



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Elcio Lyndon da Silva Júnior

**SUSTENTABILIDADE EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS
CORPORATIVOS: UM ESTUDO SOBRE O IMPACTO DA
CERTIFICAÇÃO LEED NO VALOR DE LOCAÇÃO**

Recife, PE
2022



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

Elcio Lyndon da Silva Júnior

**SUSTENTABILIDADE EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS
CORPORATIVOS: UM ESTUDO SOBRE O IMPACTO DA
CERTIFICAÇÃO LEED NO VALOR DE LOCAÇÃO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani, Prof^ª. Dra. associada e livre docente da Universidade de Pernambuco.

Coorientador: Lutemberg de Araújo Florencio, Prof. Dr. do Centro Universitário Maurício de Nassau.

**Recife, PE
2022**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco

S586s Silva Júnior, Elcio Lyndon da
Sustentabilidade em edifícios de escritórios corporativos:
Um estudo sobre o impacto da Certificação LEED no valor de
locação. / Elcio Lyndon da Silva Júnior. – Recife: UPE, Escola
Politécnica, 2022.

115 f. il.

Orientadora: Profa. Dra. Emília Rahnemay K. Rabbani
Coorientador: Prof. Dr. Lutemberg de Araújo Florêncio

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de
Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2022

1. Valor de Aluguel. 2. Certificação LEED. 3.
Sustentabilidade no Mercado Imobiliário. 4. Edifícios de
Escritórios para Locação. 5. Engenharia de Avaliações. I.
Construção Civil – Dissertação. II. Rabbani, Emília
Rahnemay Kohlman (orient.). III. Florêncio, Lutemberg de
Araújo (coorient.). IV. Universidade de Pernambuco, Escola
Politécnica, Mestrado em Construção Civil. V. Título.

CDD: 690.028

ELCIO LYNDON DA SILVA JÚNIOR

**SUSTENTABILIDADE EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS
CORPORATIVOS: UM ESTUDO SOBRE O IMPACTO DA
CERTIFICAÇÃO LEED NO VALOR DE LOCAÇÃO**

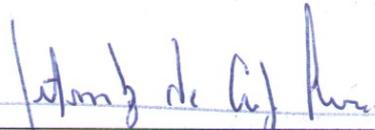
BANCA EXAMINADORA:

Orientadora



Prof. Dra. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani
Universidade de Pernambuco

Coorientador



Prof. Dr. Lutemberg de Araújo Florencio
Universidade Maurício de Nassau

Examinadores



Prof. Dr. Willames de Albuquerque Soares
Universidade de Pernambuco



Prof. Dr. Rubens Alves Dantas
Universidade Federal de Pernambuco

Recife-PE
2022

*Dedico esta dissertação à minha
esposa, Marianna Maria.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, manifesto toda minha gratidão a Deus, que além de todas as bênçãos que transcendem essa vida -- garantidas a seus filhos através da maior prova de amor já vista - não retém sua bondade e nos outorga a oportunidade de desfrutar de momentos como este. Minha gratidão ao Senhor é, sobretudo, por toda iluminação concedida em tudo o que me convém fazer. É no mínimo constrangedor ver o soberano Deus cuidando de cada detalhe em nossas vidas, portando, a ele seja dada toda honra e glória.

Apesar de toda alegria que sinto, estes anos de dedicação ao mestrado foram, sem dúvidas, uns dos mais difíceis pelos quais já passei. Por inúmeras vezes foram necessárias não apenas muitas horas de dedicação, mas também a abdição de muitos momentos e oportunidades singulares. Não seria possível percorrer esse caminho sozinho, por isso sou muito grato a Deus pela graça de colocar pessoas que tornaram o processo não só mais leve, mas possível.

À minha esposa, Marianna Maria, não há palavras para descrever sua importância em tudo que empreendo na vida. Seu amor, seu cuidado, seu apoio, seu carinho, sua alegria... são apenas algumas das suas virtudes que me deram forças para continuar. Sou profundamente grato por toda paciência, compreensão e confiança depositada em mim, ainda que, por muitas vezes, o preço fosse a minha ausência por longas e intermináveis horas. Além das diversas contribuições diretas no desenvolvimento desta pesquisa, sua presença diária sempre tornou o ambiente de estudo admiravelmente mais agradável e alegre. Finais de semanas e madrugadas se tornaram dias/horas úteis, por vezes cansado, eu encontrava em seus braços paz e conforto revigorantes. Muito obrigado, por tudo!

Aos meus pais, Elcio Lyndon e Cláudia Simone, agradeço por todos os incentivos, apoios, orações e carinho. Seus esforços para garantir o melhor para a família me ensinam muito sobre responsabilidade e compromisso, sobretudo com aqueles que amamos. Portanto, são as minhas principais referências. Se hoje subo mais um degrau nos estudos, é porque vocês não hesitaram, nenhuma vez, em me dar o melhor. Também agradeço imensamente ao meu irmão, Luis Eduardo, por todo encorajamento, torcida e apoio -- ainda que alguns anos mais jovem, sua inteligência e foco são marcas de inspiração para mim.

Aos familiares e amigos, agradeço por todas as orações, encorajamentos, torcidas e atos de carinho. Estou certo de que estou rodeado de pessoas que somam muito amor e carinho na minha vida. Esse apoio, ainda que com alguns tenha sido um pouco mais distante, foi fundamental no decorrer deste projeto.

À minha orientadora Prof^a. Dra Emilia Rabbani, sou grato por todo apoio e paciência ao longo deste mestrado. Por ter aceitado a minha proposta arriscada, repentina e tardia de mudança de tema, o que certamente exigiu a confiança de que seria possível realizar o estudo em tempo reduzido. Sempre muito acessível, seus direcionamentos e conhecimentos transmitidos foram fundamentais para a condução desta pesquisa.

Ao professor Dr. Lutemberg Florencio, agradeço a constante e precisa orientação investida em toda minha carreira profissional e acadêmica. Desde as orientações na graduação, as aulas de Engenharia de Avaliações, passando pela confiança na realização de alguns trabalhos profissionais e agora na orientação desta dissertação, o prof. Dr. Lutemberg Florencio ensinou-me não apenas sobre aspectos técnicos da Engenharia de Avaliações (esses passados sempre de forma brilhantemente cirúrgica, profunda e didática), mas também sobre o compromisso com a prática da “boa engenharia”. Sua leveza ao interligar a academia com o mercado de trabalho é admirável e certamente inspira a todos que o conhece. Muito obrigado por todo conhecimento transmitido, por toda disponibilidade para esclarecimentos e revisões (por vezes nas madrugadas), por toda paciência e amizade construída nesses anos.

Agradeço também aos professores Dr. Willames Soares e Dr. Rubens Dantas, pelos conhecimentos transmitidos em outras oportunidades/meios, mas também pelos comentários e considerações realizadas na minha qualificação e defesa parcial. Agradeço também antecipadamente pela disponibilidade e sugestões a serem apresentadas na defesa final, que certamente contribuirão para o resultado deste trabalho.

Manifesto minha sincera gratidão a todos os professores e colaboradores que fazem o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PEC), por todas as orientações e ensinamentos transferidos ao longo desse tempo. Especialmente à professora Eliana Monteiro, por inicialmente ter aceitado me coorientar, mas posteriormente ter entendido e apoiado a minha decisão de mudança de tema. Destaco também minha gratidão à Dona Lucia Rosani e aos que fazem a secretaria do programa, por todo cuidado e atenção dada aos alunos.

Aos colegas que, mesmo à distância, permaneceram em unidade com o propósito de ajuda mútua, registro minha profunda gratidão -- em especial ao Teóstenes, João, Caio, Lucas, Jaqueline, Ceça e Marília, com os quais compartilhei um pouco das dificuldades encontradas nesta reta final.

Agradeço ainda à Universidade de Pernambuco (UPE) pelo ambiente de ensino, ao Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP) pelo apoio financeiro e à empresa Buildings pelos esclarecimentos e fornecimento dos dados utilizados nesta pesquisa. Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram com a realização deste sonho.

*Sê exaltado, ó Deus, acima dos céus; e
em toda a terra esplenda a tua glória.*

(Salmos 57:5)

RESUMO

Um movimento crescente de demanda por produtos sustentáveis ganha cada vez mais proporção a nível mundial, de forma que medidas para avaliação do nível de sustentabilidade alcançado por um empreendimento vêm sendo gradativamente adotadas em diversos países, inclusive no Brasil. Em que pese a representatividade da certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) no mercado imobiliário nacional, pode-se entender que o caráter de adesão voluntária é um fator que condiciona o crescimento de empreendimentos certificados a uma percepção de viabilidade econômico-financeira por parte do empreendedor. É neste contexto que a presente dissertação objetiva estudar como os Edifícios de Escritórios para Locação (EEL) com certificação LEED respondem no tocante ao valor de aluguel no mercado imobiliário da cidade de São Paulo. Com base em uma amostra de 265 edifícios situados em 11 regiões da cidade, utilizou-se o Método Comparativo Direto de Dados de Mercado (MCDDM), suportado por técnicas de inferência estatística para o tratamento científico dos dados, a fim de investigar se a obtenção do referido rótulo de sustentabilidade, bem como a pontuação atingida no processo de certificação, impacta o comportamento de formação dos preços praticados no mercado de locação em estudo. Os modelos de preços hedônicos inferidos nesta pesquisa apontam para variações positivas em torno de 8,67% a 15,68% nos valores de locação estimados para os escritórios na condição de certificado, o que sugere uma tendência de valorização em termos de valor médio de aluguel de edifícios certificados, sendo consistente com as descobertas de outros autores. Além disso, os resultados ainda apontam para um aumento de valor em função do maior nível de certificação obtido, sendo observado um incremento em torno de 0,225% para cada acréscimo unitário aplicado sobre a covariável que representa a pontuação atingida no processo de certificação. À vista disso, as análises realizadas evidenciaram o potencial da sustentabilidade em termos de valores médios de locação dos EEL, dentro de uma conjuntura atual do mercado imobiliário, o que pode servir de base para subsidiar investidores com informações claras e fundamentadas sobre o nível de impacto das práticas sustentáveis no valor dos empreendimentos, além de contribuir com a carente discussão sobre o tema no cenário nacional.

Palavras-chave: Valor de aluguel. Certificação LEED. Sustentabilidade no mercado imobiliário. Edifícios de Escritórios para Locação. Engenharia de avaliações.

ABSTRACT

A growing demand for sustainable products is taking more amplitude worldwide, so that measures to assess the level of sustainability achieved by a project have been gradually adopted in several countries, including Brazil. Taking in consideration the representativeness of the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) certification in the national real estate, it is understood that the voluntary adhesion character is a factor that conditions the growth of certified enterprises to a perception of economic and financial viability by part of the entrepreneur. It is in this context that the present dissertation aims to study how LEED-certified office buildings for rent respond in terms of rental value in the real estate market of the city of São Paulo. Based on a sample of 265 buildings located in 11 regions of the city, the Direct Comparative Method of Market Data was used, supported by statistical inference techniques in the scientific treatment of data to investigate whether obtaining the aforementioned sustainability, as well as the score achieved in the certification process, impacts the pricing behavior practiced in the rental market under study. The hedonic pricing models inferred in this research point to positive variations of around 8.67% to 15.68% in the estimated rental values for offices in the certified condition, which suggests a trend of increase in terms of average value of rental of certified buildings, which is consistent with the findings of other authors. In addition, the results also point to increases in value due to the higher level of certification obtained, with rising around 0.225% for each unit increase applied to the variable that represents the score achieved in the process of certification. In this context, the analyzes carried out showed the potential of sustainability in terms of average rental values of the office buildings for rent, within a current situation of the real estate, which can serve as a basis to subsidize investors with clear and well-founded information about the level of impact sustainable practices in the value of real estate, in addition to contributing to the needy discussion on the topic on the national scene.

Keywords: Rent value. LEED certification. Sustainability in the real estate. Office buildings for rent. Engineering appraisal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de barras horizontais que apresenta o total de certificações LEED por Estado do Brasil em setembro de 2022.	20
Figura 2 – Tipologias das certificações LEED.	28
Figura 3 – Níveis de certificação LEED.	29
Figura 4 – Relação entre os benefícios sustentáveis aplicados ao contexto de edifícios de escritórios para locação.	30
Figura 5 – Exemplo genérico de gráficos de resíduos padronizados <i>versus</i> valores ajustados, análise quanto a homoscedasticidade: Padrões para parcelas residuais: (a) satisfatório; (b) funil; (c) arco duplo; (d) não linear.	46
Figura 6 – Exemplo genérico dos gráficos (a) Valores observados <i>versus</i> valores ajustados e (b) resíduos padronizados <i>versus</i> valores ajustados.	50
Figura 7 – Exemplos de identificação gráfica de <i>outliers</i> , representados por gráficos genéricos de resíduos padronizados <i>versus</i> valores ajustados.	55
Figura 8 – Exemplo de identificação gráfica de ponto influenciante, representado pelos gráficos genéricos de (a) dispersão e (b) resíduos <i>versus</i> valores ajustados.	56
Figura 9 – Sumarização das etapas metodológicas da pesquisa.	58
Figura 10 – Absorções líquida e bruta para edifícios de perfil <i>corporate</i> da cidade de São Paulo.	62
Figura 11 – Delimitação das regiões de conhecimento do mercado imobiliário de São Paulo.	63
Figura 12 – Delimitação geográfica da pesquisa: regiões de maior relevância corporativa da cidade de São Paulo/SP.	65
Figura 13 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e as variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 1.	76
Figura 14 – Gráfico de setores das variáveis “Classe” e “Certificado” para a Subamostra 1.	79
Figura 15 – Gráfico de colunas que representa a frequência de edifícios certificados por classe para a Subamostra 1.	79
Figura 16 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e as variáveis “Classe” e “Certificado” para a Subamostra 1.	80
Figura 17 – Distribuição geográfica dos imóveis constituintes da Subamostra 1.	81
Figura 18 – Gráfico de barras com a frequência por agrupamento de região para a Subamostra 1.	81
Figura 19 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e as variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 2.	83
Figura 20 – Gráfico de setores das variáveis “Classe” e “Certificado” para a Subamostra 2.	84
Figura 21 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e as variáveis “Classe” e “Certificado” para a Subamostra 2.	85
Figura 22 – Distribuição geográfica dos imóveis constituintes da Subamostra 2.	85
Figura 23 – Gráfico de barras com a frequência por agrupamento de região para a Subamostra 2.	86

Figura 24 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e as variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 3.....	88
Figura 25 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e a variável “Nível de Certificação”, para a Subamostra 3.	89
Figura 26 – Gráfico de setores das variáveis “Classe” e “Nível Certificação (na forma de códigos alocados)” para a Subamostra 3.	90
Figura 27 – Gráfico de dispersão entre o “Preço total médio” e “Classe” para a Subamostra 3.	90
Figura 28 – Distribuição geográfica dos imóveis de certificação LEED.	91
Figura 29 – Gráfico de barras com a frequência por agrupamento de região para a Subamostra 3.	91
Figura 30 – Gráfico de aderência que representa os preços observados <i>versus</i> valores estimados pelo Modelo 1.....	94
Figura 31 – Gráfico de barras que ilustra o impacto em termos de valor de aluguel que edifícios não certificados teriam na condição hipotética de obterem certificação LEED, estimativas realizadas com base no Modelo 1.....	97
Figura 32 – Gráfico de aderência que representa os preços observados <i>versus</i> valores estimados pelo Modelo 2.....	99
Figura 33 – Gráfico de barras que ilustra o impacto em termos de valor de aluguel que edifícios não certificados teriam na condição hipotética de obterem certificação LEED, estimativas realizadas com base no Modelo 2.....	101
Figura 34 – Gráfico de aderência que representa os preços observados <i>versus</i> valores estimados pelo Modelo 3.....	103
Figura 35 - Gráfico de barras que ilustra o impacto em termos de valor de aluguel que edifícios certificados teriam se obtivesse mais 10 pontos no processo de certificação LEED, estimativas realizadas com base no Modelo 3.....	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Prêmios médios de aluguéis identificados pela literatura para edifícios comerciais com certificação LEED no mercado dos Estados Unidos.	32
Quadro 2 – Classificação dos métodos de análise segundo a raiz de valoração.	38
Quadro 3 - Tabela geral de análise de variância para testar a significância de regressão linear múltipla.	53
Quadro 4 – Variáveis estudadas na pesquisa.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores gerais do mercado de edifícios de escritório para locação, por cidade e perfil de edifício.....	61
Tabela 2 – Estatística descritiva para as principais variáveis estudadas, por subamostra.....	70
Tabela 3 – Medidas de posição e dispersão das variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 1.	75
Tabela 4 – Medidas de posição e dispersão das variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 2.	82
Tabela 5 – Medidas de posição e dispersão das variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 3.	87
Tabela 6 – Ajuste estatístico do Modelo 1.	95
Tabela 7 – Ajuste estatístico do Modelo 2.	100
Tabela 8 – Ajuste estatístico do Modelo 3.	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CV	Coefficiente de Variação
COVID-19	Corona Vírus Disease 19
EEL	Edifícios de Escritórios para Locação
EUA	Estados Unidos da América
GBC Brasil	<i>Green Building Council Brasil</i>
HQE	Haute Qualité Environnementale
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPTU	Imposto Predial e Território Urbano
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MCDDM	Método Comparativo Direto de Dados de Mercado
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
OLS	<i>Ordinary Least Squares</i>
PIB	Produto Interno Bruto
SQE	Soma dos Quadrados dos Erros
SQR	Soma dos Quadrados da Regressão
SQT	Soma dos Quadrados Total
USGBC	United States Green Building Council
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Contextualização	18
1.2	Justificativa	21
1.3	Objetivos	23
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	23
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	23
1.4	<i>Estrutura do trabalho</i>	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	Construção sustentável	25
2.1.1	<i>Principais vantagens percebidas por investidores e usuários</i>	25
2.1.2	<i>Principais sistemas de certificação de sustentabilidade</i>	26
2.2	Aspectos relacionados às certificações de sustentabilidade de edifícios de escritórios para locação	29
2.3	Princípios para análise de valor de bens imóveis	33
2.3.1	<i>O mercado imobiliário</i>	34
2.3.2	<i>Conceitos de valor</i>	36
2.3.3	<i>Expressões de valor</i>	37
2.4	Fundamentos do método comparativo direto de dados de mercado	40
2.4.1	<i>Análise exploratória dos dados</i>	41
2.4.2	<i>Construção de modelos de regressão linear</i>	41
2.4.3	<i>Validação dos modelos e interpretação dos resultados</i>	44
2.4.3.1	<i>Verificação dos pressupostos básicos do modelo de regressão</i>	44
2.4.3.2	<i>Análise do poder de explicação do modelo</i>	48
2.4.3.3	<i>Análises gráficas</i>	49
2.4.3.4	<i>Teste de significância individual dos parâmetros</i>	50
2.4.3.5	<i>Teste de significância do modelo</i>	52
2.4.3.6	<i>Verificação de pontos atípicos</i>	53
2.4.3.7	<i>Verificação da adequação teórica e lógica do modelo</i>	56
3	METODOLOGIA	58
3.1	Formulação das hipóteses	58
3.2	Área de estudo e conjuntura do mercado	59
3.3	Pesquisa de mercado	63
3.4	Dados utilizados e características gerais da amostra	64
3.4.1	<i>Subamostra 1: Edifícios corporate</i>	64
3.4.2	<i>Subamostra 2: Edifícios corporate de alto padrão</i>	66
3.4.3	<i>Subamostra 3: Edifícios certificados</i>	66
3.5	Definição das principais variáveis testadas	66
3.6	Características gerais da amostra	69
3.7	Processamento e análise dos dados	72
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
4.1	Análise exploratória do conjunto de dados	74

4.1.1	Análise exploratória da Subamostra 1	74
4.1.1.1	<i>Análise das variáveis quantitativas e proxy da Subamostra 1</i>	75
4.1.1.2	<i>Análise das variáveis qualitativas da Subamostra 1</i>	78
4.1.2	Análise exploratória da Subamostra 2	82
4.1.2.1	<i>Análise das variáveis quantitativas e proxy da Subamostra 2</i>	82
4.1.2.2	<i>Análise das variáveis qualitativas da Subamostra 2</i>	84
4.1.3	Análise exploratória da Subamostra 3	86
4.1.3.1	<i>Análise das variáveis quantitativas e proxy da Subamostra 3</i>	86
4.1.3.2	<i>Análise das variáveis qualitativas da Subamostra 3</i>	89
4.2	Especificações dos modelos de regressão inferidos	92
4.2.1	Modelo 1: Edifícios corporate	92
4.2.1.1	<i>Aspectos relacionados à construção do Modelo 1</i>	92
4.2.1.2	<i>Estatísticas e interpretações do Modelo 1</i>	94
4.2.2	Modelo 2: Edifícios corporate de alto padrão	97
4.2.2.1	<i>Aspectos relacionados à construção do Modelo 2</i>	98
4.2.2.2	<i>Estatísticas e interpretações do Modelo 2</i>	99
4.2.3	Modelo 3: Edifícios certificados	101
4.2.3.1	<i>Aspectos relacionados à construção do Modelo 3</i>	102
4.2.3.2	<i>Estatísticas e interpretações do Modelo 3</i>	103
4.3	Análise e discussão dos resultados	106
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
	REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

É de saber comum que as atividades humanas afetam significativamente as características sociais e ambientais do planeta. Atualmente, sob a ótica dos impactos ambientais, a poluição desencadeia graves problemas na saúde mundial, esse fato está intrinsecamente relacionado à emissão de gases poluentes, consumo excessivo de energia, predominância da utilização de recursos naturais e outros fatores indiretos.

Outro aspecto que soma ao conceito de sustentabilidade é a temática social. Com o acelerado crescimento industrial, comercial, de serviços e, de modo consequente, da população urbana, associado à falta de preparo estrutural de algumas cidades, observam-se problemas com saúde, educação, transporte, segurança e habitação, comprometendo questões relacionadas à qualidade de vida e bem-estar da população (HONDA, 2016).

Em resposta aos impactos ambientais e sociais, diversas soluções vêm sendo estudadas e implantadas pelos diversos setores que movimentam e governam as atividades econômicas de um país. O setor da construção civil, por exemplo, tem estudado constantemente sobre aspectos relacionados à redução de resíduos, reciclagem de materiais, redução de impacto na fabricação de materiais, durabilidade das construções, redução de consumo, aproveitamento energético etc. (ALBAALI *et al.*, 2021; BENTO, 2016; GAILE *et al.*, 2021; GUIGNONE, 2020; TORRAL, 2020).

No contexto de construções sustentáveis, frequentemente é utilizado o termo “*green buildings*” (edifícios verdes) para referir-se às construções que, em algum nível, atendem aos princípios sustentáveis. Jasimin e Ali (2014) mencionam que a solução da sustentabilidade na construção de edifícios verdes contempla a consideração de fatores ambientais, sociais e econômicos ao longo de seu ciclo de vida. Tal percepção está fundamentada no conceito de *Triple Bottom Line* (Tripé da Sustentabilidade), introduzido por Elkington (1994), em um artigo que relata as primeiras percepções sobre o “consumismo verde” e movimentações empresariais em busca da integração com o aspecto ambiental, social e econômico.

A demanda por produtos verdes tem crescido desde então, inclusive na indústria da construção civil. Países com mercado imobiliário mais maduro, como EUA, Reino Unido, Austrália, Europa, Japão e Coréia, vêm avançando nas construções sustentáveis desde a década de 90. Economias também consideradas grandes como China, Índia e outras emergentes como

Vietnã e Oriente Médio também estão tomando iniciativas para incorporar soluções verdes nos empreendimentos (ISMAIL; MAJID, 2014).

Em algumas cidades, a obtenção de certificações de sustentabilidade para as novas construções passa a ser uma exigência governamental. A prefeitura de Kuala Lumpur, capital da Malásia, por exemplo, passou a exigir que todo edifício comercial a ser construído deve atender aos requisitos de sustentabilidade, comprovado através de uma certificação (JASIMIN; ALI, 2014; ISMAIL; MAJID, 2014).

As certificações ambientais ou de sustentabilidade, portanto, podem ser entendidas como mecanismos criados para avaliar se um dado empreendimento, usualmente envolvendo um edifício, responde à agenda ambiental e de sustentabilidade de um local, em um dado momento, através da definição de indicadores, critérios de desempenho e categorias de preocupações e requisitos (COMITÊ AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE, 2009).

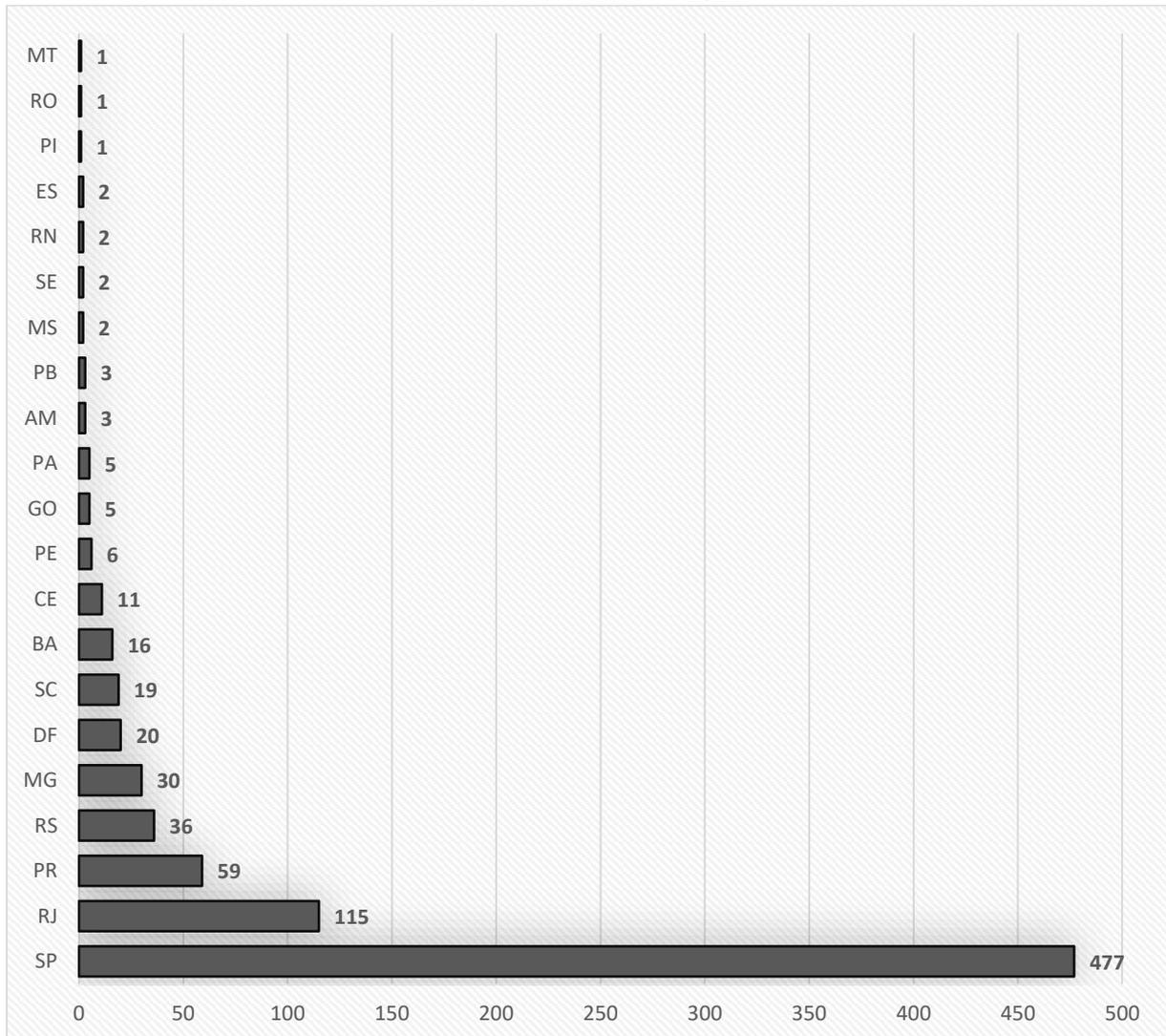
Dentre os principais sistemas de certificação do mundo, encontra-se o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), sistema concedido pela organização *United States Green Building Council* (USGBC), cujos critérios prometem avaliar objetivamente a sustentabilidade dos mais diversos tipos de empreendimentos em diversos países, inclusive no Brasil, pela *Green Building Council* Brasil (GBC Brasil).

No âmbito nacional, um outro sistema que se destaca é a Alta Qualidade Ambiental (Aqua), adaptado pela Fundação Vanzolini no Brasil, com base no método francês HQE, cuja primeira certificação foi registrada em 2009 (HONDA, 2016; RABBANI; MOCOCK; SILVA, 2013). Outros sistemas nacionais como o Procel Edifica (iniciativa conjunta da Procel e da Eletrobrás, com ênfase na eficiência energética de edifícios) e o Selo Casa Azul (iniciativa da Caixa Econômica Federal, destinado a empreendimentos habitacionais) foram implementados, sendo as iniciativas nacionais de maior relevância no Brasil.

Destaca-se que tais sistemas de avaliação de sustentabilidade, possuem adesão voluntária para a maioria dos tipos de empreendimentos no Brasil, o que contribui para justificar o pequeno alcance nacional, principalmente no que diz respeito às construções com vocação residencial. Tomando como exemplo a certificação LEED, por ter maior representatividade no território nacional, apresenta-se na Figura 1 um panorama dos certificados registrados pela GBC Brasil até setembro de 2022.

Observa-se que, dos 816 empreendimentos com certificação LEED no Brasil, 477 (58%) estão localizados no Estado de São Paulo e 115 (14%) no Estado do Rio de Janeiro, evidenciando uma significativa concentração geográfica da absorção de construções sustentáveis por parte do mercado.

Figura 1 – Gráfico de barras horizontais que apresenta o total de certificações LEED por Estado do Brasil em setembro de 2022.



Fonte: Adaptado de GBC Brasil (2022a).

Por outro lado, os estados supracitados apresentam um considerável nível de maturidade no que tange ao mercado de edifícios corporativos com princípios sustentáveis. De acordo com a GBC Brasil (2022b), os edifícios com certificação LEED representam 36% (24%) do estoque de lajes corporativas em SP (RJ).

Considerando o caráter voluntário dessas certificações, entende-se que os empreendedores (construtoras e incorporadoras), em algum nível, percebem essa demanda advinda dos consumidores, de modo que optam por investir nas características sustentáveis.

Dentre as principais vantagens percebidas pelo consumidor, destacam-se àquelas relacionadas aos aspectos econômicos, fundamentalmente no que diz respeito à potencial valorização do imóvel refletida nos preços de venda e aluguel do ativo – além da possível diminuição da vacância e da volatilidade dos preços praticados -- o que pode, de certa forma,

justificar uma percepção de oportunidade por parte dos investidores e empreendedores, oportunidade esta supostamente atrelada às características sustentáveis.

Por outro lado, muitos edifícios certificados são substancialmente mais novos, maiores, mais altos, superiores em relação à qualidade, com maiores áreas de terreno e mais concentrados em locais de luxo do que a maioria dos outros edifícios (REICHARDT *et al.*, 2012; COSTA *et al.*, 2018; ROBINSON; MCALLISTER, 2015), por consequência, tendem a ser ofertados à preços maiores. Tal constatação evidencia uma dificuldade em determinar se a suposta vantagem econômica está exclusivamente (ou predominantemente) relacionada às características verdes dos empreendimentos, ou se apenas refletem as condições favoráveis supracitadas.

Na prática, a modelagem de regressão linear, suportada pela teoria dos preços hedônicos, tem sido a técnica frequentemente utilizada para estimar essas diferenças e quantificar a contribuição média de cada característica na formação de preço dos imóveis, como pode ser observado, por exemplo, em Costa *et al.*, (2018), Surmann, Brunauer e Bienert (2015), Fuerst e Mcallister (2011a).

1.2 Justificativa

Apesar de existirem notáveis benefícios socioambientais advindos da sustentabilidade, o mercado imobiliário funciona em um ambiente capitalista, onde qualquer operação deve apresentar suporte em uma previsão de viabilidade econômico-financeira. Em sua pesquisa, Leite Júnior (2013) constatou que a maior parte dos empreendimentos certificados analisados contabilizaram custos iniciais adicionais quando comparados com edifícios similares. Segundo seus resultados, os custos adicionais são as principais dificuldades apontadas pelos profissionais brasileiros.

Seja pelo “custo da inovação”, seja pelo “custo da certificação”, o custo adicional para qualificar um edifício como sustentável posiciona-se como uma barreira, situação que conduz ao empreendedor (ou investidor) um maior nível de exposição na operação (HONDA, 2016). Essa constatação não se limita ao Brasil, mas também é observada em mercados estrangeiros, como mencionado em estudos como os de Fuerst e Mcallister (2011a), Goh *et al.* (2021) e Jasimin e Ali (2014).

Aqui fica evidente a necessidade de entender a ligação entre o custo de produção e o valor de mercado dos ativos com características sustentáveis, de modo que, no contexto imobiliário em estudo, empreendedores e investidores possam ter suporte para suas tomadas de decisões. Os eventuais custos adicionais podem inviabilizar o empreendimento, já que não

podem ser meramente absorvidos pelos incorporadores. Por outro lado, não devem simplesmente refletir em maiores preços, uma vez que a precificação depende, dentre outros fatores, do valor de mercado do bem, do perfil do consumidor e da expectativa de absorção pelo mercado. Assim, é necessário entender se os custos mais elevados se traduzem em valores, no mínimo, igualmente mais elevados.

Como brevemente apresentado na contextualização deste trabalho, o mercado de construções sustentáveis ainda é muito incipiente, sobretudo no tocante ao Estado de Pernambuco. Tomando como referência a certificação LEED, como apresentado na Figura 1, Pernambuco dispõe apenas de 6 (seis) empreendimentos certificados, dos quais apenas 3 (três) são edifícios, o que configura uma insuficiência de dados para uma análise de mercado com base em uma abordagem de comparação com elementos semelhantes.

Diante da hipótese de que o fator econômico exerce papel fundamental no desenvolvimento sustentável, percebe-se a necessidade de estudos que busquem entender como os edifícios com princípios sustentáveis respondem sobre a perspectiva de valor. De maneira que os empreendedores tenham informações claras e fundamentadas sobre o nível de impacto das práticas sustentáveis no valor de seus ativos, o que pode acelerar a adoção de tais práticas sustentáveis no mercado imobiliário, ou pelo menos, dar suporte para um avanço consciente.

Alguns estudos internacionais apresentam valiosas contribuições sobre o tema (exemplo: FUERST; MCALLISTER, 2011a, 2011b; REICHARDT *et al.*, 2012; ROBINSON; MCALLISTER, 2015), mas dado a característica heterogênea e dinâmica do mercado imobiliário, são pesquisas que se limitam a contextos locais e temporais específicos, de tal modo que suas descobertas não podem ser amplamente generalizadas. A literatura nacional com esse enfoque é escassa. Costa *et al.* (2018) introduzem o assunto no Brasil, no entanto, estudos atualizados são sempre necessários em um mercado que continua a mudar (ROBINSON; MCALLISTER, 2015).

À vista disso, com base em uma abordagem de valor, espera-se que este estudo contribua com a atual compreensão do funcionamento do mercado de edifícios de escritórios corporativos, que atendem requisitos de sustentabilidade, de maneira a entender como o mercado está “precificando” esse tipo de empreendimento.

Para o desenvolvimento da presente dissertação, frente a indisponibilidade de dados locais para a análise, optou-se por estudar edifícios com e sem certificação LEED no mercado da cidade de São Paulo - SP, por encontrar-se em um nível de maturidade que permita uma análise comparativa, suportada por ferramentas da estatística inferencial. Portanto, o problema de pesquisa geral pode ser expresso pelas seguintes perguntas norteadoras: (i) a certificação

LEED é uma característica importante para a formação do preço de aluguel no mercado de escritórios de São Paulo/SP? (ii) o nível de certificação alcançado no processo de certificação LEED tem efeito sobre o preço de aluguel no mercado em estudo?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Analisar como os escritórios de edifícios corporativos com certificação LEED, localizados na cidade de São Paulo – SP, comportam-se – e são impactados -- em relação aos seus valores de mercado para locação, em comparação aos edifícios semelhantes, mas sem a referida certificação.

1.3.2 Objetivos específicos

- Obter uma amostra representativa com informações sobre ofertas de aluguéis de escritórios em edifícios corporativos com e sem certificação LEED;
- Tratar e analisar os dados obtidos, através de ferramentas estatísticas, para observar as características principais dos imóveis constituintes da amostra, bem como entender aspectos gerais do mercado a ser estudado;
- Construir modelos de regressão linear múltipla com a proposta de inferir o comportamento médio do mercado de edifícios de escritórios para locação, situados em regiões específicas da cidade de São Paulo/SP;
- Testar estaticamente as variáveis que captam o efeito da certificação no valor médio de locação dos edifícios, buscando investigar se os edifícios possuem preços mais elevados por serem certificados e se o nível de pontuação atingida no processo de certificação é um atributo significativamente relevante para a explicação da variação dos preços.

1.4 Estrutura do trabalho

Os elementos textuais desta dissertação foram organizados em cinco capítulos, sumariamente descritos a seguir.

