
**PROBLEMA DA MULTICOLINEARIDADE NA AVALIAÇÃO ECONÔMETRICA DE BENS
POR INFERÊNCIA ESTATÍSTICA**

**MULTICOLINEARITY PROBLEM IN ECONOMETRIC EVALUATION OF REAL STATE BY
STATISTICAL INFERENCE**

Pedro Henrique Alberto Willy¹

Carolina Alves do Nascimento Alvim²

Cássia Valéria Húngaro Yoshi²

Matheus Toledo Bechara²

RESUMO

O atual mercado da avaliação imobiliária tornou-se algo complexo, sendo baseado na teoria dos preços hedônicos, na qual as características de um imóvel são principal fonte avaliatória. O objetivo do artigo é analisar, por meio de modelos estatísticos, a presença de variáveis que apresentem grau de multicolinearidade, com base na normativa NBR 14.653-2. Para realização do estudo, foram utilizados os métodos da Matriz de Correlação, Fator de Inflação de Variância e Farrar-Glauber, em uma amostra de 20 elementos de imóveis comerciais na cidade de Londrina, abordando 5 diferentes variáveis, em seguida realizado o método da Variável Relativa para contorno da situação. Foi observado um grau de multicolinearidade para as variáveis, área útil e área total, sendo necessário a divisão delas para originar uma variável relativa para correção do modelo. Com o estudo foi constatado como é possível identificar a existência e gravidade, quais as variáveis afetadas e quais causam a multicolinearidade.

50

Palavras-chave: Variáveis. Variável relativa. Matriz de correlação.

ABSTRACT

The current real estate valuation market has become a complex scenario, being based on hedonic price theory, in which the property's characteristics are the guidelines for evaluation processes. The objective of the article is to analyze, through statistical models, the presence of variables that showed a degree of multicollinearity, based on the NBR 14.653-2 standard. To carry out the study, the methods of the

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Filadélfia. ph.willy@hotmail.com

² Docentes do Centro Universitário Filadélfia

Correlation Matrix, Inflation Factor of Variance and Farrar-Glauber, were used in a sample of 20 elements of commercial real estate in Londrina, addressing 5 different variables, then the method of the Relative Variable for contouring the situation. A degree of multicollinearity was observed in the variables: useful area and total area. The division of these two values was necessary to originate a relative variable to correct the model. This study shows which variables are affected and which cause multicollinearity, as well as demonstrates how it is possible to identify the existence and the severity of this effect.

Keywords: Variables. Relative variable. Correlation matrix.

1 INTRODUÇÃO

O mercado imobiliário retrata um valioso segmento da economia nacional, pelo volume de recursos nas transações e poder social. Este mercado é diferente dos demais, pela singularidade dos bens, o que acarreta uma alta complexidade na análise de valores. O baixo domínio de informações dos agentes e o falho conhecimento sobre o funcionamento do mercado, contribuem para intrinchar a análise do mercado imobiliário e a avaliação de bens.

51

Portanto, a avaliação de bens é uma atividade complexa. A teoria econométrica da avaliação baseia-se na teoria dos preços hedônicos (ou preços implícitos), de acordo com a qual, as características de um bem são responsáveis por seu valor de mercado, existindo uma relação com seu valor. Segundo Pelli Neto (2003), o valor de um imóvel, pode ser relacionado a um vetor resultado de diferentes variáveis, como: atributos físicos, localização e sua utilidade.

A avaliação de bens consiste na análise estatística do mercado imobiliário, visando identificar as variáveis responsáveis pelo valor de um determinado segmento de mercado. Esta análise é realizada pela regressão linear múltipla, com a obtenção de um modelo econométrico que representa um segmento do mercado. A partir deste modelo, utiliza-se a inferência estatística para calcular valores de elementos não contidos na amostra.

Contudo, para que seja válida, de acordo com a norma brasileira para avaliação de bens a regressão deve atender aos pressupostos básicos de especificação, normalidade, homocedasticidade, não multicolinearidade, não-

autocorrelação, independência e inexistência de pontos atípicos. No entanto, no que tange à não multicolinearidade a norma deixa de apresentar critério claro, sugerindo apenas atenção especial às dependências lineares de primeira ordem superiores a 0,80 e ressalta que pode ocorrer multicolinearidade mesmo para valores baixos de correlações isoladas (ABNT, 2011).

