

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO HACHIRO DAMASCENO HINATA

**RELAÇÕES PARAMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DE CUSTO DE EDIFÍCIOS
RESIDENCIAIS DE ALTO PADRÃO BASEADOS NO PLANO ARQUITETÔNICO
DE MASSAS: UM CASO APLICADO NA EMPRESA X SITUADA EM CURITIBA,
PARANÁ**

CURITIBA

2022

BRUNO HACHIRO DAMASCENO HINATA

**RELAÇÕES PARAMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DE CUSTO DE EDIFÍCIOS
RESIDENCIAIS DE ALTO PADRÃO BASEADOS NO PLANO ARQUITETÔNICO
DE MASSAS: UM CASO APLICADO NA EMPRESA X SITUADA EM CURITIBA,
PARANÁ**

**Parametric relations for cost estimation of high standard residential
buildings based on the architectonic plan of mass: an applied case in company
x located in Curitiba, Paraná**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Nome do Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Fernando José Matitz.

Coorientador(a): Prof^ª. Dr^ª. Queila Regina Souza Matitz

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

BRUNO HACHIRO DAMASCENO HINATA

**RELAÇÕES PARAMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DE CUSTO DE EDIFÍCIOS
RESIDENCIAIS DE ALTO PADRÃO BASEADOS NO PLANO ARQUITETÔNICO
DE MASSAS: UM CASO APLICADO NA EMPRESA X SITUADA EM CURITIBA,
PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 02 de novembro de 2022;

Fernando José Matitz
Especialização em Engenharia de Produção e Gerenciamento de Obras
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcelo Queiroz Varisco
Mestrado em Tecnologia de Materiais
Universidade Federal do Paraná

Fernando Guajará Greenberg
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Catarina

CURITIBA

2022

Aos profissionais da área da construção civil que deram um voto de confiança ao meu trabalho. A contribuição com parte de meu perfil como engenheiro me gera um sentimento de gratidão eterna.

AGRADECIMENTOS

À todos os professores que me lecionaram e compartilharam de suas inteligências para provocar minha formação de ideias e instituir minha base de pensamento. Em especial, ao Professor Fernando José Matitz, o qual me orientou brilhantemente durante esse projeto.

À minha família e aos meus amigos que estiveram presentes em momentos de alegrias e de suporte. A vida não teria a beleza sem vocês. Em especial aos meus pais Mauro Hinata e Marinéia das Graças Damasceno Hinata, os quais me deram respeito e construíram parte de minha integridade. A minha felicidade é perceber o orgulho de minhas conquistas através de suas expressões.

Aos engenheiros, mestres de obra e colaboradores que depositaram um voto de confiança no meu trabalho durante a minha vida acadêmica, construíram parte de meu perfil como engenheiro civil e não mediram esforços no auxílio para um melhor entendimento de cada singelo questionamento. Em especial ao mestre de obra Ipólito, ao engenheiro civil Michel Boaron, à engenheira civil Vanessa Regina de Oliveira, à engenheira civil Camila Cristina de Souza, à engenheira civil Gabriela Motta Porfírio e à engenheira de produção Aparecida Juliana Farias.

À Deus por me mostrar constantemente que sou guiado, iluminado e protegido pela sua presença divina no mais íntimo do meu ser. Obrigado por me direcionar pelos seus propósitos e me conceder sabedoria e entendimento para que pudesse enfrentar todos os obstáculos e aproveitar as oportunidades durante minha vida acadêmica.

“Que os vossos esforços desafiem as
impossibilidades; lembrai-vos de que as grandes
coisas do homem foram conquistadas do que
parecia impossível’.
(CHAPLIN, CHARLES).

RESUMO

O detalhamento de um projeto de edificações, naturalmente, desenvolve-se de acordo o seu ciclo de vida. À medida que a maturidade do empreendimento cresce, maiores informações quantitativas e qualitativas podem ser extraídas e aplicadas em um processo orçamentário. Por isso, caracteriza-se o orçamento como evolutivo. Numa etapa inicial de fase de projeto, durante o estudo de viabilidade econômico-financeira para a compra de terreno, necessita-se de uma estimativa de custo da obra a fim de obter uma grandeza do investimento. Nessa etapa, não há um maior entendimento dos projetos, com exceção de um plano arquitetônico de massas, de um quadro de áreas e de um memorial padrão de acabamentos da construtora em questão. A indisponibilidade de maiores informações torna-se a execução de um orçamento detalhado inviável. Assim, O orçamento de viabilidade surge a partir de uma estimativa de custos baseada em informações disponíveis ao momento. A partir do exposto, o presente estudo desenvolverá uma estimativa de custo, através de relações paramétricas, em edifícios de alto padrão de habitação multifamiliar de uma Empresa X, localizada em Curitiba/PR. O método de estimativa escolhido deu-se pelas relações paramétricas advindas de um estudo de regressões lineares simples, os quais relacionam alguns serviços retirados da estrutura analítica de projetos com alguns direcionadores de custo. As relações paramétricas serão testadas quanto à sua qualidade e à sua efetividade, através do coeficiente de determinação e do coeficiente de correlação linear, respectivamente. Nove dos dez serviços analisados apresentaram fortes correlações com suas respectivas variáveis independentes. Quando aplicados a uma obra, as relações geraram quantitativos adequados que direcionaram a uma previsão de custo dentro do previsto para um orçamento de viabilidade.

Palavras-chave: estimativa de custos; orçamento de viabilidade; plano arquitetônico de massas; regressão linear simples; custos.

ABSTRACT

The detailing of a building project naturally develops according to its life cycle. As the maturity of the project grows, more quantitative and qualitative information can be extracted and applied in a budgeting process. Therefore, budgeting is characterized as evolutionary. At an early stage of the project phase, during the economic and financial feasibility study for the purchase of land, it is necessary to estimate the cost of the project in order to obtain an investment amount. At this stage, there is no greater understanding of the projects, with the exception of an architectural mass plan, a table of areas, and a memorial from the construction company in question. The unavailability of further information makes the execution of a detailed budget unfeasible. Thus, the feasibility budget arises from a cost estimate based on information available at the time. Based on the above, the present study will develop a cost estimate, through parametric relations, in high-standard multifamily buildings of a Company X, located in Curitiba/PR. The estimation method chosen was the parametric relations resulting from a study of simple linear regressions, which relate some services taken from the project analytical structure with some cost drivers. The parametric relations will be tested for their quality and effectiveness, through the determination coefficient and the linear correlation coefficient, respectively. Nine of the ten services analyzed showed strong correlations with their respective independent variables. When applied to a construction project, the relationships generated adequate quantities that directed to a cost forecast within the predicted range for a feasibility budget.

Keywords: cost estimation; feasibility budget; mass architectural plan; simple linear regression; costs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de vida de projeto e o orçamento evolutivo	21
Figura 2 – Ciclo imobiliário: Fluxo de processos de incorporação de empreendimentos	25
Figura 3 – Plano arquitetônico de massa: Projeto genérico.	21
Figura 4 – Plano arquitetônico de massa: Vila vertical contendo dez blocos.	29
Figura 5 – Plano arquitetônico de massa: Edifício Praça das Artes.	21
Figura 6 – Influência geométrica nas estimativas de custo	33
Figura 7 – Influência de outliers na linha de regressão linear	36
Figura 8 – Níveis de correlação entre variáveis dependentes e independentes em uma regressão linear.....	37
Figura 9 – Classificação da correlação entre variáveis de acordo com o coeficiente de correlação.....	39
Figura 10 – Gráficos de dispersões lineares com curvas ajustadas aos pontos com níveis de qualidade distintos	40
Figura 11 – Segmentação em etapas da criação de relações paramétricas	43
Figura 12 – Caso hipotético: Tabela de levantamento de dados no Microsoft Excel	49
Figura 13 – Ícone da ‘Análise de dados’ no Microsoft Excel	49
Figura 14 – Análise de dados: Caixa de diálogo	50
Figura 15 – Regressão: Caixa de diálogo	50
Figura 16 – Regressão: Preenchimento da Caixa de diálogo	51
Figura 17 – Regressão: Aplicar a linha de tendência	52
Figura 18 – Validação de relações paramétricas: Níveis de precisão estimadas.....	56
Figura 19 – Variáveis dependentes escolhidas	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico de dispersão de pontos no Microsoft Excel.	52
Gráfico 2 – Gráfico de regressão linear simples e a equação paramétrica.	53
Gráfico 3 – Análise gráfica de regressão linear entre o custo incorrido de Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos [INCC] e a área privativa [m ²].	60
Gráfico 4 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de fôrma convencional para estrutura [m ²] e a área privativa [m ²].	62
Gráfico 5 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de aço para armação de supraestrutura em concreto armado [kg] e a área privativa [m ²].	64
Gráfico 6 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de concreto usinado para supraestrutura [m ³] e a área construída [m ²].	66
Gráfico 7 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em bloco cerâmico [m ³] e a área comum [m ²].	68
Gráfico 8 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall) [m ³] e a área construída [m ²].	70
Gráfico 9 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de instalação de painel de PVC estruturado [m ²] e a área e comum [m ²].	72
Gráfico 10 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de forro em gesso acartonado (drywall) [m ²] e a área privativa [m ²].	74
Gráfico 11 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de Instalação de piso de madeira engenheirada [m ²] e a área privativa [m ²].	76
Gráfico 12 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de esquadrias de madeira com isolamento acústico [m ²] e a área privativa [m ²].	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística de Regressão	54
Tabela 2 - Tabela de resíduos.....	55
Tabela 3 - Tabela resumo do quantitativo dos direcionadores de custo nas obras analisadas	57
Tabela 4 - Quantitativos de serviços nas obras de amostra.....	58
Tabela 5 - Estatísticas de regressão linear entre o custo incorrido de Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos [INCC] e as áreas construída e privativa [m ²].	60
Tabela 6 - Verificação de outliers regressão linear entre o custo incorrido de Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos [INCC] e a área privativa [m ²].	61
Tabela 7 - Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de fôrma convencional para estrutura [m ²] e as áreas construída e privativa [m ²]. ...	62
Tabela 8 - Verificação de outliers na regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de fôrma convencional para estrutura [m ²] e a área privativa [m ²].	63
Tabela 9 - Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de aço para armação de supraestrutura em concreto armado [kg] e as áreas construída e privativa [m ²]. .	64
Tabela 10 - Verificação de outliers na regressão linear entre o quantitativo de aço para armação de supraestrutura em concreto armado [kg] e a área privativa [m ²].	65
Tabela 11 - Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de concreto usinado para supraestrutura [m ³] e as áreas construída e privativa [m ²].	66
Tabela 12 - Verificação de outliers na regressão linear entre o quantitativo de concreto usinado para supraestrutura [m ³] e a área construída [m ²].	67
Tabela 13 - Q Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em bloco cerâmico [m ³] e as áreas construída, privativa e comum [m ²].	68
Tabela 14 - Verificação de outliers na regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em bloco cerâmico [m ³] e a área comum [m ²].	69
Tabela 15 - Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall) [m ³] e as áreas construída, privativa e comum [m ²].	70

Tabela 16 - Verificação de outliers na regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall) [m ³] e a área construída [m ²].	71
Tabela 17 - Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de instalação de painel de PVC estruturado [m ²] e as áreas construída, privativa e comum [m ²].	72
Tabela 18 - Verificação de outliers na regressão linear entre o quantitativo de instalação de painel de PVC estruturado [m ²] e a área e comum [m ²].	73
Tabela 19 - Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de forro em gesso acartonado (drywall) [m ²] e as áreas construída e privativa [m ²].	74
Tabela 20 - Verificação de outliers na regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de forro em gesso acartonado (drywall) [m ²] e a área privativa [m ²]. ...	75
Tabela 21 - Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de Instalação de piso de madeira engenheirada [m ²] e as áreas construída e privativa [m ²].	76
Tabela 22 - Verificação de outliers na regressão linear entre o quantitativo de Instalação de piso de madeira engenheirada [m ²] e a área privativa [m ²].	77
Tabela 23 - Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de esquadrias de madeira com isolamento acústico [m ²] e as áreas construída e privativa [m ²].	78
Tabela 24 - Verificação de outliers na regressão linear entre o quantitativo de esquadrias de madeira com isolamento acústico [m ²] e a área privativa [m ²].	79
Tabela 25 - Quadro resumo dos resultados de regressão linear analisados.	80
Tabela 26 - Variáveis independentes da obra OBR10.	81
Tabela 27 - Quadro resumo com os quantitativos estimados através das relações paramétricas.....	82
Tabela 28 - Orçamento parcial da OBR10 contendo os serviços de análise do estudo.	82
Tabela 29 - Quantitativos Orçamento parcial estimado da OBR10 através das relações paramétricas obtidas no estudo. de serviços nas obras de amostra.....	83
Tabela 30 - Tabela resumo comparativa entre o orçamento executivo e o orçamento paramétrico de viabilidade.	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
1.2	Justificativas	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	A engenharia de custos na construção civil	19
2.1.1	Orçamentos e o ciclo de projeto	19
<u>2.1.1.1</u>	<u>Orçamento para viabilidade</u>	<u>21</u>
<u>2.1.1.2</u>	<u>Orçamento preliminar</u>	<u>22</u>
<u>2.1.1.3</u>	<u>Orçamento executivo</u>	<u>22</u>
2.1.2	A estrutura orçamentária	23
2.2	Orçamento de viabilidade econômica	24
2.2.1	O orçamento de viabilidade na fase inicial de projeto	24
<u>2.2.1.1</u>	<u>Incorporação e o ciclo imobiliário</u>	<u>25</u>
<u>2.2.1.2</u>	<u>Inputs do orçamento de viabilidade</u>	<u>27</u>
<u>2.2.1.2.1</u>	<u>Plano arquitetônico de massas</u>	<u>27</u>
<u>2.2.1.2.2</u>	<u>Quadro de áreas</u>	<u>30</u>
<u>2.2.1.2.3</u>	<u>Diretriz inicial de produto</u>	<u>30</u>
2.3	Estatística inferencial	31
2.3.1	Estimativas de custo e sua importância	31
2.3.2	Métodos de estimativa de custos	32
2.3.3	Métodos de estimativa de custo por relações paramétricas através regressões lineares	34
<u>2.3.3.1</u>	<u>Outliers</u>	<u>36</u>
<u>2.3.3.1.1</u>	<u>Método do quartil para a exclusão de Outliers</u>	<u>37</u>
<u>2.3.3.2</u>	<u>Estabelecimento de relações</u>	<u>37</u>
<u>2.3.3.2.1</u>	<u>Teste de efetividade: Correlação Linear</u>	<u>37</u>
<u>2.3.3.2.2</u>	<u>Teste de qualidade: Método R quadrado</u>	<u>40</u>
3	METODOLOGIA	42
3.1	Contextualização da empresa X	42
3.2	Gestão de projeto: Modelo	43
3.3	Premissas de estudo	44

3.3.1	Caráter exclusivo de relações paramétricas em edifícios de alto padrão	44
3.3.2	Estimativa paramétrica: Quantidade como variável dependente.....	44
3.4	Desenvolvimento de modelo paramétrico de custo	45
3.4.1	Levantamento, avaliação e tratamento de dados através de uma base histórica	45
<u>3.4.1.1</u>	<u>Conjunto amostral</u>	<u>46</u>
3.4.2	Seleção de variáveis	46
<u>3.4.2.1</u>	<u>Seleção de variáveis dependentes.....</u>	<u>46</u>
<u>3.4.2.2</u>	<u>Seleção de variáveis independentes</u>	<u>47</u>
3.4.3	Análise estatística gráfica e estabelecimento de relações paramétricas	48
<u>3.4.3.1</u>	<u>Diagrama de dispersão e relação paramétrica</u>	<u>48</u>
3.4.4	Análise estatística de relações paramétricas	53
<u>3.4.4.1</u>	<u>Estatística de regressão</u>	<u>54</u>
<u>3.4.4.2</u>	<u>Tabela de resíduos.....</u>	<u>54</u>
3.4.5	Teste de precisão da estimativa pela validação de relações.....	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1	Levantamento histórico das variáveis independentes	57
4.2	Levantamento histórico das variáveis dependentes.....	58
4.3	Regressões lineares e suas correlações	59
4.3.1	Serviço I – Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos	59
4.3.2	Serviço II – Supraestrutura: serviço de execução de fôrma convencional para estrutura.....	61
4.3.3	Serviço III – Supraestrutura: aço para armação de supraestrutura em concreto armado	63
4.3.4	Serviço IV – Supraestrutura: concreto usinado para supraestrutura	66
4.3.5	Serviço V – Vedação: serviço de execução de vedação em bloco cerâmico	67
4.3.6	Serviço VI - Vedação: serviço de execução de vedação em gesso acartonado (<i>drywall</i>).....	69
4.3.7	Serviço VII – Vedação: instalação de painel de PVC estruturado para fechamento de paredes de contenção	71
4.3.8	Serviço VIII – Serviço de execução de forro rebaixado em gesso acartonado (<i>drywall</i>).....	73
4.3.9	Serviço IX – Instalação de piso de madeira engenheirada.....	75
4.3.10	Serviço X – Esquadrias de madeira com isolamento acústico	77
4.4	Resumo dos resultados e análise geral das regressões lineares....	79
4.5	Validação das regressões lineares	80

5	CONCLUSÃO	85
	Referências	87
	aPÊNDICE A – eSTRUTURA ANALÍTICA DE PROJETO	91

1 INTRODUÇÃO

A estimativa de custos da construção de empreendimentos residenciais detém de extrema importância quando tange a viabilidade financeira do produto em um estudo inicial para a aquisição de terrenos. A estimativa de custo do empreendimento é utilizada como ferramenta de apoio para tomadas de decisões estratégicas na concepção de produto visando extrair o maior potencial lucrativo do negócio. Assim, a companhia organizacional detém de maiores informações a respeito de prováveis oportunidades e possíveis ameaças dentro dos limites do estudo do investimento de um empreendimento.

Durante a fase inicial do projeto, o plano arquitetônico de massas, também denominado de estudo de massas volumétricas, garante informações extremamente enxutas a respeito do produto. Assim sendo, os *inputs* de um orçamento inicial estão limitados ao quadro de áreas, às informações técnicas do terreno e à padronização dos métodos construtivos da empresa. Na maioria dos casos, não há um esboço do projeto arquitetônico. Os parâmetros de terreno são manipulados a fim de se encontrar o seu melhor aproveitamento garantindo que o mesmo esteja dentro das exigências obrigatórias da legislação local. Dessa maneira, a localização e as dimensões do terreno, a altura permitida do edifício, a taxa de ocupação da área estudada e o índice de aproveitamento do terreno ajustam a locação de um edifício dentro de um perímetro considerado a partir de um desenho técnico a fim de se garantir um estudo preliminar de seu custo, para então, definir a sua viabilidade.

Devido a não possuir ante projetos durante a fase inicial de concepção do empreendimento, torna-se impraticável a utilização de métodos de orçamentação convencionais para a determinação do custo global de obra. O orçamento discriminado é um procedimento complexo e demorado, pois é realizado através da quantificação dos serviços com base em características geométricas definitivas (NERIS, 2010). Em vista disso, o custo é determinado a partir de uma série de estimativas e premissas. Existem diversas metodologias para estimar tais custos. Algumas incorporadoras se apoiam no Custo Unitário Básico (CUB) – índice calculado mensalmente pelos sindicatos da Indústria da Construção Civil e que expressa a estimativa de custo global da obra como uma linearização de sua metragem. Cada empreendimento detém de características qualitativas próprias de tal forma a possibilitar uma possível distorção na estimativa quando utilizado apenas a área

construída como direcionador de custo. Usualmente, grande parte das empresas utilizam de sua própria experiência para justificar o custo global de uma obra em sua fase inicial. Com isso, os quantitativos incorridos de obras realizadas servem de retroalimentação para os estudos de novos empreendimentos, possibilitando uma maior precisão nas estimativas de custo, seja pela comparação por semelhança de produto ou através do método de parametrização. Um modelo paramétrico pode ser desenvolvido como uma estrutura complexa de tal forma que os edifícios respeitem a critérios relativos à padronização de métodos construtivos da construtora, das tipologias das unidades residenciais e da região em que serão construídos, envolvendo outros direcionadores de custo além da área construída e possibilitando uma análise mais detalhada da estrutura de custo de uma construção. Apesar de sua maior complexidade, o modelo paramétrico possui uma maior velocidade no processamento da estimativa de custo (HEINECK e OTERO, 2004).

O orçamento paramétrico surge como uma tipologia de previsão de custos baseada em relações probabilísticas com embasamento em um histórico de quantitativos e qualitativos de obras já realizadas. O presente estudo trará a aplicação desse modelo na Empresa X, localizada em Curitiba – Paraná, para a estimativa de custos de alguns serviços em empreendimentos residenciais de alto padrão a partir de um plano arquitetônico de massas.

1.1 Objetivos

O objetivo geral e os objetivos específicos do presente estudo serão apontados nesta seção.

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade da utilização de relações paramétricas para estimar quantitativos de serviços construtivos a fim de obter custos com uma precisão adequada, de acordo com referências da literatura, durante o orçamento de viabilidade baseado no plano arquitetônico de massas de edifícios residenciais de alto padrão, incorporados e construídos pela empresa X, localizados na cidade de Curitiba, Paraná.

1.1.2 Objetivos específicos

- Levantar uma base histórica de quantitativos característicos de construções de edifícios residenciais da Empresa X;
- Identificar, através do método de regressão linear, as relações paramétricas entre os quantitativos de serviços levantados e os dados coletados advindos do estudo de massa;
- Determinar as melhores variáveis direcionadoras de custo avaliadas para cada serviço estimado com base numa margem de erro adequada de acordo com referências da literatura;
- Avaliar a viabilidade e a assertividade das relações paramétricas a partir de um estudo comparativo de custos incorridos em uma obra da Empresa X não pertencente ao levantamento histórico.

1.2 Justificativas

A estimativa de custos da construção de empreendimentos residenciais torna-se um desafio na fase de viabilidade da compra de terreno. O plano arquitetônico de massas não possui informações suficientemente detalhadas a respeito do projeto. Nessa fase inicial, o entendimento do conceito de custo da obra deve ser repensado. As técnicas de estimativa utilizadas e os níveis de erro prováveis associados estão relacionados diretamente ao estágio de desenvolvimento do projeto (MOREIRA, 2013). Nesse caso, a estimativa de custo não possui a pretensão de precisar minuciosamente os valores de serviços de uma construção, mas de garantir a dimensão dos custos com uma boa margem de segurança de forma que exista uma proximidade com os valores praticados em mercado (MOREIRA, 2013). Assim sendo, a orçamentação de um edifício proposto pelo plano arquitetônico de massas torna-se mais trabalhosa quando realizada de maneira detalhada através da comparação direta com um empreendimento semelhante a partir de índices baseados em levantamentos de quantitativos manuais.

Na era do *lean construction*, a busca contínua pela racionalização de processos e pela otimização do tempo com a eliminação de atividades que não agregam valor ao resultado final torna-se um fator importante para a evolução da empresa frente à concorrência de mercado. A orçamentação detalhada traz um resultado acurado, mas com um desperdício de tempo quando comparada com outros métodos possíveis de

estimativa de custos em uma fase inicial. Durante essa etapa, deve ser priorizado o comportamento da variação de custos em concordância com execuções predecessoras e tomar decisões de acordo com a análise dos resultados coletados (MASCARÓ, 1995 apud VALLE, 2006). Adentro, o modelo paramétrico é a abordagem mais rápida, de menor custo e de igual ou melhor precisão frente a outras técnicas de estimativa numa fase preliminar de avaliação (LONG, 2000 apud VALLE, 2006).

A Empresa X realiza o orçamento detalhado baseado em projetos contendo áreas construídas semelhantes com levantamentos de quantitativos manuais para a determinação da estimativa de custo de um edifício em um plano arquitetônico de massas. O prazo para a confecção e entrega dessa tipologia orçamentária é de sete dias úteis. A readequação do processo com a utilização de equações paramétricas reduziria o tempo de trabalho e eliminaria a coleta de dados a cada orçamento e, por consequência, aumentaria a produtividade do setor. Além dessas vantagens, as relações paramétricas balizam o orçamentista de possíveis erros grosseiros na orçamentação de quaisquer outras fases de projeto, bem como aceleram os estudos comparativos de métodos de construção para a análise da concepção de produto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um trabalho bem executado com a utilização de informações embasadas em um nível de confiança adequado pode gerar orçamentos com uma precisão satisfatória de acordo com a necessidade da respectiva fase de projeto do empreendimento. Cabe ressaltar que a exatidão se difere do conceito de precisão e não se fundamenta ao longo do processo da orçamentação (MATTOS, 1965). Diante do exposto, considera-se, no presente capítulo, uma fundamentação teórica baseada na discussão de trabalhos literários com o tema correlacionado à estimativa de custos em orçamentos de viabilidade na construção civil.

2.1 A engenharia de custos na construção civil

A engenharia de custos detém de um papel fundamental durante a viabilidade, planejamento e acompanhamento de um empreendimento na construção civil (LOSSO, 1995). Sua importância é representada através de análises econômico-financeiras durante sua concepção, em processos de controle da produção em sua implementação ao período estipulado em cronograma, na entrega da edificação, no processamento de seus resultados e nas retroalimentações para os estudos de empreendimentos futuros (GOLDMAN, 1999 apud MOREIRA, 2019).

Nessa perspectiva, o orçamento torna-se uma ferramenta auxiliar e necessária para o gerenciamento de custo no ciclo de um projeto (LOSSO, 1995).

2.1.1 Orçamentos e o ciclo de projeto

De acordo com a ABNT NBR 12721:2006, um orçamento é considerado um documento que detém dos cálculos referentes ao custo de uma construção em análise, o qual é correspondente ao somatório das despesas relacionadas aos seguintes serviços previstos nas especificações técnicas do produto: Serviços iniciais; Infraestrutura e obras complementares; Supra estrutura; Paredes e painéis; Coberturas e proteções; Revestimentos, forros, marcenaria e serralheria, pinturas e tratamentos especiais; Pavimentações; Instalações e aparelhos; Complementação da obra; Honorários do construtor; e, Honorários do incorporador.