No presente capítulo (Capítulo 1), consta a introdução da pesquisa, contendo a contextualização e a justificativa do tema, seguido dos objetivos do estudo e da descrição da estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 é subdividido em seções que exploram objetivamente a base teórica utilizada no desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, alguns aspectos gerais sobre a construção sustentável e os sistemas de certificação de sustentabilidade são apresentados na seção 2.1, dando ênfase ao sistema de rotulação LEED aplicado em edifícios. A seção 2.2 expõe alguns pontos importantes relatados na literatura existente sobre a relação entre as certificações de sustentabilidade e os valores de aluguéis (ou de venda) de escritórios em edifícios corporativos. Nesta seção estão apresentados estudos nacionais e internacionais que auxiliam na compreensão de como as características associadas à certificação da construção podem refletir em preços de mercado mais elevados. Na sequência, temas relacionados ao mercado imobiliário e aos princípios básicos da análise de valor de bens imóveis são apresentados nas seções 2.3 e 2.4 – ambas seções resumem os principais fundamentos teóricos que subsidiam as análises do mercado imobiliário desenvolvida nesta dissertação.

O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada para o desenvolvimento da pesquisa, sendo apresentadas as hipóteses, a delimitação e as características gerais da área de estudo, os critérios adotados para a seleção dos dados de mercado, as definições das variáveis utilizadas na modelagem, as características gerais das subamostras construídas e as técnicas de processamento e análise dos dados empregados.

No Capítulo 4 estão explicitados os resultados do presente estudo, sendo a seção 4.1 destinada à apresentação dos achados decorrentes da análise exploratória das três subamostras construídas, inclusive detalhando as características gerais dos dados e analisando o comportamento da variável explicada com cada variável explicativa; enquanto a seção 4.2 especifica os modelos inferidos com base nas três subamostras consideradas, detalhando suas características e discutindo o comportamento de mercado que estão refletindo. Nesta seção também estão apresentados os resultados dos testes de hipóteses, explorando o comportamento das variáveis que captam o efeito da certificação na formação de preço dos aluguéis no mercado em estudo. Em conclusão do capítulo, a seção 4.3 discute os resultados apresentados, contendo comparações com os obtidos por outros autores de estudos nacionais e internacionais.

Por último, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais, incluindo as conclusões do trabalho, a utilidade do estudo e as sugestões para futuras pesquisas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os principais conceitos relacionados ao tema da pesquisa. Inicialmente, serão apresentados aspectos gerais sobre sustentabilidade dos edifícios, desenvolvendo um breve panorama dos avanços alcançados até os dias atuais, sobretudo no tocante ao sistema de certificação LEED.

Posteriormente, serão explorados aspectos específicos sobre as certificações no mercado de Edifícios de Escritórios para Locação (EEL), visando descobrir como as certificações de sustentabilidade podem se traduzir em preços de locação mais elevados.

Por fim, será desenvolvida uma abordagem introdutória sobre o mercado imobiliário, seguida da apresentação de alguns princípios básicos para análise de valor de bens imóveis, finalizando o capítulo com alguns conceitos estatísticos fundamentais para a análise inferencial realizada nesta dissertação.

2.1 Construção sustentável

Para Duplessis (2002), uma construção é considerada sustentável quando as premissas do desenvolvimento sustentável permeiam todo o seu ciclo de vida, desde a extração e beneficiamento das matérias-primas, passando pelo planejamento, projeto e construção de edifícios e infraestruturas, até o fim de sua vida útil, onde ocorre a desconstrução com a devida gestão dos resíduos de demolição. No entanto, a autora reforça que o conceito de construção sustentável pode ser analisado por diversas perspectivas e, portanto, não há um consenso para a questão, sendo objeto de um debate internacional mais amplo.

Assim, evidencia-se que a sustentabilidade das construções pode ser entendida através de uma abordagem mais profunda, levando em consideração uma série de fatores relacionados não apenas aos impactos diretos e/ou indiretos da construção no meio ao qual está inserida, mas também às consequências de um conjunto de ações em questões globais como pobreza, saúde, fome, degradação ambiental etc.

2.1.1 *Principais vantagens percebidas por investidores e usuários*

Além de todos os benefícios sociais e ambientais que, por si só, já deveriam ser suficientes para a humanidade buscar o avanço sustentável das construções, diversos estudos apontam vantagens diretas e indiretas que são continuamente percebidas no uso de edifícios verdes. Como consequência de contribuições diretas da sustentabilidade, pode-se destacar o

prolongamento do ciclo de vida e vida útil das construções, redução de custos operacionais e ambiente de trabalho mais saudável.

Notadamente, construções sustentáveis apresentam níveis de qualidade mais elevados, de modo que constantemente aspectos como uso de materiais adequados e mão de obra qualificada são almejados desde a concepção inicial do projeto. Aspectos como este culminam em construções mais duráveis, o que segundo Jasimin e Ali (2014), melhora os rendimentos de investimentos em edifícios verdes, em função do maior tempo potencial de exploração da edificação.

A maior eficiência energética e hídrica, que acaba resultando na economia no consumo de energia e água, além do descarte e redução inteligente de resíduos são algumas das características listadas por Eichholtz, Kok e Quigley (2010) para argumentar a redução de custos operacionais de edificações sustentáveis.

A qualidade do ambiente interno da edificação é uma característica fundamentalmente importante para a sustentabilidade. Diversos relatos são registrados pela literatura que apontam para prejuízos na saúde de ocupantes de edificações com má qualidade do ar interior. Too e Too (2011) mencionam que é comum constatar usuários com dores de cabeça, irritações nos olhos, tonturas e fadigas. Frequentemente problemas como estes são decorrentes, por exemplo, de ineficiências de ventilação e iluminação do ambiente, bem como do uso de produtos que em algum nível são nocivos à saúde. Muitas dessas questões são naturalmente resolvidas como consequência se um ambiente mais sustentável, melhorando, inclusive a produtividade dos trabalhadores (HEERWAGEN *et al.*, 2004).

Além desses fatores, a maior percepção de moral da equipe (MILLER E BUYS, 2008), a possibilidade de obter vantagens de marketing (FUERST; MCALLISTER, 2011a; JASIMIN; ALI, 2014), o potencial aumento nos preços de venda e aluguel (COSTA *et al.*, 2018; FUERST; MCALLISTER, 2011a) e as eventuais taxas menores de vacância e volatilidade nos preços (JASIMIN; ALI, 2014) são alguns dos benefícios associados às construções sustentáveis por diversos pesquisadores. Tais características, de ordem econômica, serão discutidas com maior profundidade no item 2.2 desta dissertação.

2.1.2 Principais sistemas de certificação de sustentabilidade

De acordo com o Comitê Avaliação de Sustentabilidade (2009, p.3), os sistemas de certificação e avaliação de sustentabilidade “não são os únicos instrumentos para a identificação dos caminhos para a promoção da sustentabilidade no ambiente construído”. No entanto, levando em consideração as rigorosas exigências prescritivas que os empreendimentos são

submetidos no processo de obtenção das principais certificações existentes, espera-se uma elevada correlação entre a sustentabilidade real alcançada (em seu conceito mais amplo e teórico) e a sustentabilidade efetivamente registrada pela instituição certificadora.

Em nível mundial, o primeiro sistema de avaliação da sustentabilidade para edifícios surgiu na década de 90. Desenvolvido pelo *Building Research Establishment* (BRE), o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) é um esquema internacional que avalia e certifica edifícios individuais, comunidades e projetos de infraestrutura, em vários estágios do ciclo de vida do ambiente construído, desde o projeto e construção até a operação e reforma (BREEAM, 2021).

Ainda no início da década de 90, surgiu a *Haute Qualité Environnementale* (HQE), certificação francesa concedida a projetos de planejamento urbano e de construção e gestão de edifícios (HQE, 2016), que veio a se tornar uma das mais reconhecidas mundialmente. Em 1998, nasceu nos EUA a *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), o sistema de classificação de edifícios verdes que atualmente é o mais amplamente usado no mundo (USGBC, 2022).

A partir daí, várias outras medidas para avaliação de sustentabilidade foram desenvolvidas e gradativamente adotadas no mundo, inclusive no Brasil. A certificação LEED é a de maior representatividade a nível nacional (COSTA *et al.*, 2018), com a primeira certificação no país emitida no ano de 2007 (HONDA, 2016). Atualmente, existem cerca de 816 empreendimentos certificados em todo país, em diversos setores da economia, conforme dados disponibilizados pela GBC Brasil (2022a).

A criação do LEED deu-se início durante a crescente demanda por criar edifícios mais eficientes que se evidenciou na década de 90. Nesse contexto, houve a fundação da *United States Green Building Council* (USGBC), que veio a desenvolver a primeira versão do LEED (v1.0) em 1998.

Desde então, a referida certificação vem crescendo e amadurecendo em seus critérios, ampliando sua abrangência para outras regiões e setores do mercado. Ao longo do tempo versões foram sendo lançadas, com o propósito de elevar o nível dos edifícios verdes, de modo que atualmente a certificação encontra-se na sua versão “v4.1”, que considera as lições aprendidas com as versões anteriores e integram melhorias que visam tornar o LEED um sistema mais inclusivo e com critérios que permitem examinar mais profundamente os edifícios existentes, projetos residenciais e cidades para desenvolver soluções que atendem a mercados exclusivos (USGBC, 2022).

No Brasil, a certificação é implementada pela *Green Building Council Brasil* (GBC Brasil), que possui como missão a transformação sustentável da indústria da construção civil, garantindo o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico, impactos socioambientais e uso de recursos naturais (GBC Brasil, 2022c).

De acordo com a GBC Brasil (2022c), o processo de certificação LEED passa pelas etapas de escolha da tipologia da certificação, do registro do projeto e posterior auditoria documental do projeto e da obra a ser realizada. Existem 4 tipologias possíveis, cada tipologia é analisada em 8 áreas, conforme apresentado na Figura 2.

Na medida em que o empreendimento aplica os critérios estabelecidos pelo sistema LEED, os pontos são contabilizados e, ao final, o empreendimento é classificado em *Certified*, *Silver*, *Gold* ou *Platinum*, conforme a Figura 3.

Figura 2 – Tipologias das certificações LEED.



Fonte: Adaptado de GBC Brasil (2022c).

Figura 3 – Níveis de certificação LEED.



Fonte: GBC Brasil (2022c).

2.2 Aspectos relacionados às certificações de sustentabilidade de edifícios de escritórios para locação

Entendendo que o valor de um bem econômico está atrelado ao juízo que seus consumidores fazem sobre a potencial importância que o referido bem teria para o atendimento de suas necessidades, pode-se conjecturar que o rótulo de sustentabilidade obtido por um edifício, por si só, não refletiria qualquer impacto direto em termos de valor de mercado¹. Na verdade, em regiões onde a construção de edifícios certificados é facultativa, aspectos como a relação entre demanda e oferta são essencialmente guiados pelos participantes do mercado, de tal maneira que investidores e usuários precisam vislumbrar como, e até que ponto, a sustentabilidade representada pela certificação pode interferir nas questões econômicas dos empreendimentos.

Na prática, o rótulo tende a funcionar como um sinal de que aquele bem passou por uma série de requisitos padronizados e que por esse motivo possui determinadas características específicas. A expectativa do investidor, portanto, é que tais características se convertam em benefícios/vantagens reais, de modo que, os consumidores visando esses benefícios, passem a estar dispostos a se desprenderem de mais recursos financeiros na negociação.

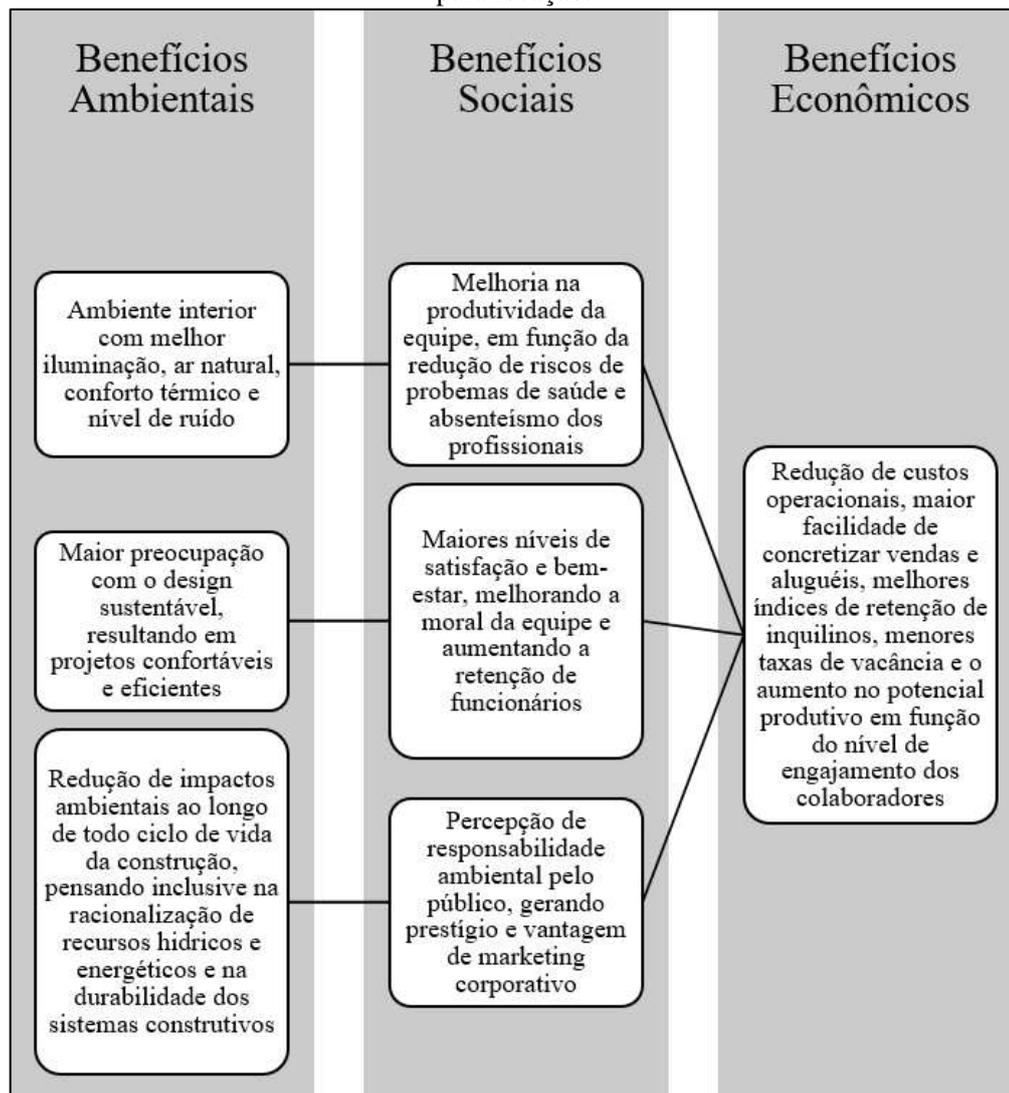
De acordo com Taruttis e Weber (2022), recursos como telhado verde, painéis fotovoltaicos, materiais de isolamento e proteção solar, soluções que favorecem a iluminação e ventilação natural do ambiente interno, sistemas que se propõem a economizar e reutilizar água etc., são capazes de aumentar o valor de mercado dos empreendimentos, apesar de, *a priori*, contribuírem para o aumento do custo inicial de construção em relação aos edifícios tradicionais. Tais atributos são comumente exigidos pelas instituições certificadoras e podem

¹ Os conceitos de valor e de suas diferentes expressões serão mais bem trabalhados no item 2.3 desta dissertação. Por ora, o valor de mercado pode ser entendido como a média do que se pratica no mercado vigente.

ser importantes para as necessidades de determinados usuários (ou empresas), sejam por interesses econômicos, sociais ou ambientais.

Sobre como esses três pilares da sustentabilidade podem se converter em benefícios reais aos edifícios de escritórios para locação, Jasimin e Ali (2014) discutem os aspectos sumarizados e relacionados na Figura 4 abaixo. Cabe salientar que a maioria dos estudos que subsidiam a relação entre os benefícios elencados na Figura 4 são de origem qualitativa, na verdade Jasimin e Ali (2014) reúnem de forma sistemática relatos de outros autores. No entanto, em que pese o caráter qualitativo, os benefícios elencados sinalizam as possíveis percepções dos participantes do mercado, podendo ser um ponto de partida para outras investigações de abordagem quantitativa.

Figura 4 – Relação entre os benefícios sustentáveis aplicados ao contexto de edifícios de escritórios para locação.



Fonte: Adaptado de Jasimin e Ali (2014).

A Figura 4 sugere que aspectos ambientais impactam nas questões sociais de uso do edifício, resultando na possibilidade de obtenção de benefícios econômicos. A título de explicação: a eficiência energética de um edifício, além dos benefícios ambientais (redução do impacto ambiental) e sociais (melhoria do ambiente interno), está associada a uma percepção de responsabilidade ambiental que pode conferir vantagem de marketing às empresas ocupantes. Dessa forma, a simples racionalização energética pode contribuir na redução das despesas operacionais do empreendimento, ao mesmo tempo que a vantagem de marketing associada acaba atraindo as empresas que se preocupam com a imagem corporativa. Assim, a demanda de escritórios em edifícios com tais características pode aumentar, resultando no fenômeno de diminuição das taxas de vacância e aumento dos preços de locação.

É evidente que um conjunto complexo de fatores (muitos não mencionados) tendem a participar de forma interativa nesse comportamento. Por exemplo, a natureza do contrato firmado entre os inquilinos e beneficiários pode influenciar na atratividade do negócio. Os inquilinos com contratos de aluguel líquido pagariam os custos operacionais diretamente e, portanto, devem ser atraídos para instalações com propostas de custos mais baixos, ao passo que os inquilinos com contratos de aluguel bruto, a princípio, não se beneficiariam diretamente de tais economias (FUERST; MCALLISTER, 2011a).

Ainda que não seja objeto de estudo desta dissertação, um outro viés de benefício econômico que tais atributos sustentáveis podem surtir efeito é no preço de venda das propriedades. Seguindo a mesma linha de raciocínio, um imóvel com despesas operacionais reduzidas e expectativa de aluguéis mais altos ou ocupação melhorada, tem maiores chances de ser vendido por preços maiores (WILEY; BENEFIELD; JOHNSON, 2010). A expectativa de valores maiores para edifícios com essas características fica mais evidente ao analisar sob ótica de valoração com base na projeção de resultados futuros (método da renda²), onde a maximização dos lucros (menores custos e maiores aluguéis mensais) impacta positivamente no fluxo de caixa, elevando a estimativa de valor do empreendimento.

A análise de valor dos edifícios com certificação de sustentabilidade é recentemente explorada pela literatura. Embora o mercado de edifícios verdes tenha apresentado um crescimento rápido, com uma considerável adesão voluntária de certificações de sustentabilidade por empreendimentos novos ou usados em várias regiões do mundo, a maioria dos estudos com essa temática datam dos últimos 20 anos.

² Definido no subitem 2.3.3 desta dissertação.

No geral, os pesquisadores inferem modelos³ que respondem com valores maiores para edifícios com certificações de sustentabilidade. No entanto, é comum encontrar “prêmios verde”⁴ diferente entre os estudos, mesmo entre aqueles da mesma região. Tomando como referência os EUA (por apresentar uma quantidade maior de artigos que estudam o mercado americano), é possível encontrar significativas variações entre as descobertas dos autores, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Prêmios médios de aluguéis identificados pela literatura para edifícios comerciais com certificação LEED no mercado dos Estados Unidos.

Prêmio	Período considerado	Autores
15,2% a 17,3%	janeiro de 2008	Wiley, Benefield e Johnson (2010)
2,9% a 3,9%	2006 a 2009	Reichardt et al. (2012)
3,0% a 9,0%	2004 a 2007	Eichholtz, Kok e Quigley (2010)
5,0%	4º trimestre de 2008	Fuerst e Mcallister (2011a)

Fonte: Autor.

As discrepâncias destacadas não necessariamente representam divergências sobre o efetivo impacto da certificação no valor dos imóveis entre os autores, mas podem apenas refletir condições diferentes de estudo. Por exemplo: Wiley, Benefield e Johnson (2010) consideram uma amostra de 7.308 edifícios, constituída por dados disponíveis para locação na data em que foram consultados (janeiro de 2008), distribuídos em 46 regiões diferentes dos EUA, de modo que suas estimativas refletem o retrato instantâneo do mercado; Reichardt *et al.* (2012) consideram apenas imóveis contidos nos 10 maiores mercados metropolitanos dos EUA, formando uma amostra com 7.140 edifícios com informações de preços de locação registradas trimestralmente (de 2006 a 2009), o que permitiu estimar a evolução dos prêmios por período; Fuerst e Mcallister (2011a) consideram uma amostra com 24.479 edifícios, distribuídos em 81 áreas metropolitana dos EUA, coletados no quarto trimestre de 2008.

Embora os autores usem variáveis para controlar as diferenças de atributos como idade, localização, padrão construtivo, perfil do empreendimento, tamanho dos escritórios, altura do edifício etc., as divergências significativas observadas entre eles podem estar relacionadas às

³ A NBR 14653-1, define modelo como uma “representação técnica da realidade” (ABNT, 2019, p.15).

⁴ Expressão usualmente utilizada para se referir ao percentual de valorização associado à certificação, o que seria equivalente ao impacto que a variável que representa a certificação tem na resposta de valor do modelo inferido

características diversas dos conjuntos de dados considerados, de modo que os modelos inferidos acabam refletindo o comportamento médio do mercado (ou segmento do mercado) que os autores se propuseram estudar.

No âmbito nacional, Costa *et al.* (2018) encontram prêmios de 4% para uma amostra de 989 observações de escritórios em edifícios de alto padrão (classes AAA, AA e A) no mercado da cidade de São Paulo/SP. Para uma amostra mais ampla, considerando edifícios de todas as classes (AAA, AA, A, BB, B e C), os autores encontram prêmios de 8%. Cabe destacar que suas descobertas se fundamentam em uma amostra com dados históricos, considerando observações de preços pedidos para escritórios do primeiro trimestre de 2010 até o terceiro trimestre de 2014, resultando em um total de 464 e 1033 edifícios no primeiro e no último período de amostragem, respectivamente.

2.3 Princípios para análise de valor de bens imóveis

Analisar valor dos mais variados tipos de bens imóveis tem grande importância para: (i) financiadores, cujos interesses em estimar corretamente o valor está em realizar empréstimos com as garantias necessárias; (ii) investidores, para que seus recursos investidos sejam remunerados de acordo com as suas expectativas; e (iii) empreendedores, como providência para monitorar o desempenho de seus empreendimentos, no que tange às possíveis perdas ou valorizações (ARAÚJO, 2005).

Assim, a Engenharia de Avaliações é amplamente utilizada em diversos mercados, com a premissa de aplicar técnicas confiáveis para suportar a tomada de decisões em operações que envolvam movimentação de capital como aportes financeiros, financiamentos e empréstimos bancários.

Para Dantas (2012), a Engenharia de Avaliações é uma especialidade que reúne conhecimentos na área de engenharia, arquitetura e outras áreas das ciências sociais, exatas e da natureza, com o objetivo de determinar (tecnicamente) o valor de um bem, de seus direitos, frutos e custos, sejam eles imóveis, móveis, máquinas, equipamentos, marcas, patentes, softwares etc.

Nesse contexto, onde a avaliação é tratada como um processo multidisciplinar de estimativa de valor, este tópico apresenta e discute os principais conceitos relacionados à avaliação de imóveis, com o objetivo de abordar a literatura técnico-científica que fundamenta as análises desta pesquisa.

2.3.1 O mercado imobiliário

A NBR 14653-1 define o termo mercado como o “ambiente no qual bens, frutos e direitos são ofertados e transacionados entre compradores e vendedores, mediante um mecanismo de preços” (ABNT, 2019, pg. 5). Portanto, percebe-se que por definição, a existência do mercado requer pelo menos três participantes: os bens, os vendedores e os compradores.

Florencio (2010) menciona que quando se trata de bens imóveis, estes elementos formam o denominado “mercado imobiliário”. O referido autor explica que este mercado possui características próprias em relação a outros bens econômicos, sendo formado por bens singulares, afinal, poucos são os bens que apresentam heterogeneidade, custos de produção, vida útil, tempo de produção e mobilidade espacial similares aos bens imóveis.

Dantas (2012) relata que o mercado imobiliário pode ser subdividido em vários segmentos (ex.: mercado de terrenos, salas comerciais, apartamentos etc.; mercado de locação e de compra e venda), os quais ainda podem ser subdivididos em submercados (ex.: o mercado de locação de salas comerciais de uma determinada região) – na prática, não se trata de mercados exclusivos/independentes, podendo haver interações entre eles.

O mercado imobiliário ainda pode ser dividido em dois grupos de empreendimentos: (i) os empreendimentos imobiliários, aqueles cuja geração de receita é voltada para a venda (ex.: condomínios de casas ou apartamentos residenciais); e (ii) os empreendimentos de base imobiliária, cuja finalidade é a exploração/operação do imóvel a longo prazo (ex.: *shopping centers*, hospitais, hotéis, galpões logísticos etc.).

Em função da sua natureza de ser desenvolvido com o objetivo de gerar renda contínua, os edifícios de escritórios para locação são classificados como empreendimentos de base imobiliária e são os representantes mais expressivos deste segmento de mercado (FLORENCIO, 2018). Nesse contexto, Brito (2018) destaca as características abaixo sobre os EEL:

- Baixa liquidez: rapidez com que um ativo pode ser transformado em caixa, sendo considerada baixa para os bens imobiliários como um todo;
- Complexa precificação: a análise de valor é dificultada em função das particularidades de cada empreendimento (características singulares de modo que cada imóvel é um produto único), associada as conjunturas econômicas, políticas e sociais, além da falta de informações sobre transações efetivamente realizadas;

- Consideráveis custos de transação: corretagem, impostos, taxas cartorárias são exemplos de custos que oneram as transações, sobretudo as de compra e venda;
- Diversidade de custos operacionais: despesas com manutenção, energia, água, esgoto, limpeza, impostos etc.;
- Diversidade de riscos: alterações nas taxas de juros, inflação, alterações de infraestrutura urbana, alterações na legislação, aspectos físicos específicos do edifício etc., são algumas das variáveis que conferem riscos ao setor.

Na realidade, muitas das características listadas, coincidem com muitos ativos imobiliários de uma forma geral. No entanto, os EEL possuem como premissa a significativa atratividade para investidores conservadores, que buscam auferir rendas harmônicas em ciclos longos, aplicando seus recursos em ativos com pretensa estabilidade de valor, conforme evidenciado por Lima Júnior (2014). Inclusive, esses são bons atrativos para os investidores comuns, que acabam capitalizando as construções, permitindo que os incorporadores tenham outras fontes de recursos além do financiamento.

Dentre as diversas características que interferem na formação de preço desse mercado, estão os atributos físicos dos edifícios, sobretudo no que diz respeito à sua qualidade e seu padrão construtivo. Sobre isto, é importante destacar que é comum os edifícios serem classificados através de sistemas de certificação específicos, sendo o mais comum no mercado de EEL brasileiro o emitido pelo Núcleo de *Real Estate* da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), proposto por Veronezi (2004).

O referido sistema objetiva avaliar a qualidade do empreendimento de forma imparcial, reduzindo a subjetividade ao adotar critérios padronizados. Dentre os benefícios de existir um sistema padronizado está a possibilidade de analisar separadamente grupos (estratos) do mercado de edifícios de escritórios mais homogêneos, evitando o uso de informações imprecisas e insuficientes, como estaria sujeita uma análise que trata todo esse mercado como um único bloco (VERONEZI, 2004). Este sistema leva em consideração uma matriz de atributos específicos a serem analisados sob o ponto de vista dos usuários, ao final o edifício recebe uma pontuação e, com base em uma escala específica, é enquadrado nas Classes AAA, AA, A, BBB, BB, B e C.

Além deste, existem outros sistemas desenvolvidos por diferentes agentes do mercado, cada um com critérios individuais. Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos junto à empresa *Buildings*, a qual classifica os edifícios com base em um sistema próprio. Este sistema avalia os edifícios com base em elementos objetivos (onde analisa atributos físicos como tamanho médio dos conjuntos, tamanho da laje corporativa, área locável total do

empreendimento e data de entrega ou *retrofit*) e elementos subjetivos (com base nos quais avalia com notas de 1 a 5 características como especificações técnicas, imagem corporativa e padrão da ocupação). Ao final, o empreendimento é classificado em 6 substratos (AAA, AA, A, BB, B e C), de acordo com a pontuação resultado da avaliação.

2.3.2 *Conceitos de valor*

Inúmeros são os casos em que há necessidade de atribuição de valor a bens econômicos⁵, no entanto, encontra-se na literatura diferentes abordagens sobre o conceito de “valor”. Não é objetivo central desta dissertação aprofundar as interpretações sobre “valor” (bem como sua relação com a formação de preço) desenvolvidas pelas diversas escolas⁶ da economia, portanto, o assunto será abordado com foco nos aspectos gerais que serão tratados ao longo deste trabalho.

Para Menger (2017), o valor é por sua própria natureza algo subjetivo, que depende do juízo que as pessoas fazem sobre a importância que o dispor de um determinado bem escasso tem para a conservação de sua vida ou de seu bem-estar. Entretanto, na prática do mercado imobiliário, é comum utilizar o termo “valor” para se referir a quantia mais provável pela qual um bem seria transacionado nas condições de mercado vigente, a este conceito a ABNT (2019) apresenta a expressão “valor de mercado”.

Dessa forma, Dantas (2012) esclarece que, em um mercado onde eventos de transação resultam da livre negociação entre pessoas conhecedoras do imóvel e do mercado, o valor de mercado de um determinado bem é fornecido pela média de todos os eventos representativos, relativos a bens de mesma natureza. Ademais, na impossibilidade de estudar todos os eventos representativos, recorre-se às estimativas de valor obtidas com base nas médias amostrais destes eventos representativos extraídas deste mercado.

É importante frisar que, enquanto o valor carrega um conceito intangível, o preço possui significado mais pragmático e pode ser entendido como a quantia monetária que define uma

⁵ Menger (2017) introduz a distinção entre bens econômicos e bens não econômicos no conceito de escassez, em uma relação entre demanda e oferta. Em seus textos, expressões como “quantidade insuficiente” ou “demanda de determinado bem maior do que a quantidade disponível do mesmo” são utilizadas para se referir à escassez. Para o autor, “o que distingue bem não econômico de bem econômico é o fato de o atendimento das necessidades humanas não depender da disponibilidade de quantidades concretas do primeiro, mas de quantidades concretas do segundo; assim sendo, o primeiro tem utilidade, ao passo que o segundo, além de utilidade, também tem para nós a importância que denominamos valor.” Para aprofundamento, sugere-se a leitura da clássica obra de MENGER (2017).

⁶ No ramo das ciências sociais, é comum se referir a um conjunto de pensamentos, metodologias e valores como escola.

determinada transação ou expectativa de transação, podendo ser expresso por uma quantia superior ou inferior ao valor de mercado. Dessa forma, o preço não necessariamente é igual ao valor, podendo sofrer flutuações diante das livres negociações características de um mercado real.

Na essência, a variação dos preços é conduzida por inúmeros fatores inerentes às ações e expectativas dos participantes do mercado⁷. Os economistas usualmente formulam estruturas básicas no intuito de facilitar a interpretação de fenômenos complexos de um mercado real. Nesse contexto, um mercado ideal, denominado “mercado de concorrência perfeita”, é aquele: onde os produtos são homogêneos e estão dispostos em quantidade equilibrada com o potencial do mercado; que a quantidade de vendedores e consumidores são grandes o suficiente para que as ações individuais não tenham forças para provocar alterações sobre o preço; que os participantes possuem um conhecimento perfeito do preço do produto no mercado; onde não existem restrições artificiais sobre a formação do preço por indivíduos ou grupos; onde os recursos possuem mobilidade perfeita, inclusive permitindo que empresas possam entrar, sair ou modificar a intensidade de produção no mercado (CUNHA, 2000).

Dantas (2012) explica que apenas em um mercado de concorrência perfeita a formação de valor segue, com curvas bem definidas, a lei da oferta e demanda. Dessa forma, a demanda e a oferta fazem pressões de sentidos opostos nos preços de forma que, no instante onde a quantidade que os consumidores estão dispostos a retirar do mercado é idêntica à quantidade que os produtores estão dispostos a colocar no mercado, o preço assume o denominado “ponto de equilíbrio”, cujo patamar coincide com o valor de mercado do produto em análise.

Assim, tal juízo de valor apresenta natureza volátil, na medida em que as pressões da conjuntura econômica são influenciadas pelos diferentes níveis de oferta e demanda em um mercado real, o valor de um bem parece se alterar a cada momento e a cada transação (LIMA JUNIOR, 1994).

2.3.3 Expressões de valor

Apesar do exposto, o objetivo e a finalidade de um trabalho avaliatório podem conduzir à determinação de valores com características ou significados diferentes. Sobre esse assunto, a ABNT (2019) destaca outras expressões de valor, como o “valor econômico”, o “valor patrimonial”, o “valor em risco”, o “valor especial” etc.

⁷ Entende-se por “participantes do mercado” os indivíduos que demonstram interesse em negociações no mercado, tais como vendedores, compradores, proprietários, locatários, investidores, construtores, incorporadores, credores etc.

Lima Junior (1994) argumenta que na verdade não há diferentes valores na economia. Em vez disso, existem diferentes vetores através dos quais as partes envolvidas numa transação estabelecem juízo sobre a quantia pela qual estariam dispostas a exercer a troca do bem. Portanto, o que na prática acabam denominando de valores diferentes, para o autor supracitado, na realidade se trata de resultados obtidos por mecanismos diferentes de valoração.

Nesse contexto, Amato (2001) classifica os métodos de análise de valor em função da raiz de valoração utilizada para orientar as partes envolvidas em uma negociação, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação dos métodos de análise segundo a raiz de valoração.

Raiz	Método de valoração	Característica
De Custo	Comparativo de Custo de Reprodução de Benfeitorias	Orientado pelo valor pretendido pelo vendedor
De Troca	Comparativo de Dados de Mercado	Orientado pelos valores observados de transações ocorridas no mercado
De Uso	Da Renda	Orientado pelo valor aceito pelo comprador

Fonte: Amato (2001).

Florencio (2018) esclarece que a raiz refere-se à base da fundamentação de valor (princípio) enquanto que o método diz respeito ao mecanismo de cálculo utilizado para a estimativa de valor (técnica). Para o mesmo autor, a análise de valor de empreendimentos deve encontrar suporte apenas em métodos que possuem lastro em alguma raiz de valoração.

Em uma perspectiva geral, a raiz de custo é fundamentada no esforço necessário para a reprodução do bem (AMATO, 2001), cujo juízo de valor do empreendimento estaria associado ao princípio de que nenhum comprador pagará mais do que custaria um ativo de igual utilidade, seja pela compra ou construção (FLORENCIO, 2018). Assim, os métodos baseados nesta raiz, apropriam-se de estimativas dos custos necessários para que o empreendimento entre em operação.

No âmbito da NBR 14653-1 (ABNT, 2019), o custo de produção de um bem pode ser identificado pelo método comparativo, cuja estimativa é proveniente de um modelo matemático construído através de uma amostra de projetos semelhantes com características e custos conhecidos. A norma também menciona o método da quantificação de custo, cuja estimativa se dá por meio de orçamentos sintéticos ou analíticos, com base nas quantidades de serviços e seus

custos, sejam eles diretos ou indiretos. Na abordagem de custo, de maneira geral, o valor de um imóvel é estimado considerando o valor do terreno e os custos para reprodução das benfeitorias existentes (construções, por exemplo), quando necessário, ainda considera-se perdas relativas à eventuais depreciações de ordem física ou funcional.

No que diz respeito ao método baseado na raiz de troca, o valor é estimado a partir de observações de preços⁸ praticados no mercado, com base em uma amostra de elementos que possuem características e atributos semelhantes aos do bem que se pretende avaliar. Os dados de mercado recebem tratamento estatístico e servem de base para construção de um modelo matemático, que, após validado, é utilizado para estimar o valor. A NBR 14653-1 (ABNT, 2019) denomina esse método de “Método Comparativo Direto de Dados de Mercado” (MCDDM), o qual será abordado com mais detalhes no item 2.4 desta dissertação.

A raiz de uso está relacionada com a capacidade de um bem satisfazer às necessidades e anseios humanos, portanto, os métodos baseados nesta raiz de valoração buscam estimar o valor sob a perspectiva da utilidade⁹ que o bem teria para o comprador (AMATO, 2001; ARAÚJO, 2005). Assim, o intitulado Método da Renda, identifica o valor do bem com base na expectativa de resultados futuros, sendo equivalente ao valor presente do fluxo de caixa projetado, descontando as taxas que refletem a remuneração do capital e riscos do empreendimento (FLORENCIO, 2018).

O *Appraisal Institute* (2020) menciona que um processo de avaliação pode apropriar-se de uma ou mais das três abordagens de valor (custo, comparação e/ou renda). Para tanto, as abordagens empregadas dependem do tipo de propriedade, do uso pretendido da avaliação e da qualidade e quantidade de dados disponíveis para análise.