A multicolinearidade em um modelo econométrico é uma forte correlação entre duas ou mais variáveis independentes da amostra. Em diferentes exemplos de modelos de regressão, se encontra um mau condicionamento da matriz de delineamento, que é fonte de uma forte correlação, muitas vezes já existente, mas não desejável entre as variáveis independentes de um modelo de regressão (REYNALDO, 1997). Segundo Gujarati e Porter (2011, p.330): “O termo multicolinearidade originalmente significava a existência de uma relação linear “perfeita” ou exata entre algumas ou todas as variáveis explanatórias de um modelo de regressão”.

Quando há a presença de variáveis colineares, não é possível identificar a significância relativa e influência individual das variáveis na formação do valor, ocasionando um problema no modelo econométrico. Dessa forma, a identificação da colinearidade é importante para evitar erros na estimação de valores. Ocorre que de acordo com a NBR 14.653-2, a existência de correlações isoladas superiores a 0,80 é condição suficiente, mas não necessária, para atestar a ocorrência de colinearidade (ABNT, 2011).

Assim, o presente trabalho possui o objetivo apresentar métodos para identificação de colinearidades prejudiciais aos modelos estimativos e propor alternativas de solução e contorno para as variáveis que usualmente estão relacionadas à problemas de multicolinearidade em análises de regressão. O trabalho abordará especificamente a ocorrência de multicolinearidade em modelos estimativos de valor venal de bens urbanos, em particular imóveis comerciais. O mesmo apresentará ainda um exemplo real, e os impactos da correta especificação dos modelos nos resultados avaliatórios.

2 METODOLOGIA

Este trabalho será realizado a partir de um estudo de caso, de um modelo para avaliação do valor venal de imóveis comerciais na cidade de Londrina. O modelo foi elaborado com a pesquisa de 20 elementos amostrais, e a regressão linear múltipla foi realizada com o auxílio do software TS-Sisreg.

O modelo estudado é objeto de uma ação de avaliação de imóveis comerciais, para o cálculo do valor venal dos imóveis. O modelo apresenta elevado coeficiente de correlação – 0,90319 e determinação 0,81576, bem como adequada significância dos regressores. Foi obtido pela utilização de 20 elementos amostrais e cinco variáveis, sendo:

- Área Útil: Variável independente, na qual refere-se ao espaço privativo do imóvel, obtido pelo cálculo da somatória das áreas dos ambientes internos, com exceção de garagens e varandas, em metros quadrados.
- Área Total: Variável independente, que representa a soma de todas as áreas, somando a área privativa e a área de uso comum, em metros quadrados.
- PxD: Variável de interação, do tipo proxy, que representa a multiplicação dos valores de Padrão Construtivo e Conservação do Imóvel.
- Localização: Variável independente, do tipo proxy, que representa valores unitários em reais referentes a localização do imóvel.
- Valor Unitário: Variável dependente, que representa o valor venal unitário do elemento amostral, em reais por metro quadrado.

53

Para a identificação da multicolinearidade serão utilizados os métodos de observação da matriz de correlação, fator de inflação da variância (VIF) e o teste de Farrar-Glauber.

2.1 Matriz de Correlação

É avaliado a existência de dependência linear em par de variáveis pela matriz de correlação, possibilitando identificar a existência de multicolinearidade, com a detecção de alta correlação em algum par de variáveis. No entanto essa tipologia só

é eficaz quando utilizados apenas dois regressores na dependência linear. O mau condicionamento da matriz é consequência de um autovalor pequeno na matriz de correlação.

2.2 Fator de Inflação de Variância (FIV)

Com as variáveis centradas e padronizadas, é observado o valor de $R = (X^T X)^{-1}$ em que os elementos da diagonal dessa matriz são chamados de Fatores de Inflação de Variância (FIV) e representam o incremento da variância devido à presença de multicolinearidade, o FIV pode ser calculado com a seguinte equação:

$$FIV_j = \frac{1}{1 - R_{jj}^2} \quad j = 1, 2, \dots, p$$

Onde p é o número das variáveis preditoras; R_{jj}^2 é o coeficiente de correlação múltipla, resultante da regressão de X_j nos outros $p - 1$ regressores.

