

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JHONATTAN WESLEY TRAINOTTI

**DETERMINAÇÃO DE EQUAÇÕES PARAMÉTRICAS PARA  
LEVANTAMENTO PRELIMINAR DO CUSTO DO AÇO EMPREGADO  
NA ESTRUTURA DE COBERTURA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2018

JHONATTAN WESLEY TRAINOTTI

**DETERMINAÇÃO DE EQUAÇÕES PARAMÉTRICAS PARA  
LEVANTAMENTO PRELIMINAR DO CUSTO DO AÇO EMPREGADO  
NA ESTRUTURA DE COBERTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à obtenção  
do título de Bacharel, do curso de Engenharia  
Civil, da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Lucia Bressiani

TOLEDO

2018



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 130

**Determinação de equações paramétricas para levantamento preliminar do custo do aço empregado na estrutura de cobertura**

por

**Jhonattan Wesley Trainotti**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10:20 h do dia **05 de Junho de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof<sup>a</sup>. Marilucia Silveira Oliveira  
(UTFPR – TD)

---

Prof. Fúlvio Natércio Feiber  
(UTFPR – TD)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Lucia Bressiani  
(UTFPR – TD)  
Orientadora

---

Visto da Coordenação  
Prof. Fúlvio Natércio Feiber  
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais José Trainotti e Elizabeth Lourdes Maziero Trainotti, por terem moldado meus valores, me ensinado a ser a pessoa que sou hoje, pelo amor dado, e por estarem comigo e me apoiado na minha fase de estudos.

A minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Lucia Bressiani por concordar em me apoiar neste trabalho me orientando na construção do TCC 2, pelo conhecimento transmitido, e por me auxiliar no TCC 1 como co-orientadora.

Ao Prof. Fúlvio Natércio Feiber por aceitar me orientar no TCC 1, pelo tempo disponibilizado para sanar dúvidas, por me ensinar a elaborar este trabalho e pelo conhecimento transmitido.

A Prof.<sup>a</sup> Marilucia Silveira Oliveira por participar da banca de avaliação do TCC e por suas considerações relevantes sobre o trabalho.

A todos os professores com quem eu tive oportunidade de adquirir conhecimento, contribuindo no desenvolvimento do raciocínio lógico, no senso crítico, e na paixão pela engenharia.

Aos meus amigos e familiares por estarem comigo nos diversos momentos de minha vida.

Aos profissionais que disponibilizaram do seu tempo, de seus projetos e de qualquer outra forma para me ajudar com este trabalho.

## RESUMO

Trainotti, Jhonattan Wesley. **Determinação de equações paramétricas para levantamento preliminar do custo referente ao aço empregado na estrutura de cobertura.** 82 f. Monografia, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2018.

Um grande fator que influencia na tomada de decisão referente a determinado empreendimento e sua viabilidade é o orçamento, que deve ser o mais preciso possível buscando sempre a economia aliada à segurança. O engenheiro orçamentista pode optar entre diversas maneiras de efetuar o orçamento, como por exemplo a pesquisa de preços ou a utilização de métodos paramétricos. Buscando minimizar a carência de indicadores voltados às estruturas metálicas de cobertura no Brasil na área de orçamentos, este trabalho visa propor soluções para as análises preliminares efetuadas pelo orçamentista através da elaboração de indicadores e equações paramétricas para previsão da quantidade do aço empregado nas estruturas de cobertura em função da área de projeção da mesma. Neste trabalho utilizou-se 37 projetos de galpões industriais, armazéns e salas comerciais com a estrutura de cobertura em aço da região Oeste do Paraná. Os projetos possuem diversos tamanhos em formato retangular com suas áreas variando entre 116,40 m<sup>2</sup> e 4656,64 m<sup>2</sup>, largura entre 6,40 m e 42,80 m, e comprimento entre 11,50 m e 108,80 m. Inicialmente levantou-se os valores da área construída, comprimento dos perfis utilizados, e área das chapas de cobertura e das calhas. Posteriormente gerou-se gráficos e obteve-se as regressões lineares com suas equações paramétricas, e também se obteve os índices para cada elemento da cobertura. Apenas alguns indicadores elaborados neste trabalho podem ser aplicados no estudo preliminar do custo referente ao aço empregado na estrutura de cobertura, como por exemplo: quilogramas de chapa de cobertura por metro quadrado.

**Palavras-chave:** Projetos de estruturas metálicas. Orçamento. Índices paramétricos. Indicadores. Estimativas de custo.

## ABSTRACT

Trainotti, Jhonattan Wesley. **Determination of parametric equations for preliminary survey of the cost related to the steel used in the coverage structure.** 82 p. Monography, Undergraduate in Civil Engineering, Federal Technological University of Paraná, Toledo, 2018.

A great factor that influences the decision making regarding a particular enterprise and its viability is the budget, which should be as accurate as possible, always seeking the economy allied with security. The budget engineer can choose between several ways of budgeting, such as price research or the use of parametric methods. In order to minimize the lack of indicators related to metallic roofing structures in Brazil in the area of budgets, this work aims to propose solutions for the preliminary analyzes carried out by the budget through the elaboration of indicators and parametric equations to predict the quantity of steel used in the roofing structures depending on the area of projection of the same. In this work, 37 projects of industrial warehouses, warehouses and commercial rooms with the steel roof structure of the West region of Paraná were used. The projects have several sizes in rectangular format with their areas varying between 116.40 m<sup>2</sup> and 4656.64 m<sup>2</sup>, width between 6.40 m and 42.80 m, and length between 11.50 m and 108.80 m. Initially the values of the constructed area, length of the profiles used, and area of the cover plates and of the rails were raised. Afterwards, graphs were generated and the linear regressions were obtained with their parametric equations, and the indices for each element of the coverage were also obtained. Only a few indicators elaborated in this work can be applied in the preliminary study of the cost of the steel used in the roofing structure, for example: kilograms of roofing sheet per square meter.

**Keywords:** Design of metal structures. Budget. Parametric indices. Indicators. Cost estimates.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema estrutural.....	20
Figura 2 - Classificação conforme dimensões: (a) Bloco; (b) Folha; (c) e (d) Barras	21
Figura 3 - Classificação conforme carregamento: (a) Pilar; (b) Tirante; (c) Chapa ou parede estrutural; (d) Viga; (e) Placa ou laje .....	22
Figura 4 - Sistema de treliça .....	23
Figura 5 - Sistema de grelha .....	23
Figura 6 - Sistema de pórtico .....	24
Figura 7 - Galpão metálico: esquema tridimensional.....	24
Figura 8 - Galpão metálico: pórtico transversal sob ação do vento .....	25
Figura 9 - Galpão metálico: planta de cobertura sem e com contraventamento .....	26
Figura 10 - Relação entre a massa das agulhas e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	39
Figura 11 - Relação entre a massa das agulhas e a área construída – 2ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	40
Figura 12 - Relação entre a massa das agulhas em barra redonda e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ).....	41
Figura 13- Relação entre a massa das agulhas em perfil “L” e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	41
Figura 14 - Relação entre a massa das terças e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	43
Figura 15 - Relação entre a massa do contraventamento e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	44
Figura 16 - Relação entre a massa das chapas de cobertura e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	45
Figura 17 - Relação entre a área das chapas de cobertura e a área construída – 1ª análise (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ).....	46
Figura 18 - Relação entre a massa das calhas e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	47
Figura 19 - Relação entre a área das calhas e a área construída – 1ª análise (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) .....	48
Figura 20 - Relação entre o comprimento das calhas e a área construída – 1ª análise (m/m <sup>2</sup> ) .....	50
Figura 21 - Relação entre a massa do banzo superior da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	51
Figura 22 - Relação entre a massa do banzo inferior da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	52
Figura 23 - Relação entre a massa do montante da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	53
Figura 24 - Relação entre a massa da diagonal da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	54
Figura 25 - Relação entre a massa do total da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	55
Figura 26 - Relação entre a massa do total estrutural e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	56
Figura 27 - Relação entre a massa do total da cobertura e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	58

Figura 28 - Relação entre a massa das agulhas redondas e a área construída – 1ª análise (kg/m²) .....	65
Figura 29 - Relação entre a massa das agulhas redondas e a área construída – 2ª análise (kg/m²) .....	65
Figura 30 - Relação entre a massa das agulhas em perfil “L” e a área construída – 1ª análise (kg/m²) .....	66
Figura 31 - Relação entre a massa das agulhas em perfil “L” e a área construída – 2ª análise (kg/m²) .....	66
Figura 32 - Relação entre a massa das terças e a área construída – 1ª análise (kg/m²) .....	67
Figura 33 - Relação entre a massa das terças e a área construída – 2ª análise (kg/m²) .....	67
Figura 34 - Relação entre a massa do contraventamento e a área construída – 1ª análise (kg/m²) .....	68
Figura 35 - Relação entre a massa do contraventamento e a área construída – 2ª análise (kg/m²) .....	68
Figura 36 - Relação entre a massa das chapas de cobertura e a área construída – 1ª análise (kg/m²) .....	69
Figura 37 - Relação entre a área das chapas de cobertura e a área construída – 1ª análise (m²/m²) .....	70
Figura 38 - Relação entre a massa das calhas e a área construída – 1ª análise (kg/m²) .....	71
Figura 39 - Relação entre a massa das calhas e a área construída – 2ª análise (kg/m²) .....	71
Figura 40 - Relação entre a área das calhas e a área construída – 1ª análise (m²/m²) .....	72
Figura 41 - Relação entre a área das calhas e a área construída – 2ª análise (m²/m²) .....	72
Figura 42 - Relação entre o comprimento das calhas e a área construída – 1ª análise (m/m²) .....	73
Figura 43 - Relação entre o comprimento das calhas e a área construída – 2ª análise (m/m²) .....	73
Figura 44 - Relação entre a massa do banzo superior da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m²) .....	74
Figura 45 - Relação entre a massa do banzo superior da tesoura e a área construída – 2ª análise (kg/m²) .....	74
Figura 46 - Relação entre a massa do banzo inferior da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m²) .....	75
Figura 47 - Relação entre a massa do banzo inferior da tesoura e a área construída – 2ª análise (kg/m²) .....	75
Figura 48 - Relação entre a massa do montante da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m²) .....	76
Figura 49 - Relação entre a massa do montante da tesoura e a área construída – 2ª análise (kg/m²) .....	76
Figura 50 - Relação entre a massa da diagonal da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m²) .....	77
Figura 51 - Relação entre a massa do total da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m²) .....	78
Figura 52 - Relação entre a massa do total da tesoura e a área construída – 2ª análise (kg/m²) .....	78

Figura 53 - Relação entre a massa do total estrutural e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	79
Figura 54 - Relação entre a massa do total estrutural e a área construída – 2ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	79
Figura 55 - Relação entre a massa do total da cobertura e a área construída – 1ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	80
Figura 56 - Relação entre a massa do total da cobertura e a área construída – 2ª análise (kg/m <sup>2</sup> ) .....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores a serem gerados .....	35
Tabela 2 - Resultados das análises da massa das agulhas .....	42
Tabela 3 - Resultados das análises da massa das terças .....	43
Tabela 4 - Resultados das análises da massa dos contraventamentos .....	44
Tabela 5 - Resultados da análise da massa das chapas de cobertura .....	46
Tabela 6 - Resultados da análise da área das chapas de cobertura .....	47
Tabela 7 - Resultados das análises da massa das calhas .....	48
Tabela 8 - Resultados das análises da área das calhas.....	49
Tabela 9 - Resultados das análises do comprimento das calhas .....	50
Tabela 10 - Resultados das análises da massa do banzo superior .....	51
Tabela 11 - Resultados das análises da massa do banzo inferior .....	52
Tabela 12 - Resultados das análises da massa dos montantes .....	53
Tabela 13 - Resultados das análises da massa das diagonais .....	54
Tabela 14 - Resultados das análises da massa das tesouras .....	56
Tabela 15 - Resultados das análises da massa do aço estrutural da cobertura .....	57
Tabela 16 - Resultados das análises da massa do aço da cobertura .....	58
Tabela 17 - Principais parâmetros para análise .....	59
Tabela 18 - Resumo de quantitativos dos projetos.....	81
Tabela 19 - Resumo estatístico.....	82