A análise de valor pela comparação de dados de mercado, fundamentada na raiz de troca, tende a resultar em estimativas de valor de mercado mais precisas, em razão da sua própria natureza metodológica de percepção mais intuitiva (observação e comparação direta de eventos reais ocorridos no mercado em análise). Portanto, em um mercado com disponibilidade de dados suficientes para construção de amostras representativas, tanto em termos qualitativos como quantitativos, é preferível a utilização do Método Comparativo Direto de Dados de Mercado (MCDDM), inclusive, esta é uma orientação constante na NBR 14653-1 (ABNT, 2019).

⁸ Sejam preços de ofertas ou de transações efetivamente praticadas

⁹ Nesse contexto, pode-se entender a “utilidade” como sendo o retorno sobre o investimento realizado em um determinado empreendimento

Para Damodaran (2012), a chave para investir com sucesso em ativos, sejam eles financeiros ou reais, não está apenas na compreensão do seu valor, mas nas suas fontes de valor. Nesse contexto, entender como o valor de um bem se relaciona com suas características (intrínsecas e/ou extrínsecas) é fundamental para a tomada de decisão no mercado imobiliário. Assim, a análise de valor pela ótica da comparação está suportada por fundamentos básicos, os quais serão mais bem desenvolvidos no tópico subsequente.

2.4 Fundamentos do método comparativo direto de dados de mercado

O trabalho avaliatório cuja metodologia utilizada é o método comparativo direto de dados de mercado (MCDDM), tem como premissa a construção de uma amostra com elementos similares (entre si e com relação ao bem que se pretende avaliar). No entanto, por mais similares que estes elementos possam ser, dificilmente serão homogêneos o bastante para permitir uma conclusão direta quanto ao valor médio de mercado, razão pela qual o tratamento dos dados de mercado pesquisados é imprescindível para aplicação do método (FLORENCIO, 2010).

Em face desta necessidade de homogeneizar as características dos dados, a ABNT (2011), no âmbito da NBR 14653-2, destaca que o tratamento dos dados pode ser realizado considerando fatores e critérios genéricos fundamentados e calculados por metodologia científica (tratamento por fatores) ou através da indução de modelos probabilísticos específicos – também por metodologia científica – que se propõem a representar o comportamento de mercado (tratamento científico).

O tratamento científico tem potencial de imprimir maiores níveis de precisão e fundamentação aos trabalhos avaliatórios, justamente por sua natureza de ser aplicado especificamente para a avaliação do bem que se pretende avaliar (DANTAS, 2012). Assim, para o autor supracitado, a introdução da metodologia científica no trabalho avaliatório objetiva orientar o avaliador, a realizar a escolha, a coleta, a análise e o tratamento das informações necessárias para construção de modelos que expliquem, de maneira satisfatória, a variabilidade observada nos preços, no mercado que se estuda. À vista disso, em um contexto em que se pretende seguir o método científico, Florencio (2010) destaca as seguintes etapas, que podem ser tomadas como referência para o desenvolvimento de um trabalho avaliatório: (i) observação do fenômeno, (ii) planejamento da pesquisa, (iii) processamento e edição das informações, (iv) processamento e análise dos dados, (v) verificação do ajuste da técnica de análise escolhida e (vi) redação do relatório de pesquisa.

Cabe esclarecer que as três primeiras etapas - isto é, (i), (ii) e (iii) - são fundamentais para que o avaliador conheça o objeto da avaliação e o contexto no qual ele está inserido, defina

as técnicas e abordagens a serem seguidas para alcançar o objetivo do trabalho e faça a coleta e análises preliminares das informações necessárias para a análise. As etapas subsequentes contemplam o processamento dos dados coletados (análise exploratória e modelagem, que se apoiam na estatística descritiva e inferencial), a validação e interpretação dos resultados (análise do modelo matemático inferido) e, por fim, a redação do relatório (que se traduz no “laudo de avaliação”¹⁰). Nesta dissertação será dada maior ênfase às etapas de análise dos dados, modelagem e validação dos modelos, uma vez que não se pretende avaliar um bem específico, mas utilizar a metodologia para analisar o comportamento médio dos preços praticados no mercado em estudo.

2.4.1 Análise exploratória dos dados

Antes de proceder com a modelagem propriamente dita, é importante conhecer algumas características gerais da base de dados que se dispõe. Para isso, nesta etapa denominada de análise exploratória, faz-se uso de algumas ferramentas da estatística descritiva para analisar como os dados estão distribuídos com relação às suas características (expressas por variáveis) e como que tais características interagem entre si.

Pinheiro *et al.* (2012) esclarecem que a análise exploratória contempla um conjunto de técnicas de tratamento de dados que auxilia o analista a ter um primeiro contato com a informação disponível, sem necessariamente implicar em uma fundamentação matemática mais rigorosa. Dentre as ferramentas da estatística descritiva, destacam-se as medidas de posição (ex.: média, moda e mediana), as medidas de dispersão (ex.: amplitude, variância, desvio padrão e coeficiente de variação), as tabelas, os gráficos e outras estatísticas para análises bidimensionais (ex.: tabelas de contingência, gráficos de dispersão e coeficiente de correlação linear). Para um aprofundamento acerca das técnicas e ferramentas da análise exploratória, ver Fonseca e Martins (2011), Lapponi (2005), Morettin e Bussab (2010) e Pinheiro *et al.* (2012).

2.4.2 Construção de modelos de regressão linear

Apesar de fundamental, a análise exploratória não é suficiente para que, com base em uma amostra, seja possível obter conclusões acerca da população de forma probabilística, sobretudo diante de populações compostas por elementos heterogêneos como no mercado imobiliário. Dessa forma, faz-se uso de técnicas da estatística inferencial para tratar a

¹⁰ A NBR 14653-1 (ABNT, 2019, pg. 13) define o laudo de avaliação como um “relatório com fundamentação técnica e científica, elaborado por profissional da engenharia de avaliações, em conformidade com esta ABNT NBR 14653, para avaliar o bem”.

heterogeneidade supracitada e inferir modelos que, diante de uma amostra representativa, represente o mercado que se pretende estudar.

A abordagem dos preços hedônicos, proposta por Lancaster (1966) e Rosen (1974), com base em regressão linear, tem se mostrado eficiente para suportar a construção de modelos matemáticos no MCDDM – inclusive, a NBR 14653-2 (ABNT, 2011) menciona que a análise de regressão é a técnica mais utilizada quando se deseja estudar o comportamento de variáveis que são responsáveis pela variabilidade observada nos preços. De acordo com Rosen (1974), a dependência entre o preço do bem e suas características pode ser expressa pela Equação (1):

$$p(z) = p(z_1, \dots, z_n) \quad (1)$$

onde: “ $p(z)$ ” equivale ao preço em função das “ n ” características “ z ”.

Os modelos hedônicos obtidos são, na verdade, uma representação simplificada do mercado, uma vez que considera apenas um conjunto de informações conhecidas (amostra), ou seja, não leva em consideração todas as informações da população, o que demanda cuidados científicos na sua construção, para fornecer respostas confiáveis e válidas (DANTAS, 2012).

De toda forma, a análise de regressão é uma técnica estatística eficaz para modelar e investigar a relação entre duas ou mais variáveis, permitindo, inclusive, ter melhores compreensões sobre a causa-efeito entre as variáveis estudadas (LAPPONI, 2005; MONTGOMERY; RUNGER, 2008). Quando se pretende explicar a variabilidade de uma variável em função de outra, faz-se uso de modelos de regressão linear simples. Pinheiro *et al.* (2012) explicam que quando existe uma forte relação linear entre duas variáveis, pode-se calcular a equação da reta que representa esta relação, podendo ser expressa na forma da Equação (2) para um conjunto de “ n ” elementos.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i, \quad \text{sendo } i = 1, \dots, n \quad (2)$$

onde Y_i corresponde à variável dependente (formada por y_1, y_2, \dots, y_n), X_i à variável independente (formada por x_1, x_2, \dots, x_n), β_0 e β_1 os parâmetros estimados para a reta e ε_i são os erros aleatórios do modelo.

Dentre os métodos existentes para estimar os parâmetros do modelo, destaca-se o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) ou OLS (do inglês *Ordinary Least Squares*). Trata-se de uma técnica matemática utilizada para encontrar o melhor ajuste de um conjunto de dados, minimizando a soma dos quadrados dos erros calculados para uma função

qualquer. Dessa forma, impondo que as derivadas parciais do somatório ao quadrado dos erros sejam iguais a zero (ponto mínimo)¹¹, Pinheiro *et al.* (2012) resumem que os parâmetros β_0 e β_1 da Equação (2) podem ser calculados a partir dos dados pelas fórmulas apresentadas em (3) e (4):

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

$$\beta_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4)$$

Sendo “n” o número de observações e \bar{x} e \bar{y} , as médias de X_i e Y_i , respectivamente.

Quando o objetivo é explicar a variabilidade de uma variável dependente em função de duas ou mais independentes, via modelos de regressão, emprega-se o modelo de regressão linear múltipla. Assim, Dantas (2012) esclarece que quando se pretende explicar o comportamento do mercado, com base em uma amostra de “n” elementos e “k” características consideradas influenciadoras, utiliza-se a função linear na forma da Equação (5),

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \beta_2 X_{ij} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i, \quad \text{sendo } i = 1, \dots, n \text{ e } j = 1, \dots, k \quad (5)$$

onde Y_i é a variável dependente, construída com base nos preços observados no mercado; X_{ij}, \dots, X_{ik} são as variáveis independentes utilizadas; β_0, \dots, β_k são os parâmetros da população a serem estimados com base no método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO)¹²; $\varepsilon_i, \dots, \varepsilon_n$ são os erros¹³ aleatórios do modelo, atribuídos a questões como a variação do comportamento humano e a não consideração de variáveis independentes pouco importantes, por exemplo.

Cabe esclarecer que, nem sempre os pontos observados no mercado assumem uma tendência linear. Na verdade, na prática do mercado imobiliário é usualmente necessário proceder com a linearização de modelos que se apresentaram com comportamentos não lineares, melhorando o ajuste e a capacidade explicativa do modelo. Muitas vezes esta linearização pode ser dada através da aplicação de transformações nas escalas das variáveis. Montgomery e Runger (2014) descrevem que tais modelos não lineares são conhecidos como “intrinsecamente lineares”, uma vez que uma transformação adequada pode, em algumas situações, expressar uma função não-linear como uma linha reta. Os autores ainda explicam

¹¹ Para estas demonstrações matemáticas, pode-se consultar literaturas específicas de estatística, a exemplo de Meyer (1987) e Weisberg (2014).

¹² Para este caso, o uso do MQO envolve demonstrações matemáticas que transcendem o objetivo desta dissertação, para aprofundamento, recomenda-se consultar Weisberg (2014).

¹³ Também denominado de “resíduos”.

que existem situações em que a não linearidade pode ser visualmente percebida a partir de diagramas de dispersão, portanto, o uso de eventuais transformações é um procedimento que deve ser realizado pontualmente na medida em que se analisa a distribuição dos dados.

Outro aspecto relevante sobre o processo de modelagem, diz respeito ao conjunto de variáveis explicativas que são importantes para compor o modelo. Usualmente, o analista faz uma pré-seleção de variáveis potencialmente candidatas, as quais serão testadas estatisticamente conforme desenvolvido com mais detalhes em 2.4.3.4. De forma geral, o desafio é encontrar um modelo composto por uma quantidade de variáveis explicativas grande o suficiente para realizar previsões precisas, mas ao mesmo tempo pequeno o suficiente para que o modelo seja economicamente viável e satisfatoriamente fácil de ser utilizado e interpretado (MONTGOMERY; RUNGER, 2014).

Sobre isto, Dantas (2012) expõe que geralmente o analista parte de um modelo com o maior número de variáveis explicativas (maximal) e segue em direção ao modelo com menor número de variáveis (minimal). A escolha geralmente converge para um modelo intermediário entre o minimal e o maximal, com um ajuste aceitável para a análise que se pretende fazer. Nesse contexto, o autor supracitado destaca três situações decisivas que devem ser levadas em consideração na decisão de excluir uma determinada variável: significância alta em variável de pouca importância; tendência contrária à inicialmente prevista; e conjunto de variáveis demasiadamente correlacionadas.

2.4.3 Validação dos modelos e interpretação dos resultados

O processo de modelagem ainda contempla uma etapa de validação do modelo, de forma que após inferida uma determinada equação de regressão, deve-se verificar, por exemplo, se esta atende aos pressupostos básicos da técnica utilizada, se as estatísticas obtidas estão dentro de limites considerados aceitáveis, se os parâmetros realmente apresentam coerência com o comportamento do mercado em estudo, além de outras verificações que são apresentadas na sequência.

2.4.3.1 Verificação dos pressupostos básicos do modelo de regressão

A definição de um modelo de regressão parte de alguns pressupostos básicos que devem ser atendidos ao ser utilizada a técnica. Para verificar se um modelo é adequado, faz-se necessário investigar se as suposições feitas para o desenvolvimento do modelo de fato foram satisfeitas (MORETTIN; BUSSAB, 2010). Montgomery, Peck e Vining (2012) afirmam que

violações grosseiras desses pressupostos podem produzir um modelo instável, e que não basta verificar as estatísticas gerais do modelo (as quais serão definidas mais adiante), sendo necessário também analisar/testar cautelosamente os pressupostos apresentados neste subitem.

2.4.3.1.1 Linearidade

Um dos pressupostos iniciais dos modelos de regressão é a relação linear (ou pelo menos aproximadamente linear) entre a variável resposta e os regressores. A análise deste pressuposto pode começar na etapa de análise exploratória dos dados, ao se observar os diagramas de dispersão entre a variável dependente e cada variável independente, bem como seus respectivos coeficientes de correlação linear. Inclusive, esta análise já indica a necessidade de eventuais transformações para linearizar o comportamento dos dados na etapa de modelagem.

Outras técnicas mais robustas podem ser usadas para detectar eventuais não linearidades de um modelo, como o “teste de falta de ajuste” apresentado por Montgomery, Peck e Vining (2012). No entanto, os mesmos autores sugerem como alternativa a análise gráfica de diagramas de dispersão e acrescentam que, uma vez identificados curvaturas em um determinado diagrama construído entre a variável dependente e uma independente, pode-se promover transformações adequadas com o objetivo de linearizar o comportamento e viabilizar o uso das técnicas usuais de regressão.

2.4.3.1.2 Normalidade dos resíduos

Como já mencionado neste trabalho, em alguns momentos na análise de regressão parte-se da suposição de distribuição normal dos erros, premissa adotada, por exemplo, para se estudar a significância individual dos parâmetros pela estatística “*t*”, ou a significância global do modelo pela estatística “*F*”, como visto em 2.4.3.4 e 2.4.3.5, respectivamente.

Uma percepção inicial pode se obter com a simples análise dos resíduos padronizados. Dantas (2012) evidencia que em uma distribuição normal, 68% das observações devem estar no intervalo de $(-1,+1)$, 90% entre $(-1,64,+1,65)$ e 95% entre $(-1,96,+1,96)$. Para essa análise, pode-se construir um histograma dos resíduos padronizados e, este histograma guardando aderência com a curva normal teórica, tem-se um indicador de normalidade do erro.

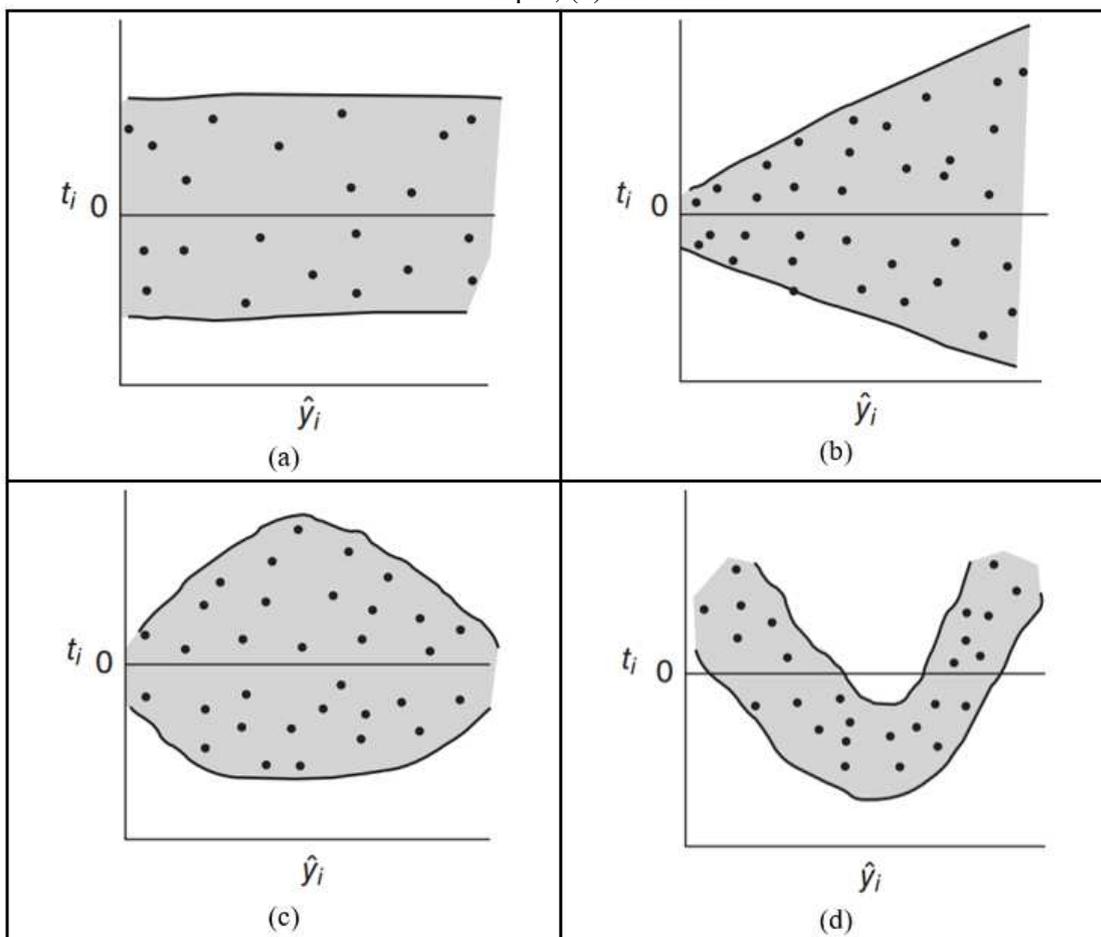
A verificação de normalidade dos resíduos ainda pode ser realizada via testes estatísticos. Para isso, existem diversas estatísticas que podem contribuir nesta investigação, a exemplo da proposta por Shapiro e Wilk (1965).

2.4.3.1.3 Variância constante dos resíduos

Uma outra suposição na estimativa dos parâmetros de um modelo de regressão é que os erros (resíduos) possuem média igual a zero e variância constante (MORETTIN; BUSSAB, 2010). O pressuposto da variância constante, pode ser verificado graficamente pelo gráfico de resíduos padronizados *versus* valores ajustados.

Ao se observar esse gráfico, espera-se que os resíduos estejam contidos de forma aleatória em uma faixa horizontal, comportamentos tendenciosos, por exemplo, com formas de funil, parábolas ou duplo arco, são evidências de que este pressuposto não é atendido e, portanto, existem indícios de deficiências no modelo (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012). A Figura 5 apresenta alguns exemplos de comportamento que pode ser observado pelo gráfico de resíduos padronizados, percebe-se, portanto, que dentre os exemplos apresentados, o único gráfico que apresenta resíduos distribuídos aleatoriamente é o da Figura 5a.

Figura 5 – Exemplo genérico de gráficos de resíduos padronizados *versus* valores ajustados, análise quanto a homoscedasticidade: Padrões para parcelas residuais: (a) satisfatório; (b) funil; (c) arco duplo; (d) não linear.



Fonte: Adaptado de Montgomery, Peck e Vining (2012).

Modelos que possuem distribuição dos resíduos como os do gráfico da Figura 5a, são chamados de homocedástico, enquanto que modelos com distribuições tendenciosas (gráficos b, c e d, da Figura 5) indicam variâncias não constante, sendo classificados como modelos heterocedásticos.

Dantas (2012) explica que modelos heterocedásticos possuem fragilidades, de modo que providencias para estabilizar a variância devem ser tomadas. Pode-se citar duas possíveis soluções para essas situações: a estimação dos parâmetros pelo método dos mínimos quadrados ponderados e o uso de transformações adequadas na variável resposta (dependente), como a logarítmica ou a raiz quadrada (DANTAS, 2012; MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012).

2.4.3.1.4 Ausência de autocorrelação dos resíduos

O comportamento dos pontos no gráfico de resíduos padronizados *versus* valores ajustados também pode indicar indícios de autocorrelação dos resíduos, isto é, espera-se que os resíduos sejam distribuídos sem qualquer padrão definido no gráfico supracitado (a exemplo do gráfico da Figura 5a).

Apesar das estatísticas existentes, que trazem análises mais robustas, a análise do gráfico de resíduos padronizados *versus* valores ajustados pode trazer conclusões satisfatórias. Portanto, em uma análise visual semelhante a realizada para detecção de heterocedasticidade, quando se observa tendências bem definidas (ex. quanto maior os valores ajustados maiores os resíduos), pode-se ter indícios de autocorrelação. A existência de autocorrelação é uma violação potencialmente séria dos pressupostos básicos da regressão (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012), podendo resultar em modelos ineficientes.

2.4.3.1.5 Ausência de colinearidade ou multicolinearidade

A inexistência de colinearidade, isto é, forte dependência linear entre duas variáveis explicativas, pode prejudicar a utilidade do modelo. Denomina-se de multicolinearidade os casos em que mais de duas variáveis independentes de um modelo se apresentam fortemente correlacionadas.

Para Dantas (2012), a verificação de multicolinearidade deve-se iniciar pela análise de uma matriz que espelha as dependências lineares entre as variáveis consideradas no modelo, denominada de matriz de correlações. Basicamente, esta matriz apresenta a correlação linear¹⁴

¹⁴ O coeficiente de correlação linear (ou coeficiente de correlação de Pearson), mede o grau de associação entre as variáveis e a proximidade dos pontos a uma reta. Para aprofundamento do conceito, recomenda-se ver Pinheiro *et al.* (2012).

entre os pares de variáveis, de modo que valores mais expressivos devem ser observados com atenção pelo analista, pois pode ferir o pressuposto em análise.

A matriz de correlações não é única maneira de se identificar colinearidades entre variáveis em modelos de regressão, mas, na maioria das vezes, é suficiente para a verificação deste pressuposto. Levando em consideração as degenerações que a colinearidade (ou multicolinearidade) pode provocar no comportamento do modelo, uma vez identificada, o analista deve promover medidas corretivas. Montgomery e Runger (2014) enumeram algumas medidas normalmente especificadas:

- Aumentar o número de dados com novas observações, o que pode ser inviável para o estudo por razões econômicas;
- Excluir certas variáveis do modelo, o que pode trazer desvantagens quanto ao descarte de informações das variáveis excluídas;
- Estimar os parâmetros de regressão por algum método que seja menos sensível à multicolinearidade do que o método dos mínimos quadrados ordinários, uma vez que a forte dependência afeta, principalmente, a estabilidade dos coeficientes inferidos.

2.4.3.2 Análise do poder de explicação do modelo

Uma importante medida a ser analisada em um modelo de regressão linear é o seu coeficiente de determinação (R^2). É definido como a relação que mede a proporção da variação total da variável dependente que é explicada pela variação da(s) variável(is) independente(s), sempre expresso por um número positivo entre zero e um, sendo maior o poder de explicação da reta de regressão – isto é, a qualidade do ajuste -- quanto maior for o coeficiente (LAPPONI, 2005). Matematicamente, sendo “ \hat{y} ” os valores estimados pelo modelo e “ \bar{y} ”, a média das “n” observações de “y”, o coeficiente de determinação pode ser definido por (6):

$$R^2 = \frac{\text{variação explicada}}{\text{variação total}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

Dantas (2012) esclarece que apesar do coeficiente de determinação ser importante para verificar o ajuste do modelo, sua análise isolada pode estar sujeita à fragilidade do coeficiente

sempre aumentar na medida em que se inclui variáveis independentes no modelo, sem levar em consideração o número de graus de liberdade¹⁵ perdidos a cada parâmetro estimado. Nesse contexto, Dantas (2012) destaca que a análise do coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}) tem contribuições para decidir sobre a inserção de uma determinada variável independente no modelo, haja vista que \bar{R} só aumenta se a variável incluída tiver contribuição superior à perda de um grau de liberdade. Assim, o coeficiente de determinação ajustado pode ser determinado por (7):

$$\bar{R} = 1 - (1 - R^2) \frac{n - 1}{n - k - 1} \quad (7)$$

2.4.3.3 Análises gráficas

Estudar o comportamento do modelo usando o conjunto de dados observados, notando as eventuais discrepâncias entre os valores observados e os valores ajustados pela equação, é fundamentalmente importante para verificar a adequabilidade do modelo de regressão (MORETTIN; BUSSAB, 2010). Na prática, duas ferramentas se destacam para esta análise, o (i) gráfico de “valores observados *versus* valores estimados” e o (ii) gráfico de “resíduos padronizados”.

Ao se considerar as características de cada dado como entrada no modelo, tem-se como resposta os chamados “valores ajustados”, que plotados em um plano junto com os valores efetivamente observados (dados) tem-se um gráfico que permite verificar quão próximo os valores estimados estão dos observados, permitindo, inclusive, completar a interpretação do coeficiente de determinação.

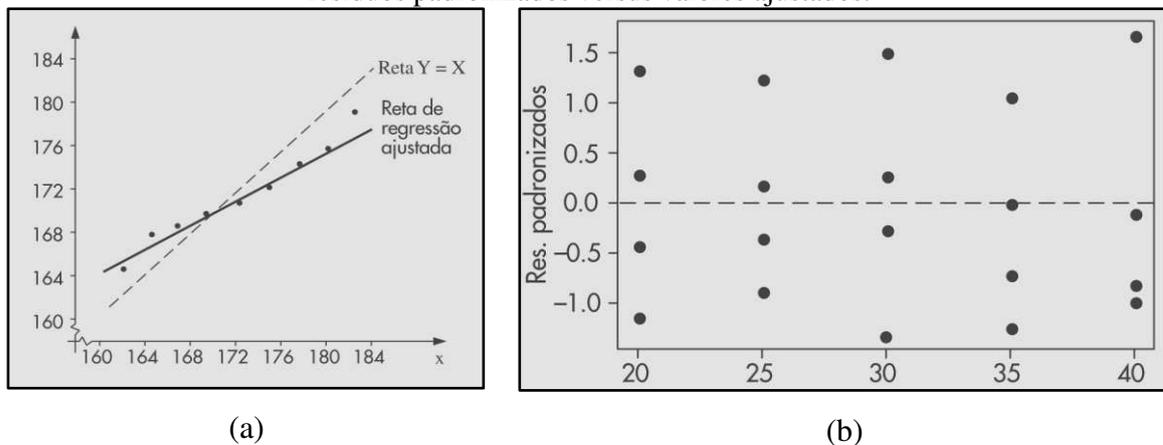
Nota-se que ao fazer a diferença entre o valor observado e o valor estimado obtém-se o erro (ou resíduo, \hat{e}_i). Morettin e Bussab (2010) esclarecem que uma representação gráfica bastante útil é obtida plotando-se os pares (x_i, \hat{e}_i) , isto é, observações da variável independente “x” com os respectivos resíduos dos obtidos na variável dependente. Os autores ainda mencionam que há situações que é mais útil construir o gráfico dos resíduos padronizados (\hat{z}_i), que é obtido pela razão do resíduo (\hat{e}_i), pelo desvio padrão do modelo (S_e), conforme (8):

$$\hat{z}_i = \frac{\hat{e}_i}{S_e} = \frac{y_i - \hat{y}_i}{S_e} \quad (8)$$

¹⁵ Trata-se da diferença entre a quantidade de dados de um conjunto e o número de parâmetros que tiveram que ser estimados (PINHEIRO *et al.*, 2012).

Usualmente, no lugar de plotar os resíduos padronizados com as observações da variável dependente, analisa-se o gráfico dos “resíduos padronizados versus valores ajustados”. Para Weisberg (2014), este é o gráfico mais comum para análise de resíduos de regressão, conforme usado por Montgomery e Runger (2014) e Dantas (2012), sendo útil para realizar uma análise de quão expressivos são os resíduos e ainda realizar outras verificações que serão apresentadas mais adiante. A Figura 6 apresenta dois exemplos genéricos que podem representar os gráficos aqui apresentados para dados reais.

Figura 6 – Exemplo genérico dos gráficos (a) Valores observados versus valores ajustados e (b) resíduos padronizados versus valores ajustados.



Fonte: Adaptado de Morettin e Bussab (2010).

2.4.3.4 Teste de significância individual dos parâmetros

Após os parâmetros serem estimados, é de fundamental relevância que sejam devidamente testados, a fim de entender se contribuem significativamente para o modelo. Para isso, utiliza-se da técnica de inferência denominada “testes de hipóteses”.

Nesse contexto, as hipóteses estatísticas podem ser entendidas como suposições sobre o valor de um parâmetro populacional, de modo que, a partir de uma regra de decisão para aceitação ou rejeição da hipótese previamente definida, com base nos dados amostrais, pode-se inferir sobre a população em estudo (FONSECA; MARTINS, 2011). Os autores supracitados ainda esclarecem que existem dois tipos possíveis de erro ao testar uma hipótese estatística: (i) rejeitar uma hipótese quando na verdade ela é verdadeira – situação denominada de “erro tipo

I”, cuja probabilidade é denominada de “nível de significância, α ”¹⁶; ou (ii) aceitar uma hipótese quando na verdade ela é falsa – situação denominada de “erro tipo II”.

Para testar os parâmetros de um modelo de regressão, deve-se fazer uma suposição adicional de que a componente do erro (resíduos) do modelo seja distribuída normalmente¹⁷ (MONTGOMERY; RUNGER, 2014). Isso porque, de acordo com Weisberg (2014), considerando os erros como uma distribuição normal, os parâmetros estimados, os valores ajustados e as previsões também deverão ser aderentes à uma distribuição normal (uma vez que são combinações lineares da função y_i e, portanto, dos seus resíduos).

Testar dados que se aproximam de uma distribuição normal requer que o desvio padrão populacional seja conhecido, no entanto, há situações em que só se conhece o desvio padrão amostral (estimado a partir dos dados). Nesses casos, a estatística de teste passa a ser aderente a uma distribuição “*t* de Student” (PINHEIRO *et al.*, 2012), razão pela qual usualmente adota-se o “teste *t*”¹⁸ para testar estatisticamente a significância individual dos parâmetros de um modelo de regressão.

Finalmente, Dantas (2012) acrescenta que a importância individual de uma variável eleita a participa de um modelo é medida testando-se a hipótese nula de que seu respectivo parâmetro não é significativa (representada por H_0), contra a hipótese alternativa de que tal parâmetro na verdade é significativa (representada por H_1). Assim, o procedimento de teste de significância é resumido por Fonseca e Martins (2011) nas seguintes etapas:

1. Enunciar as hipóteses H_0 e H_1 ;
2. Fixar o limite do erro α (nível de significância) e identificar a variável teste;
3. Determinar a região crítica e a região de aceitação para H_0 . Podendo fazer uso de tabelas estatísticas específicas, com base no α previamente definido;
4. Calcular o valor da estatística do teste, calculado por uma fórmula específica do teste adotado, com base em parâmetros como média e desvio padrão;
5. Concluir pela aceitação ou rejeição de H_0 , comparando o valor calculado (4ª etapa) com as regiões definidas na 3ª etapa.

¹⁶ Valor relacionado com o intervalo de confiança, que é definido ao nível de “1- α ”.

¹⁷ A distribuição normal é o modelo de distribuição mais usado no cálculo de probabilidades. Pinheiro *et al.* (2012) explicam que esse modelo descreve de forma muito adequada o comportamento de uma variável que se distribui de forma simétrica em relação ao seu valor central, sendo caracterizado por dois parâmetros: a média (que especifica seu valor central) e o desvio padrão da população (que representa sua variabilidade).

¹⁸ Também denominado “teste *t* de Student”.

Portanto, Dantas (2012) destaca que, sendo confirmada a condição de normalidade dos resíduos, adotando-se a distribuição t de *Student* com $n-k-1$ graus de liberdade (onde n corresponde ao número de observações e k o número de variáveis independentes), a um nível de significância α , compara-se o t_{calc} dado por (9) com o valor tabelado $t_{(1-\alpha;n-k-1)}$, que pode ser consultado em tabelas de pontos críticos da distribuição “ t ”¹⁹:

$$t_{calc} = \left| \frac{\widehat{\beta}_j}{s(\widehat{\beta}_j)} \right|, \text{ sendo } s(\widehat{\beta}_j) \text{ o desvio padrão do parâmetro estimado } (\widehat{\beta}_j) \quad (9)$$

Assim, é possível interpretar que se rejeita H_0 , em favor de H_1 , se $t_{calc} > t_{(1-\alpha;n-k-1)}$, portanto, nesta condição, conclui-se que o parâmetro testado é significativo ao nível de α na composição do modelo.

2.4.3.5 Teste de significância do modelo

Além de testar isoladamente cada variável que compõe a equação de regressão, deve-se testar a significância global do modelo inferido, Montgomery e Runger (2014) afirmam que um método chamado análise de variância pode ser usado para isso, método cuja identidade está representada em (10):

$$SQT = SQR + SQE \therefore \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (10)$$

Ou seja, para uma amostra com “ n ” observações e “ k ” variáveis independentes, a “soma dos quadrados total” (SQT) é dada pela soma entre a “soma dos quadrados da regressão” (SQR) e a “soma dos quadrados dos erros” (SQE).

Montgomery e Runger (2014) explicam que SQR e SQE medem, respectivamente, a quantidade de variabilidade em y_i , devido à linha de regressão, e a variação residual deixada sem explicação pela linha de regressão. Os autores supracitados ainda acrescentam que o procedimento de teste é geralmente sintetizado em uma tabela de análise de variância²⁰, como a definida no Quadro 3.

¹⁹ Tabelas de pontos críticos de distribuição de probabilidade são facilmente encontradas em literaturas específicas de estatista, a exemplo do “*Appendix A*” disponível em Montgomery e Runger (2014).

²⁰ Também denominada de ANOVA

Quadro 3 - Tabela geral de análise de variância para testar a significância de regressão linear múltipla.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calc}
Regressão	SQR	k	$MQR = SQR/k$	MQR/MQE
Erro	SQE	n-k-1	$MQE = SQE/(n-k-1)$	-
Total	SQT	n-1	-	-

Fonte: Adaptado de Montgomery e Runger (2014).

Em observação do Quadro 3, nota-se a definição da estatística F, cujo cálculo se dá pela razão entre as médias quadráticas (MQR e MQE). Dantas (2012) menciona que F_{calc} , sobre a hipótese de nulidade H_0 , tem distribuição *F* de *Snedecor*²¹ com “k” graus de liberdade no numerador e “(n-k-1)” no denominador.

Portanto, para se testar a hipótese de que pelo menos um parâmetro do modelo é diferente de zero (hipótese H_0), a um nível de significância α , deve-se seguir as mesmas etapas apresentadas resumidamente em 2.4.3.4, onde a regra de decisão consiste em comparar F_{calc} com um valor que pode ser encontrado em tabelas de pontos críticos²² para um determinado nível de significância, simbolizado por $F_{(\alpha;k;n-k-1)}$. Assim, se $F_{calc} > F_{(\alpha;k;n-k-1)}$, rejeita-se H_0 em favor de H_1 .

2.4.3.6 Verificação de pontos atípicos

Em uma massa de dados, eventualmente, podem existir pontos (valores) que se mostram demasiadamente afastados da concentração dos demais, pontos estes que podem afetar de forma substancial o resultado das análises estatísticas (PINHEIRO *et al.*, 2012). Estes mesmos autores explicam que tais observações discrepantes podem ser resultado de condições anormais (falha de equipamento, erro do operador, erro de digitação etc.), de forma que uma vez identificada a existência de uma observação discrepante, poderá ser tomada a decisão de repetir o experimento ou excluir o dado da amostra.

Cabe esclarecer que pontos discrepantes não necessariamente são decorrentes de alguma falha no registro dos dados, podendo, por exemplo, ser o reflexo de uma característica

²¹ Também conhecida como “*F* de *Fisher-Snedecor*” (ou, simplesmente “*F*”) é, assim como a *t* de *Student*, uma das distribuições de probabilidades derivadas da Normal, no entanto, sua função de densidade é uma curva assimétrica (PINHEIRO *et al.*, 2012).

²² Pode-se consultar em Montgomery e Runger (2014).

específica de um determinado dado ou representar situações atípicas que não representam o comportamento médio do fenômeno que se estuda. Dessa forma, o analista deve analisar se existem explicações para a discrepância antes de simplesmente excluir a observação.

Pode-se ainda analisar as mudanças que ocorrem no modelo ao promover um novo ajuste dos dados sem a observação discrepante. Weisberg (2014) evidencia, por meio de exemplos numéricos, que a existência de um dado discrepante não necessariamente traz grandes prejuízos ao modelo, de forma que sua exclusão deve passar pelo exame das mudanças que ocorrem nos parâmetros estimados, valores ajustados, coeficiente de determinação etc.

Portanto, Montgomery e Runger (2014) acrescentam que a análise dos resíduos de uma regressão ($\hat{e}_i = y_i - \hat{y}_i$) é fundamentalmente importante para o julgamento da adequação do modelo, podendo, inclusive, ser útil para investigar eventuais variáveis candidatas que poderiam melhorar o ajustamento, mas que não foram incluídas no modelo inferido. Dantas (2012) classifica os pontos discrepantes (ou atípicos) em dois grupos: *outliers* e pontos influenciantes.