A matriz de variâncias e covariâncias para as estimativas dos coeficientes de regressão:

54

$$V(\beta) = \sigma^2 (X^T X)^{-1} = \sigma^2 FIV = \sigma^2 (1 - R_{jj}^2)^{-1}$$

Quando o valor de R_{jj}^2 for próximo de um, significa que possui um alto índice de correlação entre a variável X_j e outras variáveis, logo $1 - R_{jj}^2$ encontra-se perto de zero, ocasionando um grande valor para FIV. Quando o FIV máximo apontar para um valor acima de 10, a multicolinearidade por estar induzindo as estimativas de mínimos quadrados.

2.3 Teste de Farrar-Glauber

É utilizado apenas a etapa 1 do teste de Farrar-Glauber, sendo o teste X^6 para determinar a presença e a gravidade da multicolinearidade. É necessário obter primeiramente o valor de cada $r_{X^6 X^5}$, na sequência monta-se a matriz de correlações R , e por último calcula-se X_{Cal}^6 pela seguinte equação:

$$X_{Cal}^6 = - \frac{(n-1) - 1}{(2k+5)E} * \ln|R|$$

Onde n é o número de dados da amostra; k é o número de variáveis independentes do modelo, $\ln|R|$ é o logaritmo neperiano do determinante da matriz R .

Com um nível de significância de $\alpha = 0,05$, busca-se o valor crítico

tabelado $X^2_{\alpha; k-1}$ e aplica-se o teste de hipóteses, onde o maior valor do quiquadrado, maior será a gravidade da multicolinearidade, são considerados:

Hipóteses de Teste:

H_0 : x_i 's são ortogonais (não apresentam multicolinearidade)

H_1 : x_i 's não são ortogonais (apresentam multicolinearidade)

Decisão do Teste: Se $X^2_{Cal} > X^2_{Tab}$ rejeita-se H_0 , caso contrário, não se rejeita.

55

A literatura técnica da Engenharia de Avaliações indica que sempre existirá algum grau de colinearidade entre as variáveis do modelo. Por exemplo, há relação entre a dimensão da “frente” do imóvel e sua “área”, da “área dos terrenos” com o “zoneamento urbano”, do “zoneamento” com o “padrão construtivo”, da “renda média da população” e o “padrão de acabamento” das edificações. Dessa forma, no mercado imobiliário, muitas variáveis apresentarão certo grau de colinearidade sendo difícil obter variáveis ortogonais (BIAGGI et al., 2017; ZILLI et al., 2019).