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	16
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
2.1 AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	17
<b>2.1.1 Vantagens e desvantagens</b> .....	18
<b>2.1.2 Sistemas estruturais em aço</b> .....	19
2.1.2.1 Classificação dos elementos estruturais de acordo com as dimensões.....	20
2.1.2.2 Classificação dos elementos estruturais de acordo com a carga.....	21
2.1.2.3 Sistemas planos e elementos lineares.....	22
2.1.2.4 Galpões industriais simples.....	24
<b>2.1.3 Métodos de cálculo</b> .....	26
2.1.3.1 Projeto estrutural e normas.....	26
2.2 ORÇAMENTO E VARIÁVEIS DENTRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	27
2.3 ORÇAMENTOS DENTRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	29
<b>2.3.1 Estimativa de custo</b> .....	29
<b>2.3.2 Orçamento detalhado ou analítico</b> .....	31
<b>2.3.3 Orçamento preliminar</b> .....	31
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	33
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	33
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA.....	33
3.3 COLETA DE DADOS.....	34
3.4 ANÁLISE DE DADOS.....	35
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	39
4.1 QUILOGRAMAS DE AGULHA POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	39
4.2 QUILOGRAMAS DE TERÇA POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	42
4.3 QUILOGRAMAS DE CONTRAVENTAMENTO POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	44
4.4 QUILOGRAMAS DE CHAPAS DE COBERTURA POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	45
4.5 ÁREA DE CHAPAS DE COBERTURA POR METRO QUADRADO (M <sup>2</sup> /M <sup>2</sup> ).....	46
4.6 QUILOGRAMAS DE CALHA POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	47
4.7 ÁREA DE CALHA POR METRO QUADRADO (M <sup>2</sup> /M <sup>2</sup> ).....	48
4.8 COMPRIMENTO DE CALHA PO METRO QUADRADO (M/M <sup>2</sup> ).....	49

4.9 QUILOGRAMAS DE BANZO SUPERIOR DA TESOURA POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	50
4.10 QUILOGRAMAS DE BANZO INFERIOR DA TESOURA POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	52
4.11 QUILOGRAMAS DE MONTANTE DA TESOURA POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	53
4.12 QUILOGRAMAS DE DIAGONAL DA TESOURA POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	54
4.13 QUILOGRAMAS DE TESOURA POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	55
4.14 QUILOGRAMAS DE AÇO ESTRUTURAL DA COBERTURA POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	56
4.15 QUILOGRAMAS DO TOTAL DA COBERTURA POR METRO QUADRADO (KG/M <sup>2</sup> ).....	57
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	60
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	62
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	63
<b>APÊNDICE A</b> – Análises para o indicador de quilogramas de agulha redonda por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ).....	65
<b>APÊNDICE B</b> – Análises para o indicador de quilogramas de agulha em perfil “L” por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ).....	66
<b>APÊNDICE C</b> – Análises para o indicador de quilogramas de terça por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ).....	67
<b>APÊNDICE D</b> – Análises para o indicador de quilogramas de contraventamento por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ).....	68
<b>APÊNDICE E</b> – Análises para o indicador de quilogramas de chapas de cobertura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ).....	69
<b>APÊNDICE F</b> – Análises para o indicador de área de chapas de cobertura por metro quadrado (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ).....	70
<b>APÊNDICE G</b> – Análises para o indicador de quilogramas de calha por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ).....	71
<b>APÊNDICE H</b> – Análises para o indicador de área de calha por metro quadrado (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ).....	72
<b>APÊNDICE I</b> – Análises para o indicador de comprimento de calha por metro quadrado (m/m <sup>2</sup> ).....	73
<b>APÊNDICE J</b> – Análises para o indicador de quilogramas de banzo superior da tesoura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ).....	74
<b>APÊNDICE K</b> – Análises para o indicador de quilogramas de banzo inferior da tesoura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ).....	75
<b>APÊNDICE L</b> – Análises para o indicador de quilogramas de montante da tesoura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ).....	76
<b>APÊNDICE M</b> – Análises para o indicador de quilogramas de diagonal da tesoura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ).....	77

<b>APÊNDICE N</b> – Análises para o indicador de quilogramas do total da tesoura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ) .....	78
<b>APÊNDICE O</b> – Análises para o indicador de quilogramas de aço estrutural da cobertura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ) .....	79
<b>APÊNDICE P</b> – Análises para o indicador de quilogramas do total da cobertura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> ) .....	80
<b>APÊNDICE Q</b> – Resumo de quantitativos .....	81
<b>APÊNDICE R</b> – Resumo estatístico .....	82

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil é uma área de estudo muito antiga, e sempre esteve em constante evolução para atender as demandas da sociedade. O profissional que atua nesta área deve estar preocupado com a segurança e a economia dos empreendimentos desenvolvidos.

Para auxiliar na análise da viabilidade econômica da obra, aparece o engenheiro orçamentista, que efetuará uma análise profunda e detalhada do empreendimento e seus respectivos custos, buscando associar a economia máxima com a segurança.

O engenheiro orçamentista pode trabalhar com diversos tipos de orçamentos, porém, o orçamento detalhado ou analítico constitui de uma maneira mais precisa e detalhada de se prever o custo da obra. Neste método é realizada uma cuidadosa pesquisa de preços dos insumos, procurando chegar a um valor bem próximo do custo real (MATTOS, 2006).

O profissional da área de orçamentos também pode utilizar de métodos estatísticos (regressões lineares e indicadores médios) para auxiliar na sua análise preliminar da previsão de custos, porém, é importante ressaltar que ele deve escolher o método que se enquadre melhor para cada tipo de empreendimento.

Devido ao crescimento do emprego de estruturas metálicas na construção civil no Brasil, e a carência de indicadores nesta área, manifesta-se a necessidade da criação de indicadores para auxiliar no processo de orçamento e na precisão da previsão dos custos deste tipo de empreendimento.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

A engenharia civil é uma ciência ampla com diversas ramificações, como por exemplo: estruturas, transportes, estradas, instalações hidráulicas e elétricas, saneamento, geotecnia, orçamentos, entre outros.

No que se refere às estruturas, estas devem proporcionar segurança e estabilidade ao empreendimento, e quanto ao orçamento, esta deve permitir o uso de recursos para prever o custo da obra e a economia da mesma.

O engenheiro orçamentista faz uso dos indicadores para agilizar o processo de previsão do custo final da obra em estudo, desde que estes possuam base científica e comprovação de sua viabilidade, caso contrário, o profissional não obterá um valor confiável para permitir sua aplicação.

Dentro da Relação Paramétrica de Custo, é estabelecido uma ligação clara entre determinado custo e uma característica técnica do produto. Em uma definição específica, este tipo de relações são expressões matemáticas que descrevem a ligação entre valores de custo (variáveis dependentes) com os direcionadores de custo (variáveis independentes) que são parâmetros técnicos do produto (OTERO, 2000).

Durante a pesquisa constatou-se a carência de indicadores voltados às estruturas metálicas de cobertura no Brasil, o que demonstra a necessidade do estudo proposto neste trabalho.

Buscando minimizar esta deficiência nesta área dos orçamentos, este trabalho visa propor soluções para as análises preliminares efetuadas pelo orçamentista através da elaboração de indicadores e equações paramétricas para previsão da quantidade do aço empregado nas estruturas de cobertura em função da área de projeção da mesma.

## 1.2 OBJETIVOS

Indicadores que forneçam informações sobre custos referentes ao empreendimento, tem como objetivo facilitar e agilizar o processo de análise da viabilidade do mesmo, sendo usados nas diversas fases da obra, principalmente no controle de gastos.

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é determinar equações paramétricas para serem utilizadas no levantamento de quantitativos de materiais para elaboração de orçamentos de estruturas de cobertura de aço.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Levantar quantidades de aço empregado no sistema de cobertura em projetos de galpões industriais, armazéns e/ou salas comerciais;
- Elaborar equações que relacionem a área em projeção com os elementos da cobertura como: as agulhas, as terças, os contraventamentos, as chapas de cobertura, as calhas, e as tesouras (banzos superiores e inferiores, montantes e diagonais).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com base em uma análise de conceitos de assuntos como aço na construção civil, estruturas de aço, projeto estrutural, orçamento, variabilidade na construção civil e estimativas de custos preliminares, elaborou-se uma fundamentação teórica capaz de sustentar o desenvolvimento do trabalho.

### 2.1 AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As estruturas metálicas começaram a ser empregadas em escala industrial a partir de 1750. Apenas em 1812, teve início a sua fabricação, porém, somente com a implantação de grandes siderúrgicas houve um grande avanço na fabricação de perfis em larga escala (PINHEIRO, 2005).

Apesar do aço ser conhecido desde a Antiguidade, não estava disponível a preços competitivos devido à falta de um processo industrial de fabricação. Em 1856 o inglês Hery Bessemer, inventou um forno que permitiu a produção em larga escala. Em 1864, os irmãos Martin desenvolveram um tipo de forno de maior capacidade. Assim, o aço rapidamente substituiu o ferro forjado e o fundido na indústria da construção (PFEIL; PFEIL, 2012).

Assim, é importante fazer uma abordagem histórica e atual do aço no Brasil:

No Brasil, a indústria siderúrgica foi implantada após a Segunda Guerra Mundial, com a construção da Usina Presidente Vargas da CSN – Companhia Siderúrgica Nacional, em Volta Redonda, no Estado do Rio de Janeiro. O parque industrial brasileiro dispõe atualmente de diversas usinas siderúrgicas, com capacidade de fabricar produtos para estruturas de grande porte. (PFEIL; PFEIL, 2012, p.3)

Um aspecto importante para estes tipos de construções, conforme afirma Pfeil e Pfeil (2012, p.5) é “Com o desenvolvimento da ciência das construções e da metalurgia, as estruturas metálicas adquiriram formas funcionais arrojadas, constituindo-se em verdadeiros trunfos da tecnologia [...]”.

### 2.1.1 Vantagens e desvantagens

O aço é um material 100% reciclável, sendo assim, podendo retornar aos fornos para formar um novo aço ao final da vida útil da obra. A tecnologia empregada nas construções de aço é limpa, o que proporciona segurança e conforto aos moradores, além de reduzir os impactos ambientais durante e depois da construção (CBCA, 2017).

Segundo o Centro Brasileiro da Construção em Aço - CBCA (2017), o aço possui grande potencial de contribuição no desenvolvimento da construção sustentável, podendo assim, citar algumas vantagens:

- **Não polui o meio ambiente:** por ser obtido a partir de um dos elementos mais abundantes no planeta, o minério de ferro, na sua produção não são liberadas substâncias agressoras do meio ambiente;
- **Uso de coprodutos:** seus coprodutos podem ser empregados como agregados no cimento, lastro de ferrovias e na pavimentação de vias;
- **Economia de tempo na execução:** os componentes são produzidos, na sua maioria, fora do canteiro de obra, o que proporciona uma maior velocidade da construção;
- **Economiza materiais e diminui os impactos:** devido ao peso da estrutura ser menor, solicita fundações e escavações menores, diminuindo as viagens de caminhões e áreas para descarte;
- **Maximiza a iluminação natural com economia de energia:** a economia de energia é obtida através da instalação de telhados e fachadas transparentes, que só são possíveis devido aos vãos mais amplos proporcionados pela alta resistência do aço;
- **Durabilidade:** obtida através da aplicação de revestimentos metálicos ou pintura, ou ambos, contra a corrosão;
- **Flexibilidade:** caso o empreendimento necessite de alterações durante a fase de operação ou em futuras adaptações, o aço oferece essa liberdade;
- **O aço é infinitamente reciclável:** devido a suas propriedades magnéticas, inexistentes em qualquer outro material, o aço pode ser reciclado em sua totalidade, separando-se facilmente de outros materiais.

Segundo Pinheiro (2005), é possível citar algumas vantagens e desvantagens do aço estrutural. Como vantagens tem-se:

- Fabricação com precisão milimétrica, permitindo um alto controle de qualidade do produto final;
- Dimensões e propriedades dos materiais garantidos;
- Resistência à vibração e a choques;
- Execução mais rápida e mais limpa;
- Permite a desmontagem e remontagem da estrutura em outro local;
- Possibilita a execução de estruturas leves para vencer grandes vãos devido à sua alta resistência;
- Reaproveitamento dos materiais no estoque e das sobras de obra.

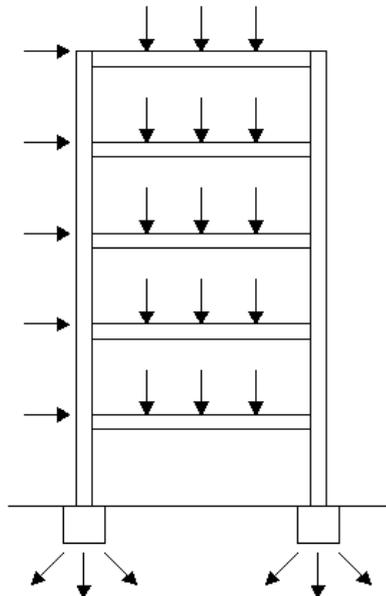
E como desvantagens, pode-se citar:

- Em função do transporte até o local da montagem final, existe uma limitação de execução em fábrica;
- Necessidade de cuidados especiais nas superfícies contra a oxidação;
- Mão-de-obra e equipamentos especializados;
- Fornecimento limitado de perfis estruturais.