2.4.3.6.1 Outliers

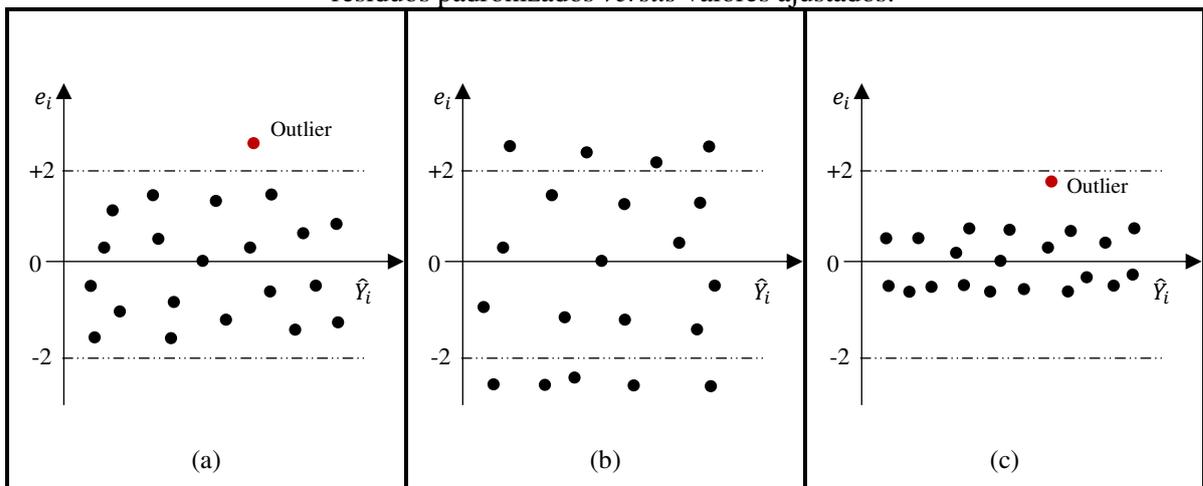
Weisberg (2014) relata que há situações em que a resposta do modelo para alguns dados parece não corresponder às respostas obtidas para a maior parte dos elementos amostrais (altos resíduos de algumas observações em relação à massa de dados), esses pontos com resíduos relativamente altos são conhecidos como *outliers* e sua detecção pode ser útil para análise do modelo.

Montgomery, Peck e Vining (2012) esclarecem que, dependendo de sua posição, *outliers* podem ter efeitos severos no modelo de regressão, no entanto, podem carregar informações importantes do fenômeno em estudo, razão pela qual seu eventual descarte deve ser acompanhado de fortes evidências de que o ponto de fato é prejudicial para o modelo. Os autores ainda acrescentam que geralmente *outliers* são valiosos para detectar inadequações no modelo, podendo estar carregado de pistas importantes para melhorar os ajustes nas diversas regiões do espaço amostral.

Uma das maneiras de identificar *outliers* é através do gráfico dos resíduos padronizados *versus* valores ajustados (apresentado em 2.4.3.3). Montgomery e Runger (2014) explicam que, se os erros forem normalmente distribuídos, espera-se que 95% dos resíduos padronizados estejam no intervalo (-2, + 2), sendo os pontos que ficam fora deste intervalo candidatos a *outliers*, merecendo, portanto, mais atenção do analista.

No entanto, Dantas (2012) discute que nem todo ponto com resíduo padronizado superior a ± 2 é necessariamente um *outlier*. O autor salienta que considerar todo ponto fora do intervalo $(-2, +2)$ como *outlier* é um procedimento perigoso, na medida em que distribuições de probabilidades diferentes podem resultar em comportamentos diferentes, como exemplificado nos gráficos genéricos da Figura 7.

Figura 7 – Exemplos de identificação gráfica de *outliers*, representados por gráficos genéricos de resíduos padronizados *versus* valores ajustados.



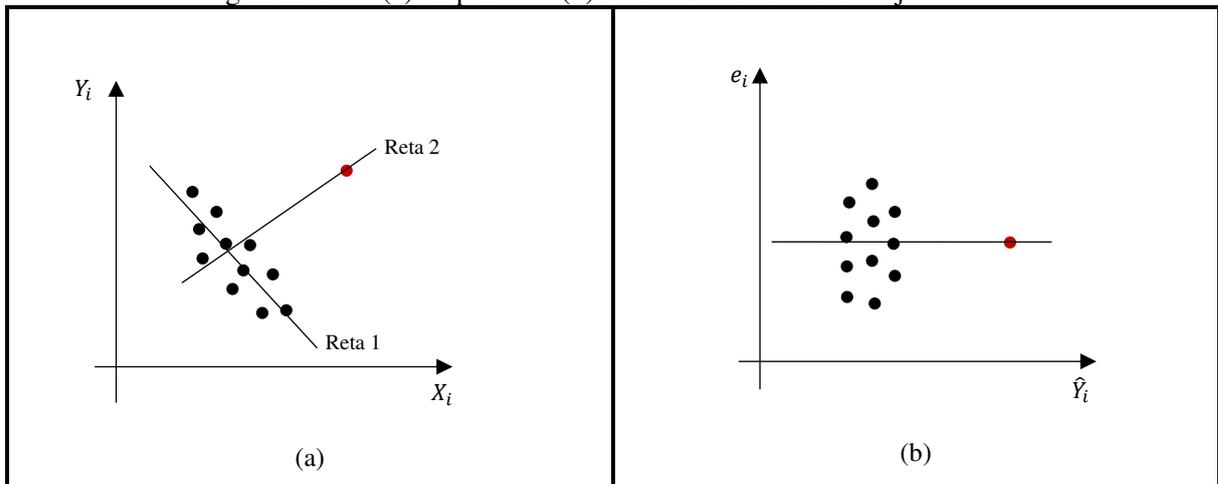
Fonte: Adaptado de Dantas (2012).

Analisando os gráficos, percebe-se na Figura 7b que mesmo havendo uma grande quantidade de dados fora do intervalo de $(-2, +2)$, não há aparentes pontos discrepantes; de forma oposta, na Figura 7c, percebe-se que apesar de todos os pontos estarem entre $(-2, +2)$, há um ponto que se destaca significativamente (ponto vermelho); finalmente, na Figura 7a, os pontos se distribuem dentro do esperado para uma distribuição normal, com o dado destacado em vermelho sendo caracterizado como *outlier*. Sobre esses gráficos, Dantas (2012) esclarece que as situações genéricas identificadas com (b) e (c), na Figura 7, podem representar amostras de populações não aderentes à uma distribuição normal.

2.4.3.6.2 Pontos influenciantes

São pontos que normalmente se apresentam com resíduos pequenos (ou nulos) mas que se distanciam significativamente da massa de dados, podendo ter fortes impactos sobre o comportamento médio do modelo, alterando completamente as tendências naturais indicadas pelo mercado (DANTAS, 2012), como evidenciado na Figura 8.

Figura 8 – Exemplo de identificação gráfica de ponto influenciante, representado pelos gráficos genéricos de (a) dispersão e (b) resíduos versus valores ajustados.



Fonte: Adaptado de Dantas (2012).

Percebe-se que, em que pese o resíduo nulo do dado destacado em vermelho (Figura 8b), o comportamento médio dos dados é mais representado pela “Reta 1” do que pela “Reta 2” (Figura 8a), sendo o ponto discrepante um dado que gera degenerações no comportamento médio da relação entre as variáveis.

Evidentemente que em uma base de dados reais, pontos influenciantes podem não ser tão facilmente identificados como o caso genérico apresentado na Figura 8. Diante disso, existem na literatura alguns critérios para auxiliar a detecção de pontos influenciantes, dentre eles pode-se citar o proposto por Cook (1977), conhecido por Distância de Cook (D_i)²³.

Sua metodologia considera o grau de influência de cada dado da amostra, realizando comparações entre os parâmetros estimados com e sem o dado em análise. De forma geral, dados com valores grandes da estatística “ D_i ” são aqueles que, ao serem excluídos, resultarão em mudanças substanciais no modelo. Tipicamente, valores próximos de 1 (um) merecem atenção do analista, sendo recomendado analisar as mudanças do modelo ao se remover este dado da amostra.

2.4.3.7 Verificação da adequação teórica e lógica do modelo

Por fim, seguindo todos os procedimentos sumariamente apresentados até aqui, de posse de um modelo validado e que atende a todos os pressupostos básicos, é recomendado que o analista promova análises gerais na equação inferida, a fim de identificar se as estimativas por ela realizadas guardam coerência com o comportamento médio da população que se estuda.

²³ Para demonstrações matemáticas e aprofundamento, recomenda-se a leitura de Cook (1977).

Para isso, costuma-se analisar a sensibilidade e elasticidade de cada variável do modelo, realizando projeções de valores e análise da coerência dos sinais de cada parâmetro do modelo.

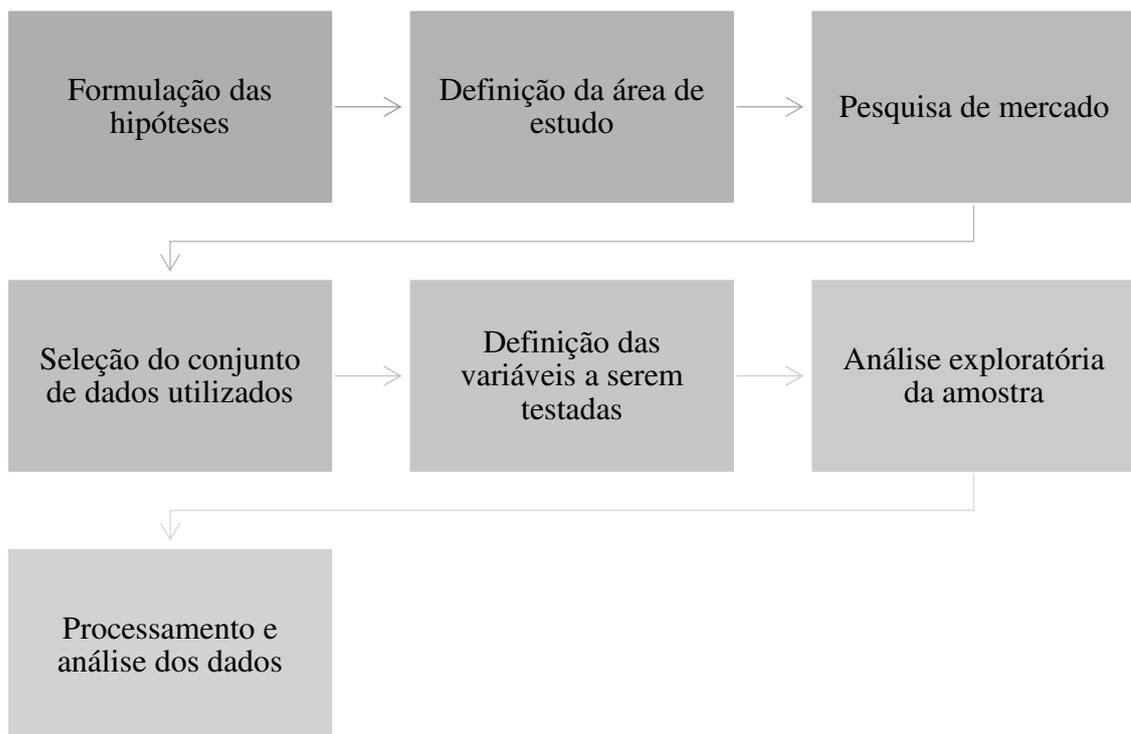
Em vista disso, Florencio (2010) evidencia que os procedimentos e técnicas estatísticas utilizados em um trabalho real são apenas instrumentos que facilitam a interpretação dos resultados, de forma que se faz necessário traçar um paralelo entre as teorias existentes e os resultados obtidos.

3 METODOLOGIA

A análise de mercado realizada nesta pesquisa foi suportada por procedimentos avaliatórios, a partir da estimação de equações de preços hedônicos, cujos fundamentos advêm da aplicação do método científico. Utilizou-se o Método Comparativo Direto de Dados de Mercado (MCDDM), com técnicas de inferência estatística para o tratamento científico dos dados, sendo estes obtidos para a formação de uma amostra representativa do seguimento de mercado que se pretende estudar.

Portanto, trata-se de uma pesquisa aplicada, explicativa, com abordagem matemática através de modelagem estatística. As etapas para o desenvolvimento do estudo, bem como a caracterização dos dados utilizados, são apresentadas resumidamente na Figura 9 e de forma mais detalhada ao longo deste capítulo.

Figura 9 – Sumarização das etapas metodológicas da pesquisa.



Fonte: Autor.

3.1 Formulação das hipóteses

Com o objetivo de orientar as análises dos dados estudados neste trabalho, foram definidas as seguintes hipóteses:

- Hipóteses de pesquisa:

H_{11} – a certificação é importante para a formação do preço de aluguel

H_{12} – o nível de certificação alcançado tem efeito sobre o preço de aluguel

Tais hipóteses auxiliam na investigação das possíveis respostas aos problemas de pesquisa e permitem analisar, com mais clareza, os atributos que influenciam na formação dos preços no mercado em estudo. Baseado na compreensão de que é mais fácil provar a falsidade de algo do que a sua veracidade - conforme enfatizou Dantas (2012) – as hipóteses efetivamente testadas ao longo desta pesquisa foram as definidas abaixo:

- Hipóteses de nulidade:

H_{01} – a certificação não é importante para a formação do preço de aluguel

H_{02} – o nível de certificação alcançado não tem efeito sobre o preço de aluguel

Deste modo, rejeitar H_{01} , em favor da hipótese alternativa H_{11} , significa afirmar que há indícios de que a certificação LEED influi na formação dos preços de locação no mercado em estudo, a um nível de confiança determinado.

Raciocínio semelhante se aplica na interpretação de H_{02} , onde a pergunta que se busca responder é se o nível alcançado no processo de certificação (*Certified*, *Silver*, *Gold* ou *Platinum*, correlacionados com a pontuação atingida) tem efeito significativo sobre o valor de aluguel do bem imóvel (situação na qual ocorreria a rejeição de H_{02} , em favor de H_{12}).

As hipóteses foram testadas através de duas variáveis -- a saber: “Certificado” e “Nível de Certificação” (cuja apresentação será feita na sequência) -- através do teste “*t de Student*”. Além do teste “*t*”, a significância do modelo também foi testada, utilizando-se o “teste *F de Snedecor*”, cuja hipótese nula definida é: o conjunto de variáveis explicativas não é importante para explicar a variabilidade observada dos preços.

3.2 Área de estudo e conjuntura do mercado

A amostra na qual se fundamenta a modelagem foi obtida com base em dados do mercado imobiliário de Edifícios de Escritórios para Locação (EEL) da cidade de São Paulo/SP.

Como já discorrido neste trabalho, edifícios com certificações de sustentabilidade representam uma parcela relativamente pequena do mercado imobiliário brasileiro, sobretudo em cidades com menor representatividade nacional em termos econômicos. Por esse motivo, por apresentar-se em um contexto mercadológico mais maduro a nível nacional, a capital São Paulo foi eleita pelo autor como a mais propícia para fins de entendimento do comportamento médio do mercado de edifícios certificados.

O Estado de São Paulo tem grande relevância econômica no país. Trata-se do maior estado da federação brasileira em termos populacionais - população de aproximadamente 44,3 milhões de pessoas – 21% da população brasileira – com alto Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) - igual a 0,783, considerado equivalente ao da Malásia - e com o maior Produto Interno Bruto (PIB) do país – 2,2 trilhões de reais em 2017, o que corresponde a mais de 31% do PIB brasileiro, número que o colocaria como o 21º país mais rico do mundo, caso fosse um estado independente (DEAK; CERQUEIRA, 2019).

No que se refere à cidade de São Paulo, esta também tem grandes participações nos índices econômicos do Brasil. A título de exemplo, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) registram que a referida capital ocupa a primeira posição no *ranking* dos maiores PIB's por municípios brasileiros - com mais de 763,8 bilhões de reais, concentrando uma participação de 10,34% do PIB do país em 2019 (IBGE, 2022).

Diante desse contexto econômico, o mercado imobiliário da cidade de São Paulo se posiciona com números bastante significativos. Para fins de entendimento da representatividade desse mercado frente a outras regiões, a Tabela 1 apresenta alguns indicadores do mercado imobiliário de EEL em algumas cidades do Brasil. Os indicadores foram calculados e fornecidos pela *Buildings*, e representam um breve panorama do fechamento do quarto trimestre de 2021, no tocante ao estoque de áreas para locação nesse mercado.

Percebe-se a expressiva relevância da cidade de São Paulo em relação às demais listadas na Tabela 1, sendo a de maior estoque de área locável e a com maior quantidade de edifícios - representa mais de 40% do total de área locável, neste recorte realizado dos dados da plataforma.

Tabela 1 – Indicadores gerais do mercado de edifícios de escritório para locação, por cidade e perfil de edifício.

Cidade	Perfil ²⁴	Área locável total (m ²)	Nº de edifícios	Taxa de vacância ²⁵ (%)	Média de preço pedido ²⁶ (R\$/m ² /mês)
São Paulo	Corporate	11.627.541	1592	21,32	74,24
	Office	5.052.583	1225	12,73	49,86
Rio De Janeiro	Corporate	5.524.569	664	29,75	60,96
	Office	3.556.654	708	13,27	35,64
Brasília	Corporate	1.974.374	201	11,79	53,71
	Office	1.118.721	236	14,48	47,50
Belo Horizonte	Corporate	1.569.170	289	15,72	44,51
	Office	1.258.372	299	11,99	29,88
Campinas	Corporate	246.666	76	22,65	53,34
	Office	374.947	118	13,23	38,48
Curitiba	Corporate	810.050	162	15,38	40,63
	Office	1.042.811	200	15,06	36,82
Florianópolis	Corporate	27.675	92	8,67	30,81
	Office	434.034	124	15,46	39,93
Porto Alegre	Corporate	648.380	111	15,77	45,65
	Office	714.712	180	20,48	46,67
Recife	Corporate	277.128	42	16,35	46,28
	Office	500.071	134	10,38	48,97
Salvador	Corporate	276.179	52	29,65	44,38
	Office	783.687	144	12,57	43,40
Santos	Corporate	283.586	52	22,65	46,23
	Office	385.678	81	23,03	39,65

Fonte: Adaptado de Buildings (2022).

Diante da atual conjuntura de retomada econômica global, em decorrência da pandemia do Coronavírus (COVID-19), o setor imobiliário corporativo volta a realizar projeções mais otimistas. A Figura 10 apresenta um histórico, por trimestre, das absorções²⁷ praticadas no mercado de escritórios em edifícios classificados em perfil *corporate* da cidade de São Paulo.

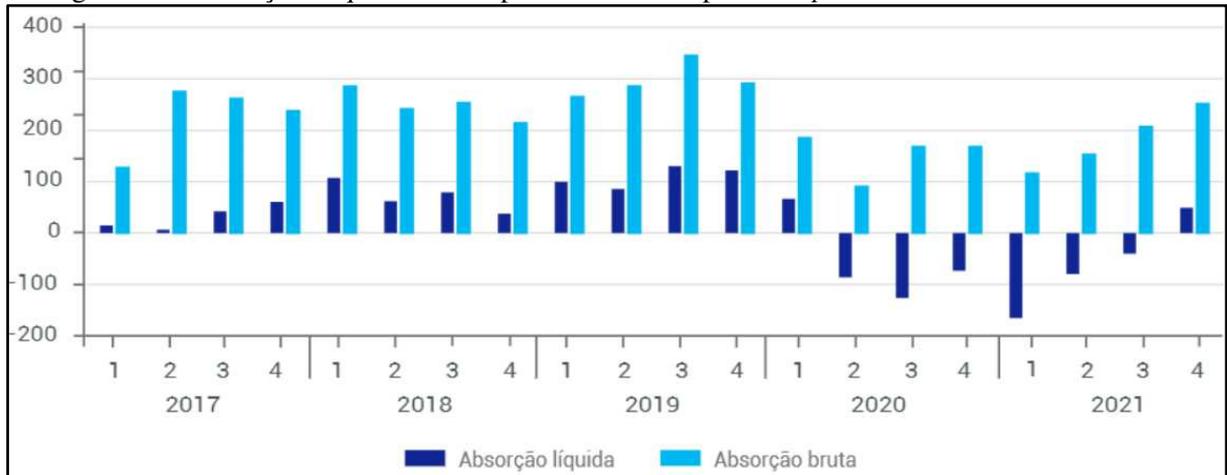
²⁴ Na classificação da *Buildings*, edifícios de perfil “*Corporate*” são aqueles que tem área média de conjunto superior a 100 m². Os edifícios com área média de conjunto menor, são classificados como “*Office*”.

²⁵ Referência, em porcentagem, da área que está vaga

²⁶ Refere-se à média de preço de locação pedido, registrados na plataforma

²⁷ Entende-se por absorção bruta a área total locada em um determinado período de tempo; e absorção líquida a diferença entre o total de área locada e o total de área devolvida neste período.

Figura 10 – Absorções líquida e bruta para edifícios de perfil *corporate* da cidade de São Paulo.



Fonte: Buildings (2022).

Percebe-se que após seis trimestres seguidos de mais devoluções (ou distratos) de espaços comerciais do que ocupações (2º trimestre de 2020 até 3º trimestre de 2021), o universo de edifícios *corporate* da cidade de São Paulo apresentou, de acordo com os dados publicados pela Buildings (2022), indícios de uma possível retomada de crescimento no quarto trimestre de 2021, registrando uma absorção líquida positiva para o período.

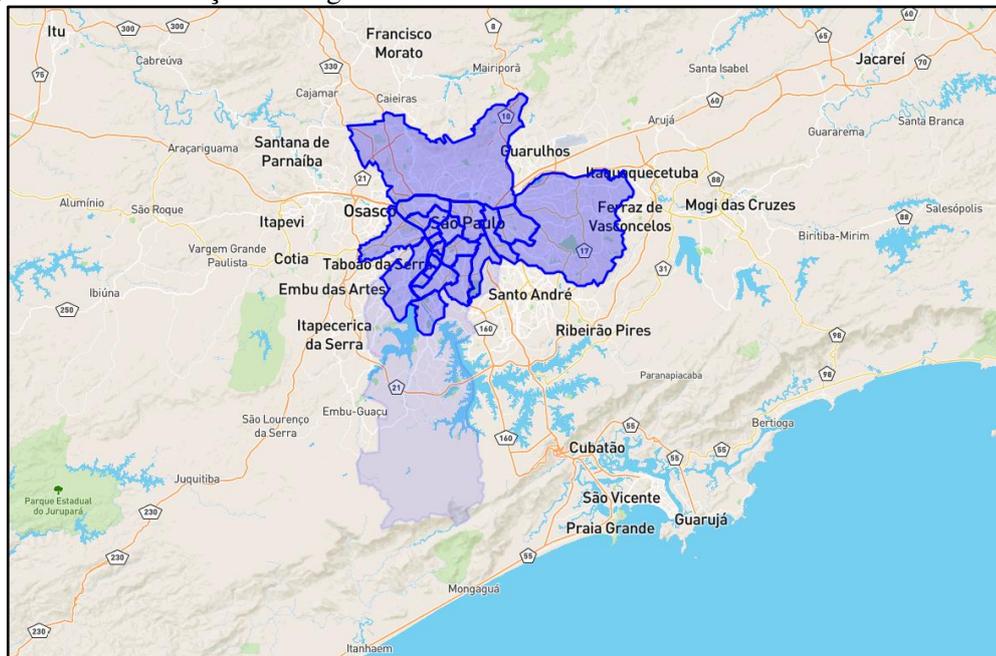
Inclusive, ressalta-se que o processo de modelagem matemática requer uma análise dos modelos com a ótica do contexto no qual o conjunto de dados está inserido. Dessa forma, o referido comportamento (atípico) de aumento de devoluções ocorrido nos últimos anos se torna um fator relevante para ser levado em consideração nesta pesquisa. Cabe esclarecer que os dados utilizados neste estudo são contemporâneos (isto é, amostra constituída por imóveis com área disponível para locação no momento da pesquisa, em abril de 2022), portanto, em algum nível podem refletir as distorções temporárias supracitadas, como reflexo do contexto de pandemia e outros fatores singulares que acometem o mercado brasileiro²⁸.

No tocante aos aspectos geográficos da cidade, registra-se que São Paulo é subdividido em 22 (vinte e duas) regiões, a saber: Paulista, Vila Olímpia, Berrini, Santo Amaro/Campo Belo, Saúde/Jabaquara, Chácara Santo Antônio, Pinheiros, Nova Faria Lima, Chucru Zaidan, Alto de Pinheiros/Perdizes, Moema/Vila Mariana, Panamby Morumbi, Faria Lima, Tatuapé/Carrão, Interlagos; Belém/Mooca, Centro, Leopoldina/Barra Funda, Ipiranga/Sacomã,

²⁸ A conjuntura atual do mercado, tanto do Brasil como do mundo, aponta para um cenário de instabilidade econômica. Diversos fatores que impactam negativamente a economia, como a pandemia do Covid-19, guerra na Ucrânia, inflação elevada e alta de juros foram mencionados pela Ata do Comitê de Política Monetária (Copom) do Banco Central do Brasil publicada em agosto de 2022 (BRASIL, 2022).

Zona Norte, Butantã/Jaguareé e Itaquera/São Mateus. Tais regiões possuem delimitações reconhecidas pelo mercado imobiliário local, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Delimitação das regiões de conhecimento do mercado imobiliário de São Paulo.



Fonte: Adaptado de Buildings (2022).

3.3 Pesquisa de mercado

A construção dos modelos de preços hedônicos se deu com base em um conjunto de dados obtidos²⁹ juntos à empresa *Buildings* – especializada em pesquisa imobiliária e detentora da plataforma CRE Tool, sistema de *big data* do mercado de *Real Estate* com significativa relevância em nível nacional.

A pesquisa de mercado realizada pela referida empresa é constante, sendo a plataforma atualizada continuamente, seja adicionando novos imóveis que eventualmente passaram a estar disponíveis para negociações, seja atualizando os dados dos edifícios já registrados. A coleta é realizada junto a corretores, locadores, proprietários etc., através de contato telefônico, vias digitais e/ou visitas *in loco*.

A plataforma disponibiliza informações técnicas e comerciais de mais de 8.200 imóveis comerciais de várias cidades do Brasil. Dentre os principais dados disponibilizados, destacam-se: ofertas disponíveis; preços de locação e venda; preços transacionados e informações

²⁹ A aquisição dos dados se deu via contato direto com o setor comercial da empresa.

contratuais; histórico de performance, vacância, absorção e preços; informações de localização; características físicas do imóvel; etc. (BUILDINGS, 2019).

Após uma pré-seleção dos dados obtidos na referida plataforma, cujos critérios estão apresentados na sequência, e posterior tratamento e caracterização da amostra com técnicas da estatística descritiva, foi feito um cruzamento com a relação de empreendimentos com certificação LEED publicada e atualizada regularmente pela GBC Brasil. O referido procedimento teve o intuito de confrontar as informações relativas à certificação, fornecidas pela *Buildings*, com as efetivamente registradas pela GBC Brasil, tais como: data da certificação, nível e pontuação atingida.

3.4 Dados utilizados e características gerais da amostra

Os dados usados nesta dissertação foram extraídos da plataforma em abril de 2022. No período em que se realizaram as pesquisas, a plataforma *CRE Tool* registrava informações detalhadas de 2.882 edifícios de escritórios na cidade de São Paulo/SP, dos quais 153 possuem certificação LEED. De forma geral, esse número representava um total de 17.550.431,07 m² de estoque de área locável, sendo 3.985.705,49 m² de área disponível para locação e 13.564.725,58 m² de área ocupada, o que representava uma taxa de vacância geral em torno de 22,71%.

Em que pese os referidos imóveis serem todos pertencentes ao mercado de EEL, tratam-se de edifícios cujas características são diversas, sobretudo no tocante à localização e aos seus respectivos aspectos físicos. A construção de modelos de regressão parte da premissa básica de que a amostra deve, tanto quanto possível, contemplar elementos comparativos semelhantes entre si. Do oposto, as técnicas de regressão linear podem não ser suficientes para homogeneizar o conjunto de dados, o que reduziria o poder explicativo dos modelos inferidos.

Portanto, de todo o conjunto de dados existente na plataforma, selecionou-se aqueles com atributos mais semelhantes, pertencentes a um seguimento de mercado específico, com o propósito de construir uma amostra equilibrada e representativa do mercado que se pretende estudar. Diante das hipóteses definidas nesta pesquisa, foram inferidos 3 modelos de regressão, cuja base de dados utilizada foi segmentada conforme apresentado na sequência.

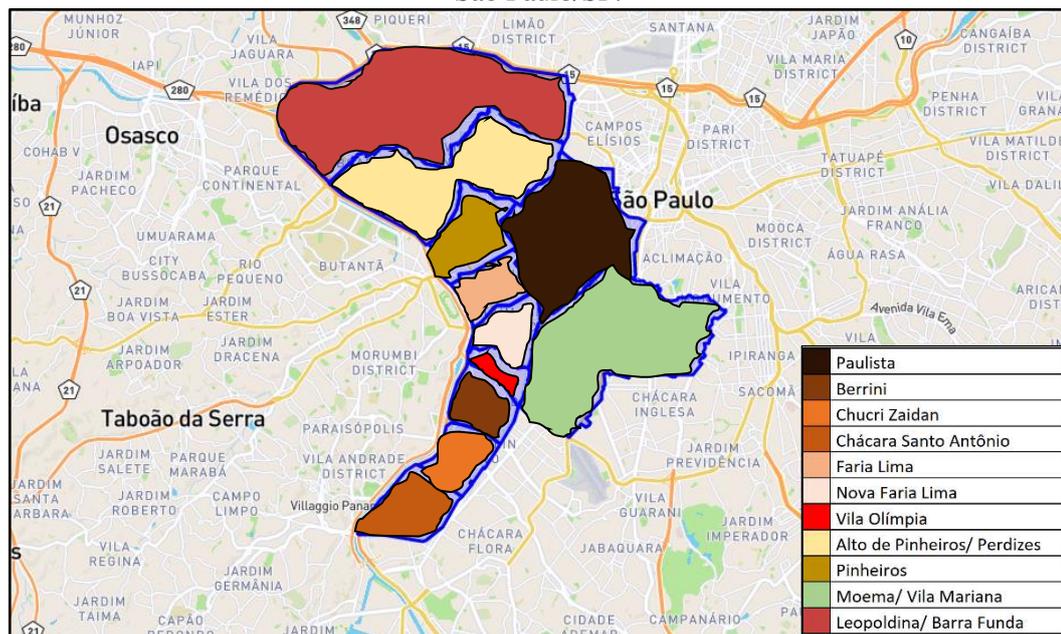
3.4.1 Subamostra 1: Edifícios corporate

A solução adotada para estudar a hipótese H_{01} contemplou a construção de um modelo que representasse o comportamento médio do mercado de EEL. Percebe-se que a maior parte dos edifícios com certificação LEED são mais bem localizados e possuem padrões mais

elevados, de modo que, por questões de equilíbrio amostral, optou-se por construir uma amostra que retrate o seguimento de mercado mais corporativo, composta por empreendimentos “*corporate*”, com no mínimo classificação “B” e localizados nas regiões de maior relevância corporativa da cidade (vide Figura 12), portanto, os critérios foram:

- Edifícios de perfil *corporate*;
- Edifícios classes AAA, AA, A, BB e B;
- Edifícios com Área Locável disponível, mas com algum nível de ocupação;
- Edifícios com informações completas de preço pedido de locação e Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU);
- Edifícios contidos nas regiões: Paulista, Vila Olímpia, Berrini, Chácara Santo Antônio, Pinheiros, Nova Faria Lima, Chucri Zaidan, Alto de Pinheiros/Perdizes, Moema/Vila Mariana, Faria Lima e Leopoldina/Barra Funda.

Figura 12 – Delimitação geográfica da pesquisa: regiões de maior relevância corporativa da cidade de São Paulo/SP.



Fonte: Adaptado de Buildings (2022).

Esta subamostra representa um total de 266 dados de mercado (edifícios), sendo 1 elemento excluído por não ter sido encontrado detalhes sobre sua certificação LEED. Portanto, foram para a etapa de modelagem 265 edifícios com as características supracitadas, dos quais 59 possuem certificação LEED. Para fins de contextualização de mercado, esta subamostra

representa um total de 2.851.011,36 m² de área locável total, com 710.936,86 m² de área vaga para locação³⁰ (vacância em torno de 24,94%).

3.4.2 Subamostra 2: Edifícios corporate de alto padrão

Em razão da elevada heterogeneidade dos dados e perfis dos EEL – classificados pelo mercado em estratos e substratos --, promoveu-se um recorte sobre a “Subamostra 1” com o intuito de restringir a análise acerca de H_{01} aos edifícios de alto padrão (AAA, AA e A). Esse “novo” conjunto de dados, denominado de “Subamostra 2”, é constituído por 108 elementos (edifícios), dos quais 52 possuem certificação LEED. O conjunto ainda soma 1.817.385,45 m² de área locável total e 466.585,34 m² de área vaga (vacância em torno de 25,67%).

3.4.3 Subamostra 3: Edifícios certificados

A hipótese H_{02} consiste em entender a importância em termos de valores do grau de certificação atingido. Portanto, definiu-se um recorte amostral contendo apenas edifícios com certificação, na tentativa de explicar a variação dos preços em função da pontuação atingida no processo de certificação. Desse modo, com base na “Subamostra 1”, considerou-se os 59 edifícios certificados. Este recorte amostral representa 1.291.777,50 m² de área locável total, sendo 337.073,14 m² de área vaga (vacância em torno de 26,09%).

3.5 Definição das principais variáveis testadas

Por mais semelhantes que sejam os edifícios constituintes da amostra, no mercado imobiliário, quase sempre os elementos disponíveis para comparação (imóveis em oferta ou informações de imóveis já negociados) apresentam atributos distintos entre si, resultando em amostras com características heterogêneas.

Diante deste fato, com o intuito de explicar como que tais características distintas interferem na variabilidade dos preços médios de aluguéis (variáveis dependentes) praticados no mercado em estudo, faz-se uso de aspectos observáveis, características e atributos físicos, econômicos e de localização (denominados de variáveis independentes) dos elementos do conjunto amostral que usualmente apresentam alguma relação de dependência com o fenômeno que se pretende estudar.

³⁰ A *Buildings* divide a “área locável disponível” de um edifício em dois *status*: “área vaga” e “área ofertada”. A primeira área refere-se ao total de área desocupada do empreendimento, a segunda, a área que está prestes a ser desocupada e que já está disponível para negociação.

Dado esse contexto, as variáveis estudadas nesta pesquisa foram construídas com base nas informações da plataforma fornecedora dos dados e, no tocante aos detalhes das certificações, foram considerados os dados publicados pela GBC Brasil³¹. Assim sendo, o presente estudo considerou as variáveis apresentadas no Quadro 4 como eletivas para serem testadas na composição dos modelos de regressão:

Quadro 4 – Variáveis estudadas na pesquisa.

(continua)

Variável	Símbolo	Classificação	Descrição
Preço total médio pedido	PT	Dependente, ordinal quantitativa de distribuição contínua	Variável explicada que representa o valor médio de locação (total). O preço unitário médio, fornecido pela <i>Buildings</i> , registra para cada edifício a média dos preços pedidos, por m ² , pelos proprietários de cada conjunto disponível para locação. O Preço Total (PT), por sua vez, foi construído por este autor através do produto entre preço unitário médio e a área média dos conjuntos do edifício.
Conjuntos	CJ	Independente, ordinal quantitativa de distribuição discreta	Variável que computa a quantidade de conjuntos existentes no edifício. Entende-se por “conjunto” a quantidade das partes locáveis da laje do edifício, conforme os critérios de comercialização definidos pelo proprietário.
Área média dos conjuntos	AC	Independente, ordinal quantitativa de distribuição contínua	Variável construída com base na média das áreas de todos os conjuntos existentes no edifício.
Área locável total	AT	Independente, ordinal quantitativa de distribuição contínua	Variável que representa a área bruta locável do edifício, indica a soma das áreas dos conjuntos que existem para locação, sendo elas disponíveis ou não.
Classe	CL	Independente, ordinal qualitativa do tipo códigos alocados, de distribuição discreta	Variável construída com base na informação da classe do edifício (fornecida pela <i>Buildings</i>). Utilizada para capturar o efeito do padrão do empreendimento, conforme os extratos e substratos de classes usualmente utilizadas no mercado imobiliário de edifícios corporativos, seguindo o critério: “B” (cod. 1); “BB” (cod. 2); “A” (cod. 3); “AA” (cod. 4) e “AAA” (cod. 5).
Idade	I	Independente, ordinal quantitativa de distribuição discreta	Variável para identificar o efeito da idade do edifício. Medida a partir do ano de construção ou do ano de uma grande reforma, revitalização ou modernização (<i>retrofit</i>), fornecida <i>Buildings</i> .

³¹ Disponível em GBC Brasil (2022)

Quadro 4 – Variáveis estudadas na pesquisa.