Quadro 1 – Quadro de distribuição dos valores de qui-quadrado

ν	$\chi^2_{.005}$	$\chi^2_{.01}$	$\chi^2_{.025}$	$\chi^2_{.05}$	$\chi^2_{.10}$	$\chi^2_{.25}$	$\chi^2_{.50}$	$\chi^2_{.75}$	$\chi^2_{.90}$	$\chi^2_{.95}$	$\chi^2_{.975}$	$\chi^2_{.99}$	$\chi^2_{.995}$	$\chi^2_{.999}$
1	,0000	,0002	,0010	,0039	,0158	,102	,455	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88	10,8
2	,0100	,0201	,0506	,103	,211	,575	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6	13,8
3	,0717	,115	,216	,352	,584	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	9,35	11,3	12,8	16,3
4	,207	,297	,484	,711	1,06	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	11,1	13,3	14,9	18,5
5	,412	,554	,831	1,15	1,61	2,67	4,35	6,63	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7	20,5
6	,676	,872	1,24	1,64	2,20	3,45	5,35	7,84	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5	22,5
7	,989	1,24	1,69	2,17	2,83	4,25	6,35	9,04	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3	24,3
8	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	5,07	7,34	10,2	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0	26,1
9	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	5,90	8,34	11,4	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6	27,9
10	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	6,74	9,34	12,5	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2	29,6
11	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	7,58	10,3	13,7	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8	31,3
12	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	8,44	11,3	14,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3	32,9
13	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	9,30	12,3	16,0	19,8	22,4	24,7	27,7	29,8	34,5
14	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	10,2	13,3	17,1	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3	36,1
15	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	11,0	14,3	18,2	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8	37,7
16	5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	11,9	15,3	19,4	23,5	26,3	28,8	32,0	34,3	39,3
17	5,70	6,41	7,56	8,67	10,1	12,8	16,3	20,5	24,8	27,6	30,2	33,4	35,7	40,8
18	6,26	7,01	8,23	9,39	10,9	13,7	17,3	21,6	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2	42,3
19	6,84	7,63	8,91	10,1	11,7	14,6	18,3	22,7	27,2	30,1	32,9	36,2	38,6	43,8
20	7,43	8,26	9,59	10,9	12,4	15,5	19,3	23,8	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0	45,3
21	8,03	8,90	10,3	11,6	13,2	16,3	20,3	24,9	29,6	32,7	35,5	38,9	41,4	46,8
22	8,64	9,54	11,0	12,3	14,0	17,2	21,3	26,0	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8	48,3
23	9,26	10,2	11,7	13,1	14,8	18,1	22,3	27,1	32,0	35,2	38,1	41,6	44,2	49,7
24	9,89	10,9	12,4	13,8	15,7	19,0	23,3	28,2	33,2	36,4	39,4	43,0	45,6	51,2
25	10,5	11,5	13,1	14,6	16,5	19,9	24,3	29,3	34,4	37,7	40,6	44,3	46,9	52,6
26	11,2	12,2	13,8	15,4	17,3	20,8	25,3	30,4	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3	54,1
27	11,8	12,9	14,6	16,2	18,1	21,7	26,3	31,5	36,7	40,1	43,2	47,0	49,6	55,5
28	12,5	13,6	15,3	16,9	18,9	22,7	27,3	32,6	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0	56,9
29	13,1	14,3	16,0	17,7	19,8	23,6	28,3	33,7	39,1	42,6	45,7	49,6	52,3	58,3
30	13,8	15,0	16,8	18,5	20,6	24,5	29,3	34,8	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7	59,7
40	20,7	22,2	24,4	26,5	29,1	33,7	39,3	45,6	51,8	55,8	59,3	63,7	66,8	73,4
50	28,0	29,7	32,4	34,8	37,7	42,9	49,3	56,3	63,2	67,5	71,4	76,2	79,5	86,7
60	35,5	37,5	40,5	43,2	46,5	52,3	59,3	67,0	74,4	79,1	83,3	88,4	92,0	99,6
70	43,3	45,4	48,8	51,7	55,3	61,7	69,3	77,6	85,5	90,5	95,0	100	104	112
80	51,2	53,5	57,2	60,4	64,3	71,1	79,3	88,1	96,6	102	107	112	116	125
90	59,2	61,8	65,6	69,1	73,3	80,6	89,3	98,6	108	113	118	124	128	137
100	67,3	70,1	74,2	77,9	82,4	90,1	99,3	109	118	124	130	136	140	149

Fonte: PEARSON E.S. e HARTLEY H.O. Biometrika Tables for Statisticians Vol.1 (1966)

2.4 Correção da multicolinearidade

Uma vez identificadas as variáveis colineares do modelo, devem ser adotadas alternativas para solução do problema da multicolinearidade. Existirem técnicas para

eliminação de variáveis, como o método dos componentes principais, que identifica os regressores ortogonais e elimina aqueles que podem ser matematicamente suprimidos em função da colinearidade com outros regressores (IBAPE-SP, 2007).

Os regressores são importantes na formação do valor do bem e geralmente não podendo ser eliminados. Por isso, uma alternativa para solução do problema sem a eliminação dos regressores é o aumento do tamanho da amostra, de forma que, ao colecionar mais dados de mercado observe-se menor colinearidade entre as variáveis (ABNT, 2011).

No entanto, a obtenção de mais dados de mercado nem sempre é possível. E uma amostra representativa refletirá colinearidades da população. Na prática, ao forçar a ampliação da amostragem é possível inserir elementos de populações distintas, que apesar de corrigirem a multicolinearidade podem contaminar o poder de predição do modelo.