De acordo com Hirota (1987), um orçamento possui uma fundamentação na desagregação da obra associada a uma descrição detalhada de suas características

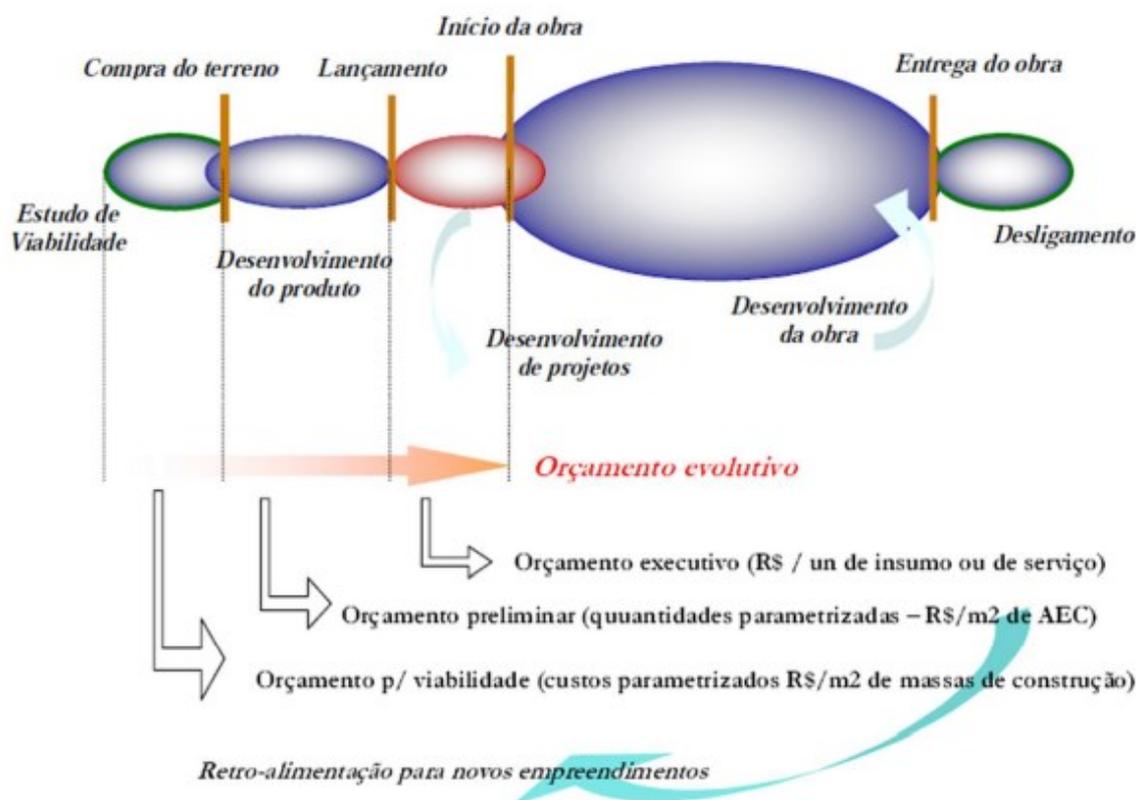
físicas e tecnológicas associadas a um custo monetário. Por detalhamento, entende-se que é necessária uma definição de insumos, métodos construtivos, mão de obra, gastos administrativos e equipamentos essenciais para uma melhor descrição do empreendimento a ser construído.

Segundo Mattos (1965), o orçamento corresponde a um processo técnico que envolve a identificação, a descrição, a quantificação e a análise de valores que compõe o preço de venda de um empreendimento. Apesar da maioria das literaturas bibliográficas associarem o orçamento ao custo da obra, o autor exalta outros propósitos da orçamentação. O documento pode gerar apoio durante a negociação e a compra de suprimentos; suprir um embasamento na contratação de mão de obra; gerar a atualização a partir de retroalimentações de consumos de insumos; creditar base para a realização de estudos de novos negócios; acompanhar os custos executados, além de outros objetivos.

Goldman (1999, apud MOREIRA, 2019) classifica o orçamento de acordo com a precisão das informações durante a elaboração do documento em questão. O autor prevê um orçamento por estimativas numa fase de viabilidade, um orçamento preliminar delimitado por ante projetos e um orçamento detalhado. Numa mesma linha de raciocínio, Moreira (2013) afirma que o orçamento é uma estimativa de custos que vai ganhando acurácia e melhor qualidade de dados à medida que o projeto avança. Em outras palavras, o acúmulo de informações aumenta ao longo do tempo, de tal forma a possibilitar uma maior precisão na determinação dos custos.

Assumpção e Fugazza (2000), conceituam o orçamento como um processo evolutivo e o classificam de acordo com as informações disponíveis no momento de sua confecção ao longo do ciclo de projeto. Segundo os autores, o detalhamento quantitativo e qualitativo aumenta de acordo com o progresso do nível de entendimento do empreendimento. Pode-se observar na Figura 1 a evolução da maturidade de projetos no ciclo do empreendimento associados aos três diferentes processos de orçar delimitados pelos autores: Orçamento para viabilidade, orçamento preliminar e orçamento executivo. Cada orçamento detém de um grau de detalhe distinto, os quais serão melhores discutidos a seguir.

Figura 1 – Ciclo de vida de projeto e o orçamento evolutivo.



Fonte: Assumpção e Fugazza (2000)

2.1.1.1 Orçamento para viabilidade

O estudo de viabilidade econômica (EVE) caracteriza-se pela avaliação dos possíveis retornos lucrativos em determinados investimentos financeiros, a fim de compreender se o projeto de construção civil idealizado em uma determinada área poderá ser tão rentável quanto às aplicações estudadas. Logo, a EVE é determinante para a compra do terreno, bem como para o prosseguimento do projeto. De acordo com Mattos (1965), a estimativa preliminar do custo da obra é o primeiro ingrediente de qualquer estudo de viabilidade.

O orçamento para viabilidade surge como um documento que traduz uma grandeza de custo em um nível estimado através de informações advindas de um levantamento histórico de obras incorridas pela própria construtora. Em outras palavras, desenvolvem-se metodologias de definição estimadas de custos embasadas em dados históricos, visto que nessa fase de projeto a quantidade de informações disponíveis ainda é escassa (ASSUMPÇÃO E FUGAZZA, 2000). Assim,

a estimativa de custos provoca uma ideia aproximada da ordem de grandeza do custo do empreendimento (MATTOS, 1965).

O orçamento para a viabilidade será o foco de estudo do presente trabalho.

2.1.1.2 Orçamento preliminar

Ao se iniciar um ciclo de projeto, a concepção de produto limita-se, em muitos casos, a partir da quantia de investimento disponível. Com a compra do terreno, os projetos começam a ser contratados e seus conteúdos amadurecem ao decorrer do tempo. Concomitantemente às contratações, as revisões de orçamento vão sendo apresentadas a fim de entender a sensibilidade da variação dos custos, bem como garantir uma segurança quanto à sua materialização.

Os orçamentos preliminares são desenvolvidos através de ante projetos (ASSUMPÇÃO e FUGAZZA, 2000). Dessa maneira, pode-se afirmar que possuem um grau de detalhamento acima da estimativa de custos, visto que possuem quantitativos levantados a partir de desenhos técnicos e detêm de maiores informações qualitativas que permitem ao engenheiro orçamentista a determinar, com uma precisão de custo, insumos e serviços. Além disso, o orçamento preliminar trabalha com uma quantidade maior de indicadores, os quais representam um aprimoramento da estimativa inicial, determinando um grau de incerteza menor ao orçamento (MATTOS, 1965).

2.1.1.3 Orçamento executivo

O orçamento executivo, também denominado por outros autores de orçamento detalhado, discriminado ou convencional, é realizado quando a maior parte dos projetos estão definidos. Teoricamente, ele é efetuado através de projetos executivos, em que o nível de detalhamento de informações quantitativas e de detalhamentos qualitativos é completo. Logo, o orçamento detém de resultados com um nível de precisão maior do que qualquer orçamento já realizado anteriormente no ciclo de vida do projeto (HEINECK E OTERO, 2004).

A maioria das construtoras e incorporadoras realiza o orçamento detalhado muito próximo ao lançamento do empreendimento ao mercado imobiliário, o qual é tido como um marco de negócio através da abertura da disponibilidade de compra das unidades mobiliárias a um público específico.

A delimitação do início da construção depende da forma com a qual decorre a captação de investimentos por parte da empresa. Assim sendo, no momento de confecção de orçamento, anteriormente ao lançamento do produto, não há a garantia de que as revisões de todos os projetos executivos estejam em sua versão final. Heineck e Otero (2004) reiteram essa informação. Segundo os autores, a limitação dos orçamentos executivos ocorre devido à falta de informações e a necessidade de revisões em projetos durante os estágios iniciais de trabalho em obra.

O orçamento analítico utiliza-se de uma estrutura orçamentária comum à grande parte das construtoras atuantes no mercado da construção civil, o qual possui composições de custos unitários, com seus respectivos levantamentos quantitativos, para cada serviço da obra (MATTOS, 1965).

2.1.2A estrutura orçamentária

Apesar dos orçamentos para viabilidade e dos orçamentos preliminares possuírem uma variação de metodologias para a determinação de custos previstos e, conseqüentemente, estruturas orçamentárias variadas, o orçamento executivo possui uma estrutura orçamentária bastante semelhante em qualquer âmbito. Neste modelo de formação de custo, o parâmetro orçado é o serviço (VALLE, 2006).

O orçamento detalhado segue uma discriminação orçamentária, também conhecida como estrutura analítica de projeto (EAP), a qual representa a listagem de serviços desempenhados para que o empreendimento se conclua. Assim, os componentes de projeto são desenvolvidos em serviços e agrupados com características semelhantes (VALLE, 2006).

Cada serviço é caracterizado por uma composição de insumos e seus respectivos índices de utilização/produktividade. Os índices assumem perdas de material, perdas de produtividade devido às variações climáticas, dentre quaisquer outras justificativa de redução ou acréscimo da quantidade considerada do insumo para a uma unidade considerada do serviço.

A composição de insumos pode ser montada pelo engenheiro orçamentista de acordo com o embasamento histórico de obras realizadas ou ainda podem ser retirados de literaturas bases para confecção de orçamentos como, por exemplo, a Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO). Segundo Mobuss Construção (2019), a TCPO se destaca como um dos indicadores mais relevantes da construção civil desde o ano de 1955.

A composição unitária de um serviço é definida pelo conjunto das quantidades de insumos necessários para a sua execução em uma unidade de medida (VALLE, 2006). O somatório dos produtos entre os índices dos insumos da composição referente ao serviço considerado e os seus respectivos custos unitários caracteriza uma composição unitária de custo ao serviço estudado (PARISOTTO, 2003).

Por fim, a composição unitária de custo é multiplicada pelo quantitativo advindo do levantamento de projetos, sejam esses arquitetônicos, estruturais ou complementares. Essa multiplicação resulta no custo total do serviço. A soma da estimativa dos custos dos serviços listados na EAP, geram o custo global do empreendimento no momento da confecção do orçamento.

2.2 Orçamento de viabilidade econômica

Limmer (1997, apud Strohhecker, 2010) define as obras de engenharia civil, no âmbito gerencial de projetos, como um conjunto de atividades necessárias, ordenadas logicamente e interrelacionadas a fim de atingir objetivos e prerrogativas pré definidas. O autor associa o sucesso do empreendimento ao cumprimento do devido planejamento prévio das condições de prazo, qualidade, risco e, sobretudo, o custo de obra. Nesse contexto, o orçamento é utilizado como uma ferramenta de apoio ao estudo de viabilidade econômica durante a fase de concepção de produto. Segundo Goldman (2004, apud Strohhecker, 2010) o orçamento de viabilidade de obra é uma das primeiras informações que o investidor deseja ter o conhecimento para materializar a sua aplicação.

Assim, identifica-se a necessidade de um plano preliminar de implantação do empreendimento ao terreno estudado para delimitar um estudo de viabilidade técnica e econômica, também conhecido como um plano arquitetônico de massas. (Strohhecker, 2010).

2.2.1 O orçamento de viabilidade na fase inicial de projeto

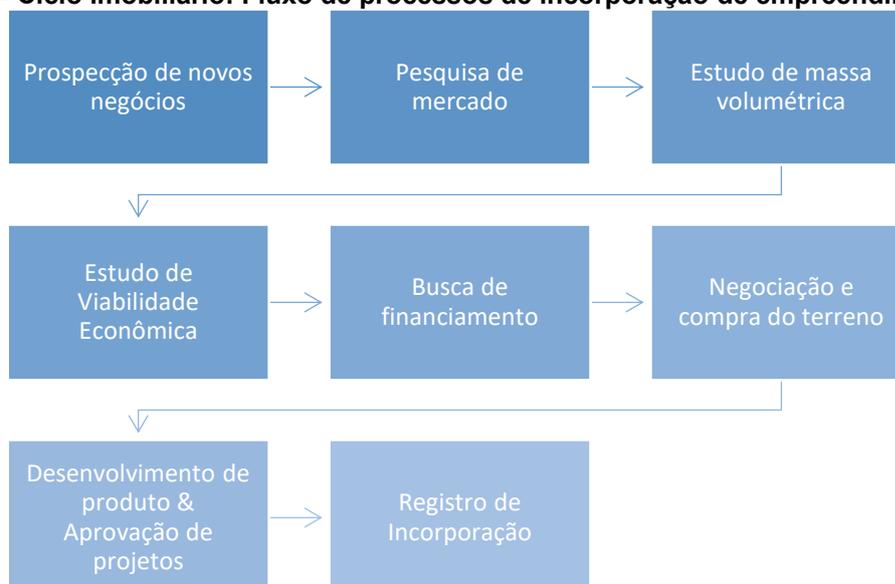
Segundo Cazaroto (2021), o orçamento de viabilidade se faz necessário a fim de determinar uma estimativa do custo de obra para que se possa verificar, junto ao estudo de viabilidade econômica financeira (EVE), o possível lucro deste empreendimento. Esse processo enquadra-se na rotina da incorporação imobiliária. Assim sendo, os preceitos detalhados acima serão correlacionados a uma linha

temporal para compreender em que fase de projeto o plano arquitetônico de massas se encontra, bem como demonstrar as limitações de detalhamento de informações ao orçamento.

2.2.1.1 Incorporação e o ciclo imobiliário

O ciclo imobiliário detém de etapas associativas correspondentes ao fluxo de tarefas de uma incorporação imobiliária. Na Figura 2 está demonstrado as etapas para o desenvolvimento de um projeto de incorporação em ordem cronológica, correlacionando desde a prospecção de negócios até ao registro de incorporação de um empreendimento.

Figura 2 – Ciclo imobiliário: Fluxo de processos de incorporação de empreendimento.



Fonte: Autoria própria (2021)

Segundo Rahme (2018 apud GOMES, 2018), a etapa de prospecção de novos negócios consiste na captação de ofertas de terrenos a partir de premissas pré estabelecidas pela empresa. A prospecção é uma atividade que não possui um tempo de duração definido, uma vez que ocorre incessantemente durante todo o desenvolvimento imobiliário como uma busca geradora de novos investimentos.

As pesquisas quantitativas e qualitativas são ferramenta de análise de mercado e possuem a finalidade de levantar informações precisas, aplicadas em uma determinada região, sobre cada faixa de renda, concorrência, nicho de mercado e perfil da população (CARIBÉ, 2014 apud GOMES, 2018). Essas informações

permitem uma maior delimitação de premissas para a concepção de produto posicionando o empreendimento no mercado imobiliário (CARIBÉ, 2017).

Assim, pode-se associar concepções de produto a uma possível aquisição de terreno. Dessa forma, cabe ao arquiteto a criação de um estudo preliminar da configuração do empreendimento dentro do terreno respeitando às diretrizes advindas do grupo de incorporação imobiliária. Essa fundamentação é baseada nas regulamentações do uso de solo válidas ao local geográfico em questão. No Brasil, cada município detém de códigos próprios que restringem as características dos projetos de edificações. O plano diretor local, as leis de uso e ocupação do solo e as leis de zoneamento da cidade definem as regras de ocupação, as atividades permitidas e o potencial construtivo dos terrenos (CARIBÉ, 2017).

Para o caso da cidade de Curitiba – PR, a consulta informativa de lote, conhecida como a antiga Guia Amarela, pode ser obtida através do endereço eletrônico da prefeitura da cidade. O documento detém das principais informações para parcelamento do solo, indicação da zona residencial para a construção em sua extensão e dispõe de regras sobre os usos e ocupações permitidos ao lote (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2021).

Os resultados das pesquisas de mercados, as leis de uso e ocupação do solo e a criatividade por parte da incorporação permitem o desenvolvimento de cenários hipotéticos de produtos implantados ao terreno estudado (CARIBÉ, 2017).

Assim sendo, cria-se o plano arquitetônico de massas, o qual pode ser definido como um desenho técnico de um volume ocupado por um edifício não projetado locado em um terreno de estudo e carregado de informações baseadas nas limitações dos indicadores legais. Dessa maneira, a localização e as dimensões do terreno, a altura máxima permitida do edifício, a taxa de ocupação da área estudada, a taxa de permeabilidade, os recuos e o índice de aproveitamento do terreno ajustam a locação de um edifício dentro perímetro considerado a partir de um desenho técnico a fim de se garantir um estudo preliminar de seu custo, para então, definir a sua viabilidade.

Em outras palavras, de acordo com a Caribé (2017), o plano arquitetônico de massas corresponde ao desenvolvimento de produto preliminar com base na análise da legislação local, a fim de gerar um primeiro dado numérico a ser avaliado pela incorporadora no estudo de viabilidade econômica - EVE.

A EVE é uma análise complexa e detalhada em que visa determinar a rentabilidade de um empreendimento e estipular a sua adequação ao planejamento

estratégico da empresa (CARIBÉ, 2017). Para tal, utiliza-se, como uma variável na análise de viabilidade econômica, a estimativa de custo total do empreendimento advinda do Orçamento de viabilidade. Cazaroto (2021), define o orçamento de viabilidade como um orçamento parametrizado fundamentado através de relações entre custo de obras realizadas com o novo produto a ser desenvolvido.

O mercado imobiliário não diferente de qualquer tipo de investimento, assume riscos e analisa possíveis retornos financeiros para a tomada de decisão, sendo exequível ou não (COSTA FILHO, COSTA E GAMA FILHO, 2020). Caso confirmada a viabilidade econômica e financeira do empreendimento e encontrado uma possível financiadora construtiva, a compra do terreno é realizada sob negociações.

A partir deste momento, a incorporação imobiliária destina o projeto ao desenvolvimento imobiliário e inicia-se um extenso processo estratégico de otimização de produto até a definição de um projeto legal e, posteriormente, de um projeto executivo. Legalmente, segundo a lei 4591/64, somente após o Registro de incorporação (RI), as vendas das unidades autônomas são autorizadas (PILATTI, 2011 apud GOMES, 2018). O RI consiste em um número representativo à aprovação e registro da incorporação no Cartório de imóveis da cidade.

2.2.1.2 Inputs do orçamento de viabilidade

O orçamento de viabilidade com base em um plano arquitetônico de massas detém de *inputs* limitados ao quadro de áreas, às informações técnicas do terreno e à diretriz inicial de produto.

2.2.1.2.1 Plano arquitetônico de massas

De acordo com os conceitos apresentados, o plano arquitetônico de massas é definido como uma das etapas do fluxo de processos da incorporação imobiliária. De acordo como Mota (2020), o estudo apresenta um esboço do empreendimento, o qual garante informações morfológicas que servirão para a construção de relações paramétricas a fim de quantificar o custo dos serviços contidos na EAP.

Segundo Leite Júnior (2016), o plano arquitetônico de massas garante as seguintes informações calculadas:

- Número de pavimentos por tipologia;
- Quantidade de unidades autônomas por pavimento;

- Perímetro do empreendimento;
- Pé direito e altura livre entre lajes;
- Locação da(s) torre(s) ao terreno em estudo; e,
- Quadro de áreas.

Para uma melhor exemplificação do conceito de plano arquitetônico de massas, na Figura 3 está exposto um projeto genérico representado graficamente em duas dimensões a partir de um esboço de projeto.

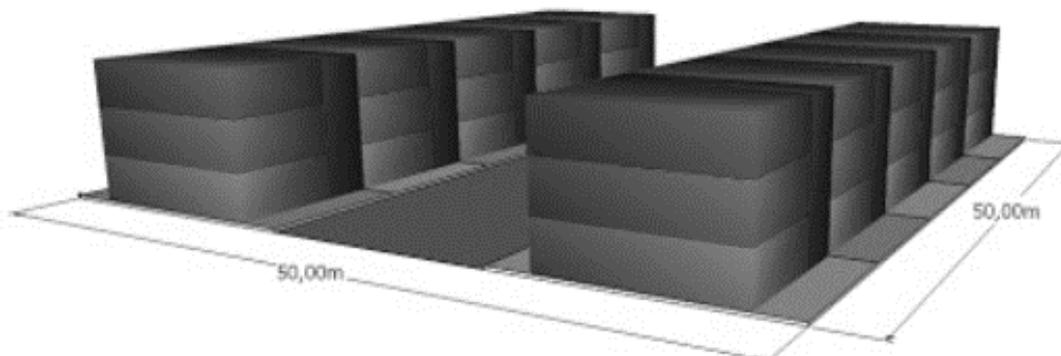
Figura 3 – Plano arquitetônico de massa: Projeto genérico.



Fonte: Estude Ae (2021)

Na Figura 4 está demonstrado um estudo parcial de massas volumétricas de uma vila vertical de habitação multifamiliar contendo dez blocos.

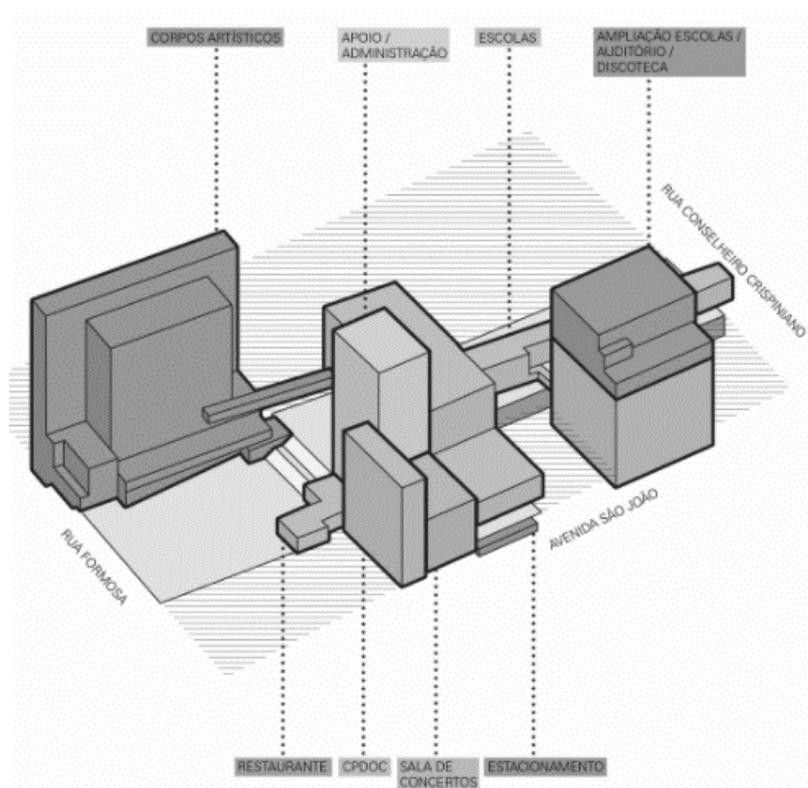
Figura 4 – Plano arquitetônico de massa: Vila vertical contendo dez blocos.



Fonte: Saia (2012)

Por fim, na Figura 5 encontra-se exposto um estudo parcial de massas volumétricas do edifício Praça das Artes, o qual encontra-se localizado na cidade de São Paulo. O projeto foi desenvolvido pela empresa Brasil Arquitetura.

Figura 5 – Plano arquitetônico de massa: Edifício Praça das Artes.



Fonte: Guia Acadêmico Arquitetura (2014)

2.2.1.2.2 Quadro de áreas

Segundo Leite Júnior (2016), é contido as seguintes áreas no quadro de áreas:

- Área total construída;
- Áreas computáveis e não computáveis de acordo com prefeitura em questão;
- Área privativa por tipo de unidade autônoma e as áreas das lajes tipo;
- Áreas comuns cobertas e descobertas;
- Áreas de subsolo; e,
- Qualquer outra área que o arquiteto considere conveniente para a estimativa de custos.

2.2.1.2.3 Diretriz inicial de produto

A diretriz inicial de produto é um documento confeccionado pela própria empresa em que fornece algumas premissas a serem consideradas em um orçamento. Muitas das vezes, pelo produto da empresa ser característico, um padrão já é esperado ao edifício. Para o caso de orçamento de viabilidade, a diretriz inicial de produto deve fornecer as seguintes especificações:

- Possível método construtivo de fundação;
- Possível método construtivo de contenção, caso necessário;
- Método construtivo da estrutura;
- Método construtivo de vedações internas e externas;
- Tipologia de esquadrias metálicas;
- Número de elevadores e sua quantidade de paradas;
- Fechamento de testadas;
- Tipologia de revestimentos de piso, parede e teto;
- Tipologia de louças e metais;
- Tipologia de esquadrias de madeira e seus metais;
- Definição das instalações complementares e ambientes em que serão aplicados;
- Definições de entrega padrão da construtora, tais como piso aquecido, aspiração central, previsão de coifas, persianas motorizadas, tomada

para carregamento de carro elétrico ou qualquer outra entrega que a empresa considere conveniente para a estimativa de custos;

- Verbas a serem consideradas em serviços padrão da construtora, tais como certificações ambientais, iluminação de fachada, decorações de empreendimento, mobiliários, contingências ou qualquer outra verba que a empresa considere conveniente para a estimativa de custos;
- Qualquer outra especificação que a empresa considere conveniente para a estimativa de custos.