(conclusão)

Variável	Símbolo	Classificação	Descrição
Vacância	V	Independente, ordinal quantitativa de distribuição discreta	Variável que representa a taxa de desocupação (percentual vago) do edifício. É fornecida pela fornecida pela <i>Buildings</i> , cujo valor é obtido pela razão entre a área vaga para locação e a área bruta locável do edifício.
Certificado	C	Independente, nominal qualitativa do tipo dicotômica, de distribuição discreta	Variável para identificar se possui certificação LEED ou não. Construída com base no registro da <i>Buildings</i> , validada através do cruzamento com as informações publicadas pela GBC Brasil. Assume o código “1” se empreendimento possui certificação e “0”, caso contrário. Cabe esclarecer que edifícios que eventualmente demonstraram interesse na certificação, mas que ainda não foram efetivamente certificados (edifícios “registrados”), foram classificados com o código “0”.
Nível da Certificação	NC	Independente, ordinal quantitativa, de distribuição discreta	Variável para capturar o efeito do nível de certificação alcançado pelo edifício. Construída com base no registro da pontuação atingida no processo de certificação do edifício, conforme as informações publicadas pela GBC Brasil.
IPTU por m ²	IPTU	Independente, ordinal do tipo proxy de distribuição contínua	Variável que representa o valor mensal pago de IPTU por metro quadrado do conjunto disponível para locação, utilizada para contribuir na explicação do efeito da localização do imóvel. O IPTU é calculado pela prefeitura da cidade, mas a quantia paga nos edifícios constituintes da amostra foi fornecida pela <i>Buildings</i> .
Região	R	Conjunto de variáveis independentes, do tipo dicotômica, de distribuição discreta	Consiste em um conjunto de 6 (seis) variáveis, para as subamostras 1 e 2, e 4 (quatro) variáveis para a subamostra 3, que agrupam as 11 (onze) Regiões de interesse desse estudo (mencionadas no item 3.2.2.1). Trata-se de uma dicotomia em grupo, de modo que cada região é resolvida com combinações de “0” e “1”.

Fonte: Autor.

No que se refere ao conjunto de variáveis “Região”, acrescenta-se que dentre as diferentes possibilidades de codificação de variáveis qualitativas, a dicotomia em grupo foi a solução de variável adotada (juntamente com o IPTU) para explicar a variabilidade dos preços em função da localização dos empreendimentos. Para isso, com o objetivo promover uma melhor distribuição de dados, visando o equilíbrio amostral necessário para o bom funcionamento desta variável, agrupou-se as regiões com menores quantidade de edifícios àquelas com maior representatividade amostral -- mas com o cuidado de não considerar em um mesmo grupo dados em regiões com características muito discrepantes.

Portanto, as 11 regiões que contemplam o conjunto de dados foram reagrupadas em 7 para a Subamostra 1 e 2. Esse novo agrupamento de 7 regiões, foi traduzido em um conjunto de 6 variáveis dicotômicas (R1, R2, ..., R6), de forma que cada região é considerada ao se atribuir o código “1” na variável que a representa e o código “0” nas demais (percebe-se que a região não inserida diretamente como variável do modelo é considerada na ausência das demais, isto é, quando todas as 6 variáveis recebem código “0”).

Solução semelhante foi adotada para a Subamostra 3. No entanto, esse novo conjunto de dados contém menos dados em algumas regiões, o que resultou na necessidade de promover novo agrupamento, agora em 5 regiões – sendo o modelo composto por 4 variáveis dicotômicas de “Região” (R1, ..., R4).

3.6 Características gerais da amostra

A Tabela 2 apresenta um resumo das principais características da amostra, sendo apresentado mais informações ao longo das análises desenvolvidas no capítulo de resultados. Trata-se da sumarização de medidas de estatística descritiva obtidas dos recortes amostrais realizados, com a finalidade de auxiliar a descrição do fenômeno observado nesta pesquisa.

Contribui com o entendimento sobre aspectos gerais da amostra, como equilíbrio amostral por variável, medidas de tendência central, dispersão dos dados, correlação entre as variáveis independentes e dependentes etc.

Tabela 2 – Estatística descritiva para as principais variáveis estudadas, por subamostra.

(continua)

Variável	Subamostra 1					Subamostra 2					Subamostra 3				
	Obs.	Repres. (%)	Média	Coef. Var.	Corr. com PT	Obs.	Repres. (%)	Média	Coef. Var.	Corr. com PT	Obs.	Repres. (%)	Média	Coef. Var.	Corr. com PT
Variáveis quantitativas:															
PT médio (R\$/m ² /mês)	265	-	36520,66	1,22	-	108	-	60574,31	0,96	-	59	-	89704,04	0,72	-
PU médio (R\$/mês)	265	-	81,44	0,40	-	108	-	100,54	0,32	-	59	-	112,23	0,32	-
Conjuntos (und)	265	-	32,38	0,67	-0,18	108	-	37,45	0,72	-0,32	59	-	34,12	0,84	-0,30
Área média do conj. (m ²)	265	-	404,23	0,92	0,89	108	-	565,93	0,77	0,91	59	-	785,63	0,60	0,87
Área locável total (m ²)	265	-	10758,53	0,90	0,72	108	-	16827,64	0,72	0,64	59	-	21894,53	0,61	0,56
Idade (anos)	265	-	18,94	0,58	-0,28	108	-	11,00	0,60	-0,10	59	-	11,76	0,76	-0,12
Vacância (%)	265	-	23,88	0,87	0,10	108	-	25,52	0,86	0,03	59	-	26,95	0,93	-0,03
Nível de certificação											59	-	61,14	0,19	0,09
Variáveis qualitativas:															
Classe	265		2,19	0,56	0,62	108		3,47	0,22	0,55	59		3,68	0,28	0,39
AAA	17	6,42%				17	15,74%				17	28,81%			
AA	17	6,42%				17	15,74%				13	22,03%			
A	74	27,92%				74	68,52%				22	37,29%			
BB	49	18,49%				0	0,00%				7	11,86%			
B	108	40,75%				0	0,00%				0	0,00%			
Certificado	265		0,22	1,87	0,64	108		0,48	1,04	0,57	59		-	-	-
Sim	59	22,26%				52	48,15%				59	100,00%			
Não	206	77,74%				56	51,85%				0	0,00%			
Nível de certificação (cod. alocados)											59		2,85	0,21	0,04
Certified											2	3,39%			

Tabela 2 – Estatística descritiva para as principais variáveis estudadas, por subamostra.

(conclusão)

Variável	Subamostra 1					Subamostra 2					Subamostra 3				
	Obs.	Repres. (%)	Média	Coef. Var.	Corr. com PT	Obs.	Repres. (%)	Média	Coef. Var.	Corr. com PT	Obs.	Repres. (%)	Média	Coef. Var.	Corr. com PT
Silver											10	16,95%			
Gold											42	71,19%			
Platinum											5	8,47%			
Variável proxy:															
IPTU (R\$/m ² /mês)	265	-	11,45	0,38	0,30	108	-	12,56	0,35	0,32	59	-	13,34	0,36	0,32
Variáveis qualitativas - Regiões (dicotomia em grupo)*:															
Regiões	265					108									
Nova Faria Lima / Faria Lima	33	12,45%				15	13,89%								
Pinheiros / Alto de Pinheiros / Perdizes	33	12,45%				12	11,11%			Regiões (Subamostra 3):	59				
Vila Olímpia	38	14,34%				13	12,04%			Nova Faria Lima / Pinheiros	17	28,81%			
Berrini	54	20,38%				24	22,22%			Vila Olímpia / Berrini	11	18,64%			
Paulista / Moema / Vila Mariana	55	20,75%				13	12,04%			Paulista / Moema / Vila Mariana	9	15,25%			
Chucri Zaidan	21	7,92%				18	16,67%			Chucri Zaidan	13	22,03%			
Leopoldina / Barra Funda / Chácara Santo Antônio	31	11,70%				13	12,04%			Leopoldina / Barra Funda / Chácara Santo Antônio	9	15,25%			

*Agrupadas com base nas Regiões 2.0 da Buildings

Fonte: Autor.

3.7 Processamento e análise dos dados

Com a base de dados consolidada e com todas as informações sumarizadas, avançou-se com a análise exploratória dos dados, onde o objetivo consistiu em ter percepções iniciais sobre o conjunto de dados utilizado (ex.: equilíbrio amostral, tendência e dispersão dos pontos em função da variável dependente, identificação de possíveis pontos atípicos etc.). Após isso, foram construídos modelos matemáticos explicativos, no intuito de inferir o comportamento do mercado em estudo³². A construção dos modelos foi suportada pela abordagem dos preços hedônicos, com base em regressão linear múltipla, cujos parâmetros da população foram estimados com base no método dos mínimos quadrados ordinários.

Adicionalmente, cabe reforçar que as informações de preço e área utilizadas no processo de modelagem deste trabalho não são necessariamente iguais aos efetivos preços pedidos para cada unidade (conjunto) colocada a mercado, uma vez que as informações utilizadas se trata de preços médios e áreas médias de cada edifício (o preço médio representa a média dos preços unitários pedidos para cada conjunto disponível para locação no momento da pesquisa, já a área média representa a média das áreas de todos os conjuntos do edifício). Razão pela qual a expectativa é de que os modelos inferidos nesta pesquisa representem um comportamento de preços médios dos seguimentos de mercado em estudo. Com os modelos construídos e validados, foram realizadas as análises e os resultados foram comparados com resultados obtidos por estudos anteriores, de mercados nacionais e internacionais.

Os modelos inferidos neste estudo seguem as formas apresentadas nas equações abaixo, onde “ β_0, \dots, β_n ” são os parâmetros estimados na modelagem, “ ε ” é o erro associado e as variáveis (entre parênteses) são as que apresentaram significância e comportamento coerente com a lógica do mercado e, portanto, foram as efetivamente eleitas para compor o modelo. No que se refere às variáveis “R1, ..., R6”, reitera-se que são as variáveis de localização que captam o efeito da Região (R), conforme agrupamentos já descritos em 3.5.

Cabe esclarecer que, por fins didáticos, o “Modelo 1” (Equação (11)), refere-se ao modelo gerado com base no conjunto de dados denominado “Subamostra 1”; o mesmo raciocínio, portanto, repete-se para o “Modelo 2” (Equação (12)) e “Modelo 3” (Equação (13)).

³² O processo de modelagem foi realizado no software comercial “SisDEA” (comumente usado para avaliações de imóveis), com auxílio do “MS Excel” (editor de planilhas da Microsoft) e do “R” (software livre para análise de dados)

- Modelo 1

$$\ln(\text{PT}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{AC}) + \beta_2(\text{I}) + \beta_3(\text{V}) + \beta_4(\text{CL}) + \beta_5(\text{C}) + \beta_6(\text{IPTU}) \\ + \beta_7(\text{R1}) + \beta_8(\text{R2}) + \beta_9(\text{R3}) + \beta_{10}(\text{R4}) + \beta_{11}(\text{R5}) + \beta_{12}(\text{R6}) + \varepsilon \quad (11)$$

- Modelo 2

$$\ln(\text{PT}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{AC}) + \beta_2(\text{I}) + \beta_3(\text{V}) + \beta_4(\text{CL}) + \beta_5(\text{C}) + \beta_6(\text{IPTU}) + \beta_7(\text{R1}) \\ + \beta_8(\text{R2}) + \beta_9(\text{R3}) + \beta_{10}(\text{R4}) + \beta_{11}(\text{R5}) + \beta_{12}(\text{R6}) + \varepsilon \quad (12)$$

- Modelo 3

$$\ln(\text{PT}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{AC}) + \beta_2(\text{I}) + \beta_3(\text{V}) + \beta_4 \ln(\text{CL}) + \beta_5(\text{NC}) + \beta_6(\text{IPTU}) \\ + \beta_7(\text{R1}) + \beta_8(\text{R2}) + \beta_9(\text{R3}) + \beta_{10}(\text{R4}) + \varepsilon \quad (13)$$

Percebe-se que a estrutura obtida para o Modelo 1 e para o Modelo 2 são iguais, no entanto, diferem com relação à solução considerada para o Modelo 3. Essa mudança de estrutura foi necessária uma vez que ao restringir o conjunto de dados à apenas edifícios certificados, tem-se uma redução significativa de dados em relação à Subamostra 1 e 2, de forma que a transformação logarítmica em CL acabou contribuindo mais para o poder de explicação do modelo. Além disso, devido a hipótese que se pretende testar com o Modelo 3, a variável C foi substituída por NC, justamente para captar o efeito da pontuação obtida no processo de certificação.

Outra característica do Modelo 3 que difere dos Modelos 1 e 2 diz respeito ao conjunto de variáveis dicotômicas para captar efeito de localização - enquanto nos dois primeiros modelos a solução foi definida com 6 variáveis, no Modelo 3, agrupou-se as regiões em 4 variáveis, de modo a garantir o equilíbrio amostral, sem dispensar as semelhanças de cada região agrupada em cada variável.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise exploratória do conjunto de dados

Antes de proceder com as técnicas de inferência estatística (com a teoria apresentada em 2.4), cuja finalidade é estimar os parâmetros populacionais a partir de uma amostra representativa, faz-se necessário ter algumas percepções iniciais acerca dos fatores influenciadores sobre a formação dos preços. Para isso, é importante observar o comportamento da variável dependente em relação a cada variável independente, através da análise da tendência dos pontos em gráficos de dispersão, por exemplo. Adicionalmente, reitera-se que na análise exploratória ainda pode ser observado alguns aspectos gerais da amostra, como medidas de posição e dispersão dos dados, intervalo de domínio de cada variável, existência de pontos atípicos etc. Esta seção, portanto, propõe-se a apresentar de forma objetiva as principais características dos conjuntos de dados que subsidiaram a modelagem.

4.1.1 Análise exploratória da Subamostra 1

Conforme já descrito nesta dissertação, a “Subamostra 1” trata-se do conjunto com a maior quantidade de dados estudados (265 observações). Contendo apenas edifícios de perfil *corporate* (isto é, área média dos conjuntos igual ou superior a 100 m²), com algum nível de ocupação; que receberam classificação AAA, AA, A, BB e B; e estão localizados na região de Paulista, Vila Olímpia, Berrini, Chácara Santo Antônio, Pinheiros, Nova Faria Lima, Chucri Zaidan, Alto de Pinheiros/Perdizes, Moema/Vila Mariana, Faria Lima e Leopoldina/Barra Funda.

Para efeito de composição de variável, visando garantir o equilíbrio amostral junto com a coerência com o comportamento de mercado local, agrupou-se em uma mesma categoria de região os edifícios localizados na “Faria Lima” com os localizados na “Nova Faria Lima” (formando a categoria denominada “Faria Lima/Nova Faria Lima”), bem como também foram agrupados os edifícios localizados em “Alto de Pinheiros/Perdizes” com “Pinheiros” (compondo “Pinheiros/Alto de Pinheiros/Perdizes”), “Moema/Vila Mariana” com “Paulista” (compondo “Paulista/Moema/Vila Mariana”) e “Leopoldina/Barra Funda” com “Chácara Santo Antônio” (compondo “Leopoldina/Barra Funda/Chácara Santo Antônio”). Sendo assim, esta variável foi resolvida em 6 categorias - variáveis R1 a R6 apresentadas em (11).

4.1.1.1 Análise das variáveis quantitativas e proxy da Subamostra 1

A Tabela 3 sumariza as principais características descritas relativas a esse recorte amostral, sendo possível observar as medidas de tendência central, amplitude das variáveis medidas de dispersão e correlações entre as variáveis independentes e dependes.

Tabela 3 – Medidas de posição e dispersão das variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 1.

Variável	Subamostra 1									
	Obs.	Máximo	Mínimo	Amplitude	Média	Mediana	Desv. Padrão	Coef. Variação	Corr. c/ PT	Corr. c/ PU
Variáveis quantitativas:										
PT	265	334946,22	2860,03	332086,20	36520,66	19739,38	44578,39	1,22	-	-
PU	265	220,00	26,04	193,96	81,44	78,00	32,30	0,40	-	-
CJ	265	201,00	5,00	196,00	32,38	27,00	21,85	0,67	-0,18	0,12
AC	265	2294,57	100,00	2194,57	404,23	262,29	371,51	0,92	0,89	0,30
AT	265	66507,11	2500,00	64007,11	10758,53	7500,40	9685,12	0,90	0,72	0,42
I	265	41,00	1,00	40,00	18,94	19,00	10,98	0,58	-0,28	-0,50
V	265	100,00	1,00	99,00	23,88	16,67	20,85	0,87	0,10	-0,20
Variável proxy:										
IPTU	265	27,83	2,71	25,12	11,45	11,00	4,39	0,38	0,30	0,49

Fonte: Autor.

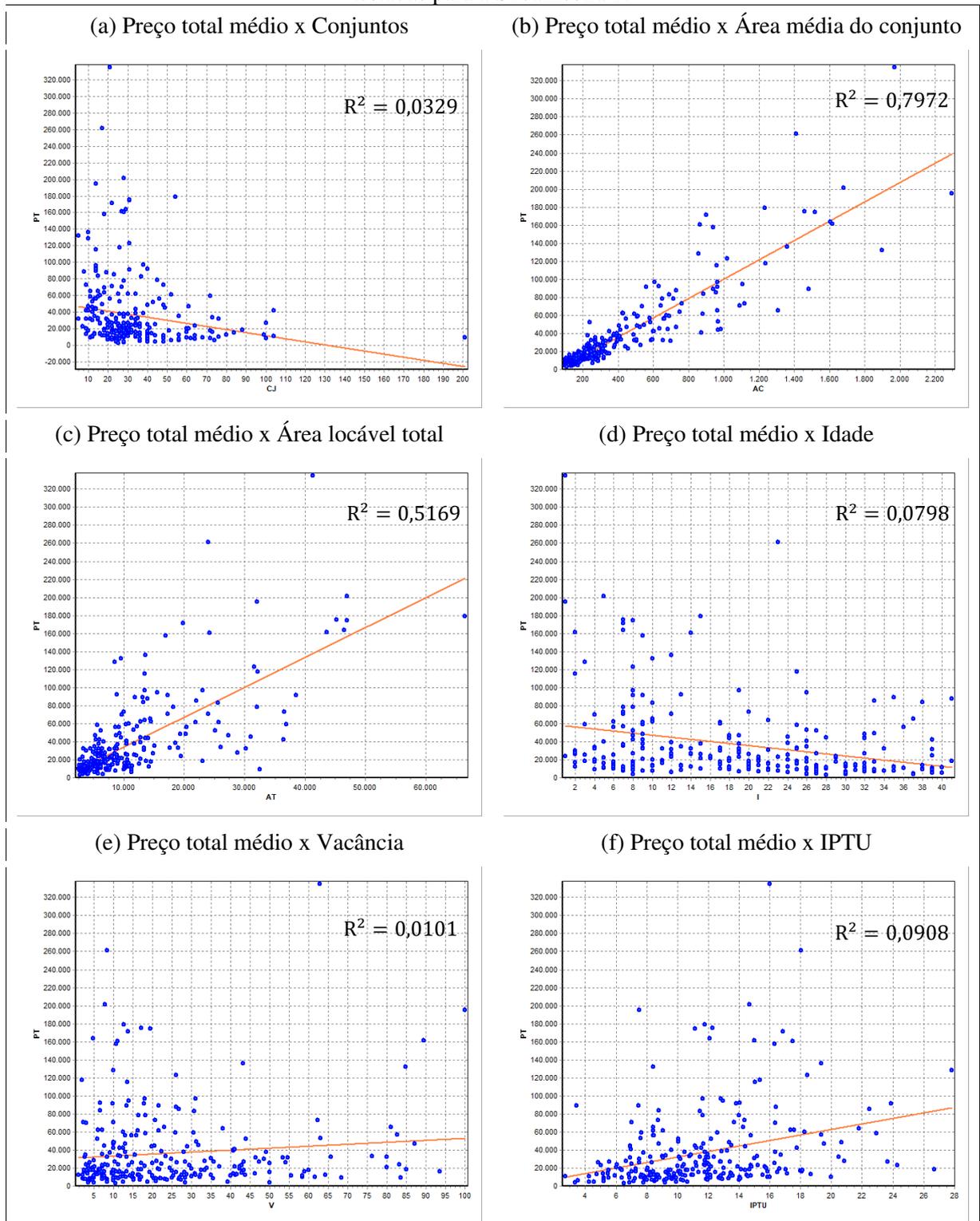
Inicialmente, ao analisar a Tabela 3, percebe-se uma expressiva heterogeneidade dos dados quanto às variáveis analisadas. Todas as variáveis apresentam coeficientes de variação que podem ser considerados elevados³³, o que indica grande dispersão dos dados em relação à média do conjunto amostral. Outro fator que merece destaque é a amplitude dos preços unitários, cujo preço máximo observado foi de R\$ 220,00/m²/mês e o mínimo de R\$ 26,04/m²/mês. Partindo da premissa de que os preços tendem a refletir as características intrínsecas e extrínsecas reais dos imóveis, essa informação, embora bastante trivial, permite perceber a grande heterogeneidade dos dados desta subamostra – afinal de contas, mesmo havendo semelhanças entre os edifícios paradigma, esta subamostra é composta por empreendimentos com características significativamente distintas, por exemplo, o padrão das construções varia da Classe B até a Classe AAA. No entanto, consigna-se que tais características distintas foram controladas na etapa de modelagem através de variáveis independentes, como a própria variável “Classe”.

Ainda observando a Tabela 3, mais especificamente as colunas de correlações, percebe-se que as variáveis independentes CJ, AC e AT apresentaram maiores coeficientes com relação à variável dependente denominada “Preço total médio” (PT). Já as variáveis I, V e IPTU se

³³ Dantas (2012) sugere uma dispersão baixa quando $CV < 0,10$; intermediária quando $0,10 < CV < 0,30$; e alta quando $CV > 30$.

mostraram mais correlacionadas com a dependente “Preço unitário médio” (PU). Antecipa-se que na etapa de modelagem, a variável dependente que apresentou melhor ajuste ao conjunto de dados foi PT, conforme apresentado adiante na seção 4.2. Na sequência, na Figura 13, apresenta-se os diagramas de dispersão para estas variáveis.

Figura 13 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e as variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 1.



Fonte: Autor.

De início, observa-se alguns coeficientes de determinação (R^2) que podem ser considerados muito baixos (exemplo: Figura 13a, 13d, 13e e 13f). Consigna-se que tais variáveis tiveram sua permanência no modelo analisada na etapa de modelagem, onde se considera não apenas uma análise bidimensional (análise isolada da variável dependente com cada variável independente), mas sim uma análise que leva em consideração a interação simultânea do conjunto de variáveis no hiperplano – o que passa por outras ferramentas estatísticas como o coeficiente de determinação ajustado do modelo, a matriz de correlações das variáveis, os possíveis ajustes do modelo e a validação dos pressupostos básicos dos modelos de regressão linear, como discorrido no tópico 2.4 desta dissertação.

Percebe-se ainda que a heterogeneidade anteriormente citada também pode ser observada através dos diagramas de dispersão apresentados na Figura 13, que permite, inclusive, observar a existência de pontos bem dispersos e alguns que destoam da massa de dados. De forma geral, os diagramas (b), (c) e (f) da Figura 13 apresentaram pontos significativamente dispersos, mas com tendência crescente, com intensidade de forte a moderada e com forma funcional linear e com leve indícios de linearidade. A tendência crescente destas variáveis comprova o comportamento usualmente observado no mercado imobiliário, ou seja, quanto maior o IPTU (R\$/m²) e as áreas dos imóveis (AC e AT), maior os preços totais observados.

No tocante às demais variáveis, também se observa uma dispersão elevada dos pontos. Os gráficos (a) e (d), ainda da Figura 13, possuem relação inversa das variáveis com o preço total médio (PT) e guardam coerência com a expectativa de comportamento de mercado. Trata-se de uma distribuição de intensidade moderada e que, *a priori*, apresentam-se com formas funcionais aparentemente não lineares.

Percebe-se ainda, alguns pontos que, seja isoladamente ou em grupo, se distanciam da massa de dados, sobretudo nos gráficos (a), (d), (e) e (f), onde o diagrama evidencia a existência de pontos consideravelmente deslocados, os quais tiveram pertinência analisada na etapa de modelagem – por exemplo, na Figura 13a³⁴, há três pontos que se destacam: dois à esquerda do gráfico com aproximadamente 20 conjuntos e com preços totais muito elevados e um à direita do gráfico com aproximadamente 200 conjuntos e preço total pequeno em relação aos demais dados. Sobre esses casos especiais, cabe esclarecer que tratam-se de edifícios cujos preços discrepantes se justificam por possuírem áreas médias de conjuntos elevadas e preços unitários

³⁴ Sobre este diagrama de dispersão (PT *versus* CJ), por uma questão de escala do eixo das ordenadas do gráfico, alguns pontos apresentaram-se demasiadamente próximo ao PT=0, no entanto, cabe esclarecer que o menor “preço total médio” da amostra é R\$ 2.860,03, como pode ser visto na coluna “Mínimo” da Tabela 3.

médios elevados (gerando produtos elevados, para os dois pontos à esquerda) e áreas média de conjunto pequena e preço unitário médio pequeno (gerando um produto pequeno em relação aos demais, para o ponto à direita).

Ainda na Figura 13e, observa-se um comportamento não esperado para a variável vacância. Para o conjunto amostral considerado, percebe-se que além desta variável apresentar tendência de baixa intensidade, a distribuição dos pontos aponta para um comportamento crescente. Sobre esse ponto, em uma análise preliminar, conjectura-se que o referido comportamento invertido pode estar sendo influenciado pelo contexto mercadológico local ou tratar-se de uma simples limitação da análise a nível de correlação.

É importante destacar que a correlação entre duas variáveis não necessariamente implica em causalidade, ou seja, o diagrama de dispersão (e o coeficiente de correlação) não medem a relação entre causa e efeito, uma vez que outros fatores/variáveis podem influenciar neste comportamento, razão pela qual esta variável é testada com mais fundamentação com uso da inferência estatística, na etapa de modelagem. Inclusive, apesar do comportamento evidenciado, esta variável se mostrou com comportamento de mercado coerente e com significância estatística suficiente para compor o modelo de regressão com essa base de dados (conforme discorrido em 4.2.1).

4.1.1.2 Análise das variáveis qualitativas da Subamostra 1

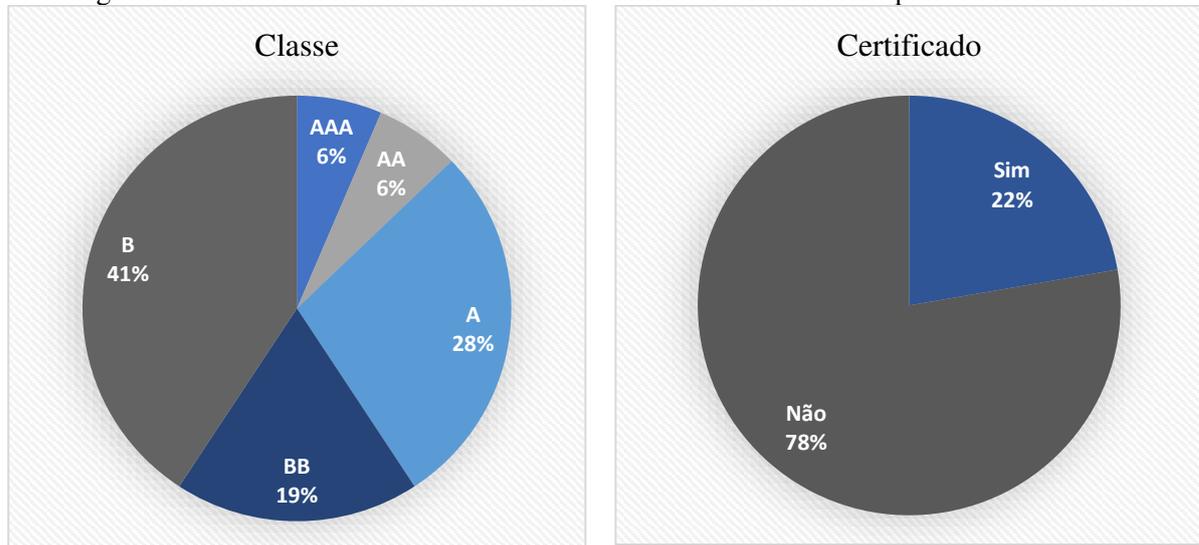
As figuras a seguir (figuras 14, 15, 16 e 18), trazem algumas percepções iniciais sobre as variáveis qualitativas testadas nesta pesquisa, sobretudo com relação à variável “Certificado”, que representa a existência ou não de certificação LEED nos edifícios constituintes da amostra.

Ao observar a Figura 14, percebe-se que a maioria dos dados pertencem à Classe B e BB (juntas somam em torno de 60% do conjunto de dados). Além disso, cerca de 78% dos edifícios deste recorte amostral não possuem certificação LEED, o que evidencia que mesmo considerando um recorte amostral com edifícios de padrões mais altos (classes B e A), a quantidade de edifícios com certificação, frente àqueles sem certificação, ainda é pequena.

Outro aspecto importante de ser mencionado é que a relação entre edifícios certificados e não certificados tende a aumentar na medida em que o padrão (classe) dos edifícios aumentam, ou seja, há uma tendência de que quanto maior o patamar de classe, maior a quantidade de

edifícios certificados, o que pode ser confrontado com a considerável correlação entre essas duas variáveis (correlação linear entre “classe” e “certificado” igual a 0,65)³⁵.

Figura 14 – Gráfico de setores das variáveis “Classe” e “Certificado” para a Subamostra 1.



Fonte: Autor.

Ao analisar a Figura 15, que representa a quantidade de edifícios certificados por classe de padrão, percebe-se que no patamar de Classe B (extremo inferior desta variável) não há elementos certificados, portanto, 100% dos edifícios desse patamar não são certificados. Na medida em que se aumentam as classes (de B para AAA), percebe-se que o percentual de edifícios não certificados, frente aos edifícios certificados, reduz, até o extremo superior no patamar de Classe AAA, onde todos os edifícios são certificados.

Figura 15 – Gráfico de colunas que representa a frequência de edifícios certificados por classe para a Subamostra 1.

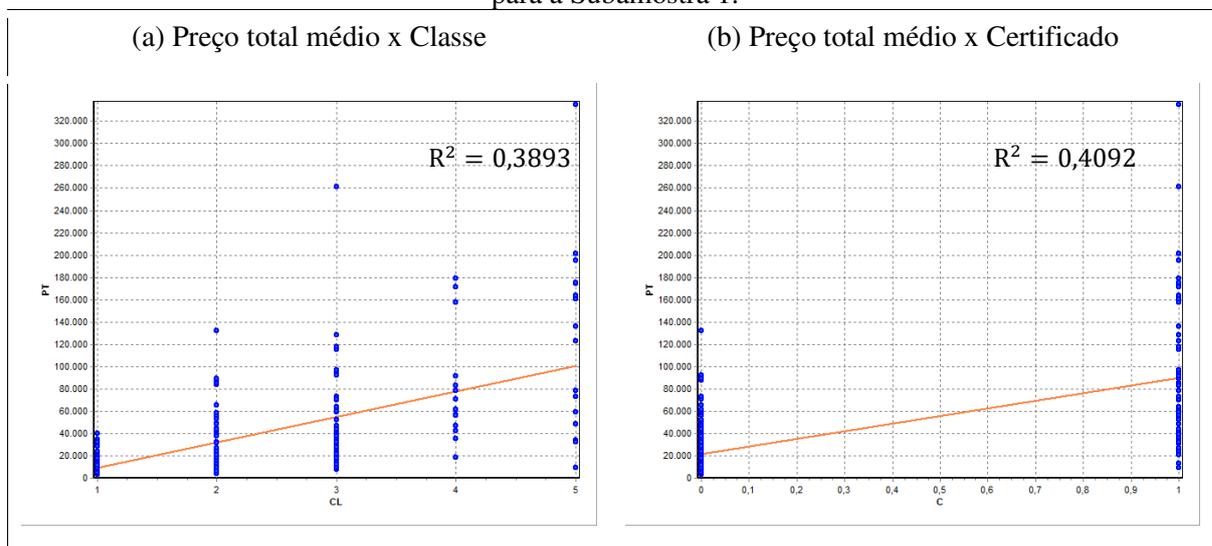


Fonte: Autor.

³⁵ Calculada com base no conjunto de dados em análise, isto é, “Subamostra 1”.

Essa constatação além de reforçar a correlação supracitada entre “Classe” e “Certificado”, destaca o desbalanceamento amostral do conjunto, no tocante à variável que capta efeito de certificação. Essa condição limitativa da amostra leva algumas dificuldades para a etapa de modelagem, em razão da falta de informações sobre a variação dos preços nos patamares extremos de “Classe”, em função da variável Certificado. Pretendendo analisar a tendência dessas variáveis com relação à variável explicada (PT), apresenta-se na Figura 16 os gráficos de dispersão (a) PT x CL e (b) PT x C.

Figura 16 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e as variáveis “Classe” e “Certificado” para a Subamostra 1.



Fonte: Autor.

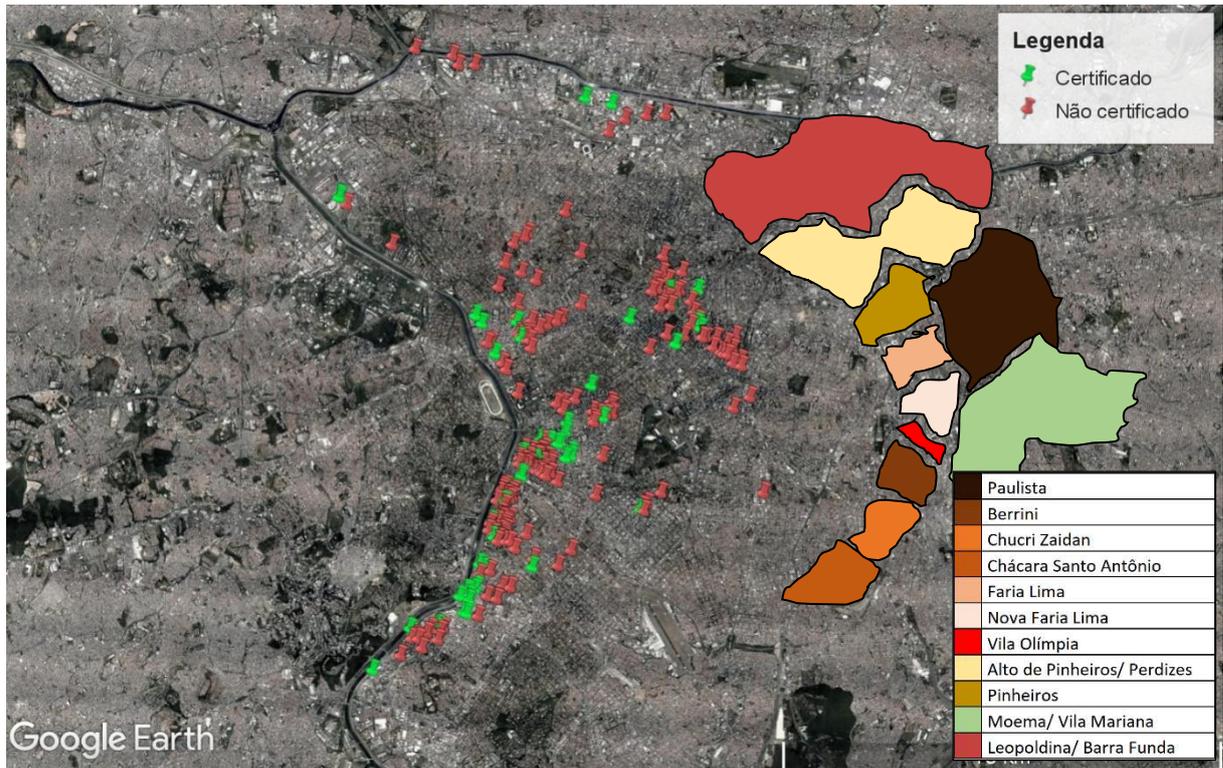
Com base na Figura 16a, em que pese a existência de alguns dados distantes da massa de dados, pode-se perceber que os pontos estão distribuídos com uma tendência coerente com a lógica de mercado – quanto maior o padrão, ou classe do empreendimento, maior a tendência de preços de aluguéis mais elevados.

No que se refere ao gráfico da Figura 16b, identifica-se um comportamento crescente dessa variável com relação ao preço total, o que indica, embora que de forma bem preliminar, um comportamento médio de mercado que se deve esperar: com base nesses dados, vislumbra-se que a variável “Certificado” pode ter influência positiva nos preços de aluguéis dos escritórios, o que sinaliza a possibilidade de rejeição de H_{01} .

Com respeito à distribuição geográfica dos elementos deste recorte amostral, percebe-se que as regiões “Leopoldina / Barra Funda” e “Moema / Vila Mariana” são as de menor densidade de edifício em relação às suas áreas, com base em uma análise visual da Figura 17. Por outro lado, algumas regiões possuem maiores concentrações de edifícios, sobretudo àquelas que margeiam a Marginal Pinheiros, importante corredor viário da cidade.

