Influência dos Impactos de Alagamentos nos Preços de Apartamentos: Modelagem por Inferência Estatística Aplicada na Zona Urbana da Cidade de Belém/PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS (COBREAP), XXII, 2023, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia, 2023. p. 1-30.

[26] 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.

[27] SINDUSCON-PA. **Custos Unitários Básicos de Construção**. Disponível em: https://institucional.sindusconpa.org.br/arquivos/cub/CUB_202402.pdf. Acesso em: 20/03/2024

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

[29] PEREIRA, J.C.R. **Análise de dados qualitativos**. EDUSP, São Paulo, 1999.

[30] CRAVEN, M., GARDNER, J., BARTLETT, P. **Electronic noses—development and future prospects**. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 15(9), 486–493. 1996.

[31] IFTEKHARA, M.S; BURTONA, M; ZHANGA, F; KININMONTHC, I; FOGARTY, J. **Understanding social preferences for land use in wastewater treatment plant buffer zones**. Landscape and Urban Planning, V. 178, Pages 208-216, 2018. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.025.

[32] INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking Do Saneamento Do Instituto Trata Brasil de 2024**. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/Relatorio-Completo-Ranking-do-Saneamento-de-2024-TRATA-BRASIL-GO-ASSOCIADOS.pdf. Acesso em: 16/04/2024.

[33] PMSB. **Plano Municipal de Saneamento Básico- V 1- Belém-Pa- Sistema de Esgotamento Sanitário**. 2014.

[34] SOUZA, C.L. **Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores UASB**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, 2010.

[35] MOREIRA, F. D. S. D. A., Dias, G. F. M., Vitorino, M. I., Silva, J. C. C., & Holanda, B. S. **Caracterização da urbanização e seu impacto nas variáveis socioambientais: Guamá e Nazaré em Belém, Pará**. Revista InterEspaço, v. 5, n. 17, p. 01-27, 2019. DOI: https://doi.org/10.18764/2446-6549.2019.11775

[36] CAMPOS, A.; DAMASCENO DE CAMPOS, L. **Seleção de modelos por critérios de informação ponderados pelo desempenho dos pressupostos básicos**. Revista Valorem, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 1–16, 2022. DOI: 10.29327/2290393.1.2-1.

[37] Confederação Nacional da Indústria. **Saneamento Básico: uma agenda regulatória e institucional**. – Brasília: CNI, 2018. 56 p.: il. – (Propostas da indústria eleições 2018; v. 24). Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/62/00/6200cda4-995b-4af1-9eba-0674a6ba706c/saneamento_basico_web.pdf. Acesso em: 16/04/2024