Resta, portanto, a combinação ou operação de variáveis independentes para, agregando informações ou relativizando variáveis, obtenha-se regressores ortogonais. Um exemplo comum de combinação é utilizar o padrão construtivo, geralmente expresso em uma variável de custo unitário básico da construção – CUB, multiplicado pelo coeficiente de conservação, geralmente expresso em fração de 1, onde quanto mais próximo de 1 mais bem conservado está o elemento, seguindo um padrão de classificação padronizado por Hoss- Heidecke (ABUNAHMAN, 2001).

Um exemplo de operação de variáveis consiste na adoção de razões ou multiplicações de variáveis. Por exemplo, as variáveis área útil e área total costumam ser colineares, isto é, quanto maior a área útil de um imóvel, maior também será sua área total. Uma forma ortogonal de utilizar as variáveis é adotar a área útil como um percentual da área total, ou seja, dividir a área útil pela área total do imóvel. Dessa forma, ao utilizar o valor de 0,50 para a variável área útil, significa que metade da área total do imóvel é útil. Neste trabalho, será adotada a relação entre as variáveis área e área útil.

3 RESULTADOS

Inicialmente, a ocorrência de multicolinearidade foi identificada pela matriz

de correlações, que apresenta as correlações isoladas (parte inferior) e correlações parciais (parte superior). Identifica-se elevada correlação isolada (0,84) e parcial (0,98) para as variáveis área total e área útil, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 2 – Matriz de correlações isoladas e parciais.

Variáveis	Forma Linear	Área Útil	Área Total	PxD	Localização	Valor unitário
Área Útil	1/x		98	91	57	88
Área Total	1/x	84		90	56	86
PxD	x ²	-45	-5		34	88
Localização	1/x	36	2	-59		49
Valor Unitário	y	5	-4	44	-23	

Fonte: o autor (2020).

58

De acordo com a NBR 14.653-2 (ABNT, 2011) sugere-se atenção especial às dependências lineares de primeira ordem superiores a 0,80, como é o caso da correlação isolada entre as variáveis área total e área útil (0,84); e das correlações parciais entre área útil e área total (0,98), área útil e PxD (0,91), área total e PxD (0,90). Dessa forma, a matriz de correlações sugere a correlação positiva entre as variáveis.

A seguir, realizou-se a análise do Fator de Inflação de Variância. Para isso, foram realizadas regressões auxiliares, excluindo a variável dependente (valor unitário) tornando cada uma das variáveis independentes (área útil, área total, PxD e localização) em variável dependente. Os resultados dos coeficientes de correlação R_j^2 das regressões auxiliares e os FIVs calculados são apresentadas no Quadro 2. Verifica-se no quadro que a variável área útil apresentou valor de FIV maior que 10, apontando forte colinearidade da variável área útil.

Quadro 3 – Quadro do Fator de Inflação da Variância

Variável	Identificação	Transformação	Rj ²	FIV
Valor Unitário	y	ln(y)	-	-
Área Útil	x1	1/y	0,90353	10,36591
Área Total	x2	ln(y)	0,85087	6,70587
PxD	x3	1/y	0,74771	3,96363
Localização	x4	y	0,49831	1,99325

Fonte: o autor (2020).

Continuamente, realizou-se o teste de Farrar-Glauber. Para isso, foi necessário calcular o valor de X^2_{Cal} obtendo-se o valor de 25,72, e ao utilizar a tabela de Distribuição do Qui-Quadrados, com os valores do número de dados, número de variáveis explicativas, significância e grau de liberdade, para a seguinte fórmula, $X^2_{P,PQ;R} = X^2_{P,PQ;S}$, é aferido o valor de 12,60. Com esses valores, pode ser concluído que como o $X^2_{Cal} > X^2_{Tab}$ rejeita-se H_0 , portanto há correlação entre as variáveis do modelo (existindo multicolinearidade), podendo ser considerada de baixa gravidade.

Após a observação da presença de multicolinearidade nos três métodos acima, foi necessário a realização de um contorno para não haver colinearidade nas variáveis, no qual foi utilizado o método da variável relativa. Com a forte presença colinearidade para a variável área útil, foi necessário criar a variável relativa, em que a área total passou a ser área total dividida pela área útil da amostra. Com a alteração da variável, o modelo foi refeito, resultando na matriz de correlações apresentada no Quadro 3.