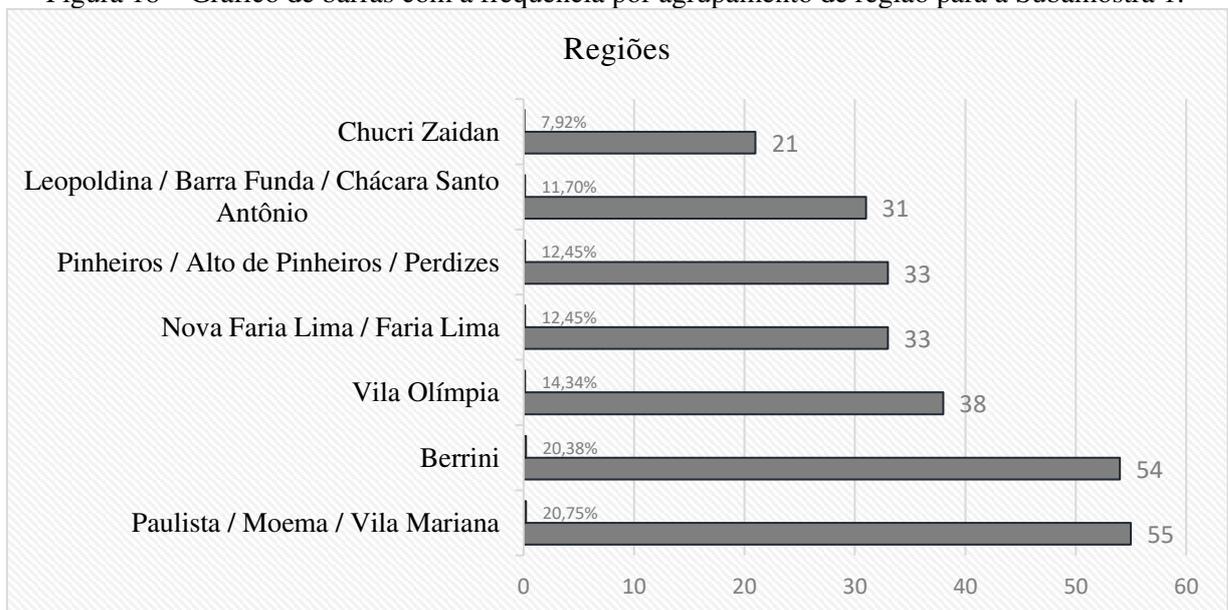
A Figura 18 detalha a quantidade de edifícios por região considerada neste recorte amostral, e permite, junto com a Figura 17 ter uma boa percepção acerca do quão dispersos estão esses edifícios, além de permitir uma análise visual dos agrupamentos realizados na definição do conjunto de variáveis de “Região” (dicotomia em grupo).

Figura 17 – Distribuição geográfica dos imóveis constituintes da Subamostra 1.



Fonte: Adaptado do software Google Earth Pro.

Figura 18 – Gráfico de barras com a frequência por agrupamento de região para a Subamostra 1.



Fonte: Autor.

4.1.2 Análise exploratória da Subamostra 2

Este recorte amostral é uma tentativa de obter uma subamostra mais homogênea e assim reduzir as chances de que variáveis potencialmente importantes para explicar a variação dos preços não estejam sendo consideradas no estudo. Portanto, partiu-se da “Subamostra 1” e considerou-se apenas os edifícios que receberam classificação de extrato A (AAA, AA e A), resultando em um conjunto de dados com 108 observações, sendo 52 com certificação LEED.

4.1.2.1 Análise das variáveis quantitativas e proxy da Subamostra 2

A Tabela 4, apresentada abaixo, retrata o resultado da estatística descritiva para este recorte amostral.

Tabela 4 – Medidas de posição e dispersão das variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 2.

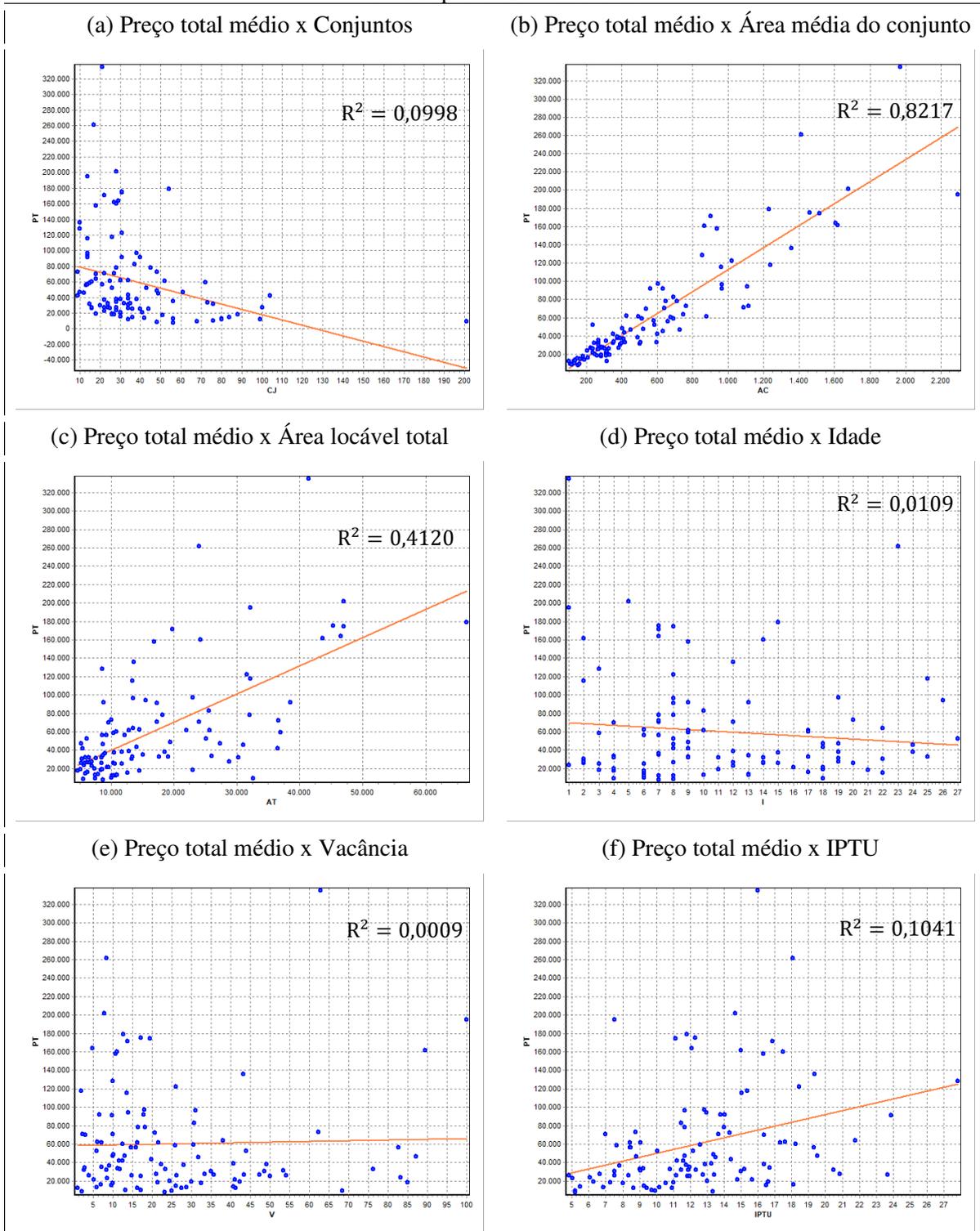
Variável	Subamostra 2									
	Obs.	Máximo	Mínimo	Amplitude	Média	Mediana	Desv. Padrão	Coef. Variação	Corr. c/ PT	Corr. c/ PU
Variáveis quantitativas:										
PT	108	334946,22	7750,00	327196,22	60574,31	37930,90	57912,52	0,96	-	-
PU	108	220,00	38,07	181,94	100,54	95,00	32,27	0,32	-	-
CJ	108	201,00	9,00	192,00	37,45	30,00	26,95	0,72	-0,32	-0,13
AC	108	2294,57	102,10	2192,47	565,93	411,41	434,97	0,77	0,91	0,26
AT	108	66507,11	4694,43	61812,68	16827,64	11948,00	12138,98	0,72	0,64	0,23
I	108	27,00	1,00	26,00	11,00	9,00	6,60	0,60	-0,10	-0,12
V	108	100,00	1,00	99,00	25,52	17,91	22,06	0,86	0,03	-0,30
Variável proxy:										
IPTU	108	27,83	4,82	23,01	12,56	11,98	4,44	0,35	0,32	0,44

Fonte: Autor.

Embora tenha sido observado uma leve redução no coeficiente de variação (CV) da maioria das variáveis quantitativas (PT, PU, AC, AT, V e IPTU), em comparação com os resultados apresentados na Tabela 3, percebe-se que ainda há uma expressiva dispersão dos pontos em relação à média de cada variável. Comportamento semelhante pode ser observado ao se comparar a amplitude dessas variáveis entre os dois recortes amostrais, com uma ressalva que merece destaque: a Subamostra 1 possui amplitude da variável idade (“I”) igual a 41 anos, com média de 18,84 anos; enquanto que a Subamostra 2 tem amplitude igual a 26 anos e média de 11 anos, o que indica que a Subamostra 2 é composta por edifícios substancialmente mais novos. Ainda cumpre observar que a média dos preços unitários médios (PU) aumentou para R\$ 100,54 / m² / mês (variação percentual em torno de 23%) com relação à média da Subamostra 1. Com relação às correlações das variáveis explicativas com a variável dependente PT, algumas (a saber: CJ, AC e IPTU) apresentaram-se com coeficientes pouco maiores do que

aqueles observados para estas mesmas variáveis na Subamostra 1. Para esse novo conjunto de dados, a variável dependente PT também apresentou melhores ajustes na etapa de modelagem, razão pela qual esta foi a variável dependente efetivamente utilizada para construção do Modelo 2. Os diagramas de dispersão, apresentados na Figura 19, contribuem para a análise.

Figura 19 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e as variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 2.



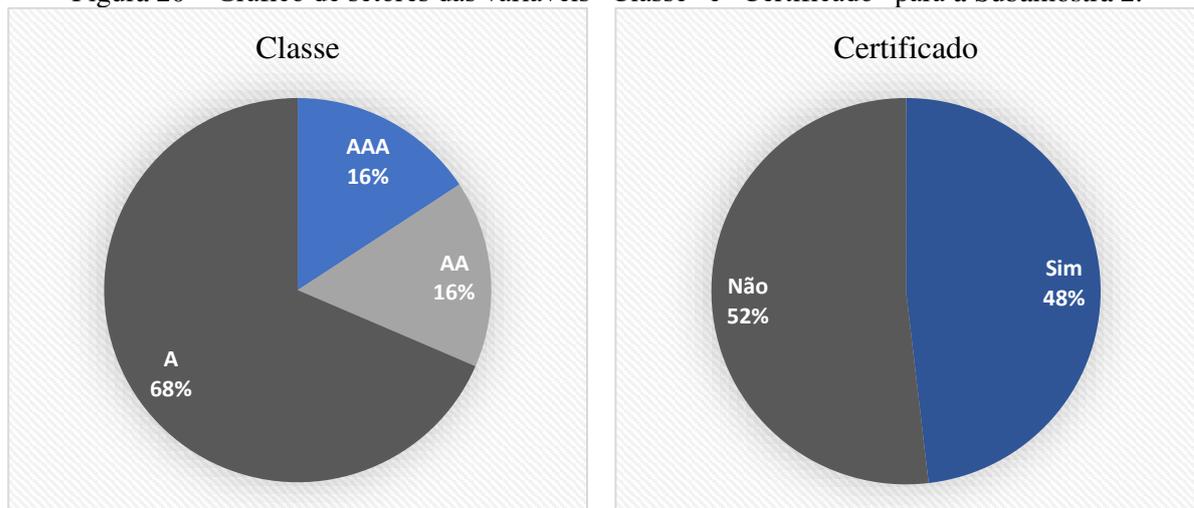
Fonte: Autor.

Percebe-se que os diagramas guardam significativa semelhança com os apresentados na Figura 13 para a Subamostra 1. Apresentam-se com grandes dispersões para algumas variáveis, com uma quantidade considerável de pontos distantes da massa de dados, os quais foram analisados com mais detalhes durante a modelagem.

4.1.2.2 Análise das variáveis qualitativas da Subamostra 2

No tocante às variáveis qualitativas, para a Subamostra 2, observa-se na Figura 20 que a representatividade amostral de edifícios com certificação LEED (48%) aumentou consideravelmente com relação à Subamostra 1 (22%, ver Figura 14). Sob à perspectiva de modelagem estatística, o fato exposto é desejável em razão do maior equilíbrio amostral da variável que se pretende estudar. Com relação à variável “classe”, há uma predominância de dados classificados com “A”, em torno de 68% (74 edifícios). A distribuição de dados por classe e certificado pode ser feita com base na Figura 15.

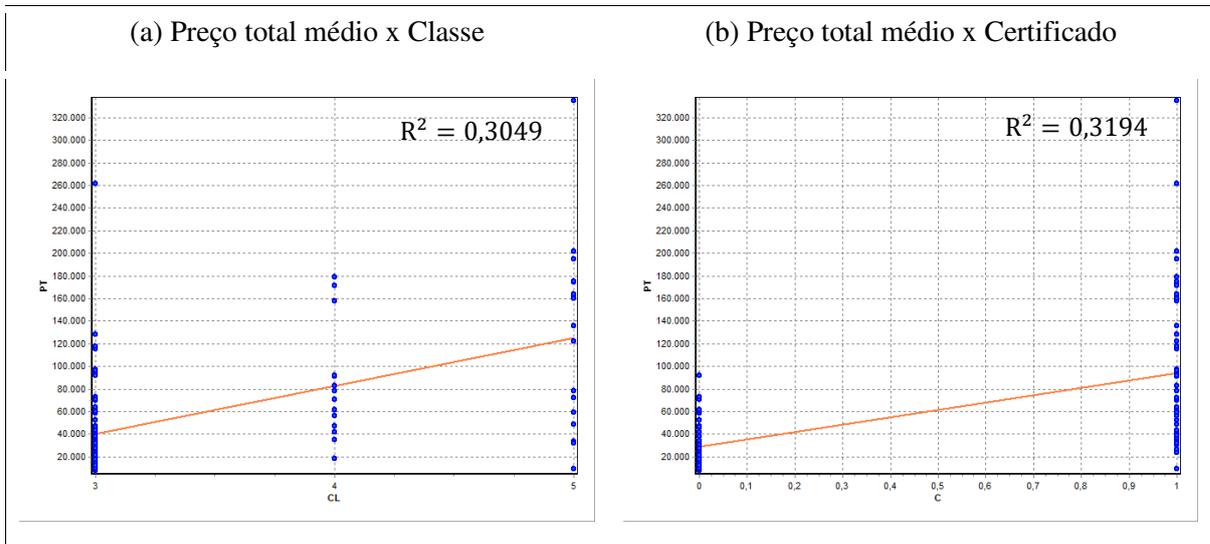
Figura 20 – Gráfico de setores das variáveis “Classe” e “Certificado” para a Subamostra 2.



Fonte: Autor.

Visando investigar a tendência destas variáveis com relação ao preço total médio (PT), apresenta-se os gráficos de dispersão da Figura 21. Sobre a variável classe (Figura 21a), o comportamento guarda coerência com a lógica de mercado, inclusive muito semelhante à Subamostra 1 (Figura 16a). Com respeito ao gráfico apresentado na Figura 21b, percebe-se que, embora alguns pontos se mostrem distantes da massa de dados, a expectativa de relação crescente de C com PT é mantida.

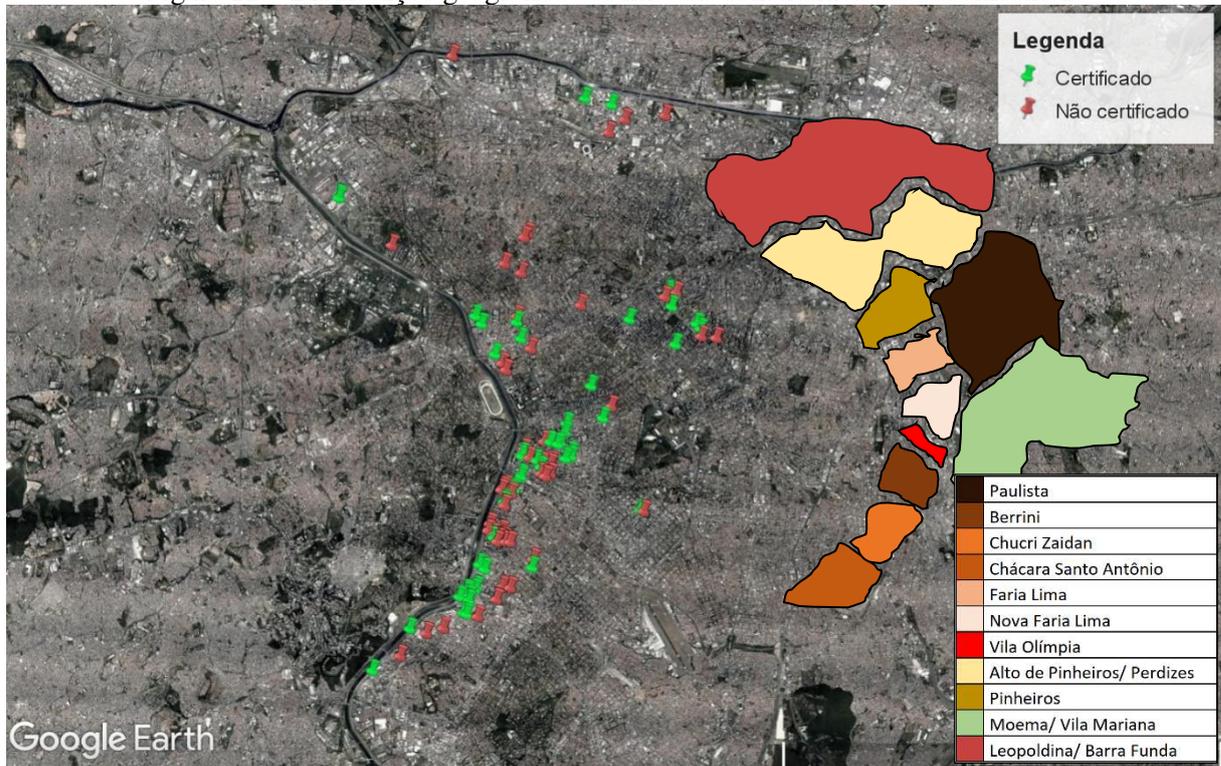
Figura 21 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e as variáveis “Classe” e “Certificado” para a Subamostra 2.



Fonte: Autor.

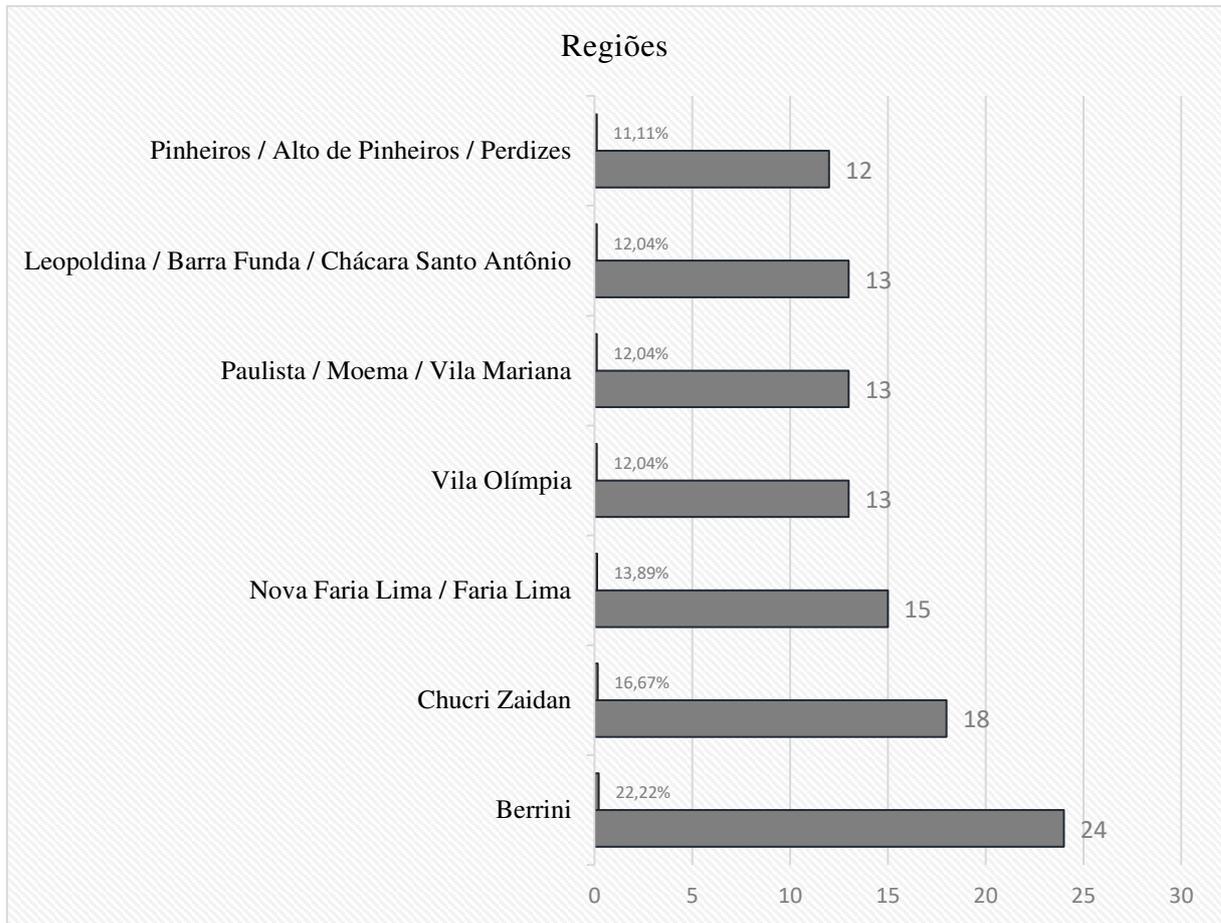
Sobre a distribuição geográfica dos dados, apresenta-se a Figura 22 e a Figura 23. Percebe-se que as regiões de Berrini, Chucrí Zaidan e Nova Faria Lima/Faria Lima possuem grande quantidade de edifícios de alto padrão (juntas representam em torno de 53% da amostra), mesmo não possuindo grandes extensões territoriais.

Figura 22 – Distribuição geográfica dos imóveis constituintes da Subamostra 2.



Fonte: Adaptado do software Google Earth Pro.

Figura 23 – Gráfico de barras com a frequência por agrupamento de região para a Subamostra 2.



Fonte: Autor.

4.1.3 Análise exploratória da Subamostra 3

Esta subamostra considera apenas edifícios com certificação LEED e objetiva subsidiar a análise de H_0 . Resultou em um recorte amostral com 59 observações. A Subamostra 3 considera como base os edifícios da Subamostra 1, retirando apenas aqueles que não possuem a certificação. Desse modo, esse conjunto de dados contempla edifícios classificados com AAA, AA, A e BB, todos de perfil *corporate*, localizados nas mesmas 11 regiões de interesse.

4.1.3.1 Análise das variáveis quantitativas e proxy da Subamostra 3

As estatísticas descritivas da Subamostra 3 estão sumarizadas na Tabela 5. Com destaque para inserção da variável NC, que captura o efeito do nível de certificação atingido e representa a pontuação obtida no processo de certificação.

Tabela 5 – Medidas de posição e dispersão das variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 3.

Variável	Subamostra 3									
	Obs.	Máximo	Mínimo	Amplitude	Média	Mediana	Desv. Padrão	Coef. Variação	Corr. c/ PT	Corr. c/ PU
Variáveis quantitativas:										
PT	59	334946,22	9371,23	325574,99	89704,04	70562,32	64584,84	0,72	-	-
PU	59	220,00	39,22	180,78	112,23	105,14	36,42	0,32	-	-
CJ	59	201,00	10,00	191,00	34,12	28,00	28,77	0,84	-0,30	-0,14
AC	59	2294,57	161,90	2132,67	785,63	661,30	470,06	0,60	0,87	0,09
AT	59	66507,11	5753,58	60753,53	21894,53	17319,84	13331,02	0,61	0,56	0,10
I	59	38,00	1,00	37,00	11,76	9,00	8,97	0,76	-0,12	-0,26
V	59	100,00	1,93	98,07	26,95	17,86	25,02	0,93	-0,03	-0,40
NC	59	89,00	24,00		61,14	64,00	11,84	0,19	0,09	0,08
Variável proxy:										
IPTU	59	27,83	4,76	23,07	13,34	12,98	4,78	0,36	0,32	0,48

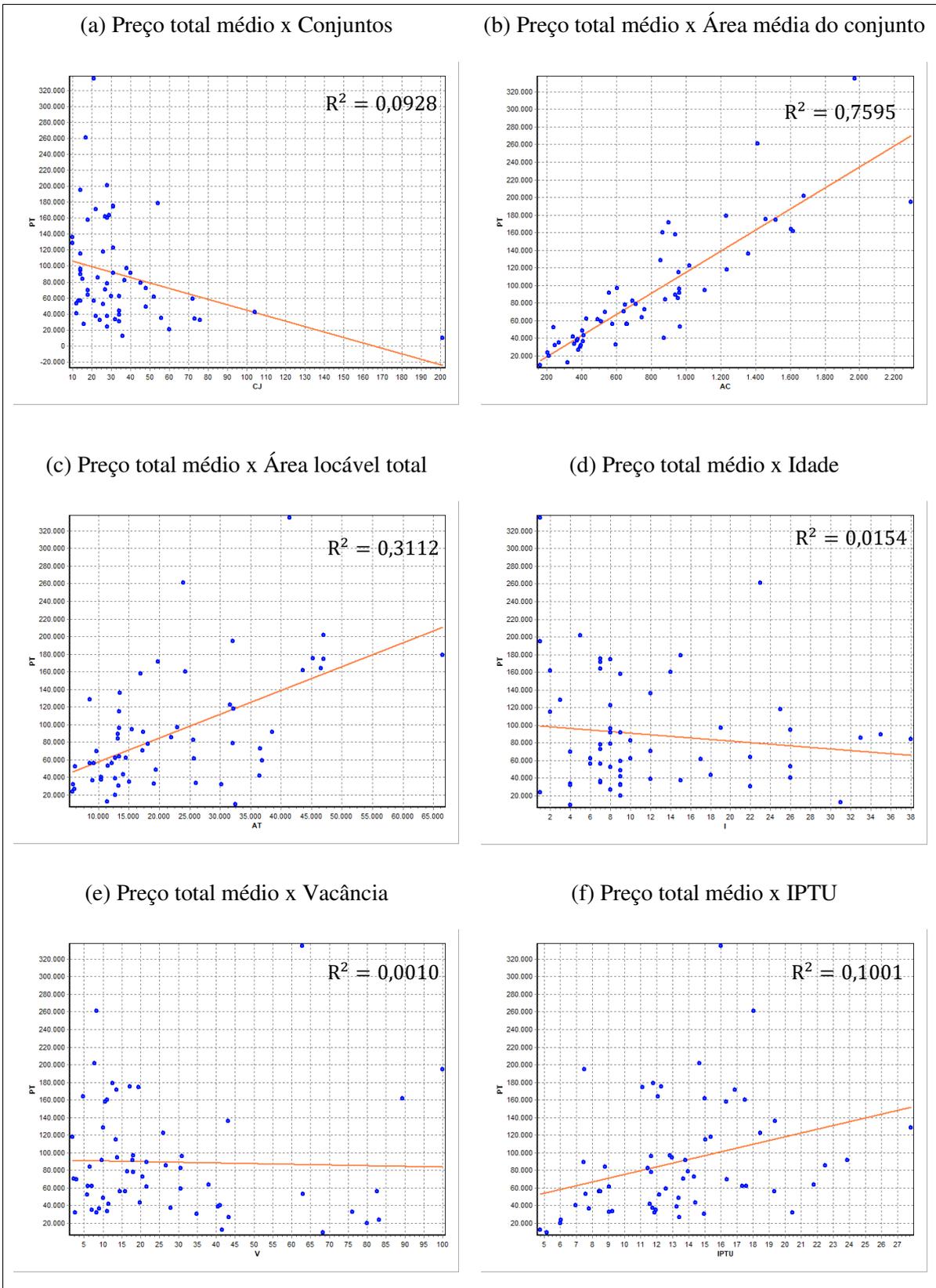
Fonte: Autor.

De maneira semelhante às outras duas subamostras, a Subamostra 3 também apresenta altos coeficientes de variação das variáveis selecionadas, o que indica que os três conjuntos de dados possuem heterogeneidades consideráveis. Além disso, a semelhança com as outras subamostras também é guardada quanto às correlações das variáveis explicativas com as explicadas, inclusive PT permaneceu como sendo a variável independente efetivamente utilizada no Modelo 3.

Dando destaque à variável NC, cabe esclarecer que a opção de ser considerada a pontuação atingida (variável quantitativa) no lugar do patamar de nível obtido (*Certified, Silver, Gold e Platinum*) se deu por questões de equilíbrio amostral – apenas 2 edifícios receberam o selo “*Certified*” e 5 o selo “*Platinum*”, o que ocasionaria em descumprimento das orientações normativas, no âmbito da ABNT NBR 14653-2, no que diz respeito à micronumerosidade. Além disso, percebe-se que esta variável (NC) tem baixa correlação linear com o preço total médio (PT), o que indica um poder explicativo potencialmente baixo.

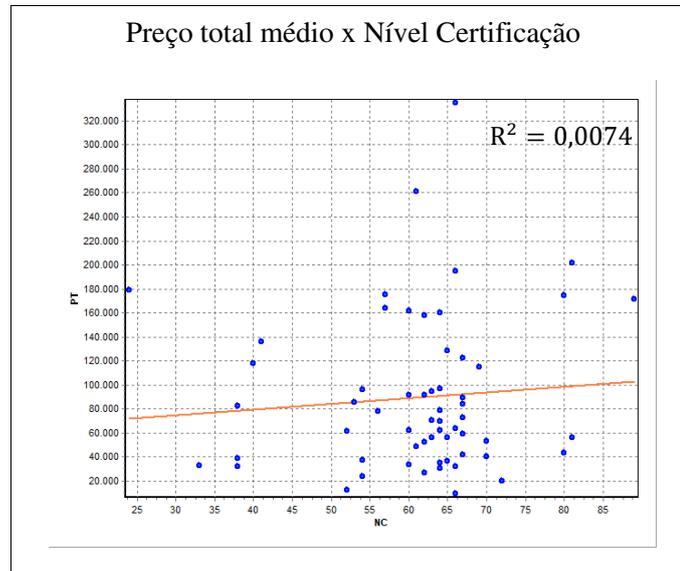
Apresenta-se na Figura 24, os diagramas de dispersão das variáveis testadas. Como de se esperar, percebe-se semelhanças com as distribuições apresentadas na Figura 13 e Figura 19. Adicionalmente, na Figura 25 apresenta-se isoladamente o diagrama de dispersão da variável nível de certificação (NC), variável esta particular para este conjunto amostral.

Figura 24 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e as variáveis quantitativas e proxy testadas para a Subamostra 3.



Fonte: Autor.

Figura 25 – Gráficos de dispersão entre o “Preço total médio” e a variável “Nível de Certificação”, para a Subamostra 3.



Fonte: Autor.

As variáveis apresentam, *a priori*, comportamento aderente à expectativa de mercado, inclusive com relação à vacância (V). Embora o gráfico da Figura 24e demonstre uma grande dispersão dos pontos, há uma tendência decrescente de V com PT (mesmo que de intensidade fraca).

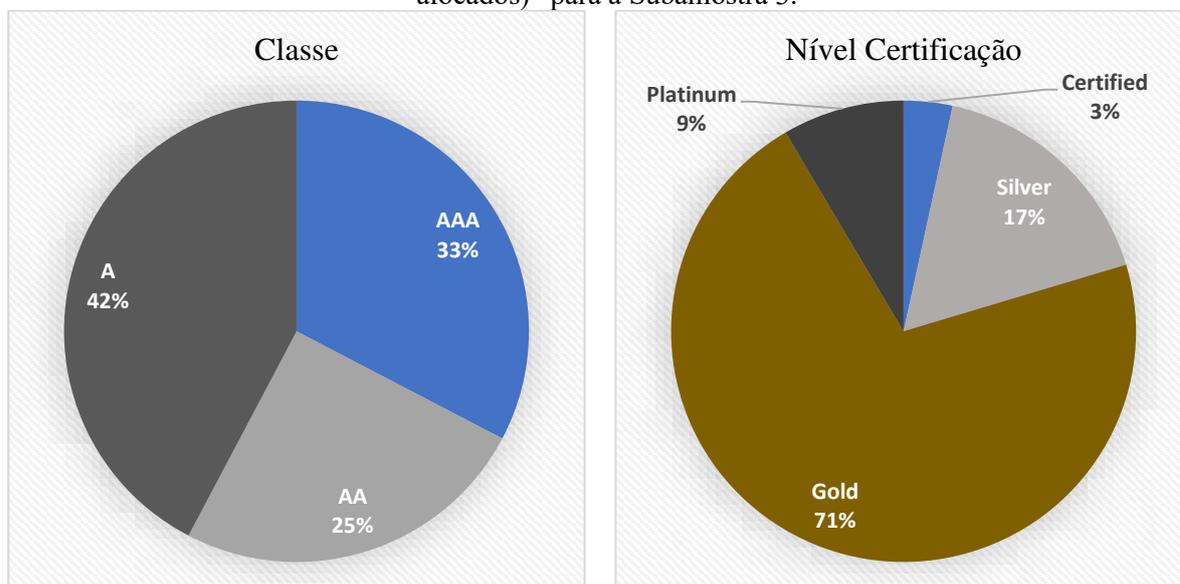
Analisando a Figura 25, pode-se perceber que os pontos estão fortemente dispersos, aparentemente sem forma funcional definida, mas com uma tendência média crescente, de intensidade fraca, em função de PT. Apesar de se tratar de uma percepção preliminar, pode-se dizer que o mercado parece responder de forma positiva com relação aos maiores níveis de certificação.

4.1.3.2 Análise das variáveis qualitativas da Subamostra 3

Sobre as variáveis qualitativas, apresentam-se as figuras abaixo. Inicialmente, na Figura 26, já é possível perceber que para esse recorte amostral, a variável “Classe” acaba tendo um maior equilíbrio entre suas categorias, sendo cerca de 33% da amostra composta por edifícios pertencentes ao patamar de mais alto padrão do mercado (AAA).

Ainda na Figura 26, é apresentado o gráfico de setores da variável Nível de Certificação. No entanto, sua apresentação se dá fazendo a separação por categoria de selo obtido, conforme os critérios estabelecidos pela metodologia LEED. Cabe reforçar que esta variável, na forma de códigos alocados, não foi utilizada no modelo por questão de equilíbrio amostral, está aqui apresentada apenas para facilitar a compreensão sobre o tipo de selo predominante na amostra.

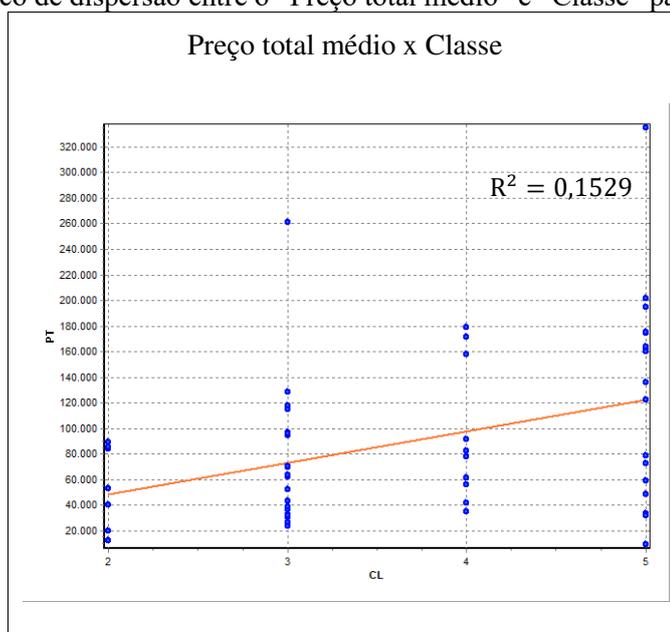
Figura 26 – Gráfico de setores das variáveis “Classe” e “Nível Certificação (na forma de códigos alocados)” para a Subamostra 3.



Fonte: Autor.

A maioria dos edifícios da Subamostra 3 (em torno de 71%) possuem certificação de nível *Gold* - que contempla pontuação variando de 60 a 79, conforme critérios atuais do LEED. Para fins de registro, a Figura 27 mostra a relação da variável CL com PT, cujo comportamento é semelhante aos demais recortes amostrais e guarda coerência com a expectativa de mercado.

Figura 27 – Gráfico de dispersão entre o “Preço total médio” e “Classe” para a Subamostra 3.