### **2.1.2 Sistemas estruturais em aço**

Para Dias (1997), a estrutura é o conjunto de partes de uma construção destinada a resistir as cargas atuantes, estas devem ser transmitidas de um elemento para outro através dos vínculos, para finalmente serem transmitidas ao solo, conforme Figura 1.

Figura 1 - Esquema estrutural



Fonte: Adaptado de Dias (1997, p. 13).

Os esforços são transmitidos dos elementos horizontais para os elementos verticais, e estes transmitem os esforços para os elementos da fundação que, finalmente, transmitem os esforços para o solo.

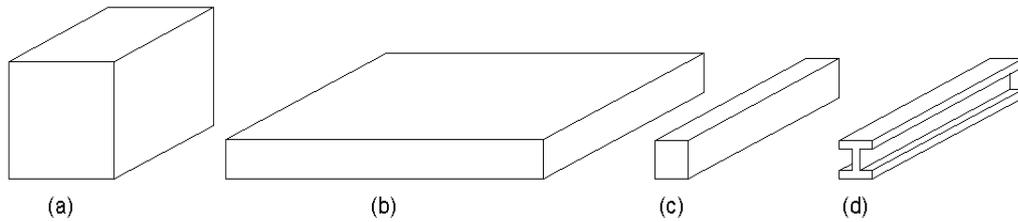
#### 2.1.2.1 Classificação dos elementos estruturais de acordo com as dimensões

Segundo Pfeil e Pfeil (2012), existem diversos elementos estruturais (unidimensionais e bidimensionais), podendo ser classificados de acordo com as dimensões, como por exemplo:

- Elementos lineares alongados, chamados de *hastes* ou *barras*;
- Elementos bidimensionais, normalmente chamados de elementos planos, compostos por *placas* ou *chapas*.

Segundo Dias (1997), os elementos estruturais podem ser divididos em três grupos de acordo com suas dimensões: blocos, folhas e barras, conforme Figura 2.

Figura 2 - Classificação conforme dimensões: (a) Bloco; (b) Folha; (c) e (d) Barras



Fonte: Adaptado de Dias (1997, p. 13).

Os blocos são elementos estruturais que possuem as três dimensões com valores na mesma ordem de grandeza, destacando-se assim, os blocos de fundações.

As folhas são elementos estruturais no qual uma das dimensões é relativamente menor que as outras. Como por exemplo: as paredes estruturais, cascas de cobertura e as lajes.

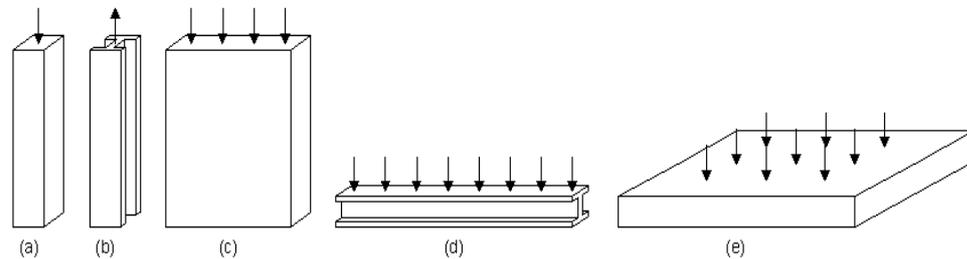
As barras são elementos estruturais no qual uma das dimensões é relativamente maior que as outras, como por exemplo, os pilares e as vigas. As subdivisões desta categoria são: barras sólidas (geralmente barras de concreto) e barras com paredes delgadas (barras metálicas).

#### 2.1.2.2 Classificação dos elementos estruturais de acordo com a carga

Em relação à carga atuante nos elementos estruturais, estes podem ser divididos em placas ou lajes, chapas ou paredes estruturais, vigas, pilares e tirantes, conforme Figura 3. As placas são folhas que recebem carga perpendicular à sua face com maiores dimensões. As chapas também são folhas, porém, a força atua paralelamente à face com maiores dimensões. As vigas, pilares e tirantes são considerados barras, e as cargas atuantes são transversal ao seu eixo, axial de compressão, e axial de tração, respectivamente (DIAS, 1997).

As placas são elementos de espessura pequena em comparação à largura e ao comprimento. Podem ser utilizadas isoladamente ou como parte de sistemas planos ou espaciais (PFEIL; PFEIL, 2012).

Figura 3 - Classificação conforme carregamento: (a) Pilar; (b) Tirante; (c) Chapa ou parede estrutural; (d) Viga; (e) Placa ou laje



Fonte: Adaptado de Dias (1997, p. 14).

Para Pfeil e Pfeil (2012), as hastes constituem elementos alongados cujo comprimento é grande em comparação com as dimensões transversais. As hastes podem ser classificadas conforme o tipo de solicitação:

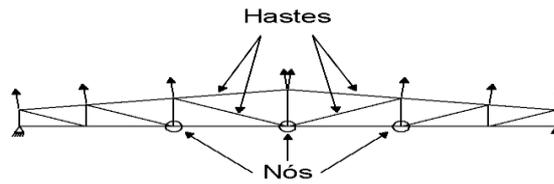
- Tirantes (tração axial);
- Colunas ou escoras (compressão axial);
- Vigas (cargas transversais que produzem esforços cortantes e momentos fletores);
- Eixos (torção).

### 2.1.2.3 Sistemas planos e elementos lineares

Quando se combinam os elementos estruturais lineares (vigas, colunas, tirantes) formam-se os sistemas de elementos lineares constituindo, assim, as estruturas portantes (treliça, grelha e pórticos) das construções civis (PFEIL; PFEIL 2012).

A treliça é um sistema normalmente utilizado na cobertura de galpões industriais, no qual as hastes trabalham a tração ou compressão simples. No seu modelo teórico de análise estrutural os nós são rotulados, porém, na prática, as treliças apresentam nós rígidos que introduzem momentos fletores nas hastes (PFEIL; PFEIL, 2012).

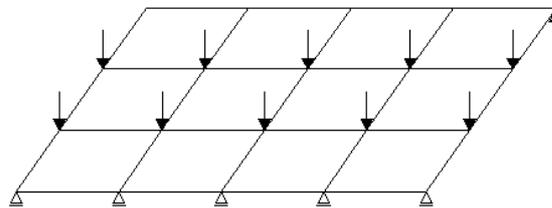
Figura 4 - Sistema de treliça



Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2012, p. 26).

A grelha plana é composta por dois feixes de vigas, oblíquas ou ortogonais, no qual suportam conjuntamente cargas que atuam na direção perpendicular ao plano da grelha. As grelhas podem ser usadas em superestruturas de pontes e em pisos de edifícios (PFEIL; PFEIL 2012).

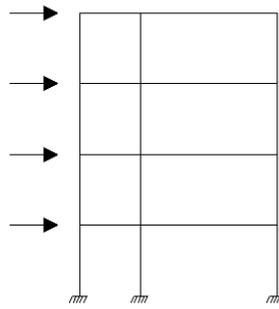
Figura 5 - Sistema de grelha



Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2012, p. 26).

Os pórticos, também chamados de quadros, são sistemas compostos pela associação de hastes curvilíneas ou retilíneas com ligações rígidas entre si (PFEIL; PFEIL, 2012).

Figura 6 - Sistema de pórtico

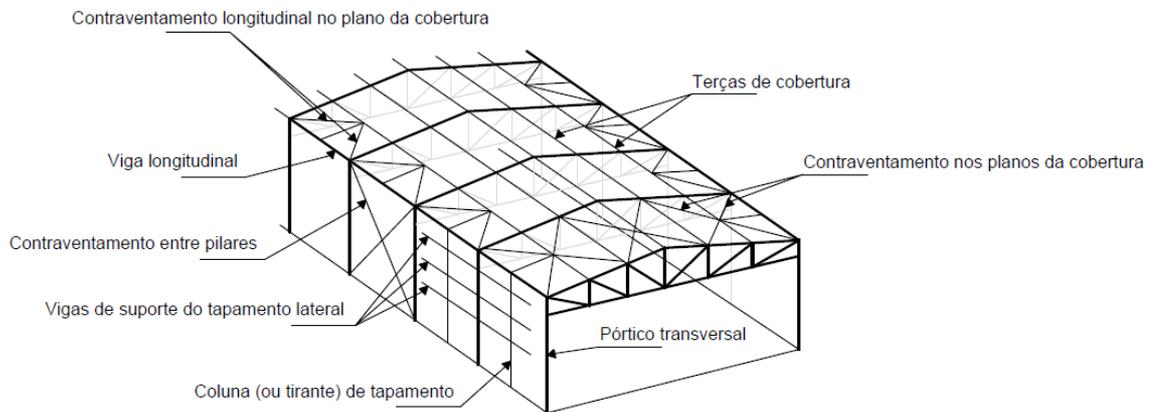


Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2012, p. 26).

#### 2.1.2.4 Galpões industriais simples

A Figura 7 apresenta o esquema de um galpão industrial simples, constituído pela associação de elementos lineares e sistemas planos.

Figura 7 - Galpão metálico: esquema tridimensional



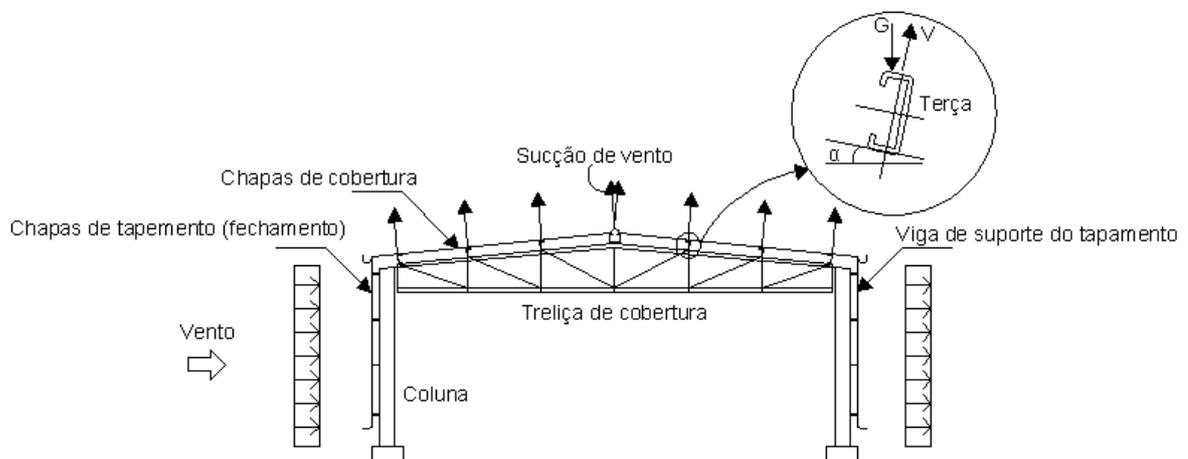
Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2012, p. 33).

As terças são vigas longitudinais localizadas nos planos da cobertura com finalidade de transmitir os esforços atuantes naquele plano à estrutura principal. O cobrimento das faces laterais é executado com chapas corrugadas de aço apoiadas

nas vigas de tapamento lateral. Os tirantes de tapamento são instalados para reduzir o vão das vigas de tapamento (PFEIL; PFEIL, 2012).

Segundo Pfeil e Pfeil (2012), o pórtico deve resistir as cargas gravitacionais, a ação do vento nas fachadas longitudinais e na cobertura. A associação rígida do pórtico transversal com a treliça de cobertura e as duas colunas forma o sistema portante principal, conforme Figura 8.

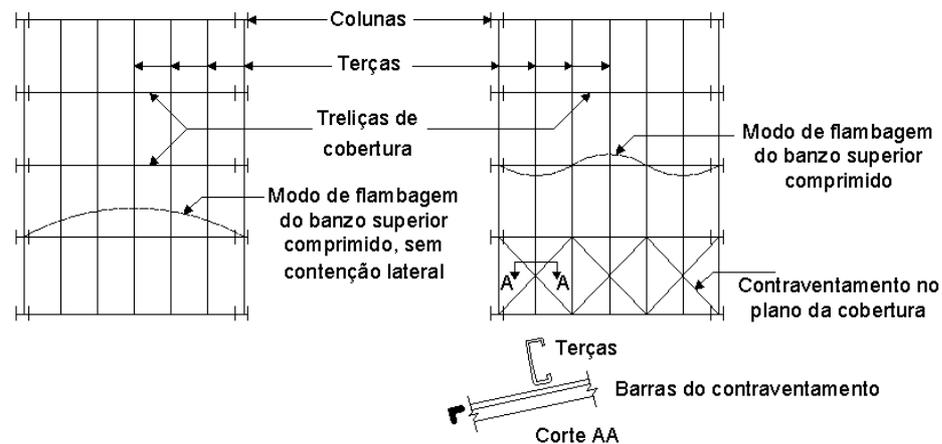
Figura 8 - Galpão metálico: pórtico transversal sob ação do vento



Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2012, p. 33).