Quadro 4 – Matriz de correlações isoladas e parciais

Variáveis	Forma Linear	Área Útil	Área Total	PxD	Localização	Valor unitário
Área Útil	ln(x)		44	61	36	64
Área Total	$x^{1/2}$	-40		82	40	75
PxD	x	46	-72		14	83
Localização	1/x	-42	57	-61		36
Valor Unitário	y	-18	6	48	-27	

Fonte: o autor (2020).

Inicialmente a matriz apresentava correlações parciais de até 0,98 para as variáveis área total e área útil, conforme demonstrado no Quadro 1. Após a alteração das variáveis, observa-se que as correlações foram reduzidas para 0,44 e o valor de R_j^2 caiu para 0,82, onde o valor mínimo para um possível problema de multicolinearidade, ficou distante de 0,80.

A seguir, realizou-se a análise do Fator de Inflação de Variância. O valor do FIV diminuiu para 3,05, indicando que a multicolinearidade entre as variáveis não é significativa.

Quadro 5 – Quadro do Fator de Inflação da Variância após alteração das variáveis.

Variável	Identificação	Transformação	R_j^2	FIV
Área Útil	x1	y	0,82	3,05

Fonte: o autor (2020).

Por fim, foi realizado um novo teste de Farra Glauber para o modelo ajustado, após a alteração das variáveis, o valor encontrado para X^6_{Tab} é de 9,809, sendo menor que o determinado pelo valor de X^6_{Cal} (12,592), portanto $X^6_{Cal} < X^6_{Tab}$, aceitando-se o valor de H_0

(não existindo multicolinearidade).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao realizar os testes, constatou-se a presença de multicolinearidade nos

dados do modelo, apresentando uma gravidade nas variáveis área útil e área total.

Na sequência, foi aplicado a solução do uso da variável relativa nas variáveis área útil e área total, na qual foi necessário a divisão de uma variável pela outra, tomando um novo valor para variável área total.

Com essa solução, foi obtido um novo valor para variável, tomando uma nova matriz de correlação, na qual apresenta valores distantes de uma possível colinearidade entre as variáveis.

REFERÊNCIAS

ABUNAHMAN, Sérgio. **Curso básico de engenharia legal e de avaliações**. 2. ed. São Paulo: Pini: 2001.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.653-2: Avaliação de bens Parte 2: Imóveis urbanos**. Rio de Janeiro, 2011.

BIAGGI, Maria Lúcia Sabedotti de; MEDVID, Marcelo; ASSIS, Cynthia Marília Carraro de. Fator de inflação da variância e regressões auxiliares para diagnóstico do problema de multicolinearidade nos modelos de regressão. *In*: COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 19., 2017, Foz do Iguaçu – PR, **Anais [...]**, Curitiba: IBAPE-PR, 2017.

DANTAS, Rubens Alves. **Engenharia de Avaliações**: uma introdução à metodologia científica. 3 ed. São Paulo: Pini, 2012.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria Básica**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

IBAPE-SP - INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS. **Engenharia de avaliações**. São Paulo: Pini, 2007.

MONTGOMERY, Douglas C.; PECK, Elizabeth A.; VINING, G. Geoffrey. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 3rd Ed., United States: John, Wiley and Sons, 2006

NETER, John; WASSERMAN, William; KUTNER, Michael H. **Applied Linear Regression Models**. United States: Richard D. Inc., 1983.

PELLI NETO, Antonio. **Curso de Engenharia de Avaliação Imobiliária – Fundamentos e Aplicação da Estatística Inferencial**, Belo Horizonte/MG, 2003.

REYNALDO, Cristiane. **Regressão "Ridge": um método alternativo para o mal condicionamento da matriz das regressoras**. Dissertação apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Estatística. Campinas-SP, 1997.

ZILLI, Carlos Augusto; RIBEIRO, Murilo Damian; HOCHHEIM, Norberto. Aplicação do Teste de Farrar-Glauber para análise de Multicolinearidade em regressões lineares. *In: COBREAP – Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias*, 20., 2019, Salvador-BA. Anais [...].