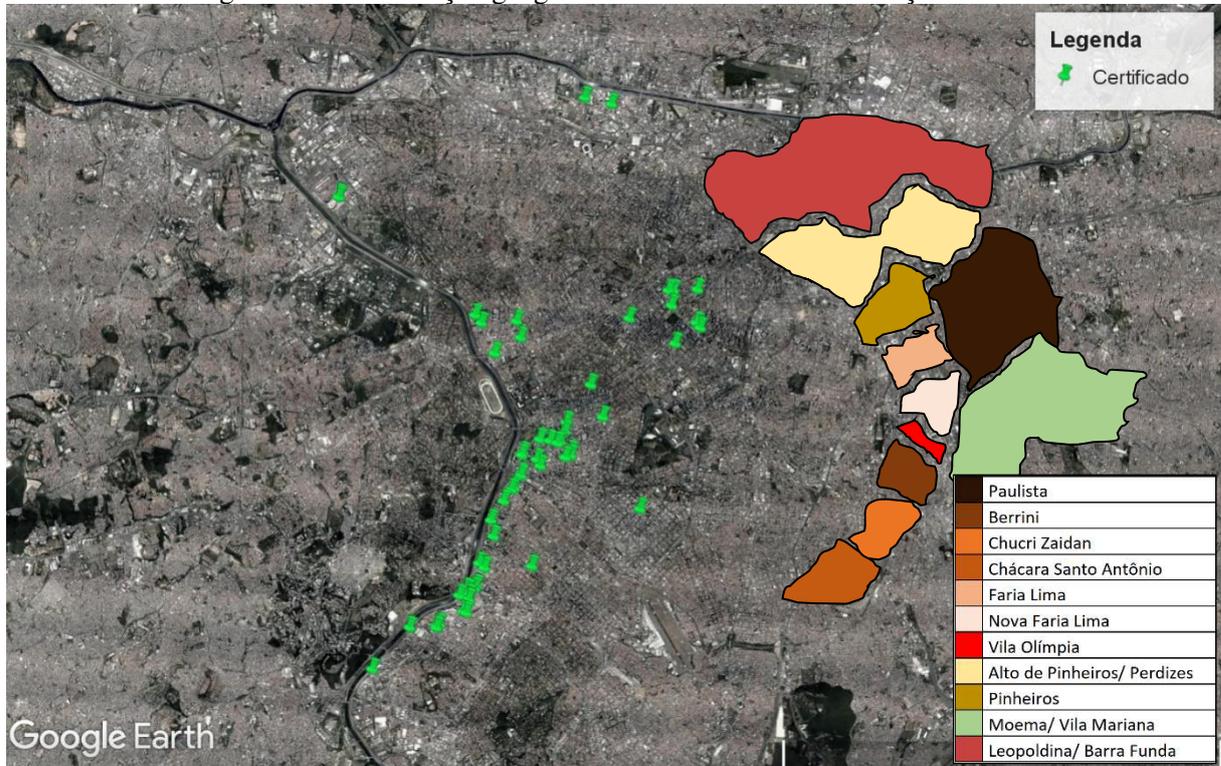


Fonte: Autor.

No que diz respeito à localização desses edifícios, as figuras abaixo (Figura 28 e Figura 29) demonstram que os edifícios certificados se concentram principalmente nas regiões Nova

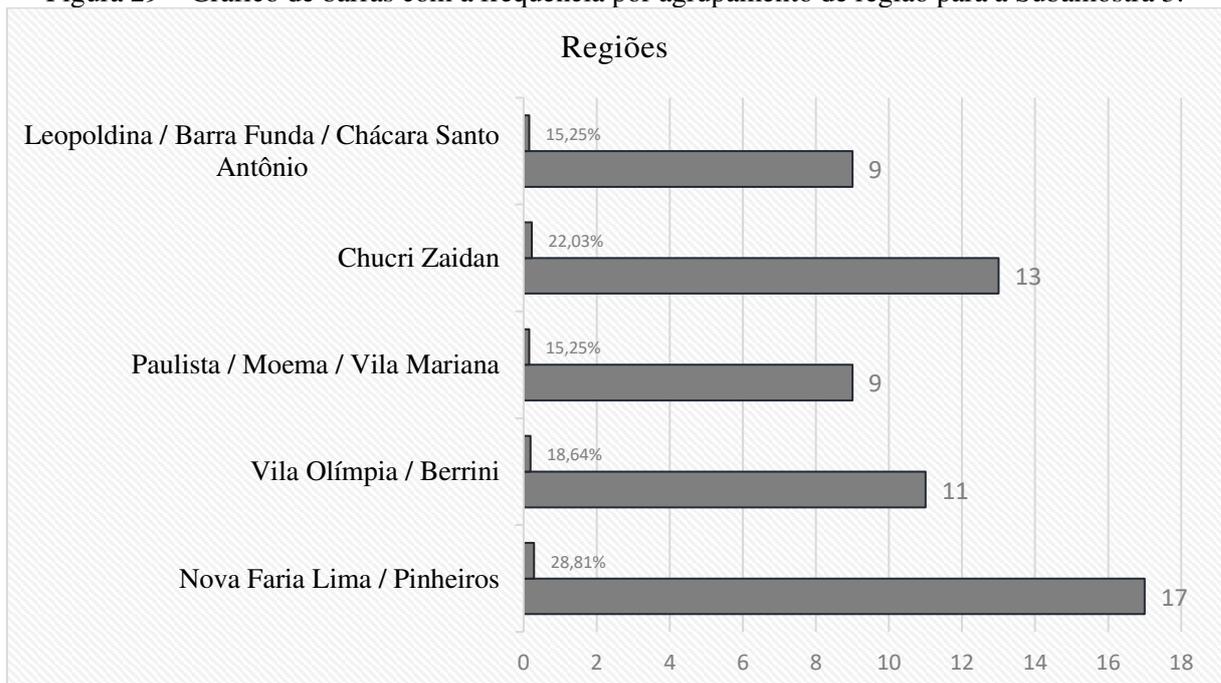
Faria Lima/Pinheiros e Chucrí Zaidan (juntas somam em torno de 51% da amostra). Cumpre reforçar que para esse conjunto de dados, as regiões foram reagrupadas, sendo resultante os 5 agrupamentos apresentados nas figuras supracitadas.

Figura 28 – Distribuição geográfica dos imóveis de certificação LEED.



Fonte: Adaptado do software Google Earth Pro.

Figura 29 – Gráfico de barras com a frequência por agrupamento de região para a Subamostra 3.



Fonte: Autor.

4.2 Especificações dos modelos de regressão inferidos

As análises e observações realizadas na seção anterior (4.1), já apontam, *a priori*, para a existência de alguma tendência positiva da variável “Certificado” com relação ao preço médio de locação dos edifícios pertencentes ao mercado em estudo. No entanto, feita a análise exploratória, para testar estatisticamente as hipóteses formuladas na seção 3.1, procedeu-se com a modelagem estatística, com base na construção de modelos clássicos de regressão linear. A seguir, serão apresentados os resultados, bem como as análises, dos modelos inferidos nesta pesquisa.

4.2.1 Modelo 1: Edifícios corporate

Com base na Subamostra 1, suportado pela teoria apresentada nesta dissertação, o modelo de preços hedônicos para esse conjunto de dados assume a forma já apresentada na Equação (11), sendo a Equação (14) sua representação com os parâmetros (β_n) estimados.

$$\begin{aligned} \ln(\text{PT}) = & +3,46151847 + 1,083266631 \ln(\text{AC}) - 0,01352916541 \text{ (I)} \\ & - 0,002005741706 \text{ (V)} + 0,06297277514 \text{ (CL)} \\ & + 0,08317837314 \text{ (C)} + 0,01705113764 \text{ (IPTU)} \\ & + 0,5652879697 \text{ (R1)} + 0,5983853879 \text{ (R2)} \\ & + 0,3583486272 \text{ (R3)} + 0,2734858985 \text{ (R4)} \\ & + 0,4163205568 \text{ (R5)} + 0,1715264195 \text{ (R6)} \end{aligned} \quad (14)$$

Como foi utilizada a transformação logarítmica na variável dependente (PT), pode ser útil representar o modelo em sua forma exponencial, portanto, realizando as operações matemáticas, tem-se o Modelo 1 na forma da Equação (15).

$$\begin{aligned} \text{PT} = & 31,8653263376423 * 2,95431446024019^{\ln(\text{AC})} * 1,01362109869679^{-\text{I}} \\ & * 1,00200775455133^{-\text{V}} * 1,06499784442006^{\text{CL}} \\ & * 1,08673563571335^{\text{C}} * 1,01719733806163^{\text{IPTU}} \\ & * 1,75995452332687^{\text{R1}} * 1,8191791591322^{\text{R2}} \\ & * 1,43096440666042^{\text{R3}} * 1,31453882207218^{\text{R4}} \\ & * 1,51637187426948^{\text{R5}} * 1,18711550530236^{\text{R6}} \end{aligned} \quad (15)$$

Na forma da Equação (15) é possível entender o impacto de cada variável independente na variável dependente através de uma observação direta do modelo, o que facilita a

interpretação dos resultados obtidos -- por exemplo, é possível perceber que, em média, os preços dos imóveis certificados (C) estão 8,67% superior aos não certificados, como será mais bem desenvolvido na sequência.

4.2.1.1 Aspectos relacionados à construção do Modelo 1

Precipualemente, cabe registrar que o modelo apresentado em (14(11)) teve o pressuposto básico da normalidade dos resíduos atendido. A verificação da normalidade dos resíduos nesta pesquisa foi realizada pelo exame visual do histograma dos resíduos amostrais padronizados e do gráfico de resíduos padronizados *versus* valores ajustados, além do teste de aderência de Shapiro Wilk, cujo resultado indica aderência à distribuição normal³⁶. Com o objetivo de acentuar a relação linear das variáveis, considerou-se as transformações logarítmicas na variável dependente PT e na independente AC.

Registra-se que dos 265 que compõem a subamostra, 251 foram efetivamente utilizados na construção do modelo, os 14 dados excluídos apresentaram-se significativamente discrepantes da massa de dados e/ou apresentaram alto resíduos, de forma que poderiam não representar o comportamento médio do mercado. Ao analisar a Equação (14(11)), percebe-se que das 14 variáveis explicativas (independentes) inicialmente eleitas para a Subamostra 1 (a saber: AC, AT, I, V, CJ, CL, C, IPTU e as 6 variáveis R, todas apresentadas no Quadro 4), foram usadas apenas 12 para compor o modelo, sendo as variáveis AT e CJ excluídas no processo de modelagem.

No tocante às variáveis excluídas, quando testadas juntas em um mesmo modelo, AT (Área locável total) apresentou para alguns ajustes significância (valor-p)³⁷ superior ao limite de 30% estabelecido pela NBR 14653-2 (ABNT, 2011) e/ou correlação elevada com a variável CJ (Conjuntos). CJ, por sua vez, apresentou parâmetros estimados com sinais opostos à expectativa de mercado, ou seja, o modelo respondia com estimativas maiores na medida em que se aumentava a entrada da referida variável. É possível que tal comportamento tenha origem na alta correlação potencial desta variável com AT, razão pela qual não foi considerada para compor o modelo final. Ao se testar AT, sem a presença de CJ, percebe-se que esta não contribuiu significativamente com poder de explicação do modelo (apesar de se mostrar com níveis de significância estatística aceitáveis, ao inseri-la, houve um ínfimo acréscimo – na

³⁶ Para esse modelo, o valor-p do teste foi 0,4079, portanto, não rejeita-se a hipótese nula da normalidade ao nível de 1%.

³⁷ Menor nível de significância para a qual rejeita-se H_0 .

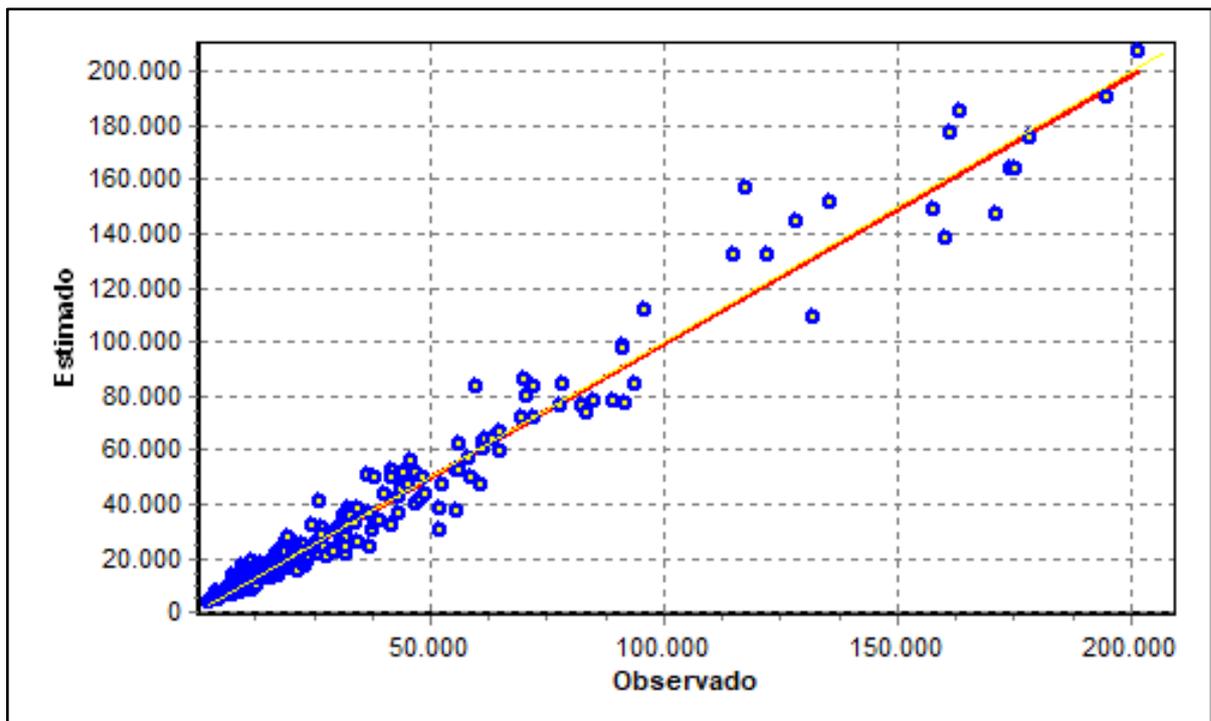
ordem de 0,0005 -- no coeficiente de determinação ajustado do modelo), de forma que também não foi considerada visando obter um modelo com estrutura mais parcimoniosa.

4.2.1.2 Estatísticas e interpretações do Modelo 1

Após a obtenção de um modelo satisfatório e validado (Equação (14)), pode-se fazer as interpretações apresentadas na sequência com base nos resultados obtidos da regressão.

No que concerne às variáveis efetivamente utilizadas, todas apresentaram um comportamento, a princípio, coerente com a expectativa de mercado. O modelo se mostrou estatisticamente significativo³⁸ ao nível de 1% e apresentou-se com coeficiente de determinação de 95,41%, ou seja, cerca de 95,41% das variações (variabilidade) observadas nos preços são explicadas pelo modelo. Ao considerar no plano cartesiano os pares dos preços observados *versus* valores estimados (gráfico de aderência), tem-se o gráfico apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Gráfico de aderência que representa os preços observados *versus* valores estimados pelo Modelo 1.



Fonte: Autor.

³⁸ Como já apresentado, a significância do modelo foi testada utilizando o “teste F de Snedecor”, cuja hipótese nula definida é: o conjunto de variáveis explicativas não é importante para explicar a variabilidade observada dos preços.

A análise da Figura 30 permite identificar visualmente quão próximo os valores estimados estão dos observados, o que contribui para interpretação do poder de predição do modelo. A linha amarela é apenas uma indicação da bissetriz do primeiro quadrante do plano cartesiano representado, enquanto que a vermelha indica a linha de tendência ou reta de regressão (aquela que passa mais próxima do centro do conjunto de todos os dados plotados).

Percebe-se, portanto, que os dados estão bem distribuídos ao longo da reta de regressão, a qual se aproxima da bissetriz (inclusive, por uma questão de escala, visualmente ambas retas parecem ser coincidentes). Percebe-se também que, apesar de existirem alguns pontos mais distantes da bissetriz (dados mais discrepantes), a massa de dados segue uma coerência linear de distribuição, sem indícios de pontos influenciantes³⁹, apresentando uma boa qualidade do ajuste.

A Tabela 6 apresenta as estatísticas “t”, as significâncias (valor-p) dos parâmetros e as transformações aplicadas em cada variável. Chama-se por “intercepto” o coeficiente linear da equação de regressão - no caso de (11), o intercepto está representado por β_0 . Portanto, a transformação indicada para o intercepto na Tabela 6 se refere, na verdade, à transformação aplicada na variável dependente (PT).

Tabela 6 – Ajuste estatístico do Modelo 1.

Variável	Estatística t	Valor-p (%)	Transf.
Intercepto	24,61	0,00	ln(y)
AC	40,86	0,00	ln(x)
I	-8,88	0,00	x
V	-2,92	0,39	x
CL	3,49	0,06	x
C	1,99	4,83	x
IPTU	5,19	0,00	x
R1: Nova Faria Lima / Faria Lima	9,66	0,00	x
R2: Pinheiros / Alto de Pinheiros / Perdizes	10,21	0,00	x
R3: Vila Olímpia	6,78	0,00	x
R4: Berrini	5,34	0,00	x
R5: Paulista / Moema / Vila Mariana	7,76	0,00	x
R6: Chucri Zaidan	2,89	0,43	x

Fonte: Autor.

Convém esclarecer que os valores negativos das estatísticas “t” das variáveis Idade (I) e Vacância (V) se dá em razão de seus parâmetros estimados assumirem valores negativos. No

³⁹ Uma segunda análise sobre a existência de pontos influenciantes foi a estatística da distância de Cook. Os resultados se mostraram todos com distâncias inferiores a $D_i = 1$, sem dados com distâncias discrepantes, havendo, portanto, indícios de inexistência de pontos com demasiado impacto no ajuste.

entanto, como apresentado na seção 2.4.3.4 desta dissertação, a conclusão do teste de hipótese (rejeição ou não rejeição de H_0) se dá pela comparação do módulo da estatística “t” (t_{calc}) com um valor tabelado para um determinado α ($t_{(1-\alpha; n-k-1)}$).

A Tabela 6 indica que todas as variáveis se apresentaram com significância (valor-p) individual consideravelmente baixas, inclusive dentro dos parâmetros normativos (vide ABNT (2011)). Sobre a variável C (certificado), objetivo principal desta análise, obteve-se um valor-p da ordem de 4,83%, ou seja, de acordo com este modelo, há indícios de que a variável “certificado” influi na formação dos preços ao nível de confiança de 95,17%.

Ainda cumpre discorrer sobre o impacto desta variável nos valores estimados pelo modelo. A equação responde com um “acrécimo de valor”⁴⁰ de 8,67% para a variável “certificado (C)” (como constatado em uma observação direta da Equação (15)), para o caso em questão, isso significa que ao variar este atributo de “0” (não certificado) para “1” (certificado), o modelo responde com uma variação positiva de 8,67% no valor. Na literatura, essa variação é comumente chamada de “prêmio verde” (ver COSTA *et al.*, 2018; FUERST; MCALLISTER, 2011b), em alusão ao ganho em termos de valor de aluguel (ou de venda) que o imóvel teria se viesse a tornar-se certificado.

Nesse contexto, apenas para fins exemplificativos, selecionou-se aleatoriamente 10 elementos da amostra que não possuem certificação LEED (sendo 5 edifícios de Classe A e 5 de Classe B) e comparou-se o valor estimado pelo modelo para o edifício (em sua condição original) com o valor estimado ao se variar a entrada de “0” (não certificado) para “1” (certificado), mantendo-se constante todos os demais atributos.

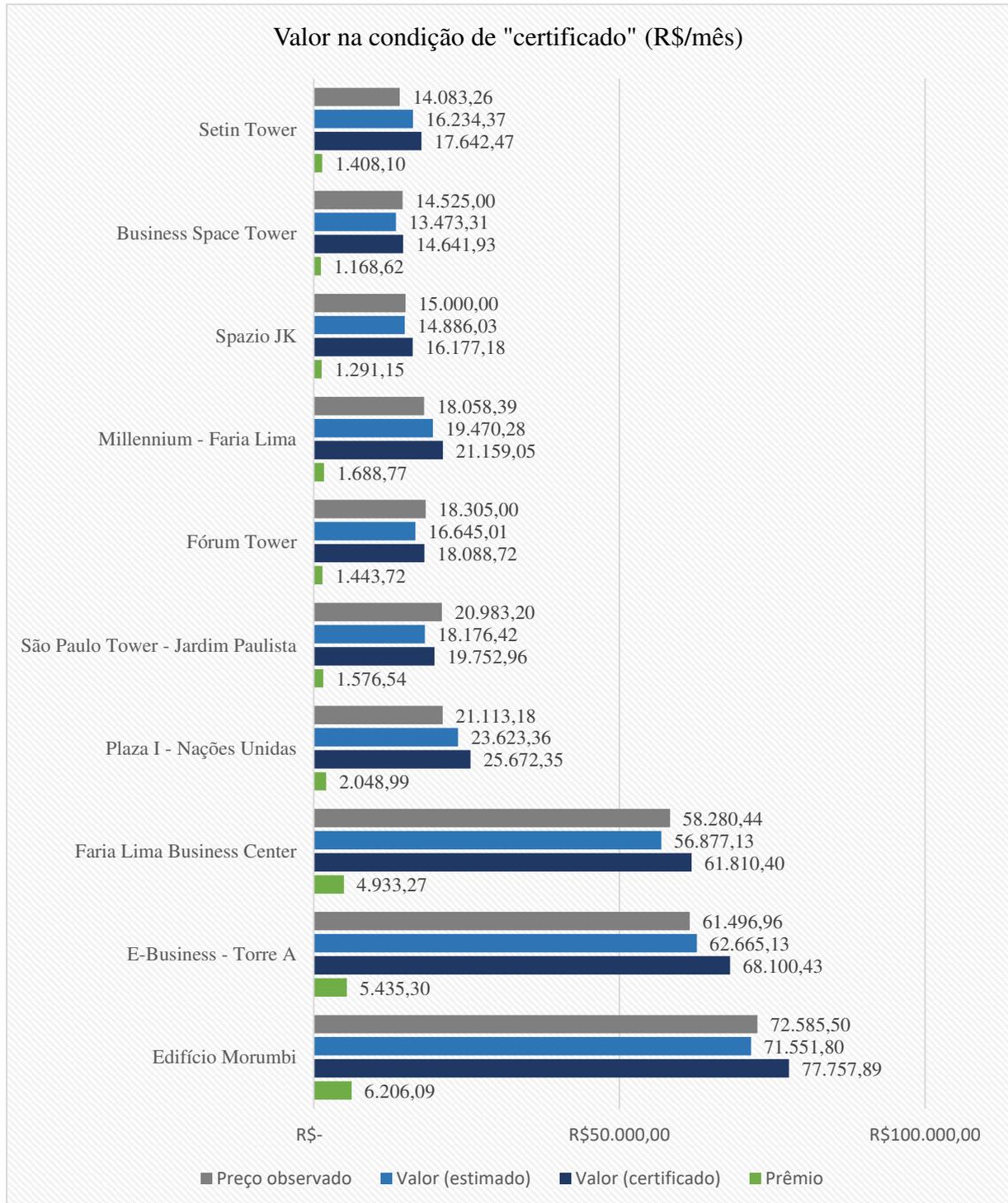
Desta forma, procura-se apresentar uma percepção mais palpável sobre o impacto em termos de valor de aluguel que um edifício conhecido (e não certificado) teria na condição hipotética de obter a referida certificação LEED. Os resultados das aplicações estão dispostos na Figura 31.

Percebe-se, por exemplo, que o valor médio de locação originalmente estimado pelo modelo⁴¹ para o edifício “Morumbi”, de R\$ 71.551,80, sofreria um acréscimo médio de R\$ 6.206,09 (variação percentual de +8,67%, como para todos os demais) na hipótese deste obter a certificação LEED no mercado vigente.

⁴⁰ Entende-se por “acrécimo de valor” a variação das respostas de valor do modelo em função da variação empregada no atributo/variável. Pode-se dizer que para o modelo em análise, o “acrécimo de valor” é equivalente ao “prêmio” de valor ao se obter a certificação.

⁴¹ Considerando os atributos deste edifício como entrada no modelo apresentado em (15).

Figura 31 – Gráfico de barras que ilustra o impacto em termos de valor de aluguel que edifícios não certificados teriam na condição hipotética de obterem certificação LEED, estimativas realizadas com base no Modelo 1.



Fonte: Autor.

4.2.2 Modelo 2: Edifícios corporate de alto padrão

Com base na Subamostra 2, o Modelo 2 assume a forma já apresentada na Equação (12), sendo a Equação (16) sua representação com os parâmetros (β_n) estimados.

$$\begin{aligned}
\ln(\text{PT}) = & +3,786520146 + 0,9918632898 \ln(\text{AC}) - 0,007206098412 \text{ (I)} \\
& - 0,001878238979 \text{ (V)} + 0,1076194389 \text{ (CL)} \\
& + 0,1456514684 \text{ (C)} + 0,01056085323 \text{ (IPTU)} \\
& + 0,6459099717 \text{ (R1)} + 0,5325177964 \text{ (R2)} \\
& + 0,4368626813 \text{ (R3)} + 0,3518693815 \text{ (R4)} \\
& + 0,456228685 \text{ (R5)} + 0,2239861495 \text{ (R6)}
\end{aligned} \tag{16}$$

Semelhante ao Modelo 1, no Modelo 2 foi utilizada a transformação logarítmica na variável dependente (PT), portanto, sua forma exponencial, sem transformação, está apresentada na Equação (17).

$$\begin{aligned}
\text{PT} = & 44,1026621008048 * 2,69625369665551^{\ln(\text{AC})} * 1,00723212481793^{-\text{I}} \\
& * 1,00188000397518^{-\text{V}} * 1,11362386277442^{\text{CL}} \\
& * 1,15679293891746^{\text{C}} * 1,01061681586966^{\text{IPTU}} \\
& * 1,90772221293107^{\text{R1}} * 1,7032152638305^{\text{R2}} \\
& * 1,54784351466337^{\text{R3}} * 1,42172280830956^{\text{R4}} \\
& * 1,57811119393319^{\text{R5}} * 1,25105369156902^{\text{R6}}
\end{aligned} \tag{17}$$

Em nível de interpretação preliminar, o Modelo 2 na forma da Equação (17) evidencia que os preços dos imóveis certificados estão 15,68% superior aos não certificados, conforme desenvolvido na sequência.

4.2.2.1 Aspectos relacionados à construção do Modelo 2

Assim como o modelo inferido com a Subamostra 1, a Equação (16) passou nos testes/análises de normalidade dos resíduos, havendo indícios de normalidade pelo teste de Shapiro Wilk⁴². Sobre o ajustamento, reforça-se que também foram aplicadas transformações logarítmicas na variável dependente PT e na independente AC.

Dos 108 dados selecionados para a “Subamostra 2”, 104 foram efetivamente utilizados. Com relação às variáveis independentes, adotou-se as mesmas consideradas para o Modelo 1, ou seja, das 14 variáveis explicativas (independentes) inicialmente eleitas (apresentadas no Quadro 4), 12 foram usadas para compor o modelo, sendo as variáveis AT e CJ excluídas no processo de modelagem. As variáveis tiveram contribuições similares às encontradas no

⁴² O valor-p do teste para o Modelo 2 foi 0,1191, portanto, não rejeita-se a hipótese nula da normalidade ao nível de significância de 1%.

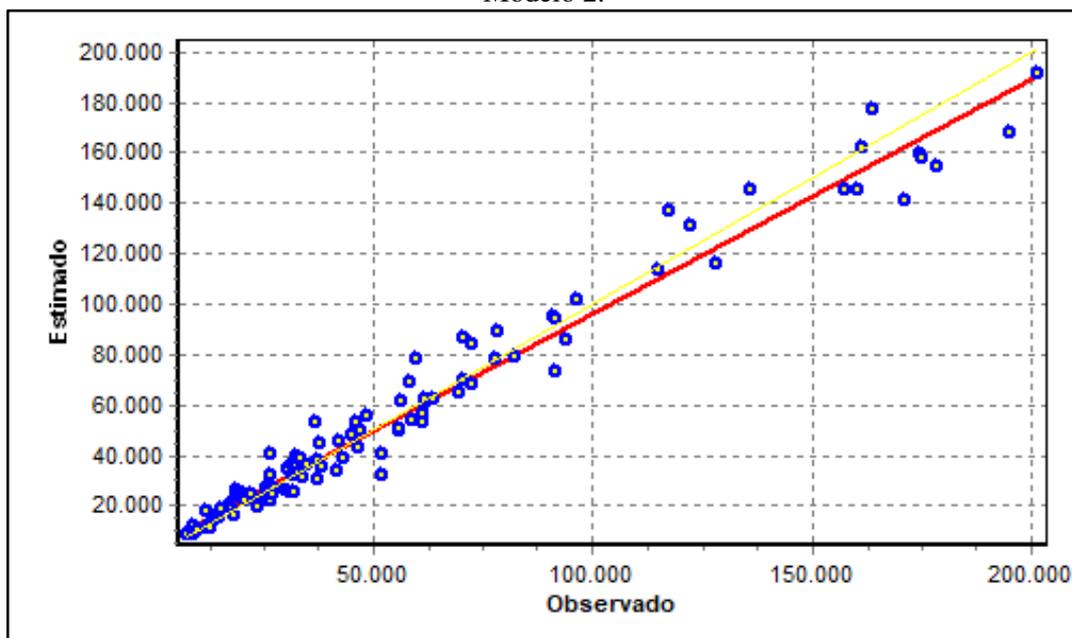
processo de modelagem da Subamostra 1, portanto, visando guardar coerência entre as análises comparativas entre os modelos inferidos no contexto desta dissertação, optou-se por definir para o Modelo 2 a mesma estrutura do Modelo 1.

4.2.2.2 Estatísticas e interpretações do Modelo 2

Após a validação do modelo representado em (16), procedeu-se com as análises apresentadas na sequência. O modelo se mostrou significativo ao nível de significância de 1%, apresentou coeficiente de determinação igual a 96,54% e as variáveis utilizadas responderam de forma coerente com a expectativa de mercado.

A Figura 32 apresenta o gráfico dos preços observados *versus* valores estimados para o Modelo 2, através do qual é possível perceber um bom ajuste do modelo, sem evidência de pontos influenciantes⁴³. Cabe salientar que, de modo semelhante para o Modelo 1, há uma maior concentração de dados com preços menores (região mais próxima da coordenada “0”), além da pequena quantidade de pontos entre o intervalo de preço de R\$ 100.000,00 e R\$ 150.000,00, o que acaba sendo uma limitação da amostra. Apesar disso, mesmo nesta região supracitada, os pontos não se mostraram muito discrepantes, existindo tanto resíduos positivos como negativos. No tocante aos parâmetros estimados, a Tabela 7 sumariza o ajuste estatístico do Modelo 2.

Figura 32 – Gráfico de aderência que representa os preços observados *versus* valores estimados pelo Modelo 2.



Fonte: Autor.

⁴³ Semelhantemente ao Modelo 1, os resultados se mostraram todos com distâncias inferiores a $D_i = 1$, sem dados com distâncias discrepantes.

Tabela 7 – Ajuste estatístico do Modelo 2.

Variável	Estatística t	Valor-p (%)	Transf.
Intercepto	20,45	0,00	ln(y)
AC	32,37	0,00	ln(x)
I	-2,32	2,24	x
V	-2,30	2,37	x
CL	3,26	0,16	x
C	3,27	0,15	x
IPTU	2,43	1,71	x
R1: Nova Faria Lima / Faria Lima	8,78	0,00	x
R2: Pinheiros / Alto de Pinheiros / Perdizes	7,27	0,00	x
R3: Vila Olímpia	6,45	0,00	x
R4: Berrini	5,59	0,00	x
R5: Paulista / Moema / Vila Mariana	5,91	0,00	x
R6: Chucri Zaidan	3,61	0,05	x

Fonte: Autor.

Percebe-se que a significância individual dos parâmetros apresentaram-se com alguns valores maiores do que aqueles do Modelo 1 (apresentados na

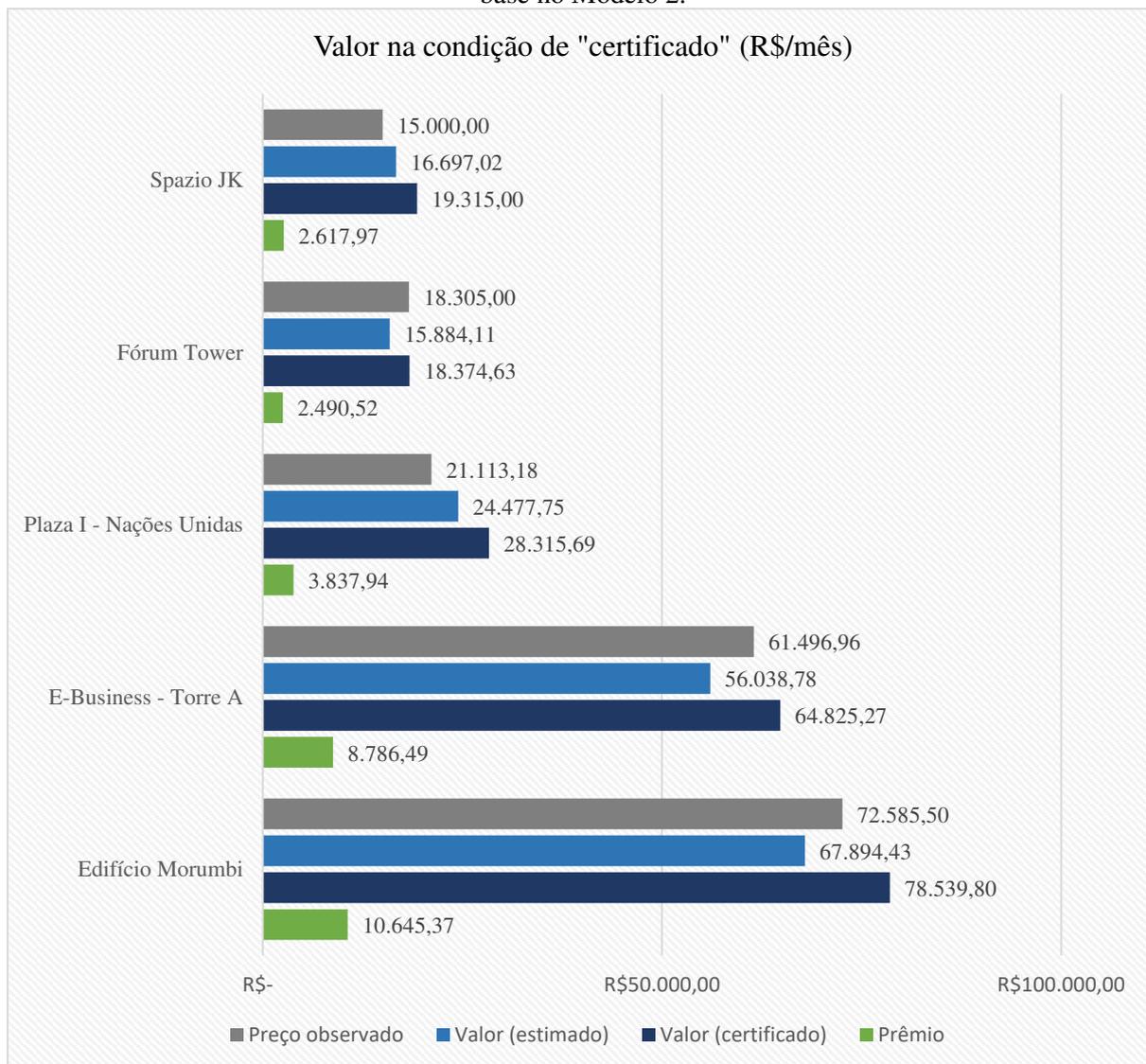
Tabela 6), mas se mantiveram todos significantes ao nível de 5%, por exemplo. Inclusive, com exceção das variáveis I, V e IPTU, pode-se observar que todas as demais passam no teste “t” ao nível de significância de 1%. Isso indica que existem fortes indícios de que tais variáveis de fato são importantes para a formação de preço no mercado em estudo.

No tocante à variável C (certificado), ao passo que no Modelo 1 ela encontrou-se com significância de 4,83% (ou seja, significativa ao nível de 5%), aqui no Modelo 2 ela mostrou-se mais significativa (valor-p igual a 0,15%), o que permite rejeitar H_{01} a um nível de confiança de 99,85%.

Comparativamente aos resultados obtidos para o Modelo 1, a variável C no Modelo 2 responde com um impacto significativamente maior nas estimativas de PT. Enquanto que no Modelo 1 o acréscimo foi de 8,67%, no Modelo 2 esse valor é de 15,68% - isto é, ao variar este atributo de “0” (não certificado) para “1” (certificado), o modelo responde com uma variação positiva de 15,68% no valor (como constatado de forma direta na Equação (17)).

Dessa forma, considerando os mesmos 5 edifícios de Classe A considerados na simulação da Figura 31, estimou-se o “prêmio verde” associado ao se variar hipoteticamente a entrada de “0” (não certificado) para “1” (certificado), os resultados estão sumarizados na Figura 33.

Figura 33 – Gráfico de barras que ilustra o impacto em termos de valor de aluguel que edifícios não certificados teriam na condição hipotética de obterem certificação LEED, estimativas realizadas com base no Modelo 2.



Fonte: Autor.

Assim, tomando-se o mesmo exemplo do edifício “Morumbi”, cujo valor total médio estimado pelo Modelo 1 foi de R\$ 71.551,80 resultando em um prêmio verde hipotético de R\$ 6.206,09; com a aplicação do Modelo 2, o valor estimado na sua condição original (não certificado) foi de R\$ 67.894,43, com acréscimo de R\$ 10.645,37 (variação percentual de +15,68%) ao se obter hipoteticamente a certificação LEED.