Ainda segundo Pfeil e Pfeil (2012), para distribuir as cargas de vento e proporcionar estabilidade espacial ao conjunto, são feitas associações em forma de X de barras, compondo o sistema de treliçados e o sistema de contraventamento, conforme Figura 9.

Figura 9 - Galpão metálico: planta de cobertura sem e com contraventamento



Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2012, p. 33).

### 2.1.3 Métodos de cálculo

Para Pfeil e Pfeil (2012), um projeto estrutural deve garantir a segurança e um bom desempenho da estrutura. Durante a elaboração do projeto, existem três fases essenciais: o anteprojeto, dimensionamento ou cálculo estrutural e o detalhamento.

#### 2.1.3.1 Projeto estrutural e normas

Conforme Pfeil e Pfeil (2012), os objetivos de um projeto estrutural são:

- Garantir a segurança da estrutura evitando-se um colapso da mesma;
- Garantir um bom desempenho da estrutura de modo a evitar a ocorrência de grandes deslocamentos, vibrações, ou danos locais.

Para Pfeil e Pfeil (2012), são três fases as etapas de um projeto estrutural:

- Anteprojeto ou projeto básico, quando se define o sistema estrutural, os materiais que serão utilizados, e o sistema construtivo;
- Dimensionamento ou cálculo estrutural, com a função de se garantir, além da segurança, o bom desempenho da estrutura, através da definição das dimensões dos elementos e suas ligações;

- Detalhamento, fase onde são elaborados os desenhos executivos estruturais contendo as especificações de todos os componentes.

## 2.2 ORÇAMENTO E VARIÁVEIS DENTRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Para Mattos (2006), a preocupação com os custos começa antes mesmo do início da obra, em uma fase chamada de orçamentação, na qual é feita a determinação dos custos prováveis para a execução da obra. O primeiro passo para realizar um projeto é estimar quanto ele irá custar.

Segundo Goldman (2004), quando um empreendedor decidir estudar um projeto, uma das primeiras informações que ele deseja conhecer é o orçamento da obra. Uma obra implica em gastos que precisam ser determinados. Em um empreendimento deve ser estudado a sua viabilidade em função do seu valor, independentemente se objetiva fins lucrativos ou não.

“Um orçamento pode ser definido como a determinação dos gastos necessários para a realização de um projeto, de acordo com um plano de execução previamente estabelecido, gastos esses traduzidos em termos quantitativos” (LIMMER, 2012, p. 86).

Mattos (2006), afirma que a estimativa dos custos é basicamente uma previsão. Se o orçamento for malfeito ocorrem imperfeições e frustrações de custo e prazo. O conhecimento detalhado do serviço é um dos requisitos básicos para um bom orçamentista.

Limmer (2012), estabelece algumas prioridades que devem ser atendidas por um orçamento de projeto:

- Servir para análise de rendimentos e recursos empregados na execução da obra;
- Estabelecer os custos de todas as atividades ou serviços;
- Ser instrumento de controle na execução do projeto, e fornecer informações para a elaboração de coeficientes confiáveis, buscando melhoria da competitividade e da capacidade da empresa no mercado;

- Servir como documento contratual, constituindo-se como base para o faturamento da empresa executora do empreendimento, e para eliminar dúvidas referentes à pagamentos.

O verdadeiro custo de um empreendimento é impossível de ser previsto de forma exata, porém, um trabalho bem executado pelo orçamentista, com auxílio de informações confiáveis e critérios bem estabelecidos, pode gerar um resultado preciso (MATTOS, 2006).

Segundo Mattos (2006), o orçamento é composto pelos custos diretos (material, mão de obra), custos indiretos (despesas gerais, taxas), e finalmente aplica-se os impostos e o lucro para assim obter o preço de venda. Em uma concorrência, o preço final não pode ser muito baixo a ponto de não permitir lucro, e não muito alto de forma que não seja competitivo com os demais proponentes.

Conforme Otero (2000) as estimativas de custo tendem a ser razoavelmente precisas devido à experiência quando se estudam projetos parecidos, porém, todo canteiro de obra possui suas próprias características, mesmo quando pertencentes a uma mesma empresa.

Ainda segundo o autor, diversos são os fatores que influenciam no orçamento, como o clima, prazo, cliente, quantidades, atrasos, falhas, alterações de projetos, inflação imprevista, tamanho e complexidade da obra, particularidades regionais, inovações tecnológicas, administração de contratos e políticas falhas, mão de obra, fornecedores, entre outros.

O custo de uma edificação depende de três fatores para sua formação: caracterização física, recursos materiais (consumo de materiais) e humanos (produtividade da mão de obra), e os custos relativos ao uso destes recursos. Cada um destes pode sofrer variações e o conjunto destas variações determina a incerteza global (OTERO, 2000).

## 2.3 ORÇAMENTOS DENTRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Mattos (2006) os orçamentos são divididos em três tipos: estimativa de custo, orçamento detalhado ou analítico, e orçamento preliminar.

### 2.3.1 Estimativa de custo

Para Mattos (2006) este tipo de orçamento proporciona uma ideia da ordem de grandeza do custo do empreendimento, no qual é feita uma avaliação baseada em custos históricos e na comparação com projetos similares. Geralmente é feita a partir de indicadores, números utilizados para uma primeira abordagem da faixa de custo da obra. Neste tipo a tradição representa um aspecto importante na estimativa.

Para utilizar este método são usadas fontes do custo por metro quadrado, como por exemplo: Custo Unitário Básico (CUB), Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), e Custos Unitários PINI de Edificações (CUPE).

Um indicador bastante usado é o custo por metro quadrado, sendo o Custo Unitário Básico (CUB) o mais utilizado. Cada construtora pode gerar seus próprios indicadores com o passar do tempo. A estimativa de custos não exclui a necessidade de se fazer o orçamento analítico (MATTOS, 2006).

- Custo Unitário Básico (CUB)

A Lei 4.591/64 atribuiu à Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) a tarefa de padronizar critérios para cálculo de custos unitários. A norma criada foi a NB-140, posteriormente substituída pela NBR 14.721: avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para incorporação de edifícios em condomínio. Os padrões de construção (baixo, normal e alto) dependem das condições do

acabamento, da qualidade do material utilizado e dos equipamentos existentes (MATTOS, 2006).

Os preços unitários dos insumos são resultados de pesquisas mensais feitas pelo SINDUSCON junto com construtoras, que fornecem informações dos valores praticados. Assim, o CUB é o resultado da mediana dos insumos representativos coletados junto às construtoras, multiplicada pelo peso atribuído conforme o padrão calculado. Estimar o custo de construção utilizando o CUB é relativamente fácil, bastando apenas buscar na tabela o valor do CUB correspondente ao padrão e multiplicá-lo pela área da construção (MATTOS, 2006).

- Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)

O SINAPI é indicado pelo Decreto 7983:2003 que define regras e critérios para a elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com recursos dos orçamentos da União, e dá outras providências.

A Caixa Econômica Federal – CEF, deverá manter o SINAPI segundo definições técnicas próprias de engenharia, juntamente com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e a pesquisa de preço realizada por este (BRASIL, 2013).

- Custo Unitário PINI de Edificações (CUPE)

Este método foi criado pela PINI e serve como uma referência paralela ao CUB. Apesar de possuírem índices distintos, estes não são muito diferentes entre si, ficando a critério do orçamentista enquadrar sua obra e verificar qual o índice que mais se adapta ao caso (MATTOS, 2006).

### **2.3.2 Orçamento detalhado ou analítico**

O orçamento detalhado ou analítico constitui de uma maneira mais precisa e detalhada de se prever o custo da obra. Neste método é realizada uma cuidadosa pesquisa de preços dos insumos, procurando chegar a um valor bem próximo do custo real. Além dos custos dos serviços (custos diretos), são verificados também os custos de manutenção do canteiro de obras, da equipe técnica, administrativa e de suporte à obra, dentre outros (custos indiretos), obtendo um valor coerente e preciso (MATTOS, 2006).

### **2.3.3 Orçamento preliminar**

Segundo Mattos (2006), neste tipo de orçamento utiliza-se uma quantidade maior de indicadores, apresentando uma certeza maior quanto em comparação com a estimativa de custos. A construtora pode gerar seus próprios indicadores apesar dos projetos arquitetônicos serem distintos, nota-se que os indicadores não variam muito.

Dentro dos tipos de orçamento preliminares existe um que merece destaque, sendo ele: relações paramétricas de custo.

- Relações paramétricas de custo

Conforme Parisotto (2003), as relações paramétricas interligam uma característica de natureza técnica do empreendimento a um determinado custo, sendo necessário que esta característica, denominada direcionador de custo, defina com clareza o produto em análise, e que mantenha uma boa interligação com o custo a ser levantado.

Para Otero (2000), este tipo de estimativa utiliza de relações sob a forma de algoritmos matemáticos ou lógicos para obter uma estimativa de custos. Este tipo de estimativa denomina-se Relações Paramétricas de Custo, variando de simples regras

informais ou analogias até funções matemáticas complexas da análise estatística de dados.

Dentro da Relação Paramétrica de Custo, é estabelecido uma ligação clara entre determinado custo e uma característica técnica do produto. Em uma definição específica, este tipo de relações são expressões matemáticas que descrevem a ligação entre valores de custo (variáveis dependentes) com os direcionadores de custo (variáveis independentes) que são parâmetros técnicos do produto (OTERO, 2000).

Ainda segundo o autor, a fragmentação do custo total em parcelas menores, utilizando direcionadores de custos específicos para cada uma das partes proporciona uma redução de erro ao método da estimativa.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentada a metodologia empregada para obtenção dos resultados, ou seja, como foi efetuada a coleta, processamento e análise dos dados levantados. Estes itens foram desenvolvidos através de uma caracterização da pesquisa (conforme sua finalidade), descrição da amostra (características físicas), coleta de dados (critério para o levantamento de quantitativos), e análise de dados (métodos estatísticos e numéricos).

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

No que se refere aos procedimentos técnicos a pesquisa pode ser classificada como do tipo documental, pois para se obter os resultados foram empregados documentos de autoria própria (de engenheiros da região Oeste do Paraná). Estes documentos são projetos de galpões industriais, armazéns e salas comerciais.

Do ponto de vista de Gil (1996), conforme a finalidade, esta pesquisa pode ser classificada sendo do tipo quantitativa, pois considera números e informações para classificá-los pelo uso de métodos estatísticos. Em particular, neste trabalho serão utilizadas as médias aritméticas e regressões lineares, que são métodos estatísticos.

#### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A amostra é composta por 37 projetos de estruturas metálicas de: galpões industriais, armazéns e salas comerciais, com foco nas estruturas de cobertura. Os projetos são de diferentes projetistas da região de Toledo e Cascavel, localizadas no estado do Paraná.

As principais características dos projetos analisados são:

- Formato: retangular;
- Área de projeção: entre 116,40 m<sup>2</sup> e 4656,64 m<sup>2</sup>;

- Largura: entre 6,40 m e 42,80 m;
- Comprimento: entre 11,50 m e 108,80 m;
- Pé direito: entre 3,50 m e 12,00 m;
- Tipo de cobertura: uma água, duas águas e em formato de arco.

### 3.3 COLETA DE DADOS

Elaborou-se o levantamento de dados através da identificação dos perfis especificados nos projetos. Como por exemplo, o perfil U 100X40#3,00, possui a alma com um comprimento de 100 mm, as abas com 40 mm, e as espessuras destes dois elementos igual a 3,00 mm. Partindo destas informações calculou-se a área da seção transversal. Também se obteve o comprimento dos perfis através da medição nos projetos.

Após obtidos os comprimentos totais dos diversos tipos de perfis utilizados na estrutura e das áreas das seções transversais, multiplicou-se estes valores para obter o volume de aço utilizado. Depois de obtido o volume do aço, multiplicou-se pela sua densidade de  $7850 \text{ kg/m}^3$  ou  $7,85 \text{ g/cm}^3$  para obter a massa total referente a este item para cada projeto em análise.

Para as chapas de cobertura, mediu-se sua largura e seu comprimento real (não em projeção) e multiplicou-se estes valores entre si para obter a área de chapas necessárias.

Referente ao material das chapas, padronizou-se os projetos utilizando a mesma chapa, elaborada de Aluzinco com EPS pela Regional telhas, no formato Trapezoidal RT 10/1090 (0,43 mm) e com densidade de  $3,55 \text{ kg/m}^2$ . Assim, multiplicou-se a densidade pela área para obter a massa total deste item para cada projeto em análise.