2.3 Estatística inferencial

A estatística inferencial é fundamentada em técnicas probabilísticas aplicadas sobre uma amostra a partir de decisões de uma população amostral. Como estas decisões são tomadas sob condições de incerteza, é necessário o emprego dos conceitos de probabilidade (KAZMIER, 2004 apud MOREIRA, 2013). A estimativa de custos em um orçamento de viabilidade torna-se dependente da estatística inferencial.

2.3.1 Estimativas de custo e sua importância

A estatística inferencial se apresenta como uma ferramenta auxiliar para estimar os custos de execução do projeto com uma maior aproximação possível do custo real a ser incorrido em obra (Formoso *et al.*, 1986 apud NERIS, 2010).

Segundo CARR (1989, apud HEINECK, 2004), uma estimativa de custos não possui o objetivo de precisar o valor de um determinado empreendimento, mas de apresentar uma aproximação na qual o custo da obra esteja bem representado, com um certo grau de precisão aceitável de modo que as decisões tomadas com base nesta estimativa sejam similares àquelas fundamentadas num ambiente real. Na mesma linha de raciocínio, Losso (1995) complementa que deve ficar claro que a estimativa tem a pretensão de apresentar um intervalo no qual, dependendo das considerações tomadas como parâmetros, o custo do empreendimento esteja compreendido.

A utilização de estimativas de custos é comumente utilizada antes mesmo da elaboração do projeto arquitetônico a fim de determinar a sua viabilidade econômica (VALLE, 2006). São nestes estudos em que ocorrem a decisão de concepção e implementação ou não de um determinado projeto, constatando uma grande

importância das estimativas de custos em decisões de negócios (LOSSO, 1995). Além dessa vantagem, pode-se citar adicionais importâncias quando aplicado as estimativas de custo nas fases iniciais de projetos:

- Facilitar a análise do posicionamento estratégico. As estimações de custo são especialmente importantes para as empresas que competem com base na liderança de custos, como é o caso de empresas que participam de licitações (USP, 2021);
- Identificar as oportunidades potenciais para a redução de custos (USP, 2021);
- Fundamentar a avaliação por parte do projetista quanto a possíveis projetos alternativos que agreguem valor ao conceito do empreendimento (NERIS, 2010);
- Reduzir o esforço quando comparado à execução do orçamento detalhado de acordo com a necessidade do grau de precisão de uma análise preliminar de projeto (MOREIRA, 2013);
- Poupar tempo de trabalho que pode ser melhor aproveitado de forma a aumentar a produtividade do orçamentista (MOREIRA, 2013).

Nesta perspectiva, é de grande responsabilidade profissional a preparação correta de um orçamento, principalmente quando tange à escolha do tipo de orçamento a ser empregado em determinado período da fase de projetos. Quanto mais competitiva se torna a área de engenharia civil com o surgimento de novas empresas, mais importante se torna a aplicação consciente dos princípios da engenharia de custos (DIAS, 2011 apud MOREIRA, 2019). A estimativa de custos detém de métodos que podem ser aplicados de acordo com o nível de exigência do detalhamento de custo e de acordo com o nível de velocidade de requerimento de informações entre setores internos de uma determinada empresa.

2.3.2 Métodos de estimativa de custos

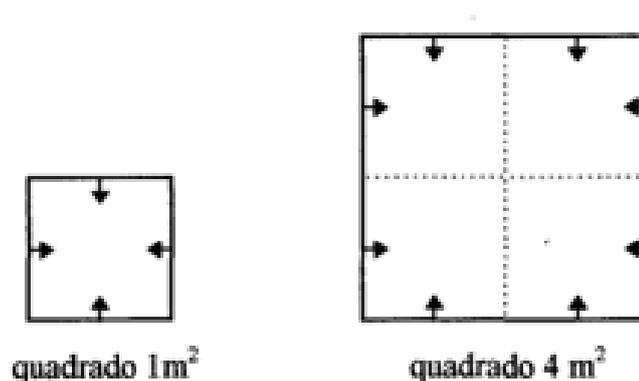
Existem inúmeros métodos de estimativa de custo difundidos no mercado da construção civil, sendo o método da relação linear entre o custo total e a área da edificação o mais aplicado (PARISOTTO, 2003, apud MOREIRA, 2013).

Assim, utiliza-se índices históricos da empresa que mostram o quanto se gasta em média para cada metro quadrado de área construída, ficando a critério do

orçamentista o escopo de serviços a ser analisado. Segundo LOSSO (1995, apud MOREIRA, 2013), os métodos que estimam custos unicamente por área edificada nada mais são do que comparações simplistas entre áreas de uma edificação e de outra, desprezando-se as características geométricas que têm grande influência nos custos e não variam em função da área. A morfologia dos ambientes deve ser levada em consideração com o propósito de diminuir as incertezas nas estimativas.

Na Figura 6 apresenta-se demonstrado dois quadrados, sendo que o segundo detém de uma área composta pela junção de quatro unidades do primeiro quadrado. Assim, pode-se afirmar categoricamente que a área do segundo quadrado é quatro vezes maior que a área do primeiro quadrado. Entretanto, os perímetros dos quadrados não variam numa mesma proporção (LOSSO, 1995).

Figura 6 – Influência geométrica nas estimativas de custo.



Fonte: LOSSO (1995)

A área de um metro quadrado possui quatro metros de perímetro por metro quadrado de área edificada. Já a área de quatro metros quadrados possui dois metros de perímetro por metro quadrado de área. Dessa maneira, comparando o custo baseado no metro linear de rodapé em um serviço de instalação nas áreas acima, teríamos uma variação de 100% de custo subestimado. Segundo Gonçalves (2011, apud MOREIRA, 2013), se usado apenas o parâmetro do custo por metro quadrado de área total é esperado que seja encontrada uma dispersão de valores com elevados percentuais de erros.

A estimativa de custo pelo custo unitário básico (CUB) é um caso aplicado da estimativa de custo por unidade de área construída. A metodologia para o cálculo do custo da edificação pelo CUB determina-se no produto entre a área construída do empreendimento e o custo do metro quadrado da tipologia referenciada indicado pelas

tabelas apresentadas mensalmente pelos sindicatos da Indústria da Construção Civil (MOREIRA, 2013). Apesar de existir alguns índices para a majoração/minoração do custo através da tipologia de obras, o método desconsidera as variações geométricas da edificação. Além disso, volta-se aqui a discussão conceitual do que pode ser considerado como 'alto padrão'. A sensibilidade da definição de padrão de cada obra é muito grande, especialmente quando se trata de obras com um investimento por metro quadrado de valor elevado, em que o preço dos acabamentos pode variar muito em valores. Hirota (1987, apud VALLE 2006), atenta-se a utilização prudente do CUB devido ao nível de representatividade dos projetos-padrão serem limitado. (VALLE, 2006). Moreira (2019) enfatiza que quando o projeto não se assemelha ao projeto padrão, o CUB pode apresentar grandes distorções de valores.

De acordo com Moreira (2013), uma das possibilidades de uma estimativa com um maior grau de precisão encontra-se nos orçamentos paramétricos, cujas considerações são feitas através de correlações entre os custos dos serviços e outro parâmetro conhecido.

2.3.3 Métodos de estimativa de custo por relações paramétricas através regressões lineares

Segundo Belotto (2022), as relações paramétricas de estimativa de custo são relações sob a forma de algoritmos matemáticos ou lógicos de modo a obter uma estimativa do custo de um projeto ou serviço. Essas relações podem ser obtidas através de regras matemáticas simples ou até mesmo através de funções estatísticas mais complexas, como é o caso do método de estimativa por custo através de regressões lineares.

A análise de regressão é uma técnica estatística que determina uma relação paramétrica, a qual caracteriza o melhor ajuste da correlação de duas variáveis em um conjunto amostral de dados. Essas variáveis são denominadas de variável dependente e variável independente. A primeira é a variável sobre a qual desejamos fazer uma estimativa. No caso dos orçamentos de viabilidade, a variável dependente é o custo estimado. A variável independente é uma característica técnica de projeto utilizada para estimar o valor da variável dependente, sendo assim conhecida como um direcionador de custo (USP, 2021). Segundo Long (2000, apud VALLE, 2006), o direcionador de custo deve ser uma característica que tenha um maior efeito sobre a

variável dependente. Em outras palavras, a relação paramétrica deve configurar uma lógica entre as duas variáveis com uma correlação forte entre as mesmas.

O levantamento de variáveis gera um conjunto amostral de dados. Para obter-se uma melhor análise entre a correlação das variáveis em questão, é plotado os pontos em um sistema cartesiano ortogonal contendo o direcionador de custo no eixo das abscissas e a variável dependente no eixo das ordenadas, caracterizando assim uma nuvem de pontos em um diagrama de dispersão (MOREIRA, 2013). Com apenas uma inspeção visual, pode-se notar a força de correlação entre as variáveis, podendo essas apresentar ou não um vínculo de tendência.

A partir da nuvem de pontos é ajustada uma linha de regressão. De acordo com Valle (2006), o ajuste da reta deve levar em consideração cada ponto e, de forma conjunta, a dispersão de todos eles a fim de obter o menor espaçamento entre a reta e os pontos observados.

A equação de reta paramétrica pode ser definida por uma equação linear adicionada de um erro, a qual é demonstrada pela equação 01. O erro se faz necessário, visto que valores observados não possuem um caráter determinístico. Ou seja, uma variável dependente possui pequenas chances de recair exatamente sobre a linha de regressão. Assim, o erro representa a falha do modelo em ajustar-se aos dados (GUIMARÃES, 2021).

$$Y = a + bX + erro \quad (01)$$

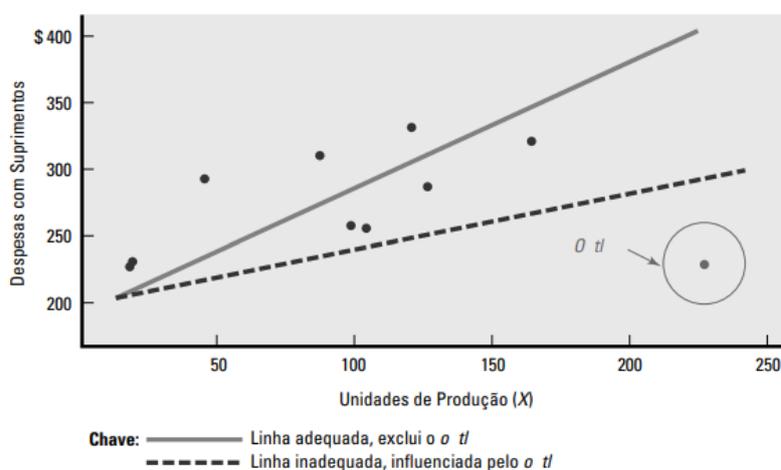
Nessa equação, a variável dependente é representada por 'Y', enquanto que o direcionador de custo corresponde ao 'X'. O valor de 'a' é denominado de intercepto ou termo constante e corresponde ao valor de Y quando X=0. Já o valor de 'b' representa o custo variável unitário, também conhecido como coeficiente de variável independente. O valor de b deve ser interpretado como o índice de aumento em Y para cada aumento unitário em X. Por fim, o erro de estimativa confere a distância entre o ponto de dados e a linha de regressão (USP, 2021).

O método estatístico de apoio adotado para o ajuste da linha de regressão corresponde ao método dos mínimos quadrados ordinários – MQO, o qual consiste em escolher as variáveis 'a' e 'b' de forma que a soma dos quadrados dos erros seja a menor a possível. Cada erro é a distância medida da linha de regressão para um dos pontos dos dados (USP, 2021).

2.3.3.1 Outliers

A análise de regressão pode ser influenciada através de pontos não representativos à correlação das variáveis devido a um possível erro no registro durante a fase de levantamento de dados ou devido a um evento único e não recorrente (USP, 2021). De acordo com Valle (2006), pode-se definir um *outlier* como um ponto discrepante, o qual se localiza distante de quase todos os outros pontos da distribuição de maneira a parecer inconsistente com o conjunto de amostras. A presença de *outliers* em um *dataset* se torna problemática quando leva os testes a perderem informações importantes ou distorce o resultado real (ALENCAR, 2021). Na Figura 7 é demonstrado a influência de um *outlier* no ajuste do traçado de reta de regressão. A linha em pontilhado corresponde ao traçado contendo o ponto em sua análise. É possível observar que o erro aumenta quando comparada com a reta de linha cheia, a qual não considera o *outlier*.

Figura 7 – Influência de *outliers* na linha de regressão linear.



Fonte: USP (2021)

Segundo Alencar (2021), não há uma regra estatística específica para a identificação de um *outlier*, o qual depende da área de conhecimento e do processo de coleta que envolve os dados. O autor complementa que a ordenação de um conjunto de dados pode destacar valores não usuais através de inspeções visuais. O presente estudo se referenciará na metodologia simplista de Tukey, também conhecida como método do quartil. Segundo Otero (1998), caso for identificado a presença de um *outlier*, o mesmo deve ser retirado para uma melhora na qualidade de ajustamento do modelo analisado.

2.3.3.1.1 Método do quartil para a exclusão de Outliers

O método do quartil foi proposto pelo matemático J. W. Tukey em sua obra *Exploratory Data Analysis* em 1977. Destaca-se como um método simples, o qual desconsidera o tamanho da amostra, a probabilidade de ocorrência de *outliers* ou assimetria da distribuição de frequência dos dados. O método apresenta-se como um método de rápida análise de um conjunto amostral para a determinação de possíveis dados atípicos. Tal método define um limite superior e um limite inferior através do interquartil, do primeiro quartil e do terceiro quartil, tal como é demonstrado nas equações 02 e 03, respectivamente (LIMA et. al, 2017).

$$L_{inf} = Q1 - (1,5 \times IQR) \quad (02)$$

$$L_{sup} = Q3 + (1,5 \times IQR) \quad (03)$$

Nas equações acima, o primeiro quartil é representado por Q1, o terceiro quartil é representado por Q3 e o interquartil (IQR) corresponde à diferença entre Q3 e Q1. Segundo Tukey (1977, apud Fonseca; 2011), considera-se como um possível outlier qualquer observação que caia fora do intervalo de tolerância fixado entre 1,5 e 3 unidades das respectivas amplitudes interquartis.

2.3.3.2 Estabelecimento de relações

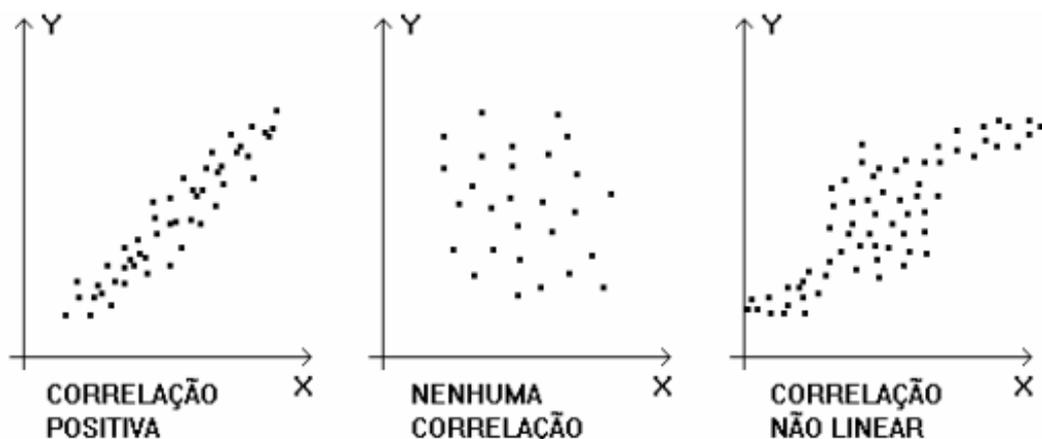
De acordo com Colossi (2002 apud Valle, 2006), a validação de relações paramétricas corresponde a uma avaliação de sua precisão. Para quantificar o grau de correlação entre as variáveis do modelo matemático proposto são realizadas as análises dos testes de efetividade e de qualidade

2.3.3.2.1 *Teste de efetividade: Correlação Linear*

Considera-se três nuvens de pontos distintas em sistemas cartesianos de acordo com o apresentado Figura 8. As variáveis podem ou não conter correlações entre si. Dessa maneira, o primeiro gráfico detém de uma correlação linear, a qual os pontos apresentam-se próximos com uma tendência de relação entre a variável dependente a variável independente. O segundo gráfico demonstra pontos deslocados e sem nenhuma representatividade de padrão, caracterizando assim

como uma relação sem correlação. Por fim, a influência da variável independente sobre a variável dependente pode possuir um ajuste de reta não linear, como pode ser visto no terceiro gráfico (UFRGS, 2012).

Figura 8 – Níveis de correlação entre variáveis dependentes e independentes em uma regressão linear.



Fonte: UFRGS (2012)

Para uma interpretação matemática adequada dessa correlação entre variáveis, torna-se necessário a utilização de um coeficiente de correlação linear, também conhecido como coeficiente de Pearson, o qual é representado pela letra 'r' e pode ser calculado através da equação 04.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (04)$$

Em que,

- x_i corresponde ao valor de composição do vetor X (x_1, x_2, \dots, x_n) correspondente a uma variável de passo i;
- y_i corresponde ao valor de composição do vetor Y (y_1, y_2, \dots, y_n) correspondente a uma variável de passo i;
- \bar{x} corresponde a média aritmética da amostra de X;
- \bar{y} corresponde a média aritmética da amostra de Y.

Assim, o coeficiente possui como objetivo, exclusivamente, medir a intensidade da relação linear entre as duas variáveis. Seu valor está compreendido entre -1 e 1. Quanto mais próximo de zero estiver o coeficiente, mais fraca é a correlação de variáveis. Um coeficiente próximo de +1 indica uma forte correlação positiva, enquanto que um coeficiente próximo de -1 indica uma forte correlação negativa.

Por correlação positiva entende-se que quando a variável independente aumenta, a variável dependente também aumenta. Já para uma correlação negativa, o aumento da variável independente produz um efeito de diminuição da variável dependente. Com a apresentação de tais conceitos, Rodrigues (2012) classificou as correlações entre perfeita positiva, forte positiva, moderada positiva, fraca positiva, ínfima positiva, nula, ínfima negativa, fraca negativa, moderada negativa, forte negativa e perfeita negativa. A classificação decorre dos intervalos de correlação apresentados na Figura 9.

Figura 9 – Classificação da correlação entre variáveis de acordo com o coeficiente de correlação linear.

Coeficiente de correlação	Correlação
$R_{xy} = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq R_{xy} < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq R_{xy} < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq R_{xy} < 0,5$	Fraca positiva
$0 \leq R_{xy} < 0,1$	Ínfima positiva
0	Nula
$-0,1 \leq R_{xy} < 0$	Ínfima negativa
$-0,5 \leq R_{xy} < -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 \leq R_{xy} < -0,5$	Moderada negativa
$-1 \leq R_{xy} < -0,8$	Forte negativa
$R_{xy} = -1$	Perfeita negativa

Fonte: Rodrigues (2012)

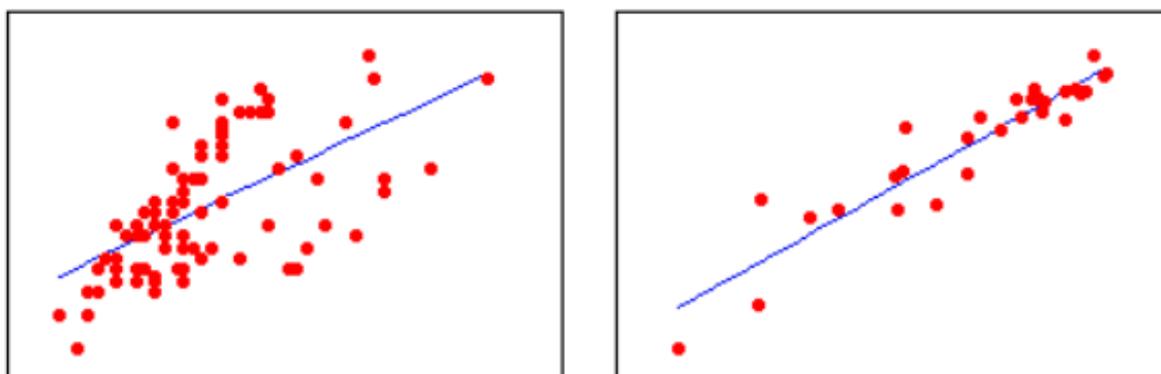
O coeficiente de correlação linear é válido apenas para relações lineares.

2.3.3.2.2 Teste de qualidade: Método R quadrado

O método R quadrado corresponde ao o grau no qual as mudanças na variável dependente podem ser previstas pela mudança na variável independente. Portanto, o R quadrado, também conhecido como coeficiente de determinação, é uma medida estatística de quão próximos os dados estão da linha de regressão (MINITAB, 2019). Ele é representado numericamente entre valores correspondidos de 0 a 1 e pode ser calculado elevando o índice de correlação linear ao quadrado.

Assim, quanto mais próximo o R quadrado estiver de 1, maior será a força de correlação entre as duas variáveis e, por consequência, maior será a confiabilidade da relação paramétrica encontrada. Graficamente, quanto mais próximos os pontos estiverem da linha de regressão, maior será o valor de R quadrado. Portanto, quanto mais distantes e espalhados da linha de regressão os pontos estiverem, menor será a confiabilidade do modelo. Na Figura 10 é representada duas retas de regressão linear ajustadas. O gráfico localizado à esquerda detém de pontos com uma variância maior quando comparada com a variância do gráfico à direita. Dessa forma, pode-se concluir que existe uma qualidade maior no ajuste da linha de regressão à direita com um valor de R quadrado mais próximo de 1,0 quando confrontado com a linha de regressão da esquerda. Um valor próximo de 1 reflete uma regressão de adequação boa com forte poder explanatório (USP, 2021).

Figura 10 – Gráficos de dispersões lineares com curvas ajustadas aos pontos com níveis de qualidade distintos.



Fonte: MINITAB (2010)

A qualidade de ajustamento, em sua definição matemática, corresponde a porcentagem da variação da variável dependente quando alterado a variável independente. Dessa maneira, o R quadrado corresponde a divisão entre a variação

explicada pela variação total. Quando a reta é ajustada, parte de sua variação é explicada pelo modelo enquanto que parte e sua variação é residual e não possui o ajuste como uma justificativa.

3 METODOLOGIA

O capítulo de metodologia explicita a maneira com a qual se desenvolve o estudo da viabilidade dos modelos paramétricos na gestão de custos aplicada à empresa X. Primeiramente, a empresa será contextualizada e algumas premissas serão aplicadas para o desenvolvimento das relações paramétricas. Em seguida, o conjunto amostral do estudo é definido e as características da amostra são apresentadas. Por conseguinte, as variáveis dependentes correspondentes aos serviços a serem estimados são listadas, bem como os seus possíveis direcionadores de custo. Por fim, é apresentado a criação dos modelos paramétricos, suas análises e validações.

3.1 Contextualização da empresa X

A empresa X encontra-se consolidada na cidade de Curitiba, no estado do Paraná, com mais de vinte anos atuantes no ramo do mercado imobiliário. A organização realiza, em sua grande maioria, construções de edifícios multifamiliares residenciais de alto padrão. Seu produto detém de metodologias de construção padrão, acabamentos tipo e características marcantes que fazem lembrar de sua marca. Seus edifícios encontram-se presentes na capital paranaense de maneira a embelezar o seu entorno através de suas fachadas marcantes. Essa padronização, de uma maneira geral, tende a facilitar a estimativa de custos no orçamento de viabilidade.

A empresa detém como regra de procedimento um prazo de sete dias úteis para a realização de um orçamento de viabilidade. O setor de orçamentos recebe os *inputs* advindos do setor de Novos negócios. Dentre os dados repassados, encontram-se o plano arquitetônico de massas em formato de extensão .dwg, um quadro de áreas e uma diretriz inicial de produto. Como comentado, a padronização de acabamentos faz com que a diretriz tenha uma semelhança muito grande em boa parte das informações concebidas ao empreendimento. O fato de trabalhar com fornecedores parceiros também traz uma semelhança maior dos insumos utilizados nas obras.

O orçamento de viabilidade é realizado através do método de um orçamento detalhado. As áreas comuns e privativas são estimadas, de acordo com certa padronização pela área privativa, em comparação com um projeto incorrido de área

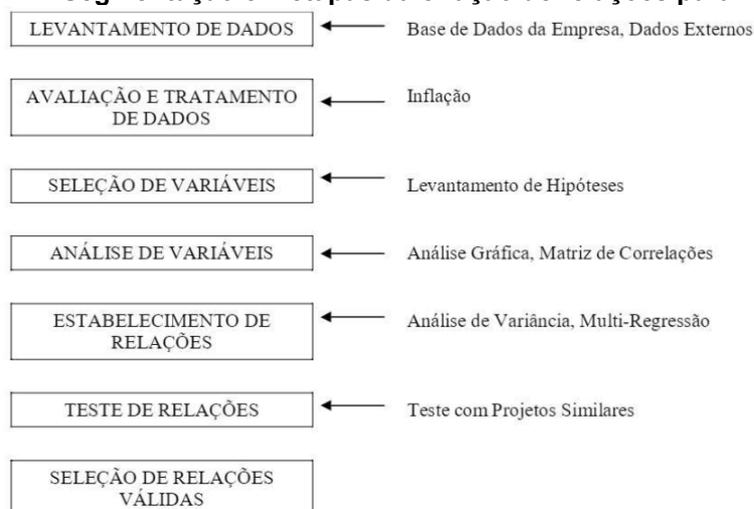
privativa semelhante. As áreas de cada ambiente são ajustadas através de confrontos entre projetos e o levantamento de acabamentos é realizado manualmente de acordo com os insumos e métodos de construção definidos como 'padrão' aos empreendimentos da construtora.

O presente trabalho encaminha-se de modo a verificar a viabilidade da aplicação da metodologia orçamentária de equações paramétricas através de relações lineares na execução de orçamentos de viabilidade na Empresa X. A readequação do processo com a utilização de equações paramétricas reduziria o tempo de trabalho e eliminaria a coleta de dados a cada orçamento de viabilidade e, por consequência, aumentaria a produtividade do setor. Além dessas vantagens, as relações paramétricas balizariam os orçamentistas de possíveis erros grosseiros na orçamentação de quaisquer outras fases de projeto, bem como acelerariam os estudos comparativos de métodos de construção para a análise da concepção de produto.