4.2.3 Modelo 3: Edifícios certificados

A Equação (13) representa a forma do modelo inferido com base na Subamostra 3, sendo a Equação (18) sua representação com os parâmetros (β_n) estimados.

$$\begin{aligned}
\ln(\text{PT}) = & +3,411858518 + 1,050698506 \ln(\text{AC}) - 0,007728520511 \text{ (I)} \\
& - 0,001444849153 \text{ (V)} + 0,3024698396 \ln(\text{CL}) \\
& + 0,002250254242 \text{ (NC)} + 0,009142468451 \text{ (IPTU)} \quad (18) \\
& + 0,6238892941 \text{ (R1)} + 0,4224669217 \text{ (R2)} \\
& + 0,5334808015 \text{ (R3)} + 0,261391979 \text{ (R4)}
\end{aligned}$$

Semelhante aos demais modelos, no Modelo 3 também foi utilizada a transformação logarítmica na variável dependente (PT), sendo a sua forma exponencial apresentada na Equação (19).

$$\begin{aligned}
\text{PT} = & 30,3215450754552 * 2,85964790216339^{\ln(\text{AC})} * 1,00775846261203^{-\text{I}} \\
& * 1,00144589345055^{-\text{V}} * 1,35319686278136^{\ln(\text{CL})} \\
& * 1,00225278796452^{\text{NC}} * 1,0091843884696^{\text{IPTU}} \quad (19) \\
& * 1,8661720375723^{\text{R1}} * 1,52572075055281^{\text{R2}} \\
& * 1,70485625880511^{\text{R3}} * 1,29873664317134^{\text{R4}}
\end{aligned}$$

Assim, pode-se perceber que a variável “Nível de Certificação” (NC) é responsável por uma valorização na ordem de 0,225% para cada acréscimo unitário promovido nesta variável, conforme discutido na seção seguinte.

4.2.3.1 Aspectos relacionados à construção do Modelo 3

Semelhante aos modelos inferidos e apresentados anteriormente, a Equação (18) passou nas análises de normalidade dos resíduos, havendo indícios de normalidade ao nível de significância de 1%, conforme teste de Shapiro Wilk⁴⁴. Sobre o ajustamento, reforça-se que foram aplicadas transformações logarítmicas na variável dependente PT e nas independentes AC e CL.

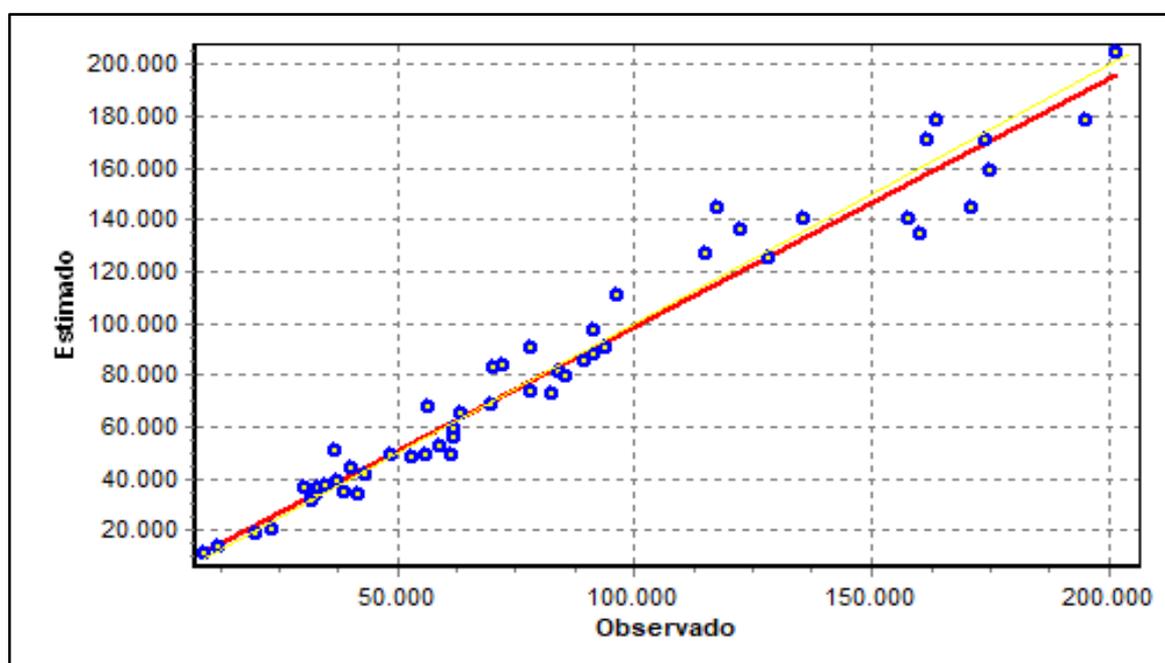
Dos 59 dados selecionados para a Subamostra 3, 53 foram efetivamente utilizados - 6 por se apresentarem demasiadamente discrepantes em relação à massa de dados, influenciando significativamente no ajuste do modelo.

⁴⁴ Para o Modelo 3, o valor-p do teste foi 0,612, portanto, não rejeita-se a hipótese nula da normalidade ao nível de 1%, havendo indícios de aderência à distribuição normal.

4.2.3.2 Estatísticas e interpretações do Modelo 3

O modelo inferido com base nesta subamostra, assim como os demais já apresentados, se mostrou significativo ao nível de significância de 1%, com poder de explicação (coeficiente de determinação) igual a 97,07%, sendo o gráfico dos preços observados *versus* valores estimados apresentado na Figura 34 -- percebe-se um bom ajuste do Modelo 3, apesar de alguns pontos se apresentarem mais distantes da diagonal, pelas distâncias de Cook, não houveram indícios de pontos influenciantes⁴⁵.

Figura 34 – Gráfico de aderência que representa os preços observados *versus* valores estimados pelo Modelo 3.



Fonte: Autor.

Sobre as variáveis estudadas, identifica-se que todas apresentam níveis de significância dentro do limite considerável aceitável para trabalhos de avaliações de imóveis, com base no estabelecido na NBR 14653-2. No entanto, a variável NC se mostrou com significância consideravelmente superior às demais variáveis, na ordem de 17,85% (valor-p).

A Tabela 8 sumariza o ajuste obtido para o Modelo 3, com destaque para a significância individual dos parâmetros e as transformações aplicadas em cada variável utilizada.

⁴⁵ Semelhante aos demais modelos, os resultados se mostraram todos com distâncias inferiores a $D_i = 1$.

Tabela 8 – Ajuste estatístico do Modelo 3.

Variável	Estatística t	Valor-p (%)	Transf.
Intercepto	12,16	0,00	ln(y)
AC	28,57	0,00	ln(x)
I	-1,92	6,15	x
V	-1,67	10,31	x
CL	2,32	2,50	ln(x)
NC	1,37	17,85	x
IPTU	1,99	5,28	x
R1: Nova Faria Lima / Faria Lima	8,70	0,00	x
R2: Pinheiros / Alto de Pinheiros / Perdizes	5,98	0,00	x
R3: Vila Olímpia	6,37	0,00	x
R4: Berrini	3,76	0,05	x

Fonte: Autor.

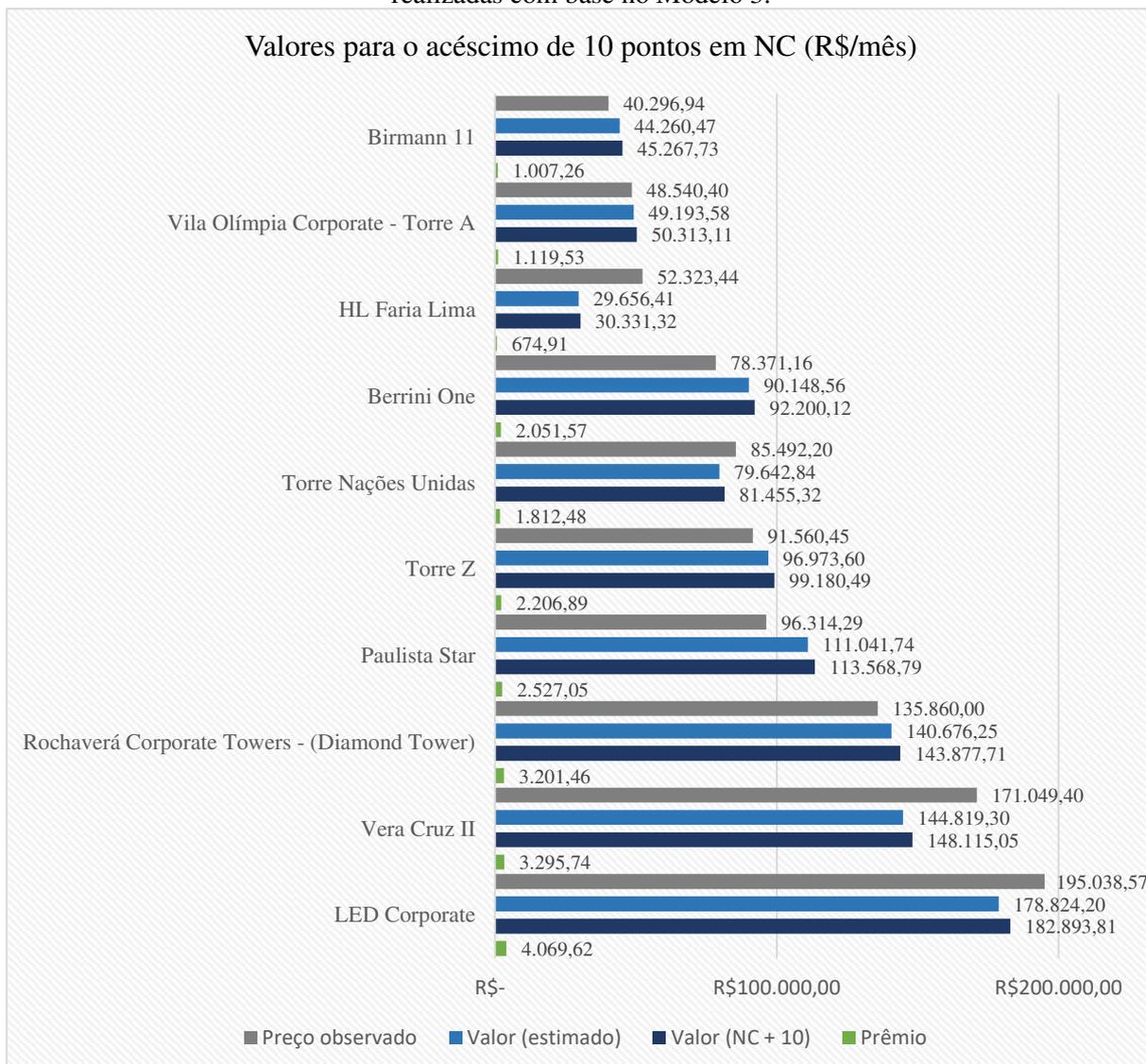
Portanto, os resultados apontam que só foi possível rejeitar H_0 , em favor de H_1 , a um nível de significância de 17,85%. Apesar da significância mais elevada desta variável, o resultado indica que o nível de certificação atingido influi positivamente na formação dos preços.

Outro aspecto a ser analisado é o “acréscimo de valor” desta variável, que indica a proporção de prêmio verde que se obtém em função da pontuação atingida no processo de certificação. A equação responde com um acréscimo de valor na ordem de 0,225% para a variável “Nível de Certificação (NC)”, para o caso em questão, isso significa que ao variar hipoteticamente uma unidade na pontuação LEED, o modelo responde com uma variação positiva de 0,225% no valor.

Nesse contexto, apenas para fins exemplificativos, selecionou-se aleatoriamente 10 elementos da amostra com níveis de certificação LEED diferentes e comparou-se o valor estimado pelo modelo para o edifício (em sua condição original) com o valor estimado ao se variar a pontuação obtida (NC) em 10 unidades, mantendo-se constante todos os demais atributos.

Os resultados das aplicações estão dispostos na Figura 35. Desta forma, procura-se apresentar uma percepção mais palpável sobre o impacto em termos de valor de aluguel que um edifício conhecido (certificado) teria na condição hipotética de obter mais 10 pontos na referida certificação LEED.

Figura 35 - Gráfico de barras que ilustra o impacto em termos de valor de aluguel que edifícios certificados teriam se obtivesse mais 10 pontos no processo de certificação LEED, estimativas realizadas com base no Modelo 3.



Fonte: Autor.

Percebe-se, por exemplo, que o valor médio de locação originalmente estimado pelo modelo para o edifício “Torre Nações Unidas”, de R\$ 79.642,84, sofreria um acréscimo médio de R\$ 1.812,48 (variação percentual de +2,28%, como para todos os demais) na hipótese deste crescer mais 10 pontos na certificação LEED originalmente obtida. O referido edifício situa-se na região Berrini, possui classe BB e obteve sua certificação validada em setembro de 2021. No processo de certificação, obteve 53 pontos, portanto, trata-se de um edifício certificado no nível “Silver”. No exemplo hipotético, sua estimativa de valor foi feita considerando 63 pontos como entrada na variável NC, o que representaria um nível “Gold”, de acordo com a versão LEED atual.

4.3 Análise e discussão dos resultados

Em primeiro lugar, é importante reforçar que os modelos inferidos neste estudo não tiveram o objetivo de avaliar individualmente um imóvel específico, portanto, a princípio, não devem ser utilizados para esta finalidade. Na realidade, buscou-se com estes modelos inferir um comportamento médio do mercado em análise, cujas segmentações promovidas na amostra geral foram motivadas pelo objetivo de entender o comportamento das variáveis de certificação nos diferentes segmentos deste mesmo mercado.

Assim, pode-se utilizar o Modelo 1 para fazer análises, simulações e projeções de valores médios no mercado de edifícios *corporate*, com no mínimo classe B e localizados nas 11 regiões das quais os dados foram retirados para a modelagem. Já o Modelo 2, pode ser utilizado quando a análise se restringe ao mercado de alto padrão (AAA, AA, A), sendo mantidas as características *corporate* e de localização supracitada. No tocante ao Modelo 3, este pode ser usado quando se pretende entender o efeito em termos de valores do nível de pontuação atingido no processo de certificação, sendo mantida as limitações de localização e de padrão do Modelo 1.

Sobre o Modelo 1, cabe destacar que, em que pese o alto poder explicativo obtido (95,41%), a significância da variável que capta o efeito da certificação foi consideravelmente mais alta do que as das outras variáveis, no entanto, é possível rejeitar H_{01} ao nível de significância de 5%. Em contrapartida, os estudos de Costa *et al.* (2018), cuja análise se dá com dados do mercado de São Paulo/SP, considerando uma amostra ainda mais ampla (do ponto de vista geográfico e temporal), com dados históricos e classes variando de C até AAA (totalizando 10.799 observações do período do 1º trimestre de 2010 até o terceiro trimestre de 2014), apresenta um modelo com poder explicativo em torno de 68%, onde a variável “certificação” também se mostrou significativa ao nível de significância de 5%.

Por outro lado, ao segmentar ainda mais a amostra desta pesquisa (Subamostra 2) obteve-se um modelo cuja significância da variável “certificado” foi de 0,15%, sendo, portanto, estatisticamente significativo ao nível 1%. Para um conjunto de dados semelhante, considerando apenas edifícios de perfil *corporate* e classificados nos substratos AAA, AA ou AA, mas ainda com uma amostra mais ampla do que a considerada neste estudo, por considerar dados históricos (modelo com 989 observações), Costa *et al.* (2018) inferem um modelo em que o coeficiente desta variável só se mostra significativo ao nível de significância de 10%.

Outra variável que pode representar uma tendência de mercado é a quantidade de ocupantes do edifício. Estudos internacionais, mencionam que edifícios certificados têm

tendência de ser ocupado por apenas um ocupante, sendo esta uma característica que tende a interferir nos preços de aluguéis (FUERST; MCALLISTER, 2009). Essa análise não foi passível de ser realizada nesta pesquisa, pois não se trata de uma informação fornecida pela *Buildings*. Portanto, se esta realmente for uma característica que interfere na variação dos preços e, na hipótese de ser confirmada a tendência de que edifícios certificados são predominantemente ocupados por menos (ou apenas um) ocupantes, os modelos inferidos neste estudo podem estimar valores com algum nível de viés.

Assumindo a rejeição de H_{01} , em favor de H_{11} , esta pesquisa infere prêmios de aluguéis diferentes para cada recorte amostral: de acordo com o Modelo 1, o impacto no valor da variável “certificado” foi de 8,67%, ao passo que o Modelo 2 responde com variações positivas em torno de 15,68%. Esses valores são mais elevados do que as descobertas de Costa *et al.* (2018), que estudando a mesma região objeto deste estudo (São Paulo/SP), encontraram prêmios variando de 4 a 8%.

No entanto, divergências semelhantes também ocorrem em estudos internacionais, tomando como exemplo: Fuerst e Mcallister (2011a) encontram prêmios de aluguéis na ordem de 5% nos EUA; Wiley, Benefield e Johnson (2010) relatam prêmios variando de aproximadamente 15,2 a 17,3%, também nos EUA. Acredita-se que as discrepâncias observadas possuem origem nas bases de dados construídas pelos autores, diante das informações disponíveis, além de que retratam épocas e abrangências distintas. Desse modo, por mais razoável que seja a comparação entre os resultados, deve-se partir da premissa de que não necessariamente os estudos retratam o mesmo mercado e, portanto, divergências podem ocorrer.

Reitera-se que essas análises precisam ser realizadas com cautela, tendo em vista a dificuldade de captar o efeito da localização nos modelos de regressão linear, bem como de testar/analisar outras variáveis potencialmente importantes que não são sumarizadas pela empresa provisor dos dados. Com respeito à localização, como há uma tendência de edifícios certificados estarem concentrados em regiões de maior relevância no contexto urbano local (como identificado nesta pesquisa), estudos abrangentes que incorporam várias regiões – mesmo que sejam regiões da mesma área metropolitana – podem resultar em modelos pouco sensíveis à complexidade do fenômeno que se busca modelar. Dessa forma, os preços observados mais elevados dos edifícios certificados podem estar mais fortemente relacionados à localização do que à certificação considerada isoladamente.

Por outro lado, destaca-se que os modelos inferidos neste estudo contemplam variáveis explicativas de localização com respostas satisfatórias. Tanto a variável denominada IPTU

(cuja construção leva em consideração critérios específicos da entidade pública responsável), como o conjunto de covariáveis de Região (construída com base na solução de dicotomia em grupo apresentada em 3.5), apresentaram-se significantes ao nível de 5% para os três modelos (com exceção do IPTU no Modelo 3, cujo valor-p foi igual a 5,28%) e com tendências e sensibilidades coerentes com o mercado.

Entender o comportamento dos preços na variação da pontuação obtida no processo de certificação é fundamentalmente importante, principalmente diante da hipótese de que custos adicionais aumentam à medida que o nível de certificação aumenta (presumido por FUERST e MCALLISTER, 2011a). Os resultados obtidos neste estudo apontam para rejeição H_0 , sendo possível afirmar, a um nível de confiança de 82,15%, que o nível de certificação alcançado tem efeito sobre o preço de aluguel. Desse modo, o Modelo 3 inferido responde com prêmios na ordem de 0,225% para cada acréscimo de uma unidade aplicado sobre a variável que registra a pontuação atingida no processo de certificação de cada edifício da amostra.

Não se encontrou estudos nacionais que se propuseram testar se o valor do aluguel dos edifícios LEED aumentam com o nível de certificação. No entanto, Fuerst e Mcallister (2011a) chegam a testar os níveis de certificação (*Certified*, *Silver*, *Gold* ou *Platinum*), cujos resultados apontaram para tendências positivas dessa variável, porém, não apresentaram níveis de significância estatística aceitáveis, de acordo com os critérios definidos em seus estudos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa se mostra com grande potencial de contribuição, dado a importância do entendimento de como os requisitos de sustentabilidade interferem nos valores dos edifícios. Investidores, incorporadores e construtores precisam visualizar o potencial de valor para finalmente assumirem o risco de maiores custos de construção. Acredita-se que essa clareza de informação é necessária para o avanço da sustentabilidade das construções, especialmente no mercado imobiliário, que tem grande participação no setor da construção civil.

Estudar o mercado imobiliário através de comparação exige, por essência da metodologia científica, a possibilidade de construção de amostras que sejam suficientemente representativas do mercado que se pretende estudar. Diante da pequena quantidade de edifícios certificados no Brasil, estudos com esta abordagem são verdadeiros desafios.

O presente estudo objetivou investigar o impacto da certificação LEED no valor médio de locação dos edifícios corporativos situados no mercado da cidade de São Paulo/SP, com base na estimação de modelos de preços hedônicos, suportados por técnicas de regressão linear clássica. As análises foram conduzidas pelas duas hipóteses de nulidade formuladas: H_{01} – a certificação não é importante para a formação do preço de aluguel e H_{02} – o nível de certificação alcançado não tem efeito sobre o preço de aluguel. As hipóteses foram testadas com base em três subamostras, as quais deram origem à três modelos matemáticos.

O modelo de regressão inferido com base em todos os dados da amostra obtida indica a rejeição de H_{01} a um nível de 4,83% e estima que os aluguéis médios dos edifícios com certificação LEED são 8,67% maiores do que aqueles sem a referida certificação. Visando promover a modelagem sobre uma amostra mais homogênea, o segundo modelo inferido se baseia em um conjunto de dados com edifícios de alto padrão (classes AAA, AA e A). Os resultados indicam a rejeição de H_{01} ao nível de significância de 0,15%, com estimativa de valorização em torno de 15,68% associada a certificação LEED. Costa *et al.* (2018), utilizando dados coletados entre 2010 e 2014, encontraram prêmios em torno de 4 a 8% para o mercado da mesma região que foi estudada nesta dissertação.

No entanto, em que pese a diferença percebida, as descobertas do supracitado autor se referem a uma amostra mais ampla - seja sob a perspectiva geográfica (por considerar mais regiões do que o presente estudo), seja sob a perspectiva temporal (por considerar dados históricos entre os anos de 2010 e 2014). Dessa forma, entende-se que sua proposta consistiu em inferir um comportamento geral do mercado, ao invés de um comportamento médio, local e contemporâneo, como explicam os modelos inferidos nesta pesquisa.

A hipótese H_{02} foi testada através de um terceiro modelo que considera apenas edifícios certificados, sendo a variável utilizada para captar o efeito da pontuação obtida no processo de certificação não significativa ao nível de 5%, por exemplo (com valor-p do teste “t” na ordem de 17,85%). Apesar da significância alta desta variável, conclui-se que o modelo infere prêmios na ordem de 0,255% para cada ponto LEED acrescido.

Portanto, esses resultados permitem responder as perguntas norteadoras desta pesquisa, sendo possível afirmar com níveis aceitáveis de significância estatística que tanto a obtenção da certificação LEED, como o nível de certificação alcançado, são características importantes para formação dos preços de aluguéis no mercado em estudo.

Salienta-se que embora os resultados aqui apresentados sejam respaldados em metodologia científica, atendendo, inclusive, ao preconizado nos normativos nacionais específicos, as análises prospectivas realizadas não são garantias de que efetivamente ocorrerão na dinâmica real do mercado, haja vista a abordagem de cunho probabilístico. Contudo, os resultados apresentados neste trabalho evidenciam o potencial da certificação LEED em termos de valores médios de locação e podem contribuir com entendimento sobre o funcionamento deste mercado a nível nacional.

A maioria dos outros estudos encontrados na literatura nacional partem para uma abordagem de custo ou de avaliação qualitativa dos aspectos considerados pelas instituições/empresas responsáveis pelas certificações, o que sugere possíveis lacunas a serem mais bem estudadas sob a ótica de valor. A escassez de dados é um fator limitante para realização de estudos mais abrangentes e com investigações mais específicas, o que tende a melhorar com o passar do tempo.

Por fim, consigna-se que outros estudos futuros podem ser derivados desta dissertação, sobretudo combinados com as pesquisas internacionais já desenvolvidas sobre a temática, a exemplo de:

- estudar o efeito da sustentabilidade no valor de venda dos imóveis;
- estudar outros mercados nacionais, considerando dados de outras cidades/estados;
- inferir modelos mais específicos por região e comparar com modelos que visam explicar um comportamento médio geral;
- analisar o impacto de diferentes certificações de sustentabilidade no valor de mercado dos imóveis;
- estudar o comportamento dos preços de empreendimentos sustentáveis em outros nichos de mercado (residencial, industrial, hotelaria etc.).

REFERÊNCIAS

AMATO, F. B. **Arbitragem de valor: Uma Rotina de Análise para Empreendimentos de Base Imobiliária**. 2001. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

APPRAISAL INSTITUTE. **The appraisal of real estate**. 15 ed. Chicago: Appraisal Institute, 2020. 721 p. ISBN 9781935328780

ARAÚJO, S. B. A. **Caracterização de um Índice de Valor para o Mercado de Investimentos em Edifícios de Escritórios Destinados à Locação**. 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Gerenciamento de Empresas e Empreendimentos na Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Avaliação de Bens parte 1: procedimentos gerais (NBR 14653-1)**. Rio de Janeiro, 2019. 29p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Avaliação de Bens parte 2: imóveis urbanos (NBR 14653-2)**. Rio de Janeiro, 2011. 54p.

BENTO, R. C. **Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento**. 2016. 217f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

BRASIL. Comitê de Política Monetária (Copom). Banco Central do Brasil. **Ata da 248ª Reunião**. 2022. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/atascopom>. Acesso em: 14 set. 2022.

BRITO, N. G. S. **Identificação de um conjunto de informações mínimas requeridas para fundamentar as decisões de investimento em Fundos de Investimento Imobiliário com foco em Edifícios de Escritório para Locação**. 2018. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD - BREEAM. **How BREEAM Certification Works**. 2021. Disponível em: <https://www.breeam.com/discover/how-breeam-certification-works/>. Acesso em: 18 dez. 2021.

BUILDINGS (Brasil). **O BigData do mercado de Real Estate**. 2019. Disponível em: <https://cretool.buildings.com.br/>. Acesso em: 19 dez. 2021.

BUILDINGS (Brasil). **Plataforma CreTool**. 2022. Disponível em: <https://app.cretool.com.br/>. Acesso em: 10 março 2022.

COOK, R. D. Detection of Influential Observation in Linear Regression. **Technometrics**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 15-18, fev. 1977. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/1268249>.

COMITÊ AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE. **Posicionamento CBCS**: Avaliação de Sustentabilidade de Empreendimentos. São Paulo: Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, ago. 2009. 4p. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/posicionamentos/show.asp?ppsCode=3361A8D7-AF19-42C9-B24A-D606CD143AFB>. Acesso em: 18 dez. 2021

COSTA, O; FUERST, F.; ROBINSON, S.; SILVA, W.M. Green label signals in an emerging real estate market.: a case study of sao paulo, brazil. **Journal Of Cleaner Production**, Brazil, v. 184, p. 660-670, fev. 2018. ISSN 0959-6526. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.281>. Acesso em: 29 nov. 2021.

CUNHA, F.C. **Microeconomia**: Teoria, Questões e Exercícios. São Paulo, Makron Books, 2000.

DANTAS, R. A. **Engenharia de Avaliações**: uma introdução à metodologia científica. 3. ed. São Paulo: Pini, 2012. 255 p. ISBN 978-85-7266-259-8.

DAMODARAN, A. **Investment Valuation Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset**. 3rd ed. Hoboken, N.J: Wiley, 2012. Print.

DEAK, M. C. C. Diagnóstico do estado de São Paulo e suas regiões: boletim 1 – março de 2019. **Secretaria de desenvolvimento econômico**: produtividade e desenvolvimento sustentável. São Paulo. 2019.

DUPLESSIS, C. **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries**: a discussion document. South Africa: Wssd, 2002. 91 p. Published by the CSIR Building and Construction Technology ISBN 0-7988-5540-1. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284193645_Agenda_21_for_Sustainable_Construction_in_Developing_Countries_published_for_CIB_and_UNEP_by_CSIR_Building_and_Construction_Technology_Pretoria. Acesso em: 17 dez. 2021.

EICHHOLTZ, P.; KOK, N.; QUIGLEY, J. M. Doing well by doing good? Green office buildings. **American Economic Review**, v. 100, n. 5, p. 2492–2509, dez. 2010.

ELKINGTON, J. Towards the sustainable corporation: winwin-win business strategies for sustainable development. **California Management Review**. 36(2): 90–101. 1994.

FONSECA, J.; MARTINS, G. A. **Curso de Estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2011. 318 p. ISBN 978-85-224-1471-0.

FUERST, F.; MCALLISTER, P. Green Noise or Green Value? Measuring the Effects of Environmental Certification on Office Values. **Real Estate Economics**, v. 39, n. 1, p. 45–69, 1 mar. 2011a.

FUERST, F.; MCALLISTER, P. Eco-labeling in commercial office markets: Do LEED and Energy Star offices obtain multiple premiums? **Ecological Economics**, v. 70, n. 6, p. 1220–1230, 15 abr. 2011b.

FUERST, F. MCALLISTER, P. An Investigation of the Effect of Eco-Labeling on Office Occupancy Rates. *Journal of Sustainable Real Estate* 1(1): 49–64. 2009.

FLORENCIO, L. A. **Engenharia de Avaliações com Base em Modelos Gamlss**. 2010. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estatística Aplicada, CCEN, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

FLORENCIO, L. A. **Estruturação de um sistema de rating para a classificação do risco de vinculação de empreendimentos de base imobiliária em garantia de operações de crédito de longo prazo**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 2018.

GAILE, V.; ZANE; TEPPAND, T.; KRIIPSALU, M.; KRIEVANS, M.; JANI, Y.; KLAVINS, M.; SETYOBUDI, R.; GRINFELDE, I.; RUDOVICA, V.; TAMM, T.; SHANSKIY, M.; SAAREMAE, E.; ZEKKER, I.; BURLAKOV, J.. Towards Sustainable Soil Stabilization in Peatlands: Secondary Raw Materials as an Alternative. **Sustainability** (Basel, Switzerland) 13.12. 2021

ALBAALI, G.; SHAHATEET, M. I.; DAOUD, H. E.; SAIDI, A. G. Economic and Environmental Impact of Construction and Demolition in Green Buildings: A Case Study of Jordan. **International Journal of Energy Economics and Policy** 11.1 (2021): 22. Web.

GOH, Z. T. *et al.* Do green features increase housing value in Malaysia? **International Journal Of Housing Markets And Analysis**, Malaysia, v. 1, n. 1, p. 1-17, out. 2021. DOI 10.1108/IJHMA-09-2021-0101

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL - GBC BRASIL (Brasil). **Empreendimentos LEED**. 2022a. Empreendimentos Registrados e Certificados. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>. Acesso em: 10 set. 2022.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL - GBC BRASIL (Brasil). **Sobre nós**. 2022b. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/sobre-nos/>. Acesso em: 10 set. 2022.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL - GBC BRASIL (Brasil). **Conheça a Certificação LEED**. 2022c. Tipologias/Categorias avaliadas. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>. Acesso em: 15 março 2022.

GUIGNONE, G. C.; VIEIRA, G. L.; ZULCÃO, R.; DEGEN, M. K.; MITTRI, S. H. DE M.; BAPTISTA, G. Incorporation of glass powder and metakaolin as cement partial replacement to improve concrete mechanical properties and increase service life. **Journal of Composite Materials**, [S. l.], v. 54, n. 21, p. 2965–2983, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0021998320906873>. Acesso em: 10 out. 2020.

HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE - HQE. A global movement. 2016. Disponível em: <https://www.behqe.com/presentation-hqe/what-is-hqe>. Acesso em: 18 dez. 2021.

HEERWAGEN, J. H.; KAMPSCHROER, K.; POWELL, K. M.; LOFTNESS, V. Collaborative knowledge work environments. **Building Research & Information**, [S.L.], v. 32, n. 6, p. 510-528, nov. 2004. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09613210412331313025>.

HONDA, W. S. **Certificação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Corporativos no Brasil**. 2016. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

ISMAIL, W. N. W.; MAJID, R. A. The Impact of Green Features on property valuation procedure. In: PROCEEDING OF THE INTERNATIONAL REAL ESTATE RESEARCH SYMPOSIUM (IRES), 7., 2014, Malaysia. **Proceeding**. Putrajaya: National Institute Of Valuation (Inspen), 2014. p. 1-17.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produto Interno Bruto dos Municípios. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=downloads>. Acesso em: 14 março 2022.

JASIMIN, T. H.; ALI, H. M. The Impact of Sustainability on the Value of Commercial Office Buildings in Malaysia: Russian-Doll Model Approach. **Jurnal Teknologi**, Malaysia, v. 4, n. 71, p. 131-143, out. 2014.

LANCASTER, K. J. A new approach to consumer theory. **Journal of Political Economy**, v. 74, n.1, p. 132-157, 1966

LAPPONI, J. C. **Estatística usando Excel**. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 473 p. ISBN 978-85-352-1574-8.

LEITE JÚNIOR, H. F. **Sustentabilidade em empreendimentos imobiliários residenciais: Avaliação dos custos adicionais para o atendimento dos requisitos de certificação ambiental**. 2013. 212 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

LIMA JUNIOR, R. Fundos imobiliários: valor do portfólio. São Paulo: **EPUSP**, 1994. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/127).

LIMA JÚNIOR, R. Escritórios de Alto Padrão na Cidade de São Paulo: Cenário para os Próximos Anos. 2014. **Carta do NRE-POLI-nº 38/14**. Disponível em: <https://www.realestate.br/site/conteudo/pagina/1,86+Publicacoes.html>. Acesso em: 14 de set. de 2022.

MENGER, C. **Princípios de Economia Política**. 2ª edição. Lebooks Editora. Edição do Kindle. 2017.

MEYER, P. L. **Probabilidade: aplicações à estatística**. 2. ed. Washington: Ltc, 1987. 444 p. ISBN: 9788521602941.

MILLER, E. *et al.* Retrofitting commercial office buildings for sustainability: tenants' perspectives. **Journal Of Property Investment & Finance**, Australia, v. 26, n. 6, p. 552-561, jul. 2008. DOI 10.1108/14635780810908398.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 5. ed. New Jersey: Wiley, 2012. 679 p. ISBN 978-0-470-54281-1.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 6. ed. Arizona State University: Wiley, 2014. 836 p. ISBN: 9781118645062.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O.. **Estatística Básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 557 p. (ISBN 978-85-02-08177-2).

TORGAL, F. "Eco-efficient Construction and Building Materials Research under the EU Framework Programme Horizon 2020." **Construction & Building Materials** 51 (2014): 151-62. Web.

PINHEIRO, J. I. D. *et al* (org.). **Probabilidade e Estatística: quantificando a incerteza**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 554 p. ISBN 978-85-352-3757-3.

RABBANI, E. R. K.; MOCOCCO, J.; SILVA, S. R. Avaliação da Influência de Indicadores de Certificação de Sustentabilidade na Segurança e Saúde do Trabalhador nos Canteiros de Obra. In: LATIN AMERICAN REAL ESTATE SOCIETY, 13., 2013, São Paulo. **13ª Conferência Internacional da LARES**. São Paulo: Lares, 2013. p. 1-10.

REICHARDT, A. *et al*. Sustainable building certification and the rent premium: A panel data approach. **Journal of Real Estate Research**, v. 34, n. 1, p. 99–126, 2012.

ROBINSON, S.; MCALLISTER, P. Heterogeneous Price Premiums in Sustainable Real Estate? An Investigation of the Relation between Value and Price Premiums. **Journal of Sustainable Real Estate**. <https://doi.org/10.1080/10835547.2015.12091868>, v. 7, n. 1, p. 1–20, 1 nov. 2015.

ROSEN, S.. Hedonic Prices and Implicit Markets: product differentiation in pure competition. **University Of Chicago Press Journals Division**, EUA, p. 34-55, 1974.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B.. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, [S.L.], v. 52, n. 3/4, p. 591, dez. 1965. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/2333709>.

SURMANN, M.; BRUNAUER, W.; BIENERT, S. How does energy efficiency influence the Market Value of office buildings in Germany and does this effect increase over time? **Journal Of European Real Estate Research**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 243-266, 2 nov. 2015. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/jerer-04-2015-0018>.

TARUTTIS, L.; WEBER, C. Estimating the impact of energy efficiency on housing prices in Germany: Does regional disparity matter? **Energy Economics**, v. 105, 1 jan. 2022.

TOO, L.; TOO, E. Green Buildings: A Framework for Social Sustainability. In: International Conference on Construction In the 21st Century (CITC-VI), 6., 2011, Kuala Lumpur, Malaysia. **Construction Challenges in the New Decade**. Kuala Lumpur: College Of Technology And Computer Science, 2011. p. 1125-1132.

UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL – USGBS. **Mission and vision**. 2022. Green building for everyone within a Generation. Disponível em: <https://www.usgbc.org/about/mission-vision>. Acesso em: 15 set. 2022.

VERONEZI, A. B. **Sistema de Certificação da qualidade de edifícios de escritórios no Brasil**. 2004. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

WEISBERG, S. **Applied linear regression**. 4. ed. Minneapolis: University Of Minnesota, 2014. 370 p. ISBN 978-1-118-38608-8.

WILEY, J. A.; BENEFIELD, J. D.; JOHNSON, K. H. Green design and the market for commercial office space. **Journal of Real Estate Finance and Economics**, v. 41, n. 2, p. 228–243, ago. 2010.