Para as calhas, mediu-se a sua largura e seu comprimento e efetuou-se o produto entre estes dois itens para obter o valor da área. Como material utilizou-se Chapa laminada a frio Soufer com densidade de  $3,2 \text{ kg/m}^2$ . Assim, multiplicou-se a densidade pela área para obter a massa total deste item para cada projeto em análise.

Com o valor das áreas e das massas, obteve-se os pares ordenados para poder inserir no gráfico afim de efetuar a análise dos dados para cada indicador.

### 3.4 ANÁLISE DE DADOS

Os dados foram coletados e relacionados às áreas construídas, e posteriormente foram submetidos à análise de regressão linear através de planilhas eletrônicas, com objetivo de gerar os indicadores propostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Indicadores a serem gerados

Elemento		Função	Variável independente	Unidade
Agulha	Ambas	Estrutural	Área de projeção em planta	kg/m <sup>2</sup>
	Barra redonda			
	Perfil L			
Terça		Estrutural		kg/m <sup>2</sup>
Contraventamento		Estrutural		kg/m <sup>2</sup>
Chapas de cobertura		Tapamento		kg/m <sup>2</sup>
				m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Calha		Captação pluvial		kg/m <sup>2</sup>
				m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
				m/m <sup>2</sup>
Tesoura	Banzo superior	Estrutural		kg/m <sup>2</sup>
	Banzo inferior			
	Montante			
	Diagonal			
	Total			
Aço estrutural da cobertura		Estrutural	kg/m <sup>2</sup>	
Total da cobertura		Variada	kg/m <sup>2</sup>	

Fonte: Autor.

Os indicadores foram elaborados através de análises de regressões lineares, análises estatísticas, mais especificamente utilizando de médias aritméticas, variância, desvio padrão e coeficiente de variação.

Segundo Barroso et al. (1987), o modelo que relaciona de forma mais simples duas variáveis  $X$  e  $Y$  é a Equação (1)

$$Y = b_0 + b_1X \quad (1)$$

onde  $b_0$  e  $b_1$  são os parâmetros,  $X$  é a variável independente (área ou altura do empreendimento), e  $Y$  é a variável dependente (indicador).

Esses parâmetros são calculados pelas Equações (2) e (3):

$$b_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2)$$

$$b_0 = \frac{\sum y_i - (\sum x_i) b_1}{n} \quad (3)$$

A análise dos dados foi realizada com auxílio de planilhas eletrônicas.

Ainda conforme o autor, o coeficiente de determinação é um modo para medir a qualidade do ajuste linear simples e pode ser obtido pela Equação (4)

$$R^2 = \frac{[\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}]^2}{[\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}] [\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}]} \quad (4)$$

sendo  $0 \leq R^2 \leq 1$ .

Melhor será o ajuste, conforme o coeficiente de determinação estiver mais próximo de 1 (BARROSO et al., 1987).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é entendido como a proporção da variação de  $y$ , sendo este ficando entre 0 e 1. Quanto maior o valor do  $R^2$ , mais precisa será a equação de regressão, porém, um coeficiente de determinação com valor acima de 0,8 é aceitável (SOCIEDADE INTERNACIONAL DE ANALISTAS PARAMÉTRICOS, 1995).

Do ponto de vista de Andrade e Ogliari (2013), a média aritmética é o somatório dos valores observados de uma variável dividido pelo número deles, conforme a Equação (5)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (5)$$

onde:  $\bar{X}$  é a média aritmética;

$\sum X$  é o somatório dos valores observados;

$n$  é o número total de dados observados.

Segundo Costa (2011), desvio padrão é a diferença entre cada valor observado na distribuição e sua média, conforme a Equação (6)

$$d_i = (\bar{X} - X) \quad (6)$$

onde:  $d_i$  é o desvio padrão;

$\bar{X}$  é a média aritmética;

$X$  é o valor observado.

Conforme Andrade e Ogliari (2013), o princípio básico para o cálculo da variância e do desvio padrão é a análise dos desvios em relação à média aritmética. A variância é a média aritmética dos desvios em relação à média, ao quadrado, conforme a Equação (7)

$$S^2 = \frac{\sum d_i^2}{n-1} \quad (7)$$

onde:  $S^2$  é a variância;

$\sum d_i^2$  é o somatório dos desvios ao quadrado;

$n$  é o número de itens da amostra.

Para Barbetta (2010) a variância e o desvio padrão complementam a informação contida na média aritmética, avaliando a dispersão do conjunto de valores analisados. De modo a evitar problema de desvios negativos, trabalha-se com desvios quadráticos, conforme apresentado na Equação (7).

Segundo Costa (2011), o desvio-padrão é a raiz quadrada da variância, permitindo assim, que a unidade de medida fique igual à da variável original, conforme a Equação (8)

$$S_x = \sqrt{S^2} \quad (8)$$

onde:  $S_x$  é o desvio-padrão;

$S^2$  é a variância.

Do ponto de vista de Barbetta (2010) o desvio-padrão mede a dispersão em termos absolutos, e o coeficiente de variação mede a variação em termos relativos.

Conforme Costa (2011), o coeficiente de variação é a razão percentual entre o desvio-padrão e a média, conforme a Equação (9)

$$CV = \frac{S_x}{\bar{X}} \cdot 100\% \quad (9)$$

onde:  $CV$  é o coeficiente de variação;

$S_x$  é o desvio padrão;

$\bar{X}$  é a média aritmética.

Ainda segundo Costa (2011), o coeficiente de variação pode ser classificado em três faixas: baixa dispersão ( $CV \leq 15\%$ ), média dispersão ( $15\% \leq CV \leq 30\%$ ) e alta dispersão ( $CV > 30\%$ ). Na faixa de baixa e alta dispersão, os dados são considerados homogêneos e muito heterogêneos, respectivamente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

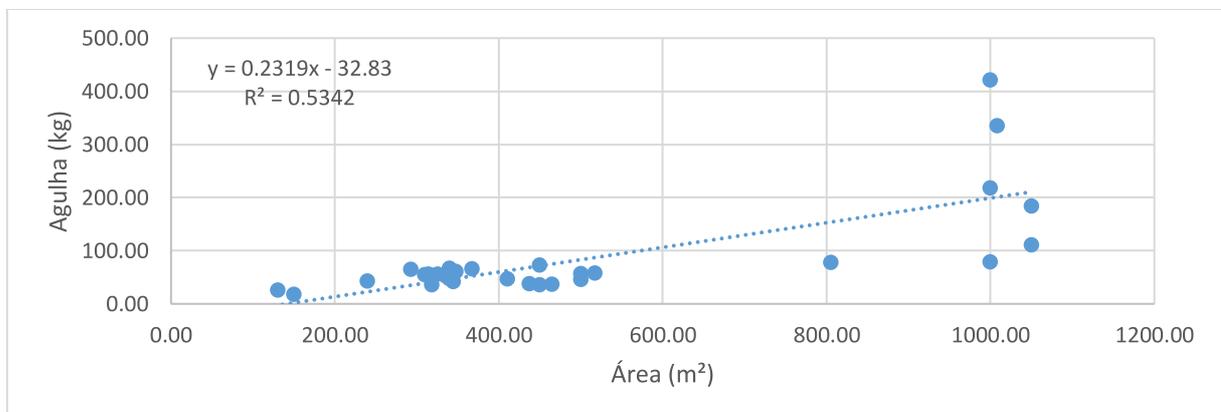
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos após a análise dos dados, ou seja, os indicadores propostos no capítulo anterior. No Anexo Q são apresentados os resumos dos quantitativos dos projetos. Esses dados foram utilizados para gerar os indicadores apresentados a seguir. No Anexo R são apresentados os resumos dos dados estatísticos analisados.

### 4.1 QUILOGRAMAS DE AGULHA POR METRO QUADRADO (KG/M<sup>2</sup>)

Este indicador relaciona a massa total das agulhas utilizadas na estrutura de cobertura e a área de projeção da cobertura. Antes de efetuar as primeiras análises, selecionou-se os projetos. Foram retirados três projetos (06, 10 e 33) das análises, visto que possuem áreas superiores a 1500m<sup>2</sup>. Desta forma, para os indicadores apresentados neste trabalho, considerou-se uma amostra de 34 projetos, com áreas variando entre 116,40 e 1050,00 m<sup>2</sup>.

A Figura 12 apresenta a análise para a massa total das agulhas e a área da cobertura.

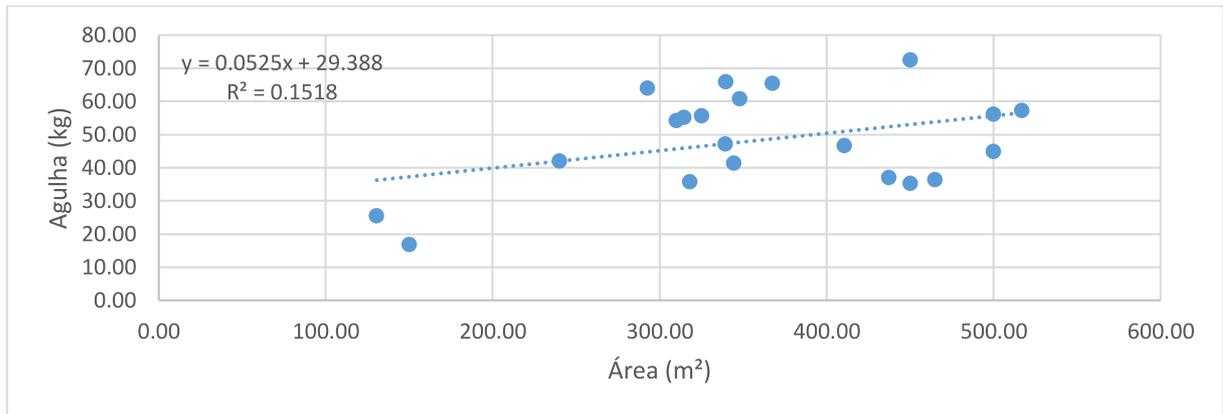
Figura 10 - Relação entre a massa das agulhas e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Analisando a Figura 12, é possível perceber que alguns projetos acima de 600m<sup>2</sup> possuem um comportamento diferente. Sendo assim, foram analisados apenas os projetos até 600m<sup>2</sup>. Esta análise é apresentada na Figura 13.

Figura 11 - Relação entre a massa das agulhas e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)

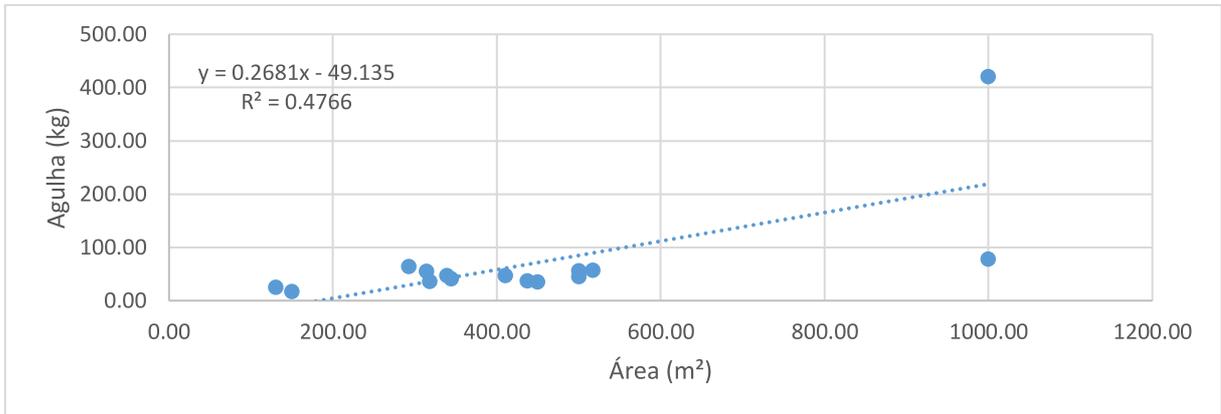


Fonte: Autor.

Como é possível constatar um comportamento heterogêneo dos dados na Figura 13, com baixo coeficiente de correlação, foram analisados os dados de acordo com os tipos de agulhas. Isso porque os projetos possuíam dois tipos de agulhas: em perfil “L” e em barras redondas. Devido a isso, optou-se por dividir a população em 2 amostras.