3.2 Gestão de projeto: Modelo

O processo de determinação das relações paramétricas a serem utilizadas no orçamento de viabilidade, com base estimada no método de regressões lineares, é representado na Figura 11 e segmentado em oito etapas distintas: levantamento de dados; avaliação e tratamento de dados; seleção de variáveis; análise de variáveis; estabelecimento de relações; teste de relações; seleção de relações válidas; e, se necessário, revalidação de relações.

Figura 11 – Segmentação em etapas da criação de relações paramétricas.



Fonte: Adaptado de Otero (1998)

3.3 Premissas de estudo

Algumas premissas de estudo são delimitadas ao trabalho em questão e serão brevemente apresentadas na presente seção.

3.3.1 Caráter exclusivo de relações paramétricas em edifícios de alto padrão

De acordo com Israel (2021), um imóvel de alto padrão é caracterizado por algumas particularidades frente aos imóveis populares, dentre as quais destacam-se a localização privilegiada, um condomínio contendo uma infraestrutura completa, um projeto profissional contendo um acabamento de alta qualidade e a disponibilidade de tecnologias modernas, conforto e segurança aos seus moradores. Dentre os critérios para a classificação de uma moradia de luxo, podem ser considerados: projetos personalizados, conforto ao usuário, alta qualidade do material de fabricação, alta qualidade de acabamento, design aos padrões atuais, tecnologias diferenciadas, sustentabilidade na construção e utilização de marcas consolidadas de mercado.

Apesar de o próprio nome remeter a características exclusivas, o conceito de apartamento de alto padrão pode parecer um pouco vago e indefinido (GERENCIAL CONSTRUTORA, 2020). É relativamente mais fácil caracterizar um empreendimento populacional, tal como residências multifamiliares do programa habitacional Casa Verde e Amarela. Residências populacionais são construções relativamente simples com um custo global limitado pelos programas habitacionais do Governo Brasileiro. Os edifícios de alto padrão não detém obrigatoriamente de um custo limite, o que provoca níveis diferenciados das definições apresentadas no início dessa seção. Dessa maneira, seria impraticável a utilização das relações paramétricas definidas no presente estudo para qualquer tipo de empreendimento que se conceitue como de 'alto padrão'. Cada empresa detém de características distintas que definem o seu produto e encantam a sua marca. Assim sendo, a tendência de existirem relações distintas entre empresas de alto padrão é muito maior. O resultado dessa pesquisa será apresentado em caráter exclusivo para a empresa X, podendo não ser válida para companhias concorrentes.

3.3.2 Estimativa paramétrica: Quantidade como variável dependente

O modelo de estimativa de custo através de relações paramétricas é utilizado, tradicionalmente, relacionando diretamente uma variável independente com o seu

custo. Para a presente pesquisa, uma readequação no método foi realizada. Assim, adotou-se como premissa a determinação da quantidade dos serviços através da variável independente por meio das relações paramétricas. A readequação deve-se ao fato da consideração dos custos unitários ao momento temporal presente do fechamento de orçamento, não sendo necessário levar em conta índices inflacionários para a representação da variação de custos incorridos em serviços realizados de obras pertencentes à base histórica (MOREIRA, 2013). A utilização de índices inflacionários tenderia a diminuir a correlação entre variáveis na estimativa paramétrica. É um tanto quanto inseguro afirmar que a variação dos custos unitários de dois serviços distintos variou em constância com um mesmo índice ao longo de um período estipulado. Seria uma estimativa da variação de custo para realizar a estimativa de um custo atual. A readequação previne uma maior complexidade na análise, bem como protege de maiores incertezas.

Otero (2000) considera a utilização de relações paramétricas para a quantificação de serviços, materiais e mão de obra como sendo uma ampliação da metodologia de estimativa dentro dos processos construtivos, de maneira a não restringir a utilização das relações com estimativas diretamente relacionadas a custos.

3.4 Desenvolvimento de modelo paramétrico de custo

O desenvolvimento das relações paramétricas de estimativa de custo terá base na segmentação em etapas da gestão de projetos sugerida por Otero (1998), demonstrada na Figura 11, associada às premissas de estudo apresentadas na seção 3.3 e fundamentadas na Empresa X.

3.4.1 Levantamento, avaliação e tratamento de dados através de uma base histórica

De acordo com Parisotto (2003), o levantamento e a análise de dados compreendem as atividades de coleta e sistematização de variáveis necessárias para a produção de estimativas. Os levantamentos de importância ao estudo limitados através das variáveis dependentes, serão coletados através de dados incorridos de obras residenciais multifamiliares finalizadas pela própria Empresa X. A base de dados será planilhada com o auxílio do *software* Microsoft Excel.

3.4.1.1 Conjunto amostral

A determinação do conjunto amostral não seguiu um rigor estatístico ao ser definido pois não foram encontrados estudos literários que associassem um número limite de projetos com as variáveis de serviço que se pretende estimar. Um outro fator determinante e que justifica uma quantidade limitada de variáveis amostrais é a de que os empreendimentos detêm de quase todos os métodos construtivos semelhantes e utilizam-se de composições unitárias muito parecidas em seus serviços configurando uma tendência de padronização entre os mesmos.

Caso houvesse a necessidade de ampliação do conjunto amostral com obras de alto padrão não pertencentes à empresa X para atingir um certo limite mínimo de variáveis no conjunto amostral, os resultados trariam as influências das variações advindas das diferenças de tipologias e diferenças de consumos em construtoras diversas em níveis de 'alto padrão' diferentes e não configurariam um resultado seguro e aplicável à empresa em estudo. Hirota (1987) afirma que cada construtor detém de suas características de projeto próprias e as mesmas devem ser respeitadas.

Assim sendo, foi definido como o conjunto amostral para o presente estudo os últimos nove empreendimentos multifamiliares residenciais de alto padrão incorporados e construídos na cidade de Curitiba – PR pela Empresa X.

3.4.2 Seleção de variáveis

A escolhas das variáveis dependentes e independentes é um passo fundamental para que a parametrização ocorra. Dessa maneira, as justificativas de escolhas serão apresentadas a seguir.

3.4.2.1 Seleção de variáveis dependentes

Foram escolhidos alguns serviços alocados na EAP para a determinação de sua relação paramétrica. A escolha baseou-se em serviços que continham custos significantes frente ao custo global de obra. As variáveis dependentes estão listadas a seguir.

- Serviço I – Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos;
- Serviço II – Supraestrutura: serviço de execução de fôrma convencional para estrutura;

- Serviço III – Supraestrutura: aço para armação de supraestrutura em concreto armado;
- Serviço IV – Supraestrutura: concreto usinado para supraestrutura;
- Serviço V – Vedação: serviço de execução de vedação em bloco cerâmico;
- Serviço VI - Vedação: serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall);
- Serviço VII – Vedação: instalação de painel de PVC estruturado para fechamento de paredes de contenção;
- Serviço VIII – Serviço de execução de forro rebaixado em gesso acartonado (drywall);
- Serviço IX – Instalação de piso de madeira engenheirada; e,
- Serviço X – Esquadrias de madeira com isolamento acústico.

No escopo de projetos estão contidos os projetos de concepção: arquitetura, design de interiores, paisagismo e luminotécnico. A grupo de projetos de estrutura é composto pelo projeto estrutural, de contenção e o de fundação. As instalações são compostas pelos projetos elétricos, hidrossanitários, contenção de cheias, climatização, drenagem, gás, combate a incêndio, automação e aquecimento de água. Por fim, dentre os projetos diversos incluem-se projetos de personalizações, aspiração central, impermeabilização, caixilhos, estruturas metálicas, revestimento de fachada, vedações, garagem, isolamento acústico. Segurança do trabalho, piso de concreto, piscina, ancoragem, irrigação e ancoragem.

A composição dos serviços restantes pode ser observada na estrutura analítica de projetos, o qual encontra-se no Apêndice A.

Os quantitativos dos serviços listados acima foram coletados nas nove obras incorridas da Empresa X de maneira a formar um banco de dados. Essas informações servirão de base para a construção das regressões lineares.

3.4.2.2 Seleção de variáveis independentes

A seleção dos indicadores de custo não deve ser um processo generalizado e necessita ser prevista exclusivamente e de acordo com cada variável dependente. Nesse sentido, cada caso será particular. Para um orçamento de viabilidade com a

estimativa paramétrica, as variáveis independentes serão advindas do quadro de áreas e do plano arquitetônico de massas. Para cada serviço a ser estimado, poderão existir diferentes direcionadores de custo relevantes e nem todos podem ser imediatamente óbvios (USP, 2021). Dessa maneira, para cada variável dependente serão analisadas variáveis independentes a fim de encontrar uma correlação de confiabilidade forte.

Foram realizados, em todos serviços analisados, a regressão linear com a área total construída e a área privativa. Nos casos em que a correlação não possuía uma intensidade de nível forte, outras regressões foram feitas a partir de variáveis independentes distintas.

A área total construída, a área privativa, a área comum e o perímetro da torre são as variáveis independentes escolhidas nesse estudo. Da mesma maneira que as variáveis dependentes, os quantitativos dos serviços listados acima foram coletados nas nove obras incorridas da Empresa X

3.4.3 Análise estatística gráfica e estabelecimento de relações paramétricas

A análise de regressão linear é uma ferramenta da estatística inferencial que relaciona uma variável dependente a uma variável independente por meio de um modelo matemático. Por sua vez, a variável dependente está indiretamente relacionada ao custo que pretendemos encontrar (MOREIRA, 2013). A relação paramétrica será advinda da construção gráfica e do ajuste da linha de regressão entre os pontos plotados.

3.4.3.1 Diagrama de dispersão e relação paramétrica

A determinação entre as variáveis dependentes e independentes geram um diagrama de dispersão, em que a abscissa corresponde ao direcionador de custo e a ordenada corresponde à variável dependente. Assim sendo, uma nuvem de pontos é criada. Nessa etapa, o possível reconhecimento de *outliers* faz-se de caráter importante, pois é o momento em que devem ser excluídos a fim de termos um ajuste de reta o mais fiel possível com as correlações válidas. A exclusão pode ser realizada apenas para pontos em que existam justificativas plausíveis para o desvio do custo na série histórica.

Os diagramas de dispersão serão realizados no *software* Microsoft Excel. A forma de construção do diagrama de dispersão será transcorrida a seguir.

- Abrir o *software* Microsoft Excel 2016 ou versão similar e inserir os dados extraídos durante a etapa de levantamento de maneira a construir uma tabela. Para facilitar a metodologia, um exemplo hipotético será criado. Iremos analisar uma relação entre um certo revestimento de piso assentado nas cozinhas em um conjunto amostral de dez empreendimentos diferentes. Logo, a área de piso da cozinha caracteriza-se como a variável dependente do estudo. Para a variável independente, optou-se pela área privativa da unidade autônoma. Assim, têm-se três colunas: a referência do projeto, o quantitativo levantado da área de cozinha e a área privativa de piso do apartamento, tal qual demonstrado na Figura 12.

Figura 12 – Caso hipotético: Tabela de levantamento de dados no Microsoft Excel.

	A	B	C	D
1				
2				
3				
4		Projeto	Área de Cozinha (m ²)	Área privativa da unidade residencial (m ²)
5		Projeto 01	19,96	185,99
6		Projeto 02	20,55	191,63
7		Projeto 03	23,1	199,45
8		Projeto 04	18,99	184,33
9		Projeto 05	18,25	170,88
10		Projeto 06	24,26	225,41
11		Projeto 07	25,07	227,56
12		Projeto 08	26,99	228,59
13		Projeto 09	33,75	284,31
14		Projeto 10	18,45	150,04

Fonte: Autoria própria (2021)

- Para plotar a nuvem de pontos formada pelos dados apresentados na Figura 12, seleciona-se na aba de ‘Dados, na subseção ‘Análise’, o campo ‘Análise de dados’. Seu ícone é demonstrado na figura 13.

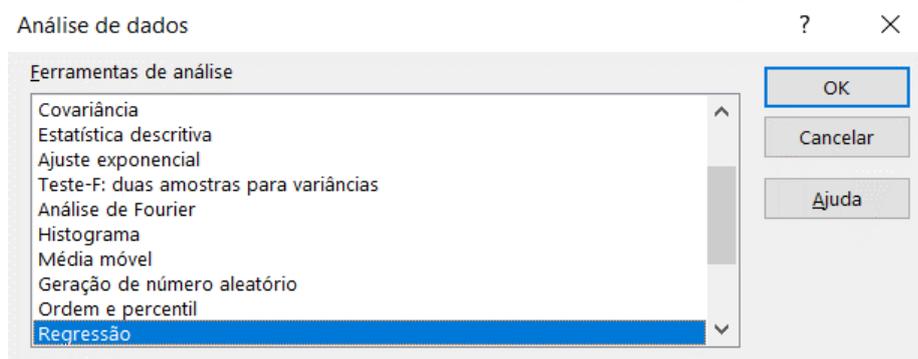
Figura 13 – Ícone da ‘Análise de dados’ no Microsoft Excel.



Fonte: Autoria própria (2021)

- Uma caixa de diálogo será aberta contendo diferentes análises estatísticas a serem escolhidas, conforme exposto na Figura 14. Clicar em ‘Regressão’ e, em seguida, selecionar ‘OK’.

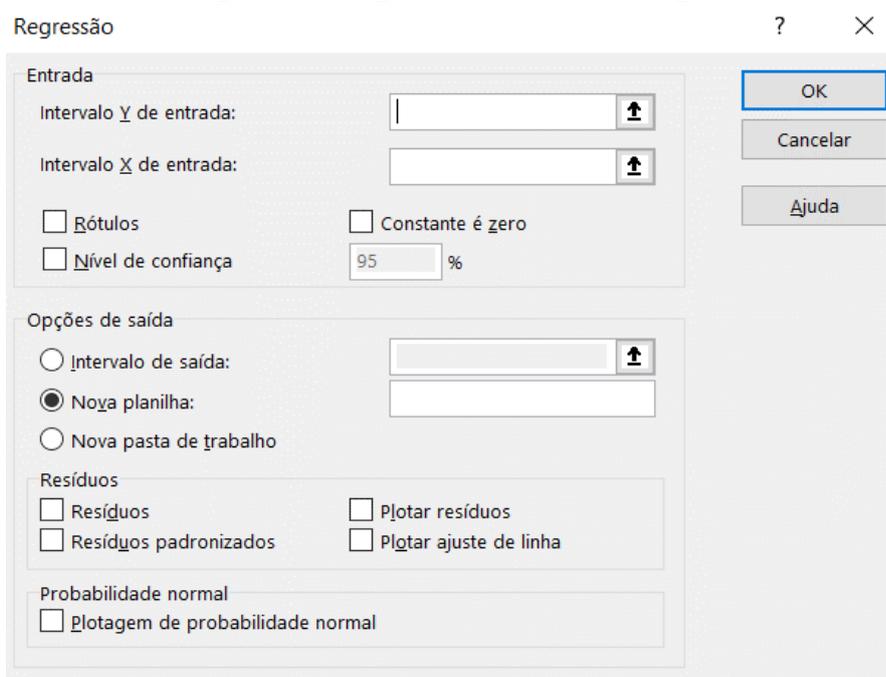
Figura 14 – Análise de dados: Caixa de diálogo.



Fonte: Autoria própria (2021)

- Uma nova caixa de diálogo será aberta, mas dessa vez a de Regressão, como demonstrado na Figura 15.

Figura 15 – Regressão: Caixa de diálogo.



Fonte: Autoria própria (2021)

- Na subseção “Entrada”, selecionar as células correspondentes à variável dependente no campo “Intervalo Y de entrada”, inclusive a sua rotulação.
- Na subseção “Entrada”, selecionar as células correspondentes à variável independente no campo “Intervalo X de entrada”, inclusive a sua rotulação.

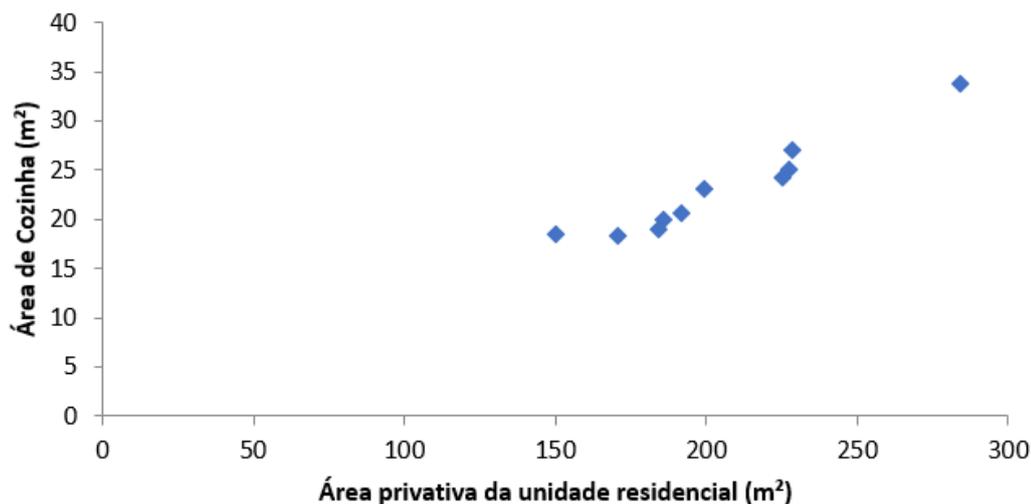
- Na subseção “Entrada”, demarcar “Rótulos”, pois o mesmo foi selecionado junto aos seus dados.
- Na subseção “Entrada”, pode ser modificado o nível de confiança, se assim preferir.
- Na subseção “Saída”, selecionar a opção “Intervalo de saída” e determinar a partir de qual célula será a referência para o início da tabela de regressão, a qual detém de alguns testes estatísticos para a validação da relação paramétrica.
- Na subseção ‘Resíduos’, marcar as opções “Resíduos”, “Resíduos Padronizados” e “Plotar ajuste de linha”.
- Assim, o preenchimento da caixa de diálogo de regressão deve ser semelhante ao apresentado na Figura 16. Por fim, clicar em “OK”.

Figura 16 – Regressão: Preenchimento da Caixa de diálogo.

Fonte: Autoria própria (2021)

- A partir dos passos pressupostos, o *software* retornará as Estatísticas e Regressão, a Tabela ANOVA, a Tabela de Resíduos, bem como a nuvem de pontos plotadas em um sistema cartesiano ortogonal. O gráfico de dispersão é demonstrado no Gráfico 1.

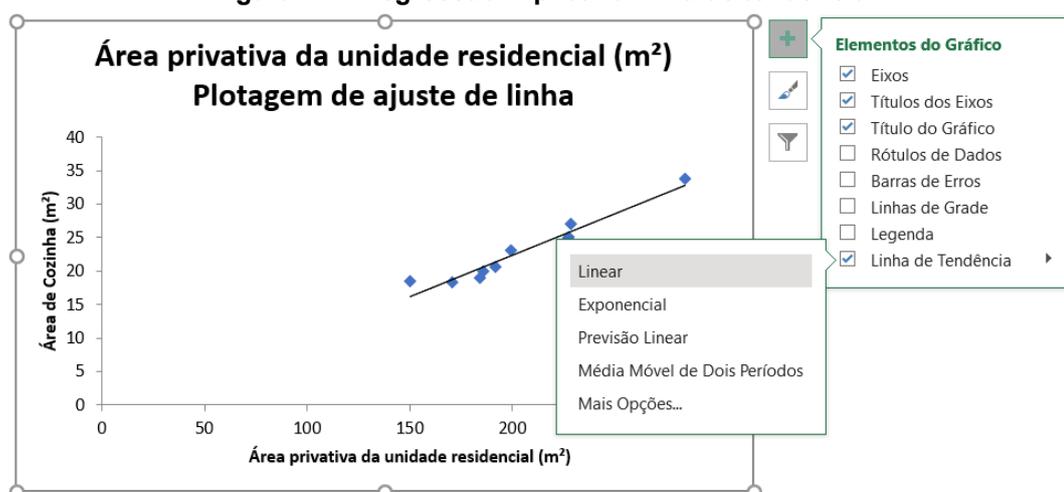
Gráfico 1 – Gráfico de dispersão de pontos no Microsoft Excel.
Área privativa da unidade residencial (m²)
Plotagem de ajuste de linha



Fonte: Autoria própria (2021)

- Selecionar a área do gráfico e clicar no ícone “Elementos do gráfico”, o qual encontra-se representado por um sinal de adição e apresenta-se localizado na parte superior direita ao lado da janela do diagrama de dispersão. Selecionar “Linha de tendência” e aplicar uma correlação linear de acordo com o evidenciado na Figura 17.

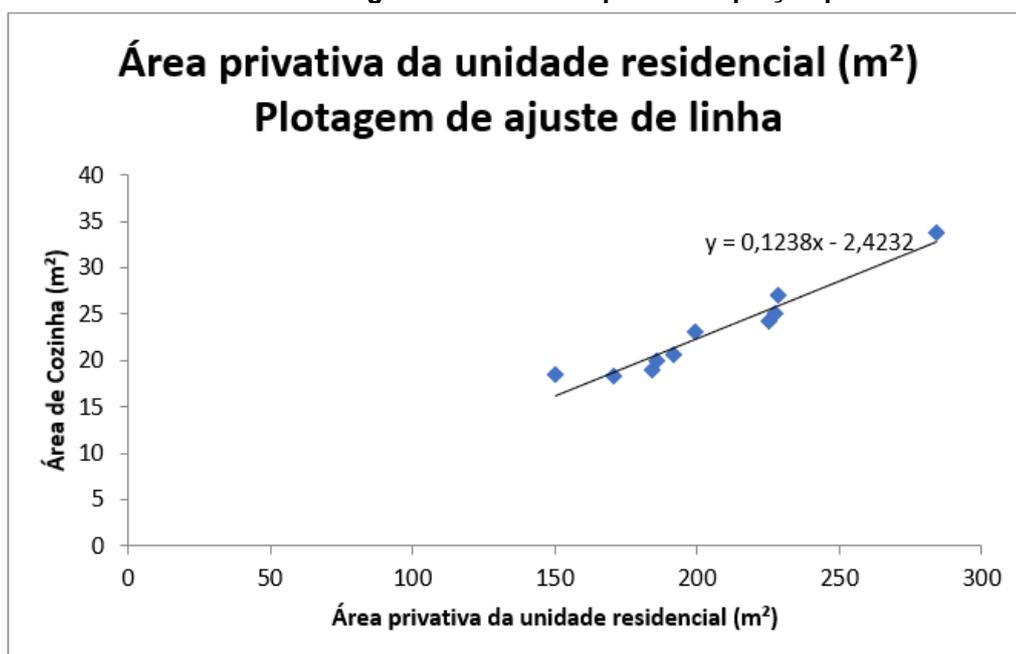
Figura 17 – Regressão: Aplicar a linha de tendência.



Fonte: Autoria própria (2021)

- Dessa maneira, criou-se uma reta de regressão linear com um ajuste entre pontos de correlação da variável dependente com a variável independente. Clicar sobre a reta para que a seção “Formatar Linha de tendência” seja aberta na parte esquerda da janela do programa. Selecionar “Exibir equação no gráfico”. Assim sendo, a relação paramétrica será demonstrada juntamente à linha de regressão, tal qual é mostrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Gráfico de regressão linear simples e a equação paramétrica.



Fonte: Autoria própria (2021)

A relação paramétrica não pode ser aplicada sem avaliar a força de sua correlação entre variáveis. Assim, caracteriza-se a próxima etapa: a análise estatística das relações paramétricas.

3.4.4 Análise estatística de relações paramétricas

A análise estatística das relações paramétricas será, no presente estudo, baseada na Estatística de regressão e na Tabela de resíduos, as quais foram geradas juntamente com o gráfico de dispersão no *software* Microsoft Excel.

3.4.4.1 Estatística de regressão

Na Tabela 1 está exposta a estatística de regressão retornada pelo Microsoft Excel.

Tabela 1 – Estatística de Regressão.

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,968091963
R-Quadrado	0,937202049
R-quadrado ajustado	0,929352305
Erro padrão	1,289757892
Observações	10

Fonte: Autoria própria (2021)

O R múltiplo corresponde ao coeficiente de correlação entre duas variáveis. O teste mede o grau de efetividade na correlação entre a variável dependente e independente. Como demonstrado na Figura 11, Rodrigues (2012) classificou as correlações entre perfeita positiva, forte positiva, moderada positiva, fraca positiva, ínfima positiva, nula, ínfima negativa, fraca negativa, moderada negativa, forte negativa e perfeita negativa.

O R-Quadrado, conhecido como coeficiente de determinação, é o teste que mede a qualidade do modelo, ou seja, determina o seu poder de explicação. De acordo com Pereira *et al.* (2019), o R quadrado explica se a relação entre as variáveis é forte ou fraca. Quanto mais próximo de um, mais forte será a relação. Numa situação ideal, R quadrado seria igual a 1, caracterizando nenhum resíduo para cada uma das observações da amostra. Nesse caso, a variabilidade da variável Y estaria totalmente explicada pelo vetor de variáveis X consideradas no modelo de regressão.

O R quadrado ajustado é um ajuste do R quadrado para comparação entre dois modelos com amostras de tamanhos diferentes.

O erro-padrão da estimativa corresponde a uma medida da precisão das estimativas de regressão. Andreasi (2009) conceitua o erro padrão como sendo o desvio padrão do modelo, dado pela raiz quadrada da variância.

3.4.4.2 Tabela de resíduos

Na Tabela 2 é apresentada a ‘tabela de resíduos’ retornada pelo Microsoft Excel. A tabela de resíduos é utilizada para a análise da verificação de *outliers*. O

método do quartil, apresentado na seção anterior, será a metodologia utilizada para a eliminação de dados espúrios.

Tabela 2 – Tabela de resíduos.

<i>Observação</i>	<i>Previsto(a) Área de Cozinha (m²)</i>	<i>Resíduos</i>	<i>Resíduos padrão</i>
1	20,60563507	-0,64563507	-0,530951901
2	21,30396733	-0,753967334	-0,620041271
3	22,27222235	0,827777647	0,68074077
4	20,40009756	-1,410097559	-1,159624088
5	18,73474845	-0,484748454	-0,398643328
6	25,48653185	-1,226531854	-1,008664878
7	25,75274008	-0,682740075	-0,561466001
8	25,88027239	1,109727614	0,912608397
9	32,77939894	0,970601059	0,798194678
10	16,15438597	2,295614027	1,887847621

Fonte: Autoria própria (2021)

3.4.5 Teste de precisão da estimativa pela validação de relações

O método de regressão linear foi construído para os serviços listados na seção 3.4.2.1 – Seleção de variáveis dependentes com o objetivo de estimar os seus custos. As correlações foram realizadas obrigatoriamente com as áreas totais construídas e as áreas privativas. A relação foi analisada de acordo com a classificação de seu coeficiente de correlação. Caso o modelo matemático tenha sido considerado fraco, inicia-se um novo estudo de regressão entre o serviço e um novo direcionador de custo. Caso a correlação tenha sido considerada forte, a mesma deve passar por um teste de validação.

É importante realizar a validação das relações para assim utilizá-las em métodos de estimativa. Segundo Parisotto (2003) a validação das relações paramétricas corresponde à aplicação da equação modelo em uma determinada obra, bem como a realização da comparação de quanto o modelo prediz o custo real. É importante que a obra seja incorrida e não esteja dentre as variáveis do conjunto amostral.

A equação paramétrica torna-se válida desde que atinja um erro aceitável de precisão estimada (VALLE, 2006). De acordo com Ávila *et al.* (2003), na Figura 18 é exposto os níveis aceitáveis de precisão estimada de acordo com o nível de desenvolvimento de projeto e sua metodologia correspondente.

Figura 18 – Validação de relações paramétricas: Níveis de precisão estimadas.

Tipo	Margem de erro	Elementos técnicos necessários
Avaliações	De 30 a 20%	Área de construção
		Padrão de acabamento
		Custo unitário de obra semelhante ou custos unitários básicos
Estimativas	De 20 a 15%	Anteprojeto ou projeto indicativo
		Preços unitários de serviço de referência
		Especificações genéricas
		Índices físicos e financeiros de obras semelhantes
Orçamento expedito	De 15 a 10%	Projeto executivo
		Especificações sucintas, mas definidas
		Composições de preços de serviços genéricas
		Preços de insumos de referência
Orçamento detalhado	De 10 a 5%	Projeto executivo
		Projetos complementares
		Especificações precisas
		Composições de preços de serviços específicas
		Preços de insumos de acordo com a escala de serviços
Orçamento analítico	De 5 a 1%	Todos os elementos ao orçamento detalhado mais o planejamento da obra

Fonte: Adaptado de Ávila, Librelotto e Lopes (2003)

Assim sendo, as relações paramétricas serão aplicadas sobre uma obra incorrida da Empresa X e não pertencente dentre as dez obras referenciadas na base de levantamento. Dessa maneira será possível realizar a validação das relações paramétricas determinadas através de egressões lineares para a estimativa de custos em um orçamento de viabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do modelo proposto por Otero e adaptado ao presente estudo, representado na Figura 11, estabelecem-se as parametrizações dos serviços escolhidos para serem estimados durante a fase de orçamentação na viabilidade de um novo projeto. Assim sendo, a coleta, a avaliação e o tratamento dos dados levantados nos nove empreendimentos incorridos escolhidos tornam-se necessários para o estabelecimento das regressões lineares. A correlação entre os serviços e os direcionadores de custo geram uma função de primeiro grau com forças de interdependência distintas, as quais devem ser validadas para seus usos futuros.

4.1 Levantamento histórico das variáveis independentes

As variáveis independentes, também conhecidas como direcionadores de custo, são dados advindos do quadro de áreas e retirados do plano arquitetônico de massas. Dentre as variáveis escolhidas, encontram-se a área total construída, a área privativa, a área comum, o perímetro do pavimento tipo da edificação com exclusão das abas, o número de unidades residenciais e o número de pavimentos destinados ao(s) subsolo(s). Na Tabela 3 é demonstrado os dados coletados para as nove obras em estudo.

Tabela 3 – Tabela resumo do quantitativo dos direcionadores de custo nas obras analisadas.

Variáveis independentes	Unidade	OBR01	OBR02	OBR03	OBR04	OBR05	OBR06	OBR07	OBR08	OBR09
Área construída	m ²	17891,74	10530,63	18686,09	11220,22	20953,74	15692,45	15454,45	8029,89	8791,00
Área privativa	m ²	9968,21	7056,06	10596,16	7188,57	12465,75	9126,36	8174,56	4584,87	4728,00
Área comum	m ²	7923,53	3474,57	8089,93	4031,65	8487,99	6566,09	7279,89	3445,02	4063,00
Perímetro da torre com exclusão de abas	m	98,82	112,29	105,77	97,84	89,00	105,43	183,47	108,71	141,32
Número de unidades residenciais	unidade	34,00	30,00	42,00	15,00	38,00	32,00	32,00	31,00	64,00
Número de SS	unidade	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00	1,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Para as regressões lineares, definiu-se a utilização da comparação entre a correlação do serviço a ser estimado com pelo menos duas variáveis independentes: a área total construída do empreendimento e a área privativa. Caso a força de correlação seja baixa, ou caso tenha-se alguma particularidade na análise do serviço, outras associações podem ser testadas.

4.2 Levantamento histórico das variáveis dependentes

Os serviços escolhidos para a parametrização, bem como as suas unidades podem ser observados na Figura 19.

Figura 19 – Variáveis dependentes escolhidas.

Serviço	Serviço/Material	Unidade
I	Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos	Verba
I	Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos	INCC
II	Supraestrutura: serviço de execução de fôrma convencional para estrutura	m ²
III	Supraestrutura: aço para armação de supraestrutura em concreto armado	kg
IV	Supraestrutura: concreto usinado para supraestrutura	m ³
V	Vedação: serviço de execução de vedação em bloco cerâmico	m ²
VI	Vedação: serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall)	m ²
VII	Vedação: instalação de painel de PVC estruturado para fechamento de paredes de contenção	m ²
VIII	Serviço de execução de forro rebaixado em gesso acartonado (drywall)	m ²
IX	Instalação de piso de madeira engenheirada	m ²
X	Esquadrias de madeira com isolamento acústico	unidade

Fonte: Autoria própria (2022)

Os quantitativos incorridos dos serviços das variáveis dependentes nas nove obras em estudo foi resumida na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantitativos de serviços nas obras de amostra.

	INCC BASE >	743,866	939,699	556,6	663,61	741,305	598,9	805,356	712,88	907,899
Serviço	Unidade	OBR01	OBR02	OBR03	OBR04	OBR05	OBR06	OBR07	OBR08	OBR09
I	Verba	R\$ 1.867.777,12	R\$ 1.630.020,56	R\$ 1.211.495,72	R\$ 1.181.594,30	R\$ 1.954.319,70	R\$ 1.426.372,62	R\$ 1.566.739,37	R\$ 873.064,10	R\$ 1.150.067,69
I	INCC	2510,91	1734,62	2176,60	1780,56	2636,32	2381,65	1945,40	1224,70	1266,74
II	m ²	39548,00	22926,89	38445,00	22882,64	54209,00	30884,00	27224,75	16298,00	15144,00
III	kg	615363,18	381768,92	523797,75	372018,17	806745,49	592167,67	356709,00	239964,17	278957,00
IV	m ³	8979,54	3312,58	6407,35	3592,59	10824,21	3430,81	5158,18	1517,85	2252,00
V	m ²	12996,96	3550,17	16272,00	8961,96	14467,41	12137,90	12513,54	4971,49	7384,40
VI	m ²	11731,36	10645,93	8790,00	8274,02	9051,00	9660,22	11660,67	6884,41	7321,70
VII	m ²	1514,04	633,44	0,00	250,83	1658,00	823,17	0,00	734,00	605,00
VIII	m ²	12208,47	6259,80	10179,45	6482,22	11826,00	8433,32	7528,25	4512,09	5035,60
IX	m ²	3067,03	2243,50	3056,40	2014,20	3712,00	2374,62	2336,58	1386,13	0,00
X	unidade	180,00	122,00	0,00	0,00	257,00	228,00	180,00	55,00	89,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Algumas das obras não apresentavam o serviço a ser analisado e o seu quantitativo apresenta-se zerado. Assim sendo, as regressões lineares nem sempre terão um conjunto amostral de nove amostras.

4.3 Regressões lineares e suas correlações

O levantamento das variáveis independentes e o levantamento das variáveis dependentes permitem o estudo da variação do quantitativo do serviço a ser estimado o custo de acordo com a variação do quantitativo do direcionador de custo a partir do histórico das nove obras incorridas. Essa correlação é definida por uma regressão linear, a qual resulta em dois indicadores de força: o coeficiente de correlação e o coeficiente de determinação. Além disso, a regressão define um modelo matemático para a previsão de custos. Para cada serviço será apresentado ao menos, duas correlações. Seus resultados e suas particularidades podem ser observados a seguir.

4.3.1 Serviço I – Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos

A contratação de projetos é um item administrativo de planejamento inicial de qualquer empreendimento. Faz-se necessário sua utilização para o guiar da construção civil, sendo alguns deles indispensáveis durante os trâmites de legalização de uma obra. Empresas de alto padrão creditam maior confiança para projetistas renomados no mercado nacional, fazendo com que o valor monetário das contratações tenha um peso maior do que o pago por empresas de construções populares.

Os quantitativos das contratações de projetos nas amostras de empreendimentos foram levantados pelo valor de moeda brasileira. Logo, seria injusto realizar comparações entre custos incorridos em épocas diferentes. Para levar em conta a inflação de mercado, os custos dos projetos foram divididos pelo Índice Nacional da Construção Civil (INCC) base, o qual corresponde ao índice INCC do mês de início da obra. Assim sendo, uma segunda linha foi criada na Figura 27 com os quantitativos em INCC válidos.

A análise de regressão linear foi realizada correlacionando a área total de construção e a área privativa com o custo incorrido em INCC dos projetos. As estatísticas de regressão podem ser observadas na Tabela 5. De acordo com a

classificação de Rodrigues, apresentada na Figura 11, ambas as correlações são classificadas como fortes, apresentando coeficientes de 0,9384 e 0,9549 para a área total e a área privativa, respectivamente.

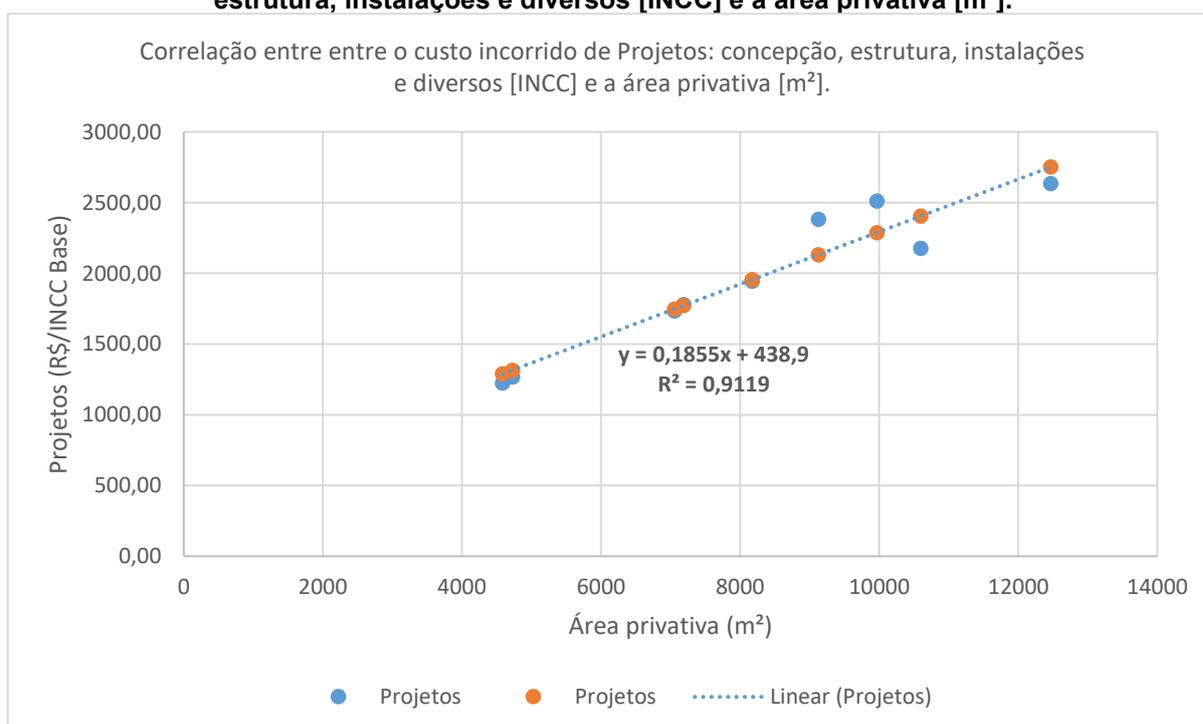
Tabela 5 – Estatísticas de regressão linear entre o custo incorrido de Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos [INCC] e as áreas construída e privativa [m²].

<i>Estatística de regressão</i>		
	Área construída	Área privativa
R múltiplo	0,9384	0,9549
R-Quadrado	0,8806	0,9119
R-quadrado ajustado	0,8635	0,8993
Observações	9,0000	9,0000

Fonte: Autoria própria (2022)

Os coeficientes de determinação apresentam valores de 0,8806 e 0,9119, indicando uma confiabilidade forte, visto que os modelos detêm de 88,06% e 91,19% de poder de explicação para a área total construída e a área privativa, respectivamente. Dessa maneira, opta-se na utilização de correlação mais forte. O modelo contendo o gráfico de dispersão da área privativa em relação ao custo de projetos podem ser observados no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Análise gráfica de regressão linear entre o custo incorrido de Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos [INCC] e a área privativa [m²].



Fonte: Autoria própria (2022)

O método de quartil para a exclusão de *outliers* proposto por Tukey foi aplicado para a tabela de resíduos gerada pela regressão linear. Os quartis da série foram determinados e os limites superior e inferior de erro com relação à previsão da variável dependente foram calculados. Esses resultados são expostos na Tabela 6..

Tabela 6 – Verificação de *outliers* regressão linear entre o custo incorrido de Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos [INCC] e a área privativa [m²].

Observação	Previsto(a)	Resíduos	Resíduos padrão	Outliner	Quartis
OBR3	2404,6422	-228,0420	-1,5029	Não é um Outliner	Q0 -228,0420
OBR5	2751,4792	-115,1559	-0,7589	Não é um Outliner	Q1 -108,6110
OBR8	1289,4578	-64,7579	-0,4268	Não é um Outliner	Q2 10,8199
OBR9	1316,0106	-49,2753	-0,3247	Não é um Outliner	Q3 130,2508
OBR2	1747,9006	-13,2807	-0,0875	Não é um Outliner	Q4 249,6818
OBR7	1955,3991	-9,9994	-0,0659	Não é um Outliner	Limites
OBR4	1772,4832	8,0721	0,0532	Não é um Outliner	Q3-Q1 238,8619
OBR1	2288,1481	222,7572	1,4681	Não é um Outliner	LINF -466,9038
OBR6	2131,9723	249,6818	1,6455	Não é um Outliner	LSUP 488,5436

Fonte: Autoria própria (2022)

A Análise de regressão linear entre o custo de ‘Projetos’ e a ‘Área privativa’ não demonstrou nenhum ponto fora do limite de erro compreendido entre -466,9038 e 488,5436. Como é notável, não há nenhum resíduo compreendido fora desse limite estabelecido. Assim, conclui-se que não há nenhum *outlier* na amostra utilizada. Dessa maneira, nenhum dado deve ser excluído e a regressão linear a ser validada com relação à estimativa de custos será realizada através da equação 05.

$$y = 0,1855x + 438,9 \quad (05)$$

Onde:

- ‘y’ representa o custo estimado de projetos em INCC;
- ‘x’ representa a área privativa do empreendimento em metros quadrados.

4.3.2 Serviço II – Supraestrutura: serviço de execução de fôrma convencional para estrutura

O serviço de execução de fôrma para estrutura em concreto armado é correlacionado com a área total de construção e com a área privativa do empreendimento. As estatísticas de regressão podem ser observadas na Tabela 7.

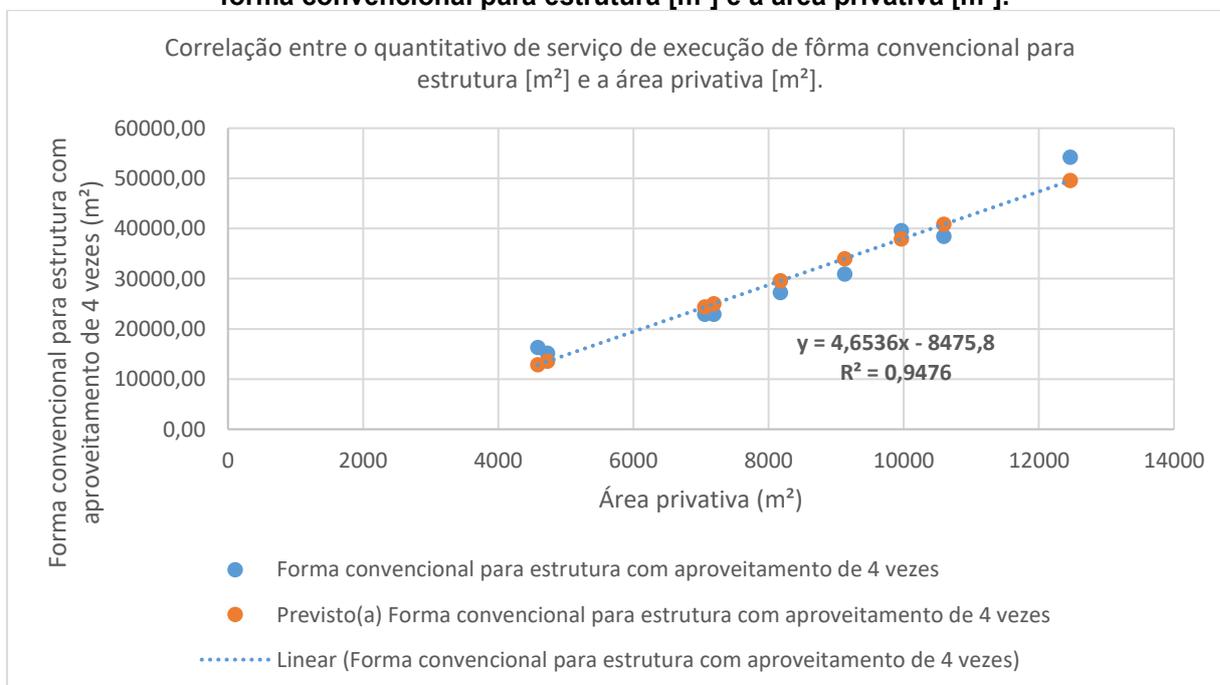
Tabela 7 – Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de fôrma convencional para estrutura [m²] e as áreas construída e privativa [m²].

<i>Estatística de regressão</i>		
	Área construída	Área privativa
R múltiplo	0,9545	0,9735
R-Quadrado	0,9112	0,9476
R-quadrado ajustado	0,8985	0,9402
Observações	9,0000	9,0000

Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com a classificação de Rodrigues, as correlações apresentam um nível forte, tendo um coeficiente de correlação de 0,9545 com referência à área total construída e um coeficiente de correlação de 0,9735 com referência à área privativa. Já os coeficientes de determinação apresentam valores de 0,9112 e 0,9476 para as áreas mencionadas, respectivamente. Como o poder de explicação do modelo proposto pela associação com a área privativa é maior, o mesmo será utilizado para a validação em suas estimativas. O modelo contendo o gráfico de dispersão da área privativa em relação à metragem quadrada de execução de fôrmas na supraestrutura pode ser observado no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de fôrma convencional para estrutura [m²] e a área privativa [m²].



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 8 é demonstrado os resíduos dos pontos determinados pela regressão linear, bem como o cálculo de seus quartis. O intervalo limite para a desconsideração de pontos é gerado através das equações 02 e 03.

Tabela 8 – Verificação de *outliers* na regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de fôrma convencional para estrutura [m²] e a área privativa [m²].

Observação	Previsto(a)	Resíduos	Resíduos padrão	Outliner	Quartis
OBR6	33994,2337	-3110,2337	-1,0807	Não é um Outliner	Q0 -3110,2337
OBR3	40834,0368	-2389,0368	-0,8301	Não é um Outliner	Q1 -1163,9970
OBR7	29564,9750	-2340,2250	-0,8131	Não é um Outliner	Q2 782,2397
OBR4	24976,6109	-2093,9709	-0,7276	Não é um Outliner	Q3 2728,4765
OBR2	24359,9677	-1433,0777	-0,4979	Não é um Outliner	Q4 4674,7132
OBR9	13526,1998	1617,8002	0,5621	Não é um Outliner	Limites
OBR1	37911,8336	1636,1664	0,5685	Não é um Outliner	Q3-Q1 3892,4735
OBR8	12860,1357	3437,8643	1,1945	Não é um Outliner	LINF -7002,7072
OBR5	49534,2868	4674,7132	1,6243	Não é um Outliner	LSUP 8567,1867

Fonte: Autoria própria (2022)

A análise de regressão linear entre a variação da metragem quadrada de 'Fôrma convencional para estrutura com aproveitamento de 4 vezes' e a variação da 'Área privativa' não demonstrou *outliers*, ou seja, não há nenhum resíduo compreendido fora dos limites de -7.002,7072 m² e 8.567,1867 m².

Assim sendo, opta-se por realizar a validação da estimativa de custos através da equação 06. Os resultados do teste ser observado na seção 4.5 – Validação das regressões lineares.

$$y = 4,6536x - 8475,8 \quad (06)$$

Onde:

- 'y' representa a metragem estimada de formas da supraestrutura;
- 'x' representa a área privativa do empreendimento em metros quadrados.

4.3.3 Serviço III – Supraestrutura: aço para armação de supraestrutura em concreto armado

A variação do serviço de aço para armação de supraestrutura em concreto armado é correlacionado com a variação entre a área total construída e correlacionado com a variação entre a área privativa. As estatísticas de regressão podem ser observadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de aço para armação de supraestrutura em concreto armado [kg] e as áreas construída e privativa [m²].

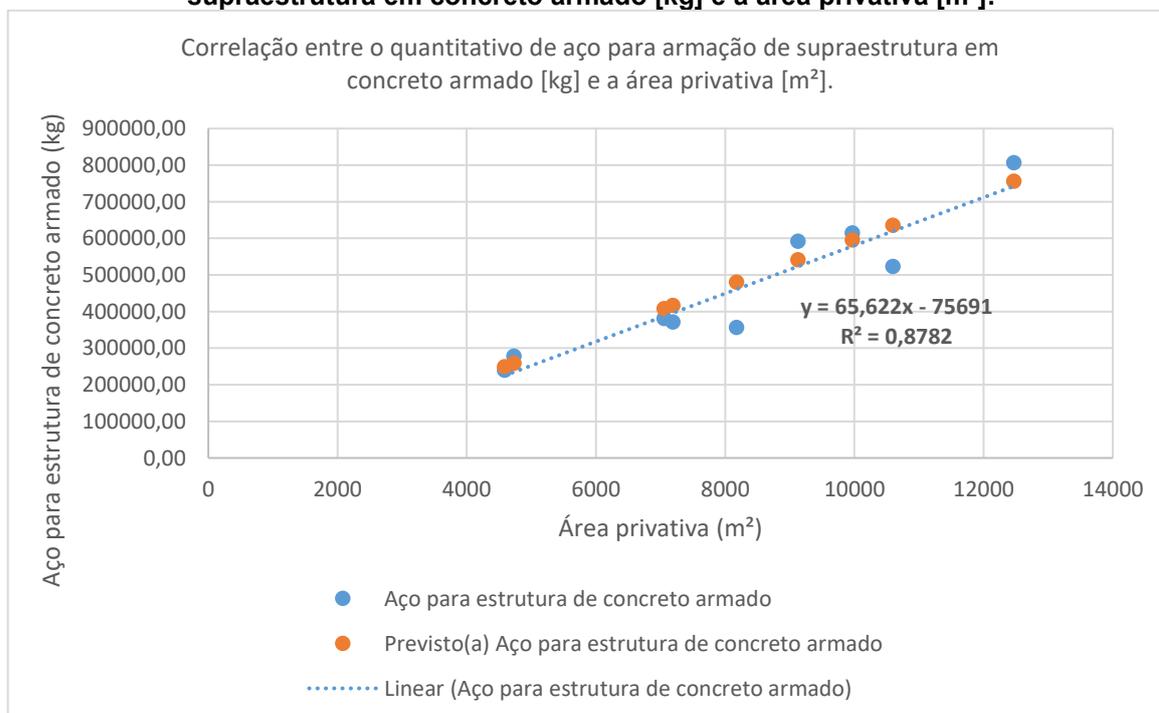
<i>Estatística de regressão</i>		
	Área construída	Área privativa
R múltiplo	0,7938	0,9371
R-Quadrado	0,6302	0,8782
R-quadrado ajustado	0,5773	0,8608
Observações	9,0000	9,0000

Fonte: Autoria própria (2022)

O coeficiente de determinação é de 0,7938 na regressão que considera as áreas construídas. Essa relação é considerada moderada segundo a classificação de Rodrigues, apresentada na Figura 11. Por outro lado, quando considerada as áreas privativas, o coeficiente detém de um forte grau de efetividade na correlação entre a variável dependente e independente, o qual corresponde a 0,9371. Assim sendo, o modelo detém de um maior poder explicativo quando correlacionado com as áreas privativas detendo de um coeficiente de determinação de 0,8782. Dessa forma, o mesmo será utilizado para a validação de suas estimativas.