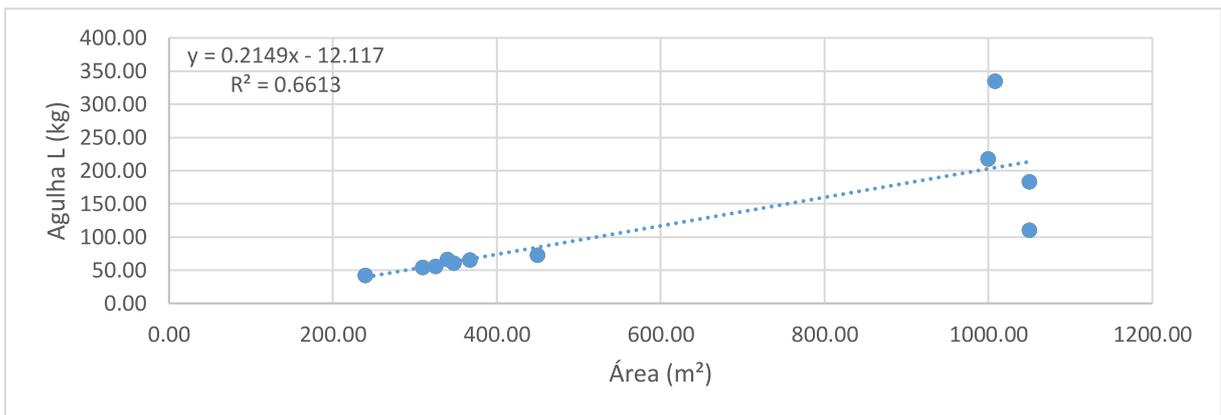
Após separadas as amostras, efetuou-se as análises para cada tipo de agulha, obtendo assim as primeiras análises, conforme Figuras 14 e 15.

Figura 12 - Relação entre a massa das agulhas em barra redonda e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor

Figura 13- Relação entre a massa das agulhas em perfil "L" e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Com isto, constatou-se que os pontos com áreas próximas a 1000,00 m<sup>2</sup> encontravam-se afastados da maioria, assim, optou-se por sua exclusão. Com isso, obtiveram-se as equações apresentadas na Tabela 3. Os gráficos das análises estão apresentados nos Apêndice A e B.

Tabela 2 - Resultados das análises da massa das agulhas

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas de agulha redonda por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise Y=0,2681x-49.135	130,53 a 1000,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,4766 CV=61,45% Média=0,14Kg/m <sup>2</sup>	16
	Segunda Análise Y=0,0534x+23.013	130,53 a 517,14 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,2563 CV=36.32% Média=0,12Kg/m <sup>2</sup>	14
Quilogramas de agulha em perfil L por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise Y=0,2149x-12,117	240,00 a 1000,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,6613 CV=28.83% Média=0,19Kg/m <sup>2</sup>	11
	Segunda Análise Y=0,1488x+8,7681	240,00 a 450,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,8881 CV=5.56% Média=0,18Kg/m <sup>2</sup>	7

Fonte: Autor.

Após divisão dos projetos que possuem tipos de agulhas diferentes, foram efetuadas análises de regressões. Com a retirada dos dados espúrios (como podem ser vistos nos gráficos apresentados nos Apêndices A e B), foram obtidos dados que atendem os parâmetros em relação a análise do coeficiente de correlação acima de 0,80 e coeficiente de variação abaixo de 30%, para as agulhas em perfil “L”. Porém, foi preciso efetuar a retirada de grande parte dos dados, resultando em uma amostra com menos de 10 projetos.

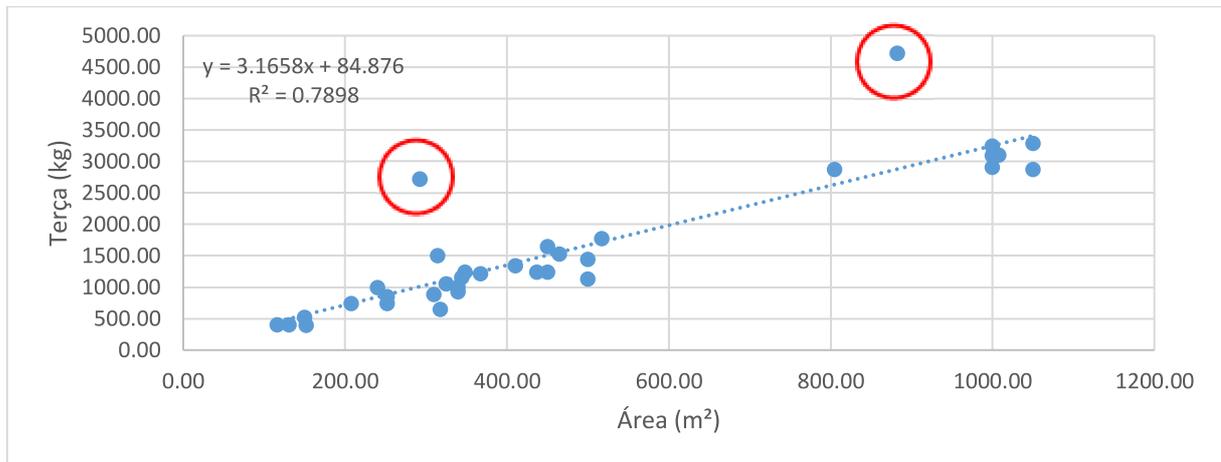
Para projetos com barras redondas o coeficiente de correlação encontrado mostra que a quantidade em Kg deste indicador não pode ser explicada pela área da projeção da cobertura, como pode ser visto pelos dados apresentados na Tabela 3.

#### 4.2 QUILOGRAMAS DE TERÇA POR METRO QUADRADO (KG/M<sup>2</sup>)

Para efetuar a análise desse indicador, inicialmente utilizou-se os 34 projetos. Na primeira análise o R<sup>2</sup> apresentou um valor de 0,7898, porém o CV ficou acima do limite máximo, apresentando um valor de 35,06 %.

Para aprimorar os resultados, removeu-se dois pontos considerados espúrios, indicados na Figura 16. Os gráficos das análises podem ser vistos no Apêndice C. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para a relação entre a terça e a área de projeção da cobertura.

Figura 14 - Relação entre a massa das terças e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Tabela 3 - Resultados das análises da massa das terças

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas de terça por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise $Y=3,1658x+84,876$	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	$R^2=0,7898$ $CV=35,06\%$ Média=3,39Kg/m <sup>2</sup>	34
	Segunda Análise $Y=3,0058x+50,46$	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	$R^2=0,9542$ $CV=15,89\%$ Média=3,15Kg/m <sup>2</sup>	32

Fonte: Autor.

Ao analisar os resultados da Tabela 4, pode-se notar que a amostra sofreu uma perda de dois projetos para poder atender aos critérios do  $R^2$  e do CV.

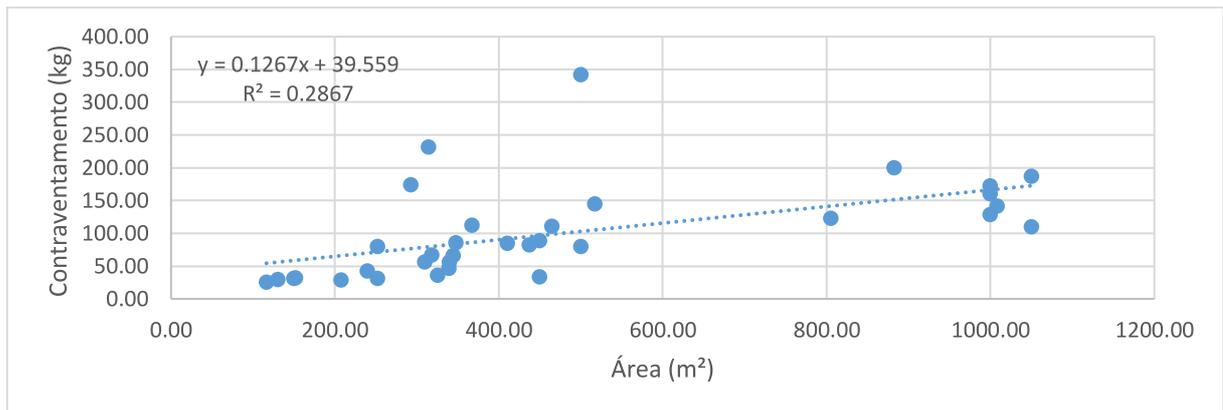
Para este caso a área de validação da equação na segunda análise varia de 116,40 a 1050,00 m<sup>2</sup>. Analisando a relação para este indicador, ou seja, Kg de terça por metro quadrado de cobertura, é possível constatar que, para os 32 projetos analisados, a equação apresentada na segunda análise atende a todos os parâmetros. Com isso, a equação apresentada poderia ser utilizada para levantamento preliminar de custo deste indicador.

### 4.3 QUILOGRAMAS DE CONTRAVENTAMENTO POR METRO QUADRADO (KG/M<sup>2</sup>)

Este indicador relaciona a massa total dos contraventamentos e a área de projeção da cobertura, conforme pode ser observado no Apêndice D.

Na primeira análise têm-se 34 projetos, que após efetuada a análise de regressão linear simples, obteve o R<sup>2</sup> de 0,2867, e um CV de 64,64% caracterizando-a como heterogênea (Figura 17).

Figura 15 - Relação entre a massa do contraventamento e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Pode-se notar que existem três pontos deslocados dos demais. Neste sentido, optou-se por remover estes pontos e efetuar uma segunda análise. A Tabela 5, apresenta os resultados das análises para o contraventamento.

Tabela 4 - Resultados das análises da massa dos contraventamentos

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas de contraventamento por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise Y=0,1267x+39,559	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,2867 CV=64,64% Média=0,23Kg/m <sup>2</sup>	34
	Segunda Análise Y=0,142x+16,317	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,7454 CV=28,83% Média=0,19Kg/m <sup>2</sup>	31

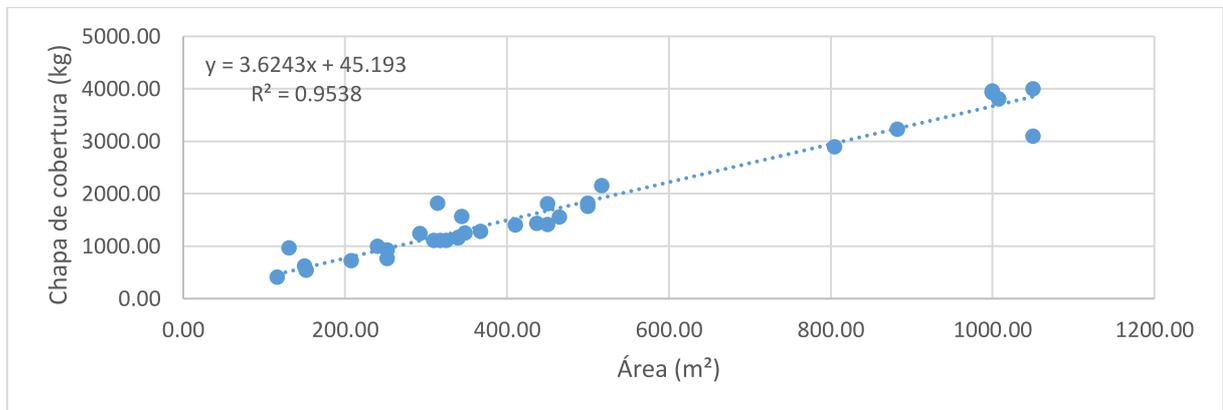
Fonte: Autor.

Conforme os dados apresentados na Tabela 5, pode-se observar que após a retiradas dos três pontos citados anteriormente, o CV diminuiu, passando a ser classificado como média dispersão. O  $R^2$  chegou próximo ao valor de 0,8, considerado como ideal.

#### 4.4 QUILOGRAMAS DE CHAPAS DE COBERTURA POR METRO QUADRADO (KG/M<sup>2</sup>)

Para este indicador efetuou-se 1 análise. As relações entre a massa das chapas de cobertura por metro quadrado de projeção de cobertura (Kg/m<sup>2</sup>) é apresentada na Figura 18 e no Apêndice E.

Figura 16 - Relação entre a massa das chapas de cobertura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Devido ao gráfico apresentar um comportamento padronizado, e os valores de  $R^2$  e CV estarem dentro dos intervalos aceitáveis não foi retirado nenhum projeto. Os resultados da análise estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 - Resultados da análise da massa das chapas de cobertura

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas de chapas de cobertura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise Y=3,379x+142,8	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,9538 CV=20,91% Média=3,80Kg/m <sup>2</sup>	34

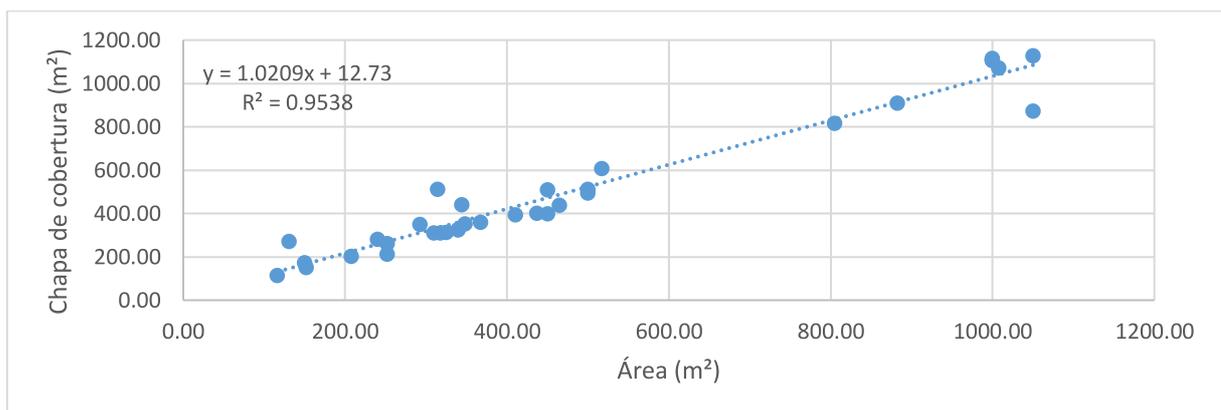
Fonte: Autor.