O modelo contendo o gráfico de dispersão da área privativa em relação à ao quantitativo em quilos de aço na supraestrutura pode ser observado no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de aço para armação de supraestrutura em concreto armado [kg] e a área privativa [m²].



Fonte: Autoria própria (2022)

Para a verificação de pontos espúrios, o método de Tukey foi aplicado a partir da utilização de dados da tabela de resíduos gerada pela regressão linear. Os quartis, o limite inferior e o limite superior foram calculados. Tais resultados são expostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Verificação de *outliers* na regressão linear entre o quantitativo de aço para armação de supraestrutura em concreto armado [kg] e a área privativa [m²].

Observação	Previsto(a)	Resíduos	Resíduos padrão	Outliner	Quartis
OBR7	460739,5997	-104030,5997	-1,6179	Não é um Outliner	Q0 -104030,5997
OBR3	619649,5896	-95851,8396	-1,4907	Não é um Outliner	Q1 -60780,6630
OBR4	396037,0638	-24018,8938	-0,3735	Não é um Outliner	Q2 -17530,7263
OBR2	387341,5060	-5572,5860	-0,0867	Não é um Outliner	Q3 25719,2104
OBR8	225177,3260	14786,8440	0,2300	Não é um Outliner	Q4 68969,1471
OBR1	578442,3183	36920,8617	0,5742	Não é um Outliner	Limites
OBR9	234569,7884	44387,2116	0,6903	Não é um Outliner	Q3-Q1 86499,8734
OBR5	742335,6353	64409,8547	1,0017	Não é um Outliner	LINF -190530,4731
OBR6	523198,5229	68969,1471	1,0726	Não é um Outliner	LSUP 155469,0205

Fonte: Autoria própria (2022)

A Análise de regressão linear entre a área privativa com a quantidade aço em quilos não demonstrou nenhum ponto fora do limite de erro compreendido entre -190.530,4731 kg e 155.469,0205 kg. O limite inferior e o limite superior ficaram muito aquém de qualquer resíduo. Dessa maneira, não foi constatado nenhum *outlier* nessa amostra.

Com os resultados expostos, a análise será concentrada com a regressão que considera as áreas privativas, a qual prevê o quantitativo de aço da supraestrutura a partir da equação 07. Os resultados do teste ser observado na seção 4.5 – Validação das regressões lineares.

$$y = 65,622x - 75691 \quad (07)$$

Onde:

- 'y' representa o quantitativo em quilos de aço da supraestrutura;
- 'x' representa a área privativa do empreendimento em metros quadrados.

4.3.4 Serviço IV – Supraestrutura: concreto usinado para supraestrutura

A análise do serviço de concreto usinado para supraestrutura é correlacionado com a área total de construção e correlacionado com a área privativa do empreendimento. As estatísticas de regressão podem ser observadas na Tabela 11.

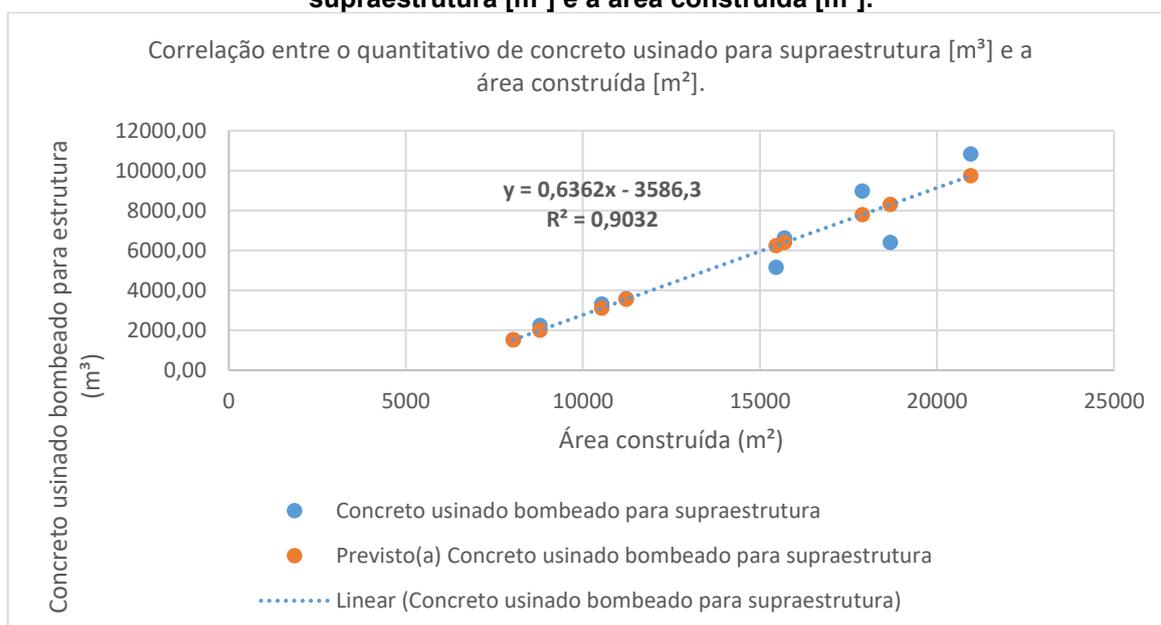
Tabela 11 – Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de concreto usinado para supraestrutura [m³] e as áreas construída e privativa [m²].

	<i>Estatística de regressão</i>	
	Área construída	Área privativa
R múltiplo	0,9504	0,9500
R-Quadrado	0,9032	0,9025
R-quadrado ajustado	0,8894	0,8886
Observações	9,0000	9,0000

Fonte: Autoria própria (2022)

O coeficiente de correlação é de 0,9504 e de 0,9500 na regressão que considera as áreas construídas e na regressão que considera as áreas privativas, respectivamente. De acordo com a classificação de Rodrigues, as duas correlações são classificadas com um grau de efetividade forte. O poder de explicação é ligeiramente maior quando considerada a área construída do que a área privativa, possuindo um coeficiente de determinação de 0,9025. O modelo contendo o gráfico de dispersão da área total construída em relação à metragem cubica de concreto utilizada na supraestrutura pode ser observado no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de concreto usinado para supraestrutura [m³] e a área construída [m²].



Fonte: Autoria própria (2022)

O método de quartil para a exclusão de *outliers* proposto por Tukey foi aplicado para a tabela de resíduos gerada pela regressão linear. Os quartis da série foram determinados e os limites superior e inferior de erro com relação à previsão da variável dependente foram calculados. Na Tabela 12 é demonstrado esses resultados.

Tabela 12 – Verificação de *outliers* na regressão linear entre o quantitativo de concreto usinado para supraestrutura [m³] e a área construída [m²].

Observação	Previsto(a)	Resíduos	Resíduos padrão	Outliner	Quartis
OBR3	8301,1874	-1893,8374	-1,9567	Não é um Outliner	Q0 -1893,8374
OBR7	6245,3285	-1087,1436	-1,1232	Não é um Outliner	Q1 -1124,4553
OBR8	1522,0772	-4,2272	-0,0044	Não é um Outliner	Q2 -355,0732
OBR4	3551,6561	40,9339	0,0423	Não é um Outliner	Q3 414,3089
OBR2	3112,9625	199,6175	0,2062	Não é um Outliner	Q4 1183,6909
					Limites
OBR6	6396,7360	234,8140	0,2426	Não é um Outliner	Q3-Q1 1538,7642
OBR9	2006,2694	245,7306	0,2539	Não é um Outliner	LINF -3432,6015
OBR5	9743,7888	1080,4212	1,1163	Não é um Outliner	
OBR1	7795,8491	1183,6909	1,2230	Não é um Outliner	LSUP 2722,4551

Fonte: Autoria própria (2022)

A Análise de regressão linear entre a área construída e a área privativa com a quantidade de concreto usinado em metros cúbicos não demonstrou nenhum ponto fora do limite de erro compreendido entre -3432,6015 m³ e 2722,4551 m³. Como pode ser observado, não existe nenhum resíduo compreendido fora desse limite estabelecido. Assim, conclui-se que não há nenhum *outlier* na amostra utilizada. A equação matemática que traduz o modelo gráfico pode ser observada na equação 08.

$$y = 0,6362x - 3586,3 \quad (08)$$

Onde:

- 'y' representa a metragem cúbica estimada de concreto na supraestrutura;
- 'x' representa a área total construída do empreendimento em metros quadrados.

4.3.5 Serviço V – Vedação: serviço de execução de vedação em bloco cerâmico

Em seus procedimentos construtivos, a empresa X opta pela execução de vedação de alvenaria apenas na linha perimetral dos pavimentos tipo e nas áreas comuns. Dessa maneira, já se espera que a variação da área privativa ou da área

construída dos empreendimentos não gerem bons coeficientes de correlação. A partir dessa consideração, levou-se em prática a análise da regressão linear da execução de alvenaria em bloco cerâmico com a área total construída, a área privativa e a área comum. As estatísticas de regressão podem ser observadas na Tabela 13.

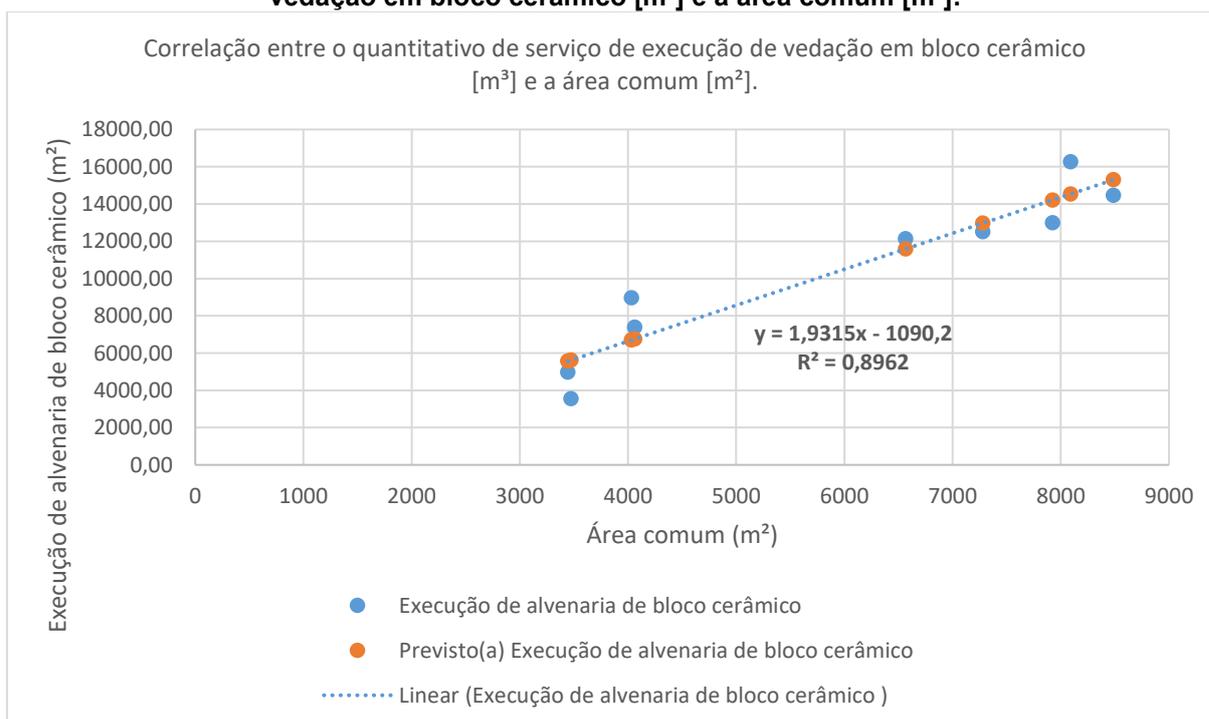
Tabela 13 – Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em bloco cerâmico [m³] e as áreas construída, privativa e comum [m²].

<i>Estatística de regressão</i>			
	Área construída	Área privativa	Área comum
R múltiplo	0,9099	0,8366	0,9467
R-Quadrado	0,8279	0,6999	0,8962
R-quadrado ajustado	0,8033	0,6571	0,8813
Observações	9,0000	9,0000	9,0000

Fonte: Autoria própria (2022)

Apesar das regressões lineares de correlação com a área construída e com a área privativa apresentarem coeficientes classificados como fortes, o modelo matemático que associa a área comum com a execução de vedação em bloco cerâmico foi determinante com um coeficiente de determinação de 0,8962. O modelo contendo o gráfico de dispersão da área comum em relação à metragem quadrada de alvenaria pode ser observado no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em bloco cerâmico [m³] e a área comum [m²].



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 14 é exposto os resíduos dos pontos determinados pela regressão linear, bem como o cálculo de seus quartis. O limite inferior e o limite superior para a desconsideração de pontos são calculadas através das equações 02 e 03.

Tabela 14 – Verificação de *outliers* na regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em bloco cerâmico [m³] e a área comum [m²].

Observação	Previsto(a)	Resíduos	Resíduos padrão	Outliner	Quartis	
OBR2	5620,9167	-2070,7467	-1,4704	Não é um Outliner	Q0	-2070,7467
OBR1	14214,0229	-1217,0629	-0,8642	Não é um Outliner	Q1	-986,7973
OBR5	15304,2697	-836,8597	-0,5942	Não é um Outliner	Q2	97,1521
OBR8	5563,8413	-592,3513	-0,4206	Não é um Outliner	Q3	1181,1014
OBR7	12970,8409	-457,3009	-0,3247	Não é um Outliner	Q4	2265,0508
OBR6	11592,1458	545,7542	0,3875	Não é um Outliner	Limites	
OBR9	6757,4613	626,9387	0,4452	Não é um Outliner	Q3-Q1	2167,8988
OBR3	14535,4222	1736,5778	1,2331	Não é um Outliner	LINF	-4238,6454
OBR4	6696,9092	2265,0508	1,6084	Não é um Outliner	LSUP	4432,9496

Fonte: Autoria própria (2022)

A Análise de regressão linear entre a ‘Execução de alvenaria de bloco cerâmico’ e a ‘Área comum’ não demonstrou nenhum ponto com resíduos não compreendidos entre $-4.238,6454 \text{ m}^2$ e $4.432,9496 \text{ m}^2$. Dessa maneira, não foi constatado nenhum *outlier* nessa amostra. A equação matemática que traduz o modelo gráfico pode ser observada na equação 09.

$$y = 1,9315 - 1090,2 \quad (09)$$

Onde:

- ‘y’ representa o quantitativo em metros quadrados da execução de alvenaria em bloco cerâmico;
- ‘x’ representa a área comum do empreendimento em metros quadrados.

4.3.6 Serviço VI - Vedação: serviço de execução de vedação em gesso acartonado (*drywall*)

O gesso acartonado (*drywall*) é adotado como o método construtivo nas vedações internas das unidades privativas da empresa X. Assim, a regressão linear foi realizada associando essa tipologia de vedação com a área total construída e com

a área privativa. Após a verificação de correlações lineares fracas, realizou-se a regressão linear com a variável independente 'Área comum'. As estatísticas de regressão podem ser observadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall) [m³] e as áreas construída, privativa e comum [m²].

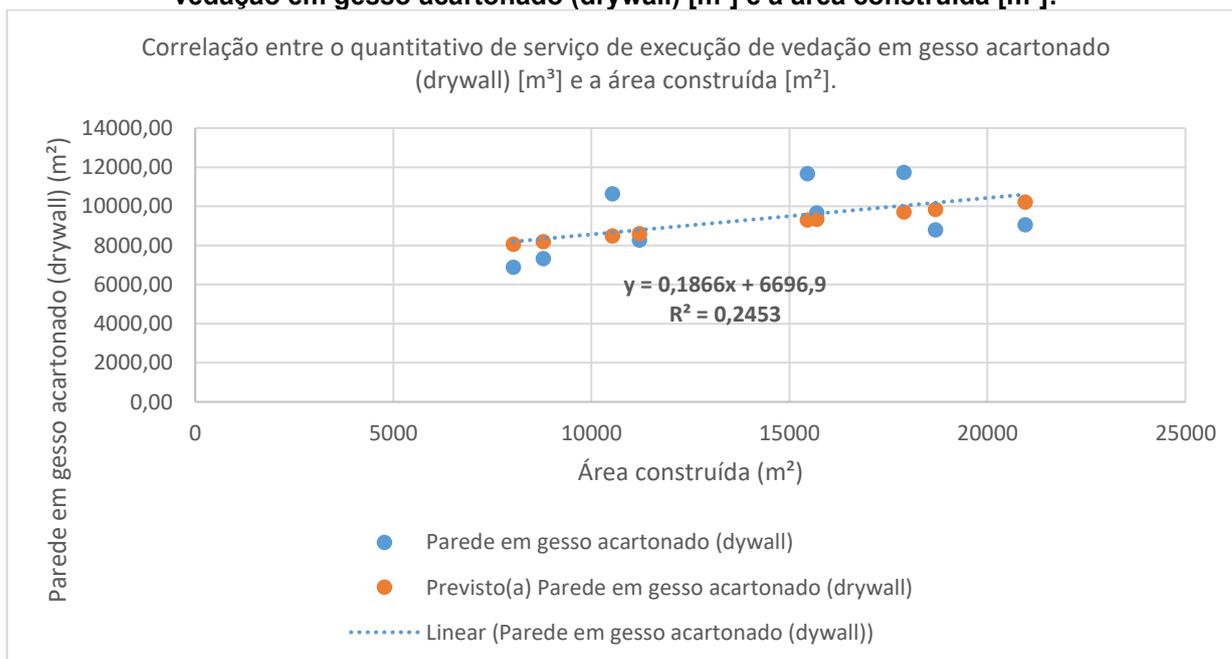
	<i>Estatística de regressão</i>		
	<i>Área construída</i>	<i>Área privativa</i>	<i>Área comum</i>
R múltiplo	0,4952	0,4716	0,4586
R-Quadrado	0,2453	0,2224	0,2103
R-quadrado ajustado	0,1374	0,1113	0,0975
Observações	9,0000	9,0000	9,0000

Fonte: Autoria própria (2022)

O coeficiente de determinação apresentou um número muito baixo para as três regressões realizadas, indicando uma fraca correlação entre a variação do quantitativo de gesso acartonado quando comparado à variação da área construída total, da área privativa ou da área comum. A classificação baseia-se na escala de Rodrigues, a qual foi apresentada na Figura 11.

O modelo contendo o gráfico de dispersão da área total construída em relação à metragem quadrada de gesso acartonado pode ser observado no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall) [m³] e a área construída [m²].



Fonte: Autoria própria (2022)

Para a verificação de pontos espúrios, o método de Tukey foi aplicado a partir da utilização de dados da tabela de resíduos gerada pela regressão linear. Os quartis, o limite inferior e o limite superior foram calculados. Esses resultados são demonstrados na Tabela 16.

Tabela 16 – Verificação de *outliers* na regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall) [m³] e a área construída [m²].

Observação	Previsto(a)	Resíduos	Resíduos pad	Outliner	Quartis
OBR8	8195,4325	-1311,0225	-0,8617	Não é um Outliner	Q0 -1556,2404
OBR9	8337,4685	-1015,7685	-0,6676	Não é um Outliner	Q1 -647,2579
OBR2	8662,1127	1983,8173	1,3039	Não é um Outliner	Q2 261,7246
OBR4	8790,8018	-516,7818	-0,3397	Não é um Outliner	Q3 1170,7071
OBR7	9580,9804	2079,6896	1,3669	Não é um Outliner	Q4 2079,6896
OBR6	9625,3952	34,8248	0,0229	Não é um Outliner	Limites
OBR1	10035,8197	1695,5403	1,1144	Não é um Outliner	Q3-Q1 1817,9650
OBR3	10184,0588	-1394,0588	-0,9162	Não é um Outliner	LINF -3374,2055
OBR5	10607,2404	-1556,2404	-1,0228	Não é um Outliner	LSUP 3897,6547

Fonte: A autoria própria (2022)

A Análise de regressão linear entre ‘Parede em gesso acartonado’ e a ‘Área total construída’ não demonstrou nenhum ponto fora do limite de erro compreendido entre -3.5374,2055 m² e 3.897,6547 m². O limite inferior e o limite superior ficaram muito aquém de qualquer resíduo. Dessa maneira, não foi constatado nenhum *outlier* nessa amostra. A relação paramétrica que traduz o modelo gráfico pode ser observada na equação 10.

$$y = 0,1866x + 6696,9 \quad (10)$$

Onde:

- ‘y’ representa o quantitativo em metros quadrados da execução de parede em gesso acartonado (*drywall*);
- ‘x’ representa a área total construída do empreendimento em metros quadrados.

4.3.7 Serviço VII – Vedação: instalação de painel de PVC estruturado para fechamento de paredes de contenção

O fechamento perimetral dos subsolos é realizado através de três fiadas de blocos de vedação associados a um painel de PVC. Esse fechamento permite um

ganho de prazo quando comparado a uma parede em alvenaria, visto que ciclos de chapisco e reboco são parcialmente eliminados. Para esse serviço, foram escolhidas a área total construída, a área privativa e a área comum para serem as variáveis independentes. As estatísticas de regressão podem ser observadas na Tabela 17. Apenas sete das nove obras foram analisadas, visto que as OBR003 e a OBR07 não possuem essa tipologia de fechamento nas vedações de seus subsolos.

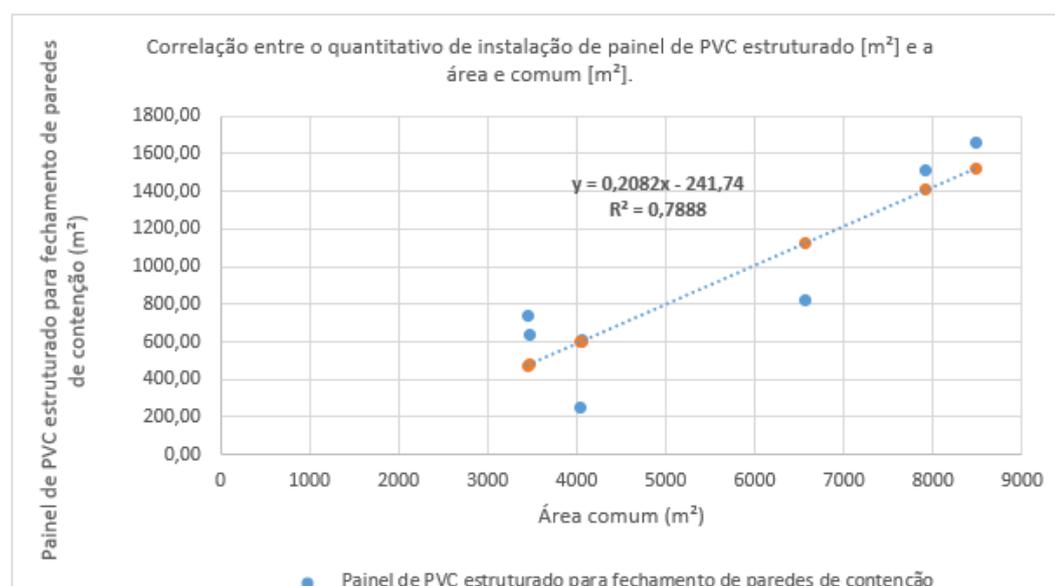
Tabela 17 – Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de instalação de painel de PVC estruturado [m²] e as áreas construída, privativa e comum [m²].

	<i>Estatística de regressão</i>		
	Área construída	Área privativa	Área comum
R múltiplo	0,8441	0,7786	0,8881
R-Quadrado	0,7124	0,6061	0,7888
R-quadrado ajustado	0,6549	0,5274	0,7465
Observações	7,0000	7,0000	7,0000

Fonte: Autoria própria (2022)

A regressão linear de correlação entre a parede de PVC e a área comum gerou menos erros do que nas outras regressões realizadas, de tal forma a obter um coeficiente de correlação linear de 0,8881. Segundo a classificação de Rodrigues, demonstrada na Figura 11, a correlação é classificada como forte. O modelo contendo o gráfico de dispersão relacionando a área comum em relação à metragem quadrada de painel em PVC pode ser observado no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de instalação de painel de PVC estruturado [m²] e a área e comum [m²].



Fonte: Autoria própria (2022)

O método de quartil para a exclusão de *outliers* proposto por Tukey foi aplicado para a tabela de resíduos gerada pela regressão linear. Os quartis da série foram determinados e os limites superior e inferior de erro com relação à previsão da variável dependente foram calculados. Na Tabela 18 é demonstrado esses resultados.

Tabela 18 – Verificação de *outliers* na regressão linear entre o quantitativo de instalação de painel de PVC estruturado [m²] e a área e comum [m²].

Observação	Previsto(a)	Resíduos	Resíduos padrão	Outliner	Quartis
OBR4	597,7292	-346,8992	-1,4786	Não é um Outliner	Q0 -346,8992
OBR6	1125,4513	-302,2813	-1,2884	Não é um Outliner	Q1 -195,5696
OBR9	604,2569	0,7431	0,0032	Não é um Outliner	Q2 -44,2400
OBR1	1408,0979	105,9421	0,4516	Não é um Outliner	Q3 107,0895
OBR5	1525,6300	132,3700	0,5642	Não é um Outliner	Q4 258,4191
OBR2	481,7338	151,7062	0,6466	Não é um Outliner	Limites
OBR8	475,5809	258,4191	1,1015	Não é um Outliner	Q3-Q1 302,6592
					LINF -649,5584
					LSUP 561,0783

Fonte: Autoria própria (2022)

A Análise de regressão linear entre ‘Painel de PVC estruturado para fechamento de paredes de contenção’ e a ‘Área comum’ não demonstrou nenhum ponto fora do limite de erro compreendido entre -649,5584 m² e 258,4191 m². Dessa maneira, não foi constatado nenhum ponto espúrio nessa amostra. A equação matemática que traduz o modelo gráfico pode ser observada na equação 11.

$$y = 0,2082x - 241,74 \quad (11)$$

Onde:

- ‘y’ representa o quantitativo em metros quadrados do painel de PVC estruturado para fechamento de paredes de contenção;
- ‘x’ representa a área comum do empreendimento em metros quadrados.

4.3.8 Serviço VIII – Serviço de execução de forro rebaixado em gesso acartonado (*drywall*)

O serviço de execução de forro rebaixado em gesso acartonado é correlacionado com a área total de construção e com a área privativa do empreendimento. As estatísticas de regressão podem ser observadas na Tabela 19.

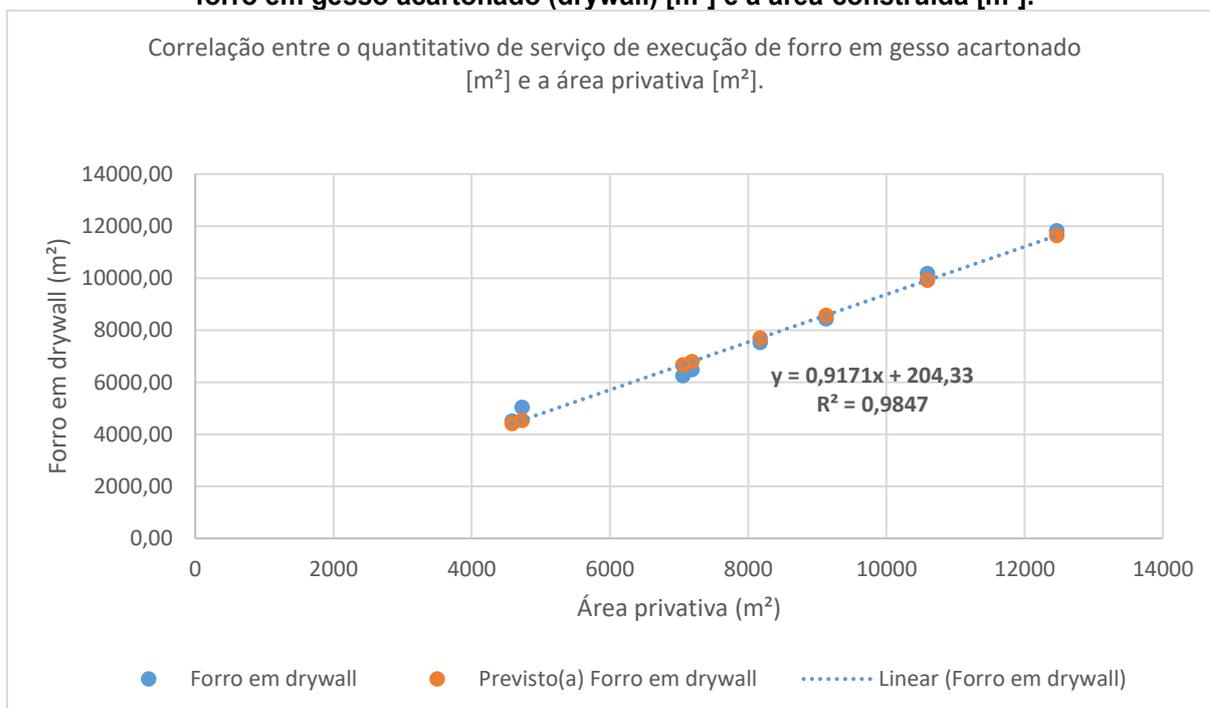
Tabela 19 – Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de forro em gesso acartonado (drywall) [m²] e as áreas construída e privativa [m²].

<i>Estatística de regressão</i>		
	Área construída	Área privativa
R múltiplo	0,9848	0,9923
R-Quadrado	0,9699	0,9847
R-quadrado ajustado	0,9648	0,9821
Observações	8,0000	8,0000

Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com a classificação de Rodrigues, apresentada na Figura 11 as correlações apresentam um nível forte, tendo um coeficiente de correlação de 0,9848 com referência à área total construída e um coeficiente de correlação de 0,9923 com referência à área privativa. Já os coeficientes de determinação apresentam valores de 0,9699 e 0,9847 para as áreas mencionadas, respectivamente. Como o poder de explicação do modelo proposto pela associação com a área privativa é maior, o mesmo será utilizado para a validação em suas estimativas. O modelo contendo o gráfico de dispersão da área privativa em relação à metragem quadrada de execução de forro rebaixado em gesso acartonado pode ser observado no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de forro em gesso acartonado (drywall) [m²] e a área construída [m²].



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 20 é mostrado resíduos dos pontos determinados pela regressão linear, bem como o cálculo de seus quartis. O limite inferior e o limite superior para a possibilidade da desconsideração de pontos são calculadas e apresentadas na tabela.

Tabela 20 – Verificação de *outliers* na regressão linear entre o quantitativo de serviço de execução de forro em gesso acartonado (drywall) [m²] e a área privativa [m²].

Observação	Previsto(A)	Resíduos	Resíduos padrão	Outliner	Quartis
OBR2	6675,5256	-415,7256	-1,3343	Não é um Outliner	Q0 -415,7256
OBR3	9922,1946	257,2554	0,8257	Não é um Outliner	Q1 -188,0026
OBR4	6797,0522	-314,8322	-1,0105	Não é um Outliner	Q2 39,7205
OBR5	11636,8184	189,1816	0,6072	Não é um Outliner	Q3 267,4436
OBR6	8574,2231	-140,9031	-0,4522	Não é um Outliner	Q4 495,1666
OBR7	7701,3156	-173,0656	-0,5555	Não é um Outliner	Limites
OBR8	4409,1671	102,9229	0,3303	Não é um Outliner	Q3-Q1 455,4461
OBR9	4540,4334	495,1666	1,5893	Não é um Outliner	LINF -871,1718
					LSUP 950,6128

Fonte: Autoria própria (2022)

A Análise de regressão linear entre a área construída e a área privativa com a quantidade de forro rebaixado em gesso acartonado em metros quadrados não demonstrou nenhum ponto fora do limite de erro compreendido entre – 871,1718 m² e 950,6128 m². Como pode ser observado, não existe nenhum resíduo compreendido fora desse limite estabelecido. Assim, conclui-se que não há nenhum *outlier* na amostra utilizada. A equação matemática que traduz o modelo gráfico pode ser observada na equação 12.

$$y = 0,9171x + 204,33 \quad (12)$$

Onde:

- ‘y’ representa o quantitativo em metros quadrados de área de forro em rebaixado em gesso acartonado (*drywall*);
- ‘x’ representa a área total construída do empreendimento em metros quadrados.

4.3.9 Serviço IX – Instalação de piso de madeira engenheirada

A instalação de piso de madeira engenheirada ocorre em toda a área íntima das unidades residenciais que são entregues pela Construtora X. Por área íntima entende-se os dormitórios e a circulação. De maneira análoga aos outros serviços já

analisados, a análise da regressão linear da execução das instalações de piso de madeira engenheirada foi realizada com a área total construída e a área privativa. A obra OBR09 não continha o piso em consideração em sua concepção de produto, de maneira com que apenas oito amostras fossem consideradas nessa análise. As estatísticas de regressão apresentam-se na Tabela 21.

Tabela 21 – Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de Instalação de piso de madeira engenheirada [m²] e as áreas construída e privativa [m²].

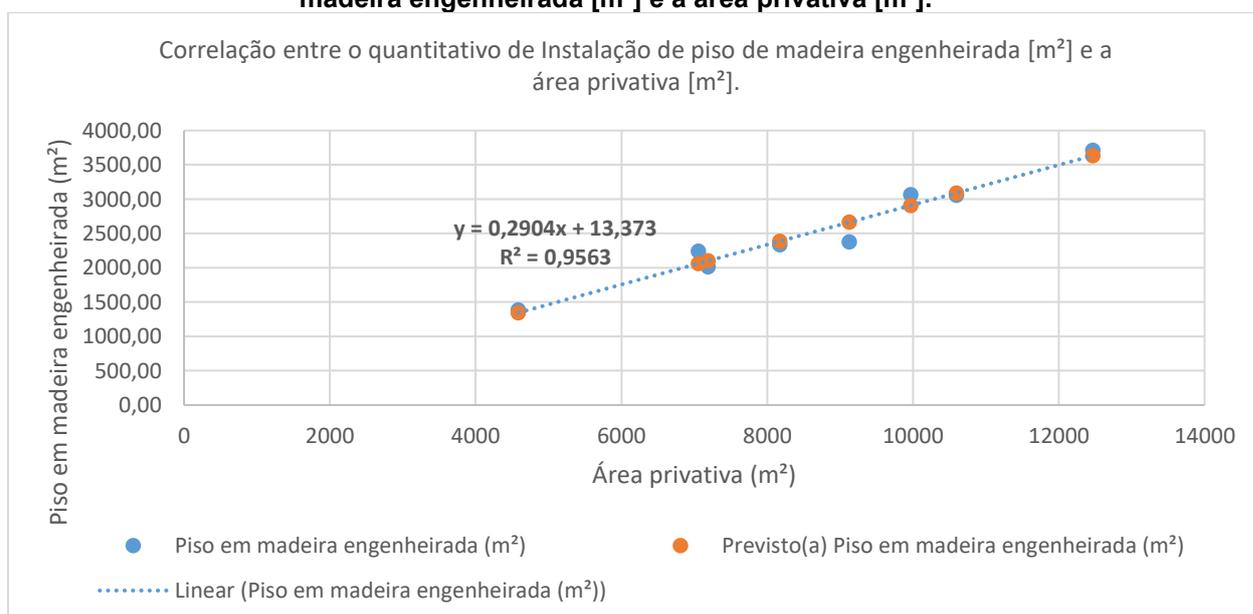
<i>Estatística de regressão</i>		
	Área construída	Área privativa
R múltiplo	0,9463	0,9779
R-Quadrado	0,8955	0,9563
R-quadrado ajustado	0,8781	0,9491
Observações	8,0000	8,0000

Fonte: Autoria própria (2022)

Os coeficientes de correlação linear apresentaram valores de 0,9497 e 0,9393 para as regressões lineares realizadas em correlação, respectivamente, com a área construída e com a área privativa. Em consequência, os coeficientes de determinação tiveram uma explicação de interdependência de 90,20% e de 88,23%. As duas regressões possuem uma correlação classificada como forte, segundo Rodrigues.

O modelo contendo o gráfico de dispersão da área total construída em relação à metragem quadrada da instalação do piso de madeira engenheirada pode ser observado no Gráfico 11.

Gráfico 11 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de Instalação de piso de madeira engenheirada [m²] e a área privativa [m²].



Fonte: Autoria própria (2022)

O método de quartil para a exclusão de *outliers* proposto por Tukey foi aplicado para a tabela de resíduos gerada pela regressão linear. Os quartis da série foram determinados e os limites superior e inferior de erro com relação à previsão da variável dependente foram calculados. Na Tabela 22 é demonstrado esses resultados.

Tabela 22 – Verificação de *outliers* na regressão linear entre o quantitativo de Instalação de piso de madeira engenheirada [m²] e a área privativa [m²].

<i>Observação</i>	<i>Previsto(a)</i>	<i>Resíduos</i>	<i>Resíduos padrão</i>	<i>Outliner</i>	<i>Quartis</i>
OBR6	2663,5697	-288,9497	-1,9070	Não é um Outliner	Q0 -288,9497
OBR4	2100,8563	-86,6563	-0,5719	Não é um Outliner	Q1 -171,4315
OBR7	2387,1772	-50,5972	-0,3339	Não é um Outliner	Q2 -53,9132
OBR3	3090,3838	-33,9838	-0,2243	Não é um Outliner	Q3 63,6050
OBR8	1344,7698	41,3602	0,2730	Não é um Outliner	Q4 181,1232
OBR5	3633,2926	78,7074	0,5195	Não é um Outliner	Limites
OBR1	2908,0339	158,9961	1,0493	Não é um Outliner	Q3-Q1 235,0364
OBR2	2062,3768	181,1232	1,1954	Não é um Outliner	LINF -523,9861
					LSUP 416,1596

Fonte: Autoria própria (2022)

A Análise de regressão linear entre o entre ‘Piso em madeira engenheirada’ e a ‘Área privativa’ não demonstrou nenhum ponto fora do limite de erro compreendido entre -523,9861 m² e 416,1596 m². Dessa maneira, não foi constatado nenhum ponto espúrio nessa amostra.

A regressão linear que traduz o modelo gráfico pode ser observada na equação 13.

$$y = 0,2904x + 13,373 \quad (13)$$

Onde:

- ‘y’ representa o quantitativo em metros quadrados de piso de madeira engenheirado;
- ‘x’ representa a área privativa do empreendimento em metros quadrados.

4.3.10 Serviço X – Esquadrias de madeira com isolamento acústico

A instalação de portas com isolamento acústico é um dos diferenciais da Construtora X. Essa instalação ocorre nas portas de acesso das unidades residenciais, nos dormitórios e nos banheiros privativos. Dessa forma, a regressão

linear foi realizada entre o quantitativo de porta de madeira com isolamento acústico e a área total construída, bem como houve a correlação com a área total privativa. As estatísticas de regressão podem ser observadas na Tabela 23.

Tabela 23– Estatísticas de regressão linear entre o quantitativo de esquadrias de madeira com isolamento acústico [m²] e as áreas construída e privativa [m²].

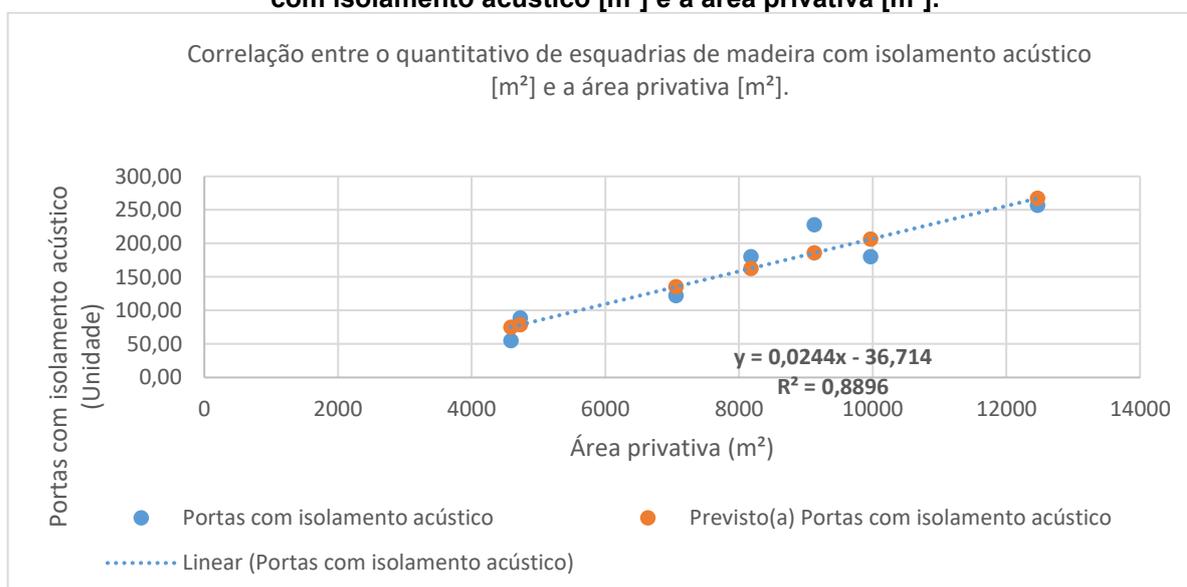
	<i>Estatística de regressão</i>	
	Área construída	Área privativa
R múltiplo	0,9406	0,9432
R-Quadrado	0,8848	0,8896
R-quadrado ajustado	0,8618	0,8675
Observações	8,0000	8,0000

Fonte: Autoria própria (2022)

O coeficiente de correlação linear correlacionando a esquadria de madeira com isolamento acústico com a área construída é de 0,9406. Já quando correlacionada com a área privativa, o coeficiente se reduz para 0,8896. De acordo com a classificação adotada, os coeficientes de correlação entre as regressões lineares são classificados como fortes. O maior poder de explicação decorre da regressão linear com área privativa e será testada em seguida.

O modelo contendo o gráfico de dispersão da área privativa em relação à ao quantitativo de esquadrias de madeira com isolamento acústico pode ser observado no Gráfico 12.

Gráfico 12 – Análise gráfica de regressão linear entre o quantitativo de esquadrias de madeira com isolamento acústico [m²] e a área privativa [m²].



Fonte: Autoria própria (2022)

A tabela de resíduos gerada juntamente com os dados estatísticos da regressão linear foi utilizada para o cálculo dos quartis a fim de determinar os limites para caracterização de *outliers*. A tabela 24 apresenta um resumo dos dados para a regressão linear entre ‘Portas com isolamento acústico’ e a ‘Área privativa’.

Tabela 24 – Verificação de *outliers* na regressão linear entre o quantitativo de esquadrias de madeira com isolamento acústico [m²] e a área privativa [m²].

Observação	Previsto(a)	Resíduos	Resíduos padrão	Outliner	Quartis	
OBR1	206,3441	-26,3441	-1,0799	Não é um Outliner	Q0	-26,3441
OBR8	75,0806	-20,0806	-0,8232	Não é um Outliner	Q1	-9,2123
OBR2	135,3363	-13,3363	-0,5467	Não é um Outliner	Q2	7,9194
OBR5	267,2423	-10,2423	-0,4199	Não é um Outliner	Q3	25,0512
OBR9	78,5706	10,4294	0,4275	Não é um Outliner	Q4	42,1830
OBR7	162,6090	17,3910	0,7129	Não é um Outliner	Limites	
OBR6	185,8170	42,1830	1,7292	Não é um Outliner	Q3-Q1	34,2635
					LINF	-60,6076
					LSUP	76,4465

Fonte: Autoria própria (2022)

Através das equações 02 e 03, foram calculados, respectivamente, os limites inferior e superior. Dessa maneira, os resíduos compreendidos externamente ao intervalo -60,6076 unidades e 76,4465 unidades são considerados *outliers*. Para as sete obras analisadas, não houve a consideração de nenhum ponto espúrio.

O modelo matemático que traduz o modelo gráfico pode ser observado na equação 14.

$$y = 0,0244x - 36,714 \quad (14)$$

Onde:

- ‘y’ representa o quantitativo em unidades de esquadria de madeira com isolamento acústico da supraestrutura;
- ‘x’ representa a área privativa do empreendimento em metros quadrados.

4.4 Resumo dos resultados e análise geral das regressões lineares

De maneira resumida, na Tabela 25 é exposto um quadro das principais informações das regressões lineares realizadas para a estimativa de custo de alguns serviços selecionados da empresa X. De acordo com a classificação proposta por

Rodrigues, demonstrada na Figura 11, todos os coeficientes de correlação linear analisados foram maiores que 0,8, resultando em efetividades fortes. A execução de alvenaria em gesso acartonado foi a única exceção. O serviço demonstrou uma correlação fraca com a área total construída, a área privativa e a área comum. O método de parametrização por regressão linear não se provou numericamente efetivo na correlação com as variáveis independentes escolhidas. Outras variáveis podem ser testadas a fim de apresentar uma correlação ideal para a previsão de custos.

Tabela 25 – Quadro resumo dos resultados de regressão linear analisados.

Serviço	Variável dependente escolhida	Coefficiente de correlação	Grau de correlação	Relação paramétrica
Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos	Área privativa	0,9549	Forte	$y = 0,1855x + 438,9$
Supraestrutura: serviço de execução de fôrma convencional para estrutura	Área privativa	0,9735	Forte	$y = 4,6536x - 8475,8$
Supraestrutura: aço para armação de supraestrutura em concreto armado	Área privativa	0,8782	Forte	$y = 65,622x - 75691$
Supraestrutura: concreto usinado para supraestrutura	Área total construída	0,9504	Forte	$y = 0,6362x - 3586,3$
Vedação: serviço de execução de vedação em bloco cerâmico	Área comum	0,9467	Forte	$y = 1,9315x - 1090,2$
Vedação: serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall)	Área total construída	0,4952	Fraca	$y = 0,1866x + 6696,9$
Vedação: instalação de painel de PVC estruturado para fechamento de paredes de contenção	Área comum	0,8881	Forte	$y = 0,2082x - 241,74$
Serviço de execução de forro rebaixado em gesso acartonado (drywall)	Área privativa	0,9923	Forte	$y = 0,9171x + 204,33$
Instalação de piso de madeira engenheirada	Área privativa	0,9779	Forte	$y = 0,2904x + 13,373$
Esquadrias de madeira com isolamento acústico	Área privativa	0,9432	Forte	$y = 0,0244x - 36,714$

Fonte: Autoria própria (2022)

As relações paramétricas encontradas serão testadas no orçamento de viabilidade uma obra residencial da construtora X não pertencente a amostra inicial, a obra OBR10. Dessa maneira, será possível realizar a validação e a seleção dos modelos matemáticos determinados.

4.5 Validação das regressões lineares

De acordo com o modelo desenvolvido por Otero para a análise de relações paramétricas, demonstrado na Figura 11, a duas últimas etapas correspondem ao teste das relações com a precedida seleção das mesmas quanto as suas aplicabilidades. Desse modo, os modelos matemáticos encontrados serão aplicados em uma obra da empresa X não pertencente à amostra inicial. Nesse caso,

denominaremos a obra de 'OBR10' e os seus dados correspondentes às variáveis independentes estão apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 – Variáveis independentes da obra OBR10.

Variáveis independentes	Unidade	OBR10
Área construída	m ²	11643,02
Área privativa	m ²	6849,23
Área comum	m ²	4793,79

Fonte: Autoria própria (2022)

Os quantitativos referentes aos serviços analisados foram coletados e estão listados na Tabela 27. Adicionalmente, a tabela detém dos quantitativos calculados através das parametrizações.

Tabela 27 – Quadro resumo com os quantitativos estimados através das relações paramétricas.

Serviço	Serviço/Material	Unidade	INCC BASE >	mar/22
			OBR10	OBR10 - PAR
I	Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos	Verba	R\$ 1.589.956,64	-
I	Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos	INCC	1640,51	1709,432
II	Supraestrutura: serviço de execução de fôrma convencional para estrutura	m ²	21000,00	23397,777
III	Supraestrutura: aço para armação de supraestrutura em concreto armado	kg	327224,00	373769,171
IV	Supraestrutura: concreto usinado para supraestrutura	m ³	3565,00	3820,989
V	Vedação: serviço de execução de vedação em bloco cerâmico	m ²	7032,00	8169,005
VI	Vedação: serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall)	m ²	6334,00	8869,488
VII	Vedação: instalação de painel de PVC estruturado para fechamento de paredes de contenção	m ²	876,00	756,327
VIII	Serviço de execução de forro rebaixado em gesso acartonado (drywall)	m ²	5987,00	6485,759
IX	Instalação de piso de madeira engenheirada	m ²	2010,00	2002,389
X	Esquadrias de madeira com isolamento acústico	unidade	159,00	130,407

Fonte: Autoria própria (2022)

No presente estudo, a validação das relações paramétricas será realizada na análise do custo do serviço parametrizado comparado ao custo do serviço incorrido em obra.

Na Tabela 28 é demonstrado parte da estrutura analítica de projeto da obra OBR10 contendo os dez serviços analisados com as suas respectivas composições. A representatividade da análise corresponde a 19,64% do custo da obra.

Tabela 28 – Orçamento parcial da OBR10 contendo os serviços de análise do estudo.

Serviço	Descrição	Qtde	Unidade	Custo Serviço	Total	%
OBRA - ORÇAMENTO COMPLETO				R\$	53.126.959,50	100,000%
OBRA - ORÇAMENTO PARCIAL				R\$	10.749.309,97	19,640%
Serviço I	Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos		vb	-	R\$ 1.589.956,04	2,993%
	Projetos de concepção		vb			
	Projetos de estrutura		vb			
	Projetos de instalações		vb			
	Projetos diversos		vb			
Serviço II	Supraestrutura: serviço de execução de fôrma convencional para estrutura	21.000,00	m ²	R\$ 70,9305	R\$ 1.489.540,50	2,804%
	Chapa compensada resinada 2,44x1,22m		m ²			
	Sarrafo 1x3" cambara		m			
	Prego de aço com cabeça 17x27		kg			
	Espaçador circular 2,5cm para concreto		um			
	Desmoldante		l			
	Execução de forma e desforma com lançamento de concreto (estrutura)		m ²			
Serviço III	Supraestrutura: aço para armação de supraestrutura em concreto armado	327.224,00	kg	R\$ 9,1852	R\$ 3.005.617,88	5,044%
	Aço CA-50 bitola média		kg			
	Arame Recozido N18 BWG		kg			
	Espaçador treliçado h=8cm		m			
	Serviço de montagem de armadura		kg			
Serviço IV	Supraestrutura: concreto usinado para supraestrutura	3.565,00	m ³	R\$ 476,1900	R\$ 1.697.617,35	3,195%
	Concreto Ucinado FCK 35 MPa B1 Slump 12+-2		m ³			
	Taxa de Bombeamento		m ³			
Serviço V	Vedação: serviço de execução de vedação em bloco cerâmico	7.032,00	m ²	R\$ 94,3716	R\$ 663.621,09	1,249%
	Bloco cerâmico 19x19x29cm		un			
	Meio Bloco Cerâmico 19x19x14cm		un			
	Bloco Cerâmico 19x19x4cm - compensador		un			
	Bloco Cerâmico Canaleta 19x19x29 cm		un			
	Argamassa estabilizada para alvenaria		m ²			
	Tela soldada galvanizada 7,5x50cm		un			
	Pino para pistola finca pino		un			
	Arruela cônica galvanizada 23mm		un			
	Célula de gás para finca pino		un			
	Execução de alvenaria em bloco cerâmico de 19 cm		m ²			
	Argamassa estabilizada para alvenaria		m ³			
	Aço CA-50 bitola média		kg			
	Concreto Ucinado FCK 20 MPa B1 Slump 10+-2		m ³			
	Chapa compensada resinada 2,20x1,10 m, cola fenolica 12mm		m ²			
Serviço VI	Vedação: serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall)	6.334,00	m ²	R\$ 136,9200	R\$ 867.251,28	1,632%
	Execução de parede em gesso acartonado		m ²			
	Materiais para parede de gesso acartonado		m ²			
Serviço VII	Vedação: instalação de painel de PVC estruturado para fechamento de parede	879,00	m ²	R\$ 109,2889	R\$ 96.064,94	0,201%
	Revestimento em PVC		m ²			
	Serviço de instalação de forro em PVC		m ²			
	Grelha 35x16 cm para painel em PVC estruturado		un			
Serviço VIII	Serviço de execução de forro rebaixado em gesso acartonado (drywall)	5.987,00	m ²	R\$ 82,9600	R\$ 496.681,52	0,935%
	Execução de forro em gesso acartonado		m ²			
	Forro em drywall Ru 400		m ²			
Serviço IX	Instalação de piso de madeira engenheirada	2.010,00	m ²	R\$ 324,8490	R\$ 652.946,49	1,229%
	Piso multiestruturado Cumaru e=14 mm		m ²			
	Cola PU bicomponente		kg			
	Serviço de instalação de piso de madeira		m ²			
	Manta de proteção de pisos tipo papel kraft laminado c/ plastico bolha		m ²			
Serviço X	Esquadrias de madeira com isolamento acústico	159,00	un	R\$ 1.195,0495	R\$ 190.012,87	0,358%
	Porta de madeira maciça 90x210 cm com isolamento acústico		un			
	Espuma de poliuretano expansiva 500mL		un			
	Serviço de instalação de porta de madeira com isolamento acústico		un			

Fonte: Autoria própria (2022)

A aplicação dos quantitativos calculados através das relações paramétricas definidas pelos processos de regressão linear foram aplicados no orçamento executivo da OBR 10. Dessa maneira, os custos de cada serviço foram recalculados numa mesma base de INCC. Assim, comparações e análises podem ser realizadas

de maneira neutra, sem a interferência da inflação, não necessitando realizar correções. Na Tabela 29 é exposto o orçamento parametrizado da obra em estudo.