Desta forma, o indicador pode ser utilizado para elaboração de estimativas preliminares de custo, pois apresentou-se dentro dos parâmetros estatísticos aceitáveis.

#### 4.5 ÁREA DE CHAPAS DE COBERTURA POR METRO QUADRADO (M<sup>2</sup>/M<sup>2</sup>)

Este indicador relaciona a área das chapas de cobertura e a área de projeção da cobertura. Da mesma forma que para o indicador apresentado anteriormente foi necessário realizar apenas uma análise (Figura 19 e o Apêndice F).

Figura 17 - Relação entre a área das chapas de cobertura e a área construída – 1ª análise (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Devido ao gráfico apresentar um comportamento padronizado, e os valores de R<sup>2</sup> e CV estarem dentro dos intervalos aceitáveis não se efetuou a exclusão de nenhum item. Os resultados obtidos ao analisar os gráficos encontram-se na Tabela 7.

Tabela 6 - Resultados da análise da área das chapas de cobertura

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Área de chapas de cobertura por metro quadrado (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Primeira Análise Y=1,0209x+12,73	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,9538 CV=20,92% Média=1,07m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	34

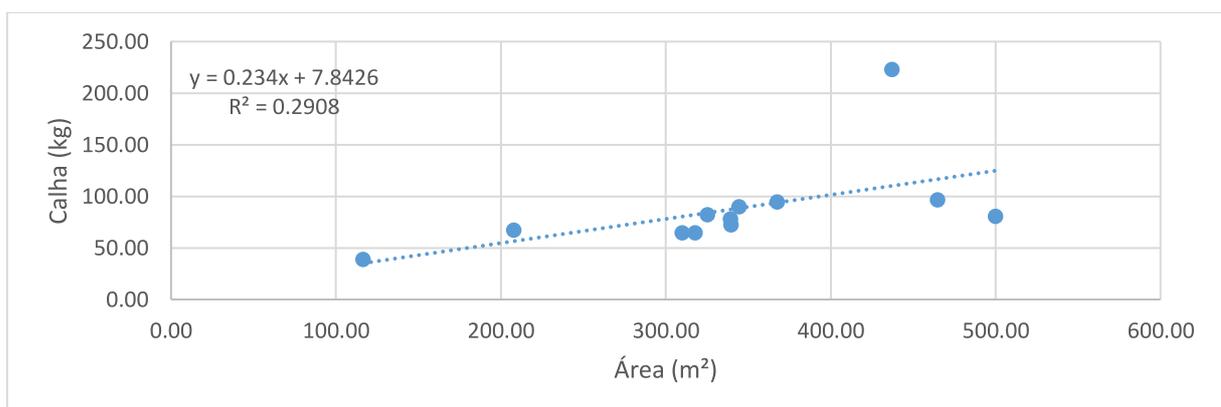
Fonte: Autor.

Os resultados obtidos para esse indicador podem ser justificados pelo fato de que a área de cobertura possui uma leve inclinação em relação a área de projeção. Ou seja, a área de chapas é semelhante a área da cobertura.

#### 4.6 QUILOGRAMAS DE CALHA POR METRO QUADRADO (KG/M<sup>2</sup>)

Neste indicador é relacionada a massa das calhas com a área de projeção da cobertura. O gráfico da primeira análise apresenta-se na Figura 20 e os gráficos obtidos para todas as análises podem ser observados no Apêndice G. Foram efetuadas 2 análises para este item, e obteve-se os resultados apresentados na Tabela 8.

Figura 18 - Relação entre a massa das calhas e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Ao analisar o gráfico da Figura 20, optou-se por excluir o ponto que apresenta massa acima de 200,00 kg por apresentar comportamento diferenciado dos demais.

Tabela 7 - Resultados das análises da massa das calhas

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas de calha por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise Y=0,234x+7,8426	116,40 a 500,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,2908 CV=33,97% Média=0,26Kg/m <sup>2</sup>	12
	Segunda Análise Y=0,1249x+33,673	116,40 a 500,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,6237 CV=20,41% Média=0,24Kg/m <sup>2</sup>	11

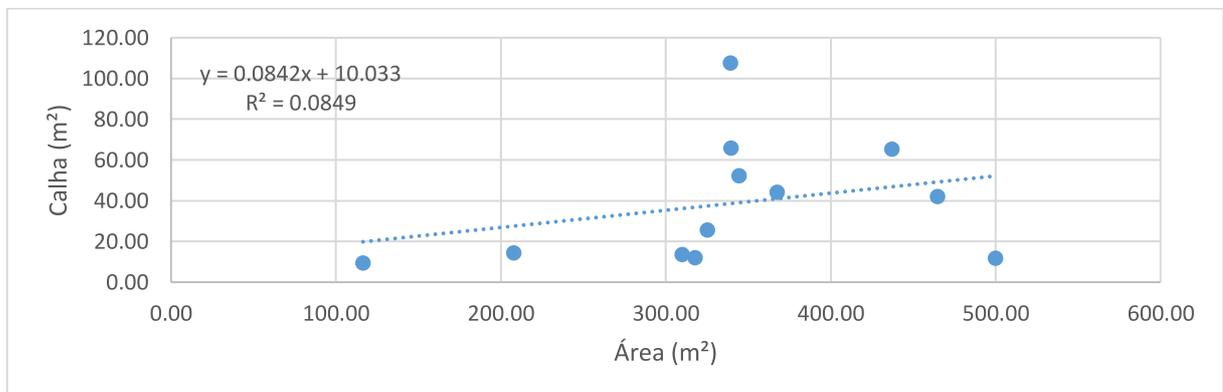
Fonte: Autor.

Estas análises possuem poucos dados pois dentre todos os 37 projetos, somente 13 possuíam especificações sobre a calha e um destes foi removido no início das análises pois possuía uma área acima de 1000m<sup>2</sup>, resultando em apenas 12 projetos. Na segunda análise o CV foi atendido, porém o R<sup>2</sup> ficou abaixo de 0,80. Ao analisar o comportamento dos pontos, optou-se por não remover mais nenhum dado, em função do comportamento dos dados demonstrar a dispersão de todos os pontos.

#### 4.7 ÁREA DE CALHA POR METRO QUADRADO (M<sup>2</sup>/M<sup>2</sup>)

Este indicador relaciona a área das calhas com a área de projeção da cobertura. Foram efetuadas duas análises, conforme apresentado no Apêndice H. A Figura 21 apresenta o gráfico da primeira análise.

Figura 19 - Relação entre a área das calhas e a área construída – 1ª análise (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Conforme pode-se observar na Figura 21 os pontos apresentavam-se muito dispersos, não permitindo a seleção de uma amostra representativa, decidiu-se remover o ponto com valor de área de calha acima de 100,00 m<sup>2</sup> na tentativa de melhorar a análise. A Tabela 9 apresenta os resultados das análises efetuadas.

Tabela 8 - Resultados das análises da área das calhas

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Área de calha por metro quadrado (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Primeira Análise Y=0,0842x+10,033	116,40 a 500,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,0849 CV=71,58% Média=0,11m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	12
	Segunda Análise Y=0,0841x+3,8047	116,40 a 500,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,1739 CV=56,66% Média=0,09m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	11

Fonte: Autor.

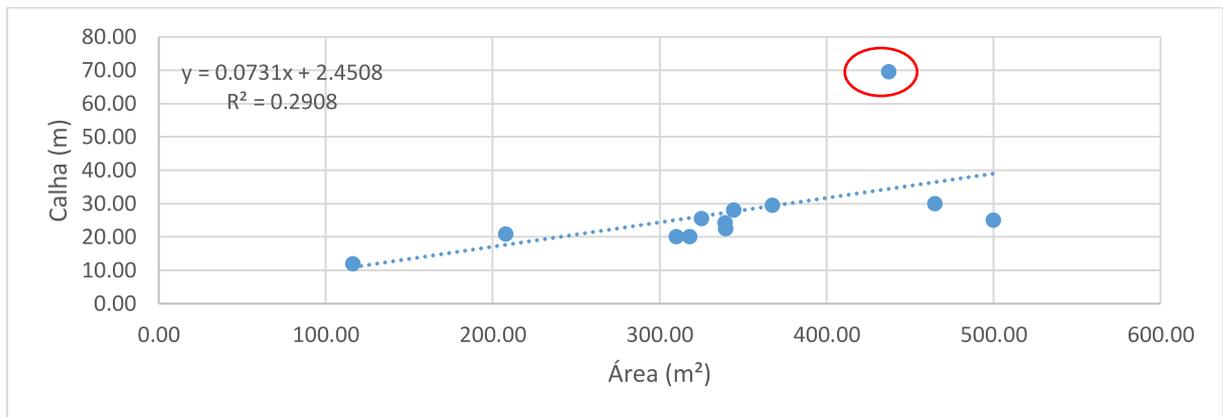
Desta forma, pode-se observar que em nenhuma das análises os critérios foram atendidos para que a equação possa ser representativa da amostra, impedindo assim a sua utilização como fonte confiável.

#### 4.8 COMPRIMENTO DE CALHA PO METRO QUADRADO (M/M<sup>2</sup>)

Foram realizadas duas análises para este indicador que relaciona o comprimento das calhas com a área de projeção da cobertura, conforme pode ser observado no Apêndice I.

A amostra inicial era composta por 12 projetos (conforme Figura 22) e não atendia a nenhum dos critérios como R<sup>2</sup> e CV. Então, optou-se por remover um ponto com comprimento próximo de 70,00 m para efetuar nova análise (ponto indicado na Figura 22)

Figura 20 - Relação entre o comprimento das calhas e a área construída – 1ª análise (m/m²)



Fonte: Autor.

Com isto, a segunda análise ficou com 11 projetos e atendendo somente ao valor de CV. A Tabela 10 apresenta os resultados destas análises.

Tabela 9 - Resultados das análises do comprimento das calhas

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Comprimento de calha por metro quadrado (m/m²)	Primeira Análise $Y=0,0731x+2,4508$	116,40 a 500,00 m²	$R^2=0,2908$ CV=35,36% Média=0,08m/m²	12
	Segunda Análise $Y=0,039x+10,523$	116,40 a 500,00 m²	$R^2=0,6237$ CV=20,20% Média=0,07m/m²	11

Fonte: Autor.

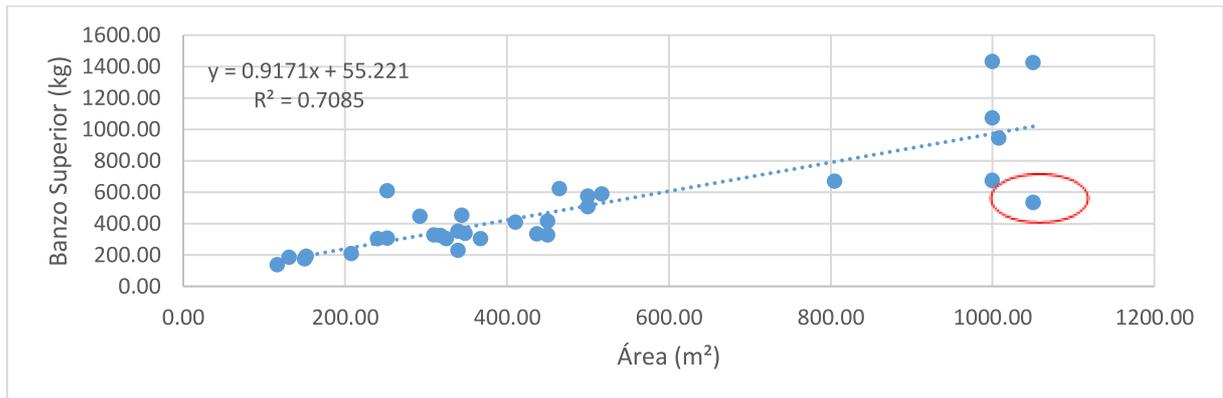
Desta forma, não é aconselhável o uso desta equação para levantamento preliminar dos quantitativos.