Tabela 29 – Orçamento parcial estimado da OBR10 através das relações paramétricas obtidas no estudo.

Serviço	Descrição	Qtde	Unidade	Custo Serviço	Total
OBRA - ORÇAMENTO COMPLETO					-
OBRA - ORÇAMENTO PARAMÉTRICO PARCIAL					R\$ 11.981.447,11
Serviço I	Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos		vb	-	R\$ 1.656.754,30
	Projetos de concepção		vb		
	Projetos de estrutura		vb		
	Projetos de instalações		vb		
	Projetos diversos		vb		
Serviço II	Supraestrutura: serviço de execução de fôrma convencional para estrutura	23.397,78	m ²	R\$ 70,9305	R\$ 1.659.616,23
	Chapa compensada resinada 2,44x1,22m		m ²		
	Sarrafo 1x3" cambara		m		
	Prego de aço com cabeça 17x27		kg		
	Espaçador circular 2,5cm para concreto		um		
	Desmoldante		l		
	Execução de forma e desforma com lançamento de concreto (estrutura)		m ²		
Serviço III	Supraestrutura: aço para armação de supraestrutura em concreto armado	373.769,20	kg	R\$ 9,1852	R\$ 3.433.144,86
	Aço CA-50 bitola média		kg		
	Arame Recozido N18 BWG		kg		
	Espaçador treliçado h=8cm		m		
	Serviço de montagem de armadura		kg		
Serviço IV	Supraestrutura: concreto usinado para supraestrutura	3.820,99	m ³	R\$ 476,1900	R\$ 1.819.516,75
	Concreto Usinado FCK 35 MPa B1 Slump 12+-2		m ³		
	Taxa de Bombeamento		m ³		
Serviço V	Vedação: serviço de execução de vedação em bloco cerâmico	8.169,01	m ²	R\$ 94,3716	R\$ 770.922,07
	Bloco cerâmico 19x19x29cm		un		
	Meio Bloco Cerâmico 19x19x14cm		un		
	Bloco Cerâmico 19x19x4cm - compensador		un		
	Bloco Cerâmico Canaleta 19x19x29 cm		un		
	Argamassa estabilizada para alvenaria		m ³		
	Tela soldada galvanizada 7,5x50cm		un		
	Pino para pistola finca pino		un		
	Arruela cônica galvanizada 23mm		un		
	Célula de gás para finca pino		un		
	Execução de alvenaria em bloco cerâmico de 19 cm		m ²		
	Argamassa estabilizada para alvenaria		m ³		
	Aço CA-50 bitola média		kg		
	Concreto Usinado FCK 20 MPa B1 Slump 10+-2		m ³		
	Chapa compensada resinada 2,20x1,10 m, cola fenolica 12mm		m ²		
Serviço VI	Vedação: serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall)	8.869,84	m ²	R\$ 136,9200	R\$ 1.214.459,04
	Execução de parede em gesso acartonado		m ²		
	Materiais para parede de gesso acartonado		m ²		
Serviço VII	Vedação: instalação de painel de PVC estruturado para fechamento de pared	756,33	m ²	R\$ 109,2889	R\$ 82.658,16
	Revestimento em PVC		m ²		
	Serviço de instalação de forro em PVC		m ²		
	Grelha 35x16 cm para painel em PVC estruturado		un		
Serviço VIII	Serviço de execução de forro rebaixado em gesso acartonado (drywall)	6.485,76	m ²	R\$ 82,9600	R\$ 538.058,57
	Execução de forro em gesso acartonado		m ²		
	Forro em drywall Ru 400		m ²		
Serviço IX	Instalação de piso de madeira engenheirada	2.002,39	m ²	R\$ 324,8490	R\$ 650.474,06
	Piso multiestruturado Cumaru e=14 mm		m ²		
	Cola PU bicomponente		kg		
	Serviço de instalação de piso de madeira		m ²		
	Manta de proteção de pisos tipo papel kraft laminado c/ plastico bolha		m ²		
Serviço X	Esquadrias de madeira com isolamento acústico	130,41	un	R\$ 1.195,0495	R\$ 155.843,06
	Porta de madeira maciça 90x210 cm com isolamento acústico		un		
	Espuma de poliuretano expansiva 500mL		un		
	Serviço de instalação de porta de madeira com isolamento acústico		un		

Fonte: Autoria própria (2022)

Nove das dez relações analisadas apresentam-se com um erro de estimativa de custo inferior a 20%, como pode ser observado na Tabela 30. Já era esperado que o serviço de execução de vedação em gesso acartonado estaria com um erro grande,

visto que o seu grau de correlação já havia sido classificado como fraco. O coeficiente de correlação linear já excluiria a equação paramétrica desse teste, mas com o objetivo de reafirmar essa constatação, foi realizado a comparação com o quantitativo que constava no orçamento.

Tabela 30 – Tabela resumo comparativa entre o orçamento executivo e o orçamento paramétrico de viabilidade.

Serviço	Serviço/Material	Custo OBR10	Custo parametrizado	% Erro
I	Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos	R\$ 1.589.956,64	R\$ 1.656.754,30	4,20%
II	Supraestrutura: serviço de execução de fôrma convencional para estrutura	R\$ 1.489.540,50	R\$ 1.659.616,23	11,42%
III	Supraestrutura: aço para armação de supraestrutura em concreto armado	R\$ 3.005.617,88	R\$ 3.433.144,86	14,22%
IV	Supraestrutura: concreto usinado para supraestrutura	R\$ 1.697.617,35	R\$ 1.819.516,75	7,18%
V	Vedação: serviço de execução de vedação em bloco cerâmico	R\$ 663.621,09	R\$ 770.922,07	16,17%
VI	Vedação: serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall)	R\$ 867.251,28	R\$ 1.214.459,04	40,04%
VII	Vedação: instalação de painel de PVC estruturado para fechamento de paredes de contenção	R\$ 96.064,94	R\$ 82.658,16	-13,96%
VIII	Serviço de execução de forro rebaixado em gesso acartonado (drywall)	R\$ 496.681,52	R\$ 538.058,57	8,33%
IX	Instalação de piso de madeira engenheirada	R\$ 652.946,49	R\$ 650.474,06	-0,38%
X	Esquadrias de madeira com isolamento acústico	R\$ 190.012,87	R\$ 155.843,06	-17,98%

Fonte: Autoria própria (2022)

As relações paramétricas obtiveram resultados muito próximos do orçamento executivo. Desataca-se um erro de 0,38% de diferença de custo quando comparado os quantitativos do serviço de instalação de piso de madeira engenheirada. Além dele, outros serviços obtiveram erros menores que 10%, tais como a contratação de projetos, o serviço de concreto usinado para a supraestrutura e a instalação de painel de PVC estruturado para o fechamento de paredes de contenção.

Ávila *et al.* (2003) define uma estimativa de custo adequada para um orçamento de viabilidade quando o custo não é ultrapassado a margem de 20% de erro, como é demonstrado na Figura 18. Dessa forma, a partir das variáveis independentes advindas do plano arquitetônico de massas, é possível ter uma estimativa de custo através de equações paramétricas advindas de regressões lineares com uma margem de erro adequada. Na fase de viabilidade, com informações de produto escassas, as relações paramétricas apresentam-se como uma forma válida de parametrização.

5 CONCLUSÃO

Durante o estudo de viabilidade econômica de um projeto, surge a necessidade de se estimar a grandeza de custo do empreendimento idealizado para a verificação de sua taxa de retorno e a determinação de sua implementação. No decorrer dessa fase inicial do ciclo de projetos, poucas especificações a respeito do produto são conhecidas, limitando-se ao plano arquitetônico de massas, a um quadro de áreas estimado e ao padrão de métodos construtivos da empresa.

Nesse contexto, um método ágil de estimativa de custos deve ser utilizado na fase de viabilidade. Assim, será possível a realização da análise de várias otimizações do produto ao ponto de maximizar as oportunidades de negócio. A estimativa de custos através de relações paramétricas surge como um possível método para se obter uma grandeza com uma boa margem de segurança frente ao mercado. Com essa visão, através do modelo adaptado de Otero, o presente trabalho buscou validar o uso de relações paramétricas por meio de regressões lineares em orçamentos de viabilidade na Construtora X, localizada na cidade de Curitiba/PR.

Contudo, foram escolhidos dez serviços listados na estrutura analítica de projetos padrão da empresa a fim de serem correlacionados com dados advindos do quadro de áreas. O histórico desses serviços é baseado em nove obras incorridas de alto padrão da construtora citada.

As relações paramétricas encontradas geraram coeficientes de correlação linear classificados como forte, indicando um adequado grau de efetividade na associação do comportamento da variável direcionadora de custo sob a variação do quantitativo dos serviços pré-determinados. A única exceção foi o serviço de execução de vedação em bloco cerâmico, o qual apresentou um coeficiente de correlação baixo quando associado sua variação de metragem com a variação das áreas construída, privativa e comum. Dessa maneira, a relação paramétrica dessa atividade não obteve uma justificativa para ser aplicada e não deve ser considerada para a estimativa de custos em novos orçamentos.

Os modelos encontrados foram aplicados sobre uma outra obra para fins de validação. De acordo com a classificação obtida na literatura, o erro da estimativa de custo entre a fase de viabilidade e a fase executiva é adequado quando menor ou igual a 20%. Dito isso, a porcentagem de erro máxima de custo atingida pelos nove serviços foi de 17,98%, provando a efetividade de suas aplicabilidades e a

confiabilidade do método escolhido. Além do mais, cabe ressaltar que a pretensão do orçamento de viabilidade nunca foi a precisão dos custos, mas uma conjectura de uma grandeza com uma boa margem de segurança frente aos custos de mercado.

A empresa X realiza orçamentos de viabilidade com base em similaridade de áreas de obras incorridas, calculando a proporcionalidade de áreas para então, realizar os levantamentos de quantitativos necessários de determinação de um custo. É praticamente um orçamento detalhado baseado em uma outra obra de áreas próximas. A readequação da empresa X no orçamento de viabilidade através de regressões lineares poderia otimizar o tempo do setor através da redução no prazo da confecção de uma estimativa de custo. Como consequência, aumentaria diretamente a produtividade do setor.

Ressalta-se que as relações paramétricas encontradas nesse estudo são válidas exclusivamente à Construtora X. Isso decorre devido à padronização dos métodos construtivos da empresa em questão. Além dessa limitação, a concretização da validação das relações deveria estar relacionada ao custo global da obra e não ao custo dos serviços de maneira isolada. Da maneira em que ocorre, a compensação entre estimativas positivas e negativas, que ocorrem na somatória de custos de serviços para determinação do custo global, é desconsiderada. A análise seria mais eficaz caso parametrizássemos completamente o orçamento. Assim sendo, recomenda-se, num estudo futuro, a validação do modelo através de um estudo ampliado e robusto, contendo uma maior gama de serviços. Adicionalmente, sugere-se a aplicação de parametrizações através de regressões múltiplas para os casos em que o modelo não obteve um poder de explicação aceitável para apenas uma variável dependente. Ou ainda, encoraja-se um trabalho da viabilidade de relações paramétricas a partir da separação de áreas de um serviço por etapas de obra, de tal forma que para uma mesma tarefa diferentes variáveis dependentes sejam aplicadas.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, F. **4 Formas de encontrar outliers em seus dados**. 09 mar. 2021. Disponível em: <https://www.felipealencar.net/2021/03/4-formas-de-encontrar-outliers-em-seus.html>. Acesso em: 05 dez. 2021.
- ANDREASI, W. A. **Notas de aula: Introdução às ferramentas de análise estatística de Excel 2007 aplicadas a engenharia de avaliações – v.09**. Disciplina de Avaliações e Perícias na Construção Civil. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2009. Disponível em: <https://faeng.ufms.br/files/2015/03/intro-excel97-v09.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12721: Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para incorporação de edifício em condomínio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ASSUMPÇÃO, J. F. P.; FUGAZZA, A. E. C. **Execução de orçamento por módulos para obras de construção de edifícios**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: MODERNIDADE E SUSTENTABILIDADE. Salvador, 2000.
- ÁVILA, Antônio Victorino; LIBRELOTTO, Liziane Ilha; LOPES, Oscar Ciro. **Orçamento de obras**. Universidade do Sul de Santa Catarina – Curso de Arquitetura e Urbanismo – Planejamento e Gerenciamento de obras, Florianópolis, 2003.
- BARROS, A. C. S.; FALCÃO, D. F. **Orçamento Paramétrico como ferramenta de controle de custos na construção civil**. In: 16º CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE LARES – *LATIN AMERICAN REAL ESTATE SOCIETY*. São Paulo, 2016.
- BELOTTO, T. – **Modelo paramétrico de previsão de custos de edificações residenciais multifamiliares na fase de viabilidade**. 2022. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.
- BENTO, G. M.; SANTOS, R. T. **Avaliação de métodos de remoção de outliers e seus impactos na precisão dos métodos de interpolação**. 2018. In: 1º Simpósio Mato Grossense de Mecanização Agrícola e Agricultura de Precisão – SIMAP. Universidade federal de mato Grosso. Sinop, 2018.
- CARIBÉ, C. **Quais são as etapas para se fazer uma incorporação imobiliária? – Estudo de massa e quadros de área para a incorporação imobiliária**. 2017. Disponível em: <https://ncbconsultoria.wordpress.com/2017/10/30/quais-sao-as-etapas-para-se-fazer-uma-incorporacao-imobiliaria-estudo-de-massa-e-quadros-de-areas-para-a-incorporacao-imobiliaria/>. Acesso em: 05 dez. 2021.
- CAZAROTO, L. **Estudo de viabilidade econômica imobiliário: o que é e para que serve**. 2021. Disponível em: <https://mundoimobiliario.net/estudo-de-viabilidade-economica-imobiliario-oque-e-e-para-que-serve/>. Acesso em: 20 nov. 2021.
- COSTA FILHO, M. A.; COSTA, M. F. B.; GAMA JUNIOR, A. C. A. **Contribuição à estudo de viabilidade – Comparativo entre dados efetivos e dados viabilizados na concepção de incorporações**. Artigo técnico. Curso de engenharia civil. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2020.

ESTADÃO. **O que diferencia os imóveis comuns das casas de alto padrão?** 28 ago. 2020. Disponível em: <https://imoveis.estadao.com.br/compra/o-que-diferencia-os-imoveis-comuns-das-casas-de-alto-padrao/>. Acesso em: 05 dez. 2021.

ESTUDE AE. **Estimativa de custos.** 2021. Disponível em: <https://estudeae.com.br/estimativascustos>. Acesso em: 20 nov. 2021.

FILHO, M. L. O. **A utilização da regressão linear como ferramenta estratégica para a projeção de custos produção.** In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS. Trabalho 278. 2002, São Paulo.

FONSECA, V. M. **Deteção de outliers em dados amostrais de uma pesquisa econômica.** 2011. Dissertação (Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais) – Escola Nacional de Ciências e Estatísticas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Rio de Janeiro, 2011.

GERENCIAL CONSTRUTORA. **Afinal, o que é um apartamento de alto padrão?** 17 mar. 2020. Disponível em: <https://gerencialconstrutora.com.br/blog/imoveis-de-alto-padrao>. Acesso em: 05 dez. 2021.

GOMES, G. A. – **Diretrizes para incorporação imobiliária e empreendimentos residenciais.** 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2018.

GUIA ACADÊMICO DE ARQUITETURA. **No miolo da quadra.** Praça das artes. 22 jan. 2014. Disponível em: <http://gaarq.blogspot.com/2014/01/no-miolo-da-quadra-praca-das-artes.html>. Acesso em: 05 dez. 2021.

GUIMARÃES, P. R. B. **Notas de aula: Análise de Regressão.** Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~jomarc/regressao.pdf> Acesso em: 04 dez. 2021.

HEINECK, L. F. M.; OTERO, J. A. **Análise paramétrica para estimativa e custos na construção de edifícios.** In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO MABIENTE CONSTRUÍDO. São Paulo, 2004.

HIROTA, E. H. **Estudo exploratório sobre a tipificação de projetos de edificações, visando a reformulação da Norma Brasileira NB-140/65.** 1987. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987.

ISRAEL, D. **O que define um apartamento de luxo e alto padrão?** 09 jul. 2021. Disponível em: <https://www.revistahabitare.com.br/comercial/o-que-define-um-apartamento-de-luxo-e-de-alto-padrao/>. Acesso em: 05 dez. 2021.

LEITE JÚNIOR, H. F. **Prospecção, análise e aquisição de terrenos.** Artigo técnico. 2016. Disponível em: <http://www.hamiltonleite.com.br/analise-de-terrenos.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2021.

LIMA, L. F. M.; MAROLDI, A. M.; ODÍZIO DA SILVA, D. V.; HAYASHI, C. R. M.; HAYASHI, M. C. P. I. **Métrica científicas em estudos bibliométricos: deteção de outliers para dados uni variados.** 2017. In: Em questão. Porto Alegre, 2017.

LOSSO, I. R. **Utilização das características geométricas da edificação na elaboração de estimativas preliminares de custos:** estudo de caso em uma empresa de construção. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras:** dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos. 1ª. ed. São Paulo: Editora Pini, 1965.

MINITAB. **Análise de regressão:** Como interpretar o R-quadrado e avaliar a qualidade de ajuste?. 27 mar. 2019. Disponível em: <https://blog.minitab.com/pt/analise-de-regressao-como-interpretar-o-r-quadrado-e-avaliar-a-qualidade-de-ajuste>. Acesso em: 05 dez. 2021.

MOBUSS CONSTRUÇÃO. **Por que a tabela de composição de preços para orçamentos (TCPO) é tão importante?** 31 out. 2019. Disponível em: <https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/tcpo/>

MOREIRA, F. S. **Modelo de previsão de custos na fase de estudo de viabilidade para empresas de construção.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

_____. **Como montar um orçamento paramétrico:** uma proposta de modelo de previsão de custos para empreendimentos. 1ª. ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2019.

MOTA, T. **Como fazer um estudo de viabilidade econômica.** 2020. Disponível em: <https://canteirodeengenharia.com.br/2020/05/27/estudo-de-viabilidade-economica/>. Acesso em: 05 dez. 2021.

NERIS, L. F. A. **Relações paramétrica para estimativa de custo de edifícios de alto padrão situados em Fortaleza, Ceará.** 2010. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

OLIVEIRA, M. **Caracterização e prédios habitacionais de Porto Alegre através de variáveis geométricas** – uma proposta à partir de técnicas de estimativas preliminares de custo. 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

OTERO, J. A. – **Análise paramétrica de dados orçamentários para estimativa de custos na construção de edifícios** - Estudo de caso voltado para a questão de variabilidade. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

_____. **Uso de modelos paramétricos em estimativas de custo para construção de edifícios.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998. Artigo técnico. Niterói, 1998.

PARISOTTO, J. A. **Análise de estimativas paramétricas para formular um modelo de quantificação de serviços, consumos de mão-de-obra e custos de edificações residenciais** – Estudo de Caso para uma Empresa Construtora. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PEREIRA, A. S.; MANOSSO, T. W. S.; FOSSATTI E. C.; BERTI, S. M. **Texto para discussão: Regressão linear múltipla. Como simplificar por meio do Excel e SPSS?** Centro de Pesquisa e Extensão da FEAC. Universidade de Passo Fundo, 2019. Disponível em: <https://www.upf.br/uploads/Conteudo/cepeac/textos-discussao/texto-01-2019.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Consulta informativa de lote**. 2021. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/servicos/consulta-informativa-de-lote/197>. Acesso em: 05 dez. 2021.

RODRIGUES, S. C. A. **Modelo de Regressão Linear e suas Aplicações**. 2012. Relatório de estágio (Mestrado em Ensino de Matemática no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário) - Programa de Pós Graduação em Matemática, Universidade da Beira Interior, Covilhã – Portugal, 2012.

SAIA, M. **Projeto Vila** – Estudo de massas. 10 nov. 2012. Disponível em: <http://marinasaiaarquitetura.blogspot.com/2012/11/projeto-vila-estudo-de-massas.html>. Acesso em: 05 dez. 2021.

STROHHECKER, F. M. – **Análise da viabilidade econômica de um empreendimento imobiliário**. 2010. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2010.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Notas de aula: Regressão Linear Simples**. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Disponível em: http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/489_estaind009_regsim.pdf. Acesso em: 04 dez. 2021.

USP. Universidade de São Paulo. **Notas de aula: Capítulo 06 - Estimação de Custo. Parte II – Planejamento e tomada de decisão**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4097321/mod_resource/content/0/Blocher%20-%20Estima%C3%A7%C3%A3o%20de%20Custos.pdf Acesso em: 04 dez. 2021.

VALLE, E. F. **Análise de custos paramétricos de edificações não residenciais do oeste de Santa Catarina**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Chapecó, 2006.

APÊNDICE A – ESTRUTURA ANALÍTICA DE PROJETO

Serviço	Descrição	Qtde	Unidade	Custo Serviço	Total
	OBRA - ORÇAMENTO COMPLETO			-	
	OBRA - ORÇAMENTO PARAMÉTRICO PARCIAL			R\$	-
Serviço I	Projetos: concepção, estrutura, instalações e diversos		vb	-	R\$ -
	Projetos de concepção		vb		
	Projetos de estrutura		vb		
	Projetos de instalações		vb		
	Projetos diversos		vb		
Serviço II	Supraestrutura: serviço de execução de fôrma convencional para estrutura	-	m²	R\$	- R\$ -
	Chapa compensada resinada 2,44x1,22m		m ²		
	Sarrafo 1x3" cambara		m		
	Prego de aço com cabeça 17x27		kg		
	Espaçador circular 2,5cm para concreto		um		
	Desmoldante		l		
	Execução de forma e desforma com lançamento de concreto (estrutura)		m ²		
Serviço III	Supraestrutura: aço para armação de supraestrutura em concreto armado	-	kg	R\$	- R\$ -
	Aço CA-50 bitola média		kg		
	Arame Recozido N18 BWG		kg		
	Espaçador treliçado h=8cm		m		
	Serviço de montagem de armadura		kg		
Serviço IV	Supraestrutura: concreto usinado para supraestrutura	-	m³	R\$	- R\$ -
	Concreto Usinado FCK 35 MPa B1 Slump 12+-2		m ³		
	Taxa de Bombeamento		m ³		
Serviço V	Vedação: serviço de execução de vedação em bloco cerâmico	-	m²	R\$	- R\$ -
	Bloco cerâmico 19x19x29cm		un		
	Meio Bloco Cerâmico 19x19x14cm		un		
	Bloco Cerâmico 19x19x4cm - compensador		un		
	Bloco Cerâmico Canaleta 19x19x29 cm		un		
	Argamassa estabilizada para alvenaria		m ³		
	Tela soldada galvanizada 7,5x50cm		un		
	Pino para pistola finca pino		un		
	Arruela cônica galvanizada 23mm		un		
	Célula de gás para finca pino		un		
	Execução de alvenaria em bloco cerâmico de 19 cm		m ²		
	Argamassa estabilizada para alvenaria		m ³		
	Aço CA-50 bitola média		kg		
	Concreto Usinado FCK 20 MPa B1 Slump 10+-2		m ³		
	Chapa compensada resinada 2,20x1,10 m, cola fenolica 12mm		m ²		
Serviço VI	Vedação: serviço de execução de vedação em gesso acartonado (drywall)	-	m²	R\$	- R\$ -
	Execução de parede em gesso acartonado		m ²		
	Materiais para parede de gesso acartonado		m ²		
Serviço VII	Vedação: instalação de painel de PVC estruturado para fechamento de pared	-	m²	R\$	- R\$ -
	Revestimento em PVC		m ²		
	Serviço de instalação de forro em PVC		m ²		
	Grelha 35x16 cm para painel em PVC estruturado		un		
Serviço VIII	Serviço de execução de forro rebaixado em gesso acartonado (drywall)	-	m²	R\$	- R\$ -
	Execução de forro em gesso acartonado		m ²		
	Forro em drywall Ru 400		m ²		
Serviço IX	Instalação de piso de madeira engenheirada	-	m²	R\$	- R\$ -
	Piso multiestruturado Cumaru e=14 mm		m ²		
	Cola PU bicomponente		kg		
	Serviço de instalação de piso de madeira		m ²		
	Manta de proteção de pisos tipo papel kraft laminado c/ plastico bolha		m ²		
Serviço X	Esquadrias de madeira com isolamento acústico	-	un	R\$	- R\$ -
	Porta de madeira maciça 90x210 cm com isolamento acústico		un		
	Espuma de poliuretano expansiva 500mL		un		
	Serviço de instalação de porta de madeira com isolamento acústico		un		