#### 4.9 QUILOGRAMAS DE BANZO SUPERIOR DA TESOURA POR METRO QUADRADO (KG/M²)

Neste indicador é relacionada a massa do banzo superior das tesouras com a área de projeção da cobertura. Foram efetuadas duas análises afim de verificar se os resultados estariam dentro dos parâmetros preestabelecidos do  $R^2$  e do CV. O

gráfico da primeira análise se apresenta na Figura 23 e os gráficos de todas as análises encontram-se no Apêndice J. Os resultados das análises apresentam-se na Tabela 11.

Figura 21 - Relação entre a massa do banzo superior da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Para obter os resultados da segunda análise optou-se por remover o ponto indicado na Figura 23. Desta forma, os valores de  $R^2$  e do CV encontram-se muito próximos dos limites para aceitação da equação da segunda análise. Os pontos apresentam um padrão, por isto optou-se por não remover a nuvem de dados acima da área de 1000,00 m<sup>2</sup>.

Tabela 10 - Resultados das análises da massa do banzo superior

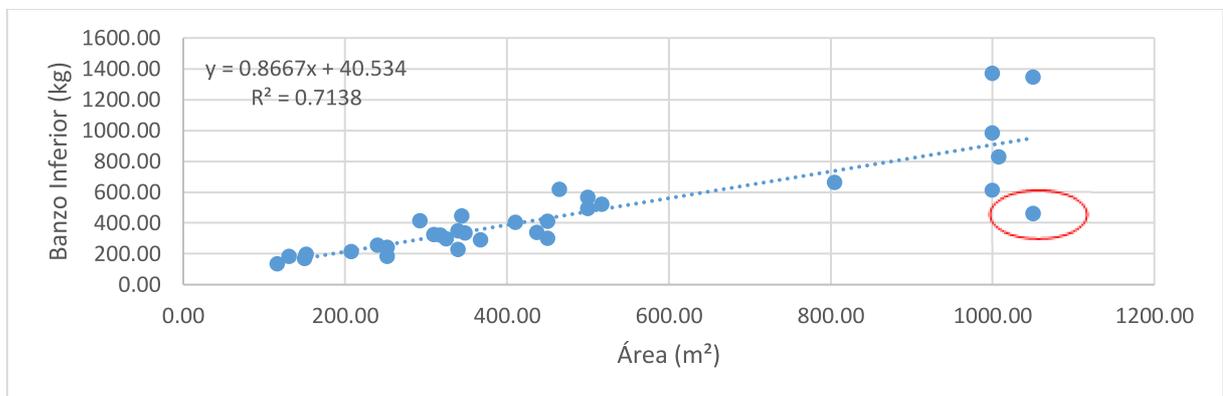
Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas de banzo superior da tesoura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise $Y=0,9171x+55,221$	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	$R^2=0,7085$ CV=30,79% Média=1,09Kg/m <sup>2</sup>	32
	Segunda Análise $Y=1,0372x+16,407$	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	$R^2=0,7939$ CV=29,18% Média=1,11Kg/m <sup>2</sup>	31

Fonte: Autor.

#### 4.10 QUILOGRAMAS DE BANZO INFERIOR DA TESOURA POR METRO QUADRADO (KG/M<sup>2</sup>)

Neste indicador é relacionada a massa do banzo inferior das tesouras com a área de projeção da cobertura, conforme Apêndice K. Efetuou-se duas análises, sendo a primeira (Figura 24) com todos os projetos e a segunda após a remoção do mesmo ponto descrito no item anterior.

Figura 22 - Relação entre a massa do banzo inferior da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Os resultados das análises estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 11 - Resultados das análises da massa do banzo inferior

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas de banzo inferior da tesoura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise $Y=0,8667x+40,534$	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	$R^2=0,7138$ $CV=23,97\%$ Média=0,99Kg/m <sup>2</sup>	32
	Segunda Análise $Y=0,9855x+1,1865$	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	$R^2=0,8129$ $CV=21,62\%$ Média=1,01Kg/m <sup>2</sup>	31

Fonte: Autor.

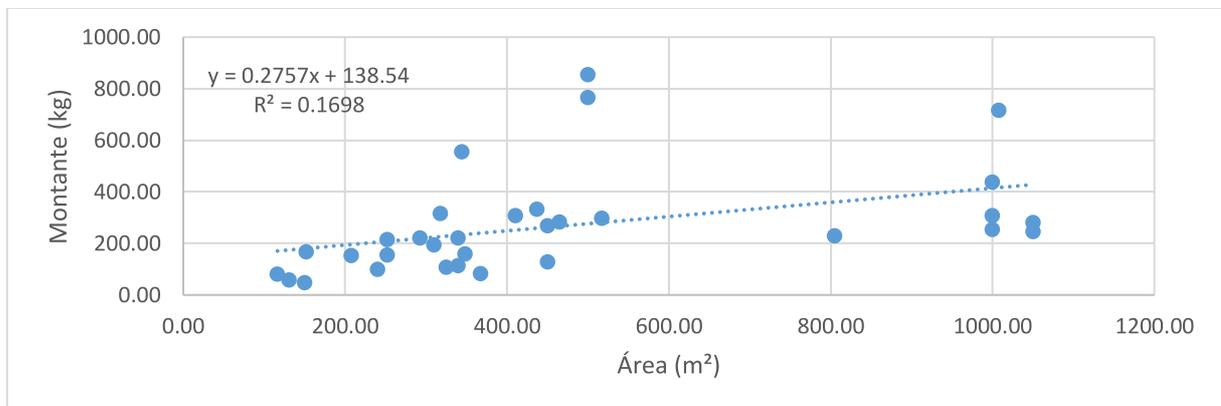
Assim, a análise final é composta por 31 projetos no qual suas áreas variam de 116,40 m<sup>2</sup> a 1050,00 m<sup>2</sup>. Obteve-se uma média de 1,01 kg/m<sup>2</sup>, com um coeficiente de variação de 21,62 %, caracterizando uma amostra com média dispersão. Em

relação ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ) nota-se um valor igual a 0,8129, sendo um valor aceitável. Para este indicador a equação pode ser considerada confiável para estimativa preliminar.

#### 4.11 QUILOGRAMAS DE MONTANTE DA TESOURA POR METRO QUADRADO (KG/M<sup>2</sup>)

Este indicador apresenta uma relação entre a massa do montante das tesouras com a área de projeção da cobertura, conforme apresentado no Apêndice L. Efetuou-se duas análises, porém em nenhum dos casos obteve-se resultados aceitáveis. A primeira análise é apresentada na Figura 25. A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos.

Figura 23 - Relação entre a massa do montante da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Tabela 12 - Resultados das análises da massa dos montantes

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas de montante da tesoura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise $Y=0,2757x+139,54$	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	$R^2=0,1698$ CV=61,29% Média=0,63Kg/m <sup>2</sup>	32
	Segunda Análise $Y=0,2044x+111,01$	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	$R^2=0,4026$ CV=44,41% Média=0,53Kg/m <sup>2</sup>	28

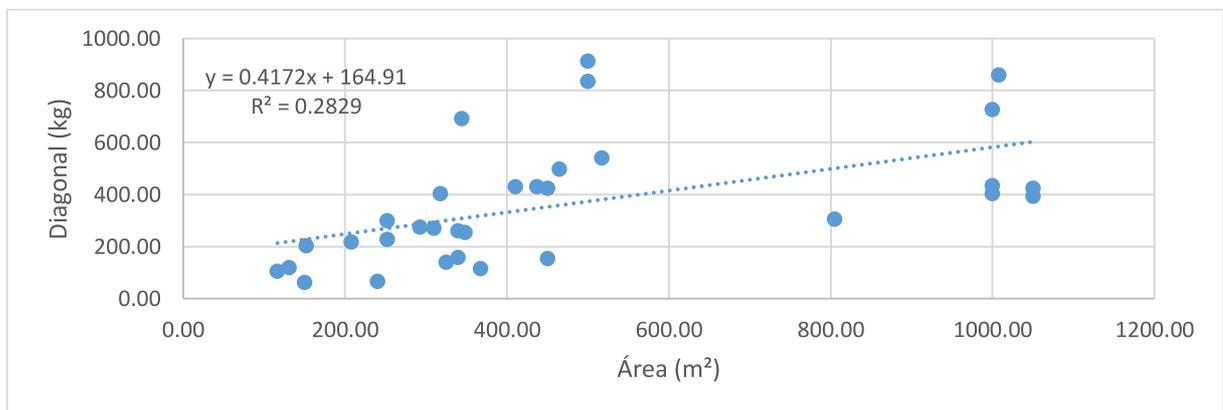
Fonte: Autor.

Apesar da exclusão de alguns pontos ter melhorado o  $R^2$  e o CV, estes não apresentam valores aceitáveis, pois a amostra demonstra uma grande dispersão entre os pontos, impedindo assim a utilização da equação para uma estimativa preliminar confiável.

#### 4.12 QUILOGRAMAS DE DIAGONAL DA TESOURA POR METRO QUADRADO (KG/M<sup>2</sup>)

Neste indicador é relacionada a massa das diagonais das tesouras com a área de projeção da cobertura. Foi efetuada apenas 1 análise, pois nesta já foi possível perceber a dispersão dos dados. O gráfico elaborado para este indicador apresenta-se na Figura 26 e no Apêndice M, e o resultados desta análise estão apresentados na Tabela 14.

Figura 24 - Relação entre a massa da diagonal da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Tabela 13 - Resultados das análises da massa das diagonais

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas de diagonal da tesoura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise Y=0,4172x+164,91	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,2829 CV=51,47% Média=0,85Kg/m <sup>2</sup>	32

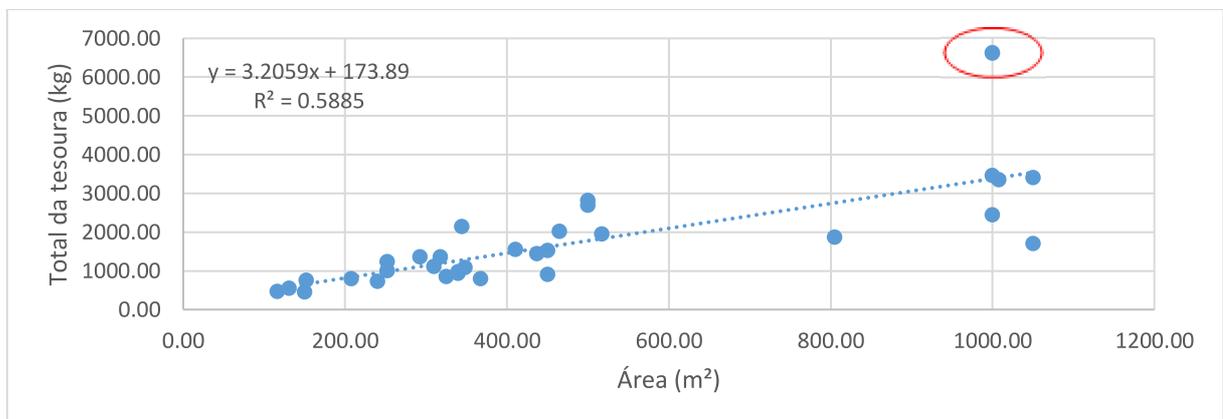
Fonte: Autor.

Ambos os critérios de avaliação  $R^2$  e CV não foram atendidos, e através da análise do gráfico constatou-se uma grande dispersão dos dados, não sendo necessário remover alguns pontos para uma possível melhora significativa nos resultados, conseqüentemente não garantindo a confiabilidade da equação gerada.

#### 4.13 QUILOGRAMAS DE TESOURA POR METRO QUADRADO (KG/M<sup>2</sup>)

Este indicador relaciona a massa total das tesouras com a área de projeção da estrutura. Efetuou-se 2 análises para este indicador, sendo que na segunda, obteve-se valor aceitável somente do CV. Na Figura 27 pode-se observar o gráfico da primeira análise.

Figura 25 - Relação entre a massa do total da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Na segunda análise optou-se por remover da amostra o ponto com massa acima de 6000,00 kg, pois encontrava-se deslocado dos demais. No Apêndice N apresentam-se as análises efetuadas. Na Tabela 15 pode-se observar os resultados dos gráficos elaborados.

Tabela 14 - Resultados das análises da massa das tesouras

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas do total da tesoura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise Y=3,2059x+173,89	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,5885 CV=31,91% Média=3,68Kg/m <sup>2</sup>	32
	Segunda Análise Y=2,4958x+393,32	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,6632 CV=29,72% Média=3,59Kg/m <sup>2</sup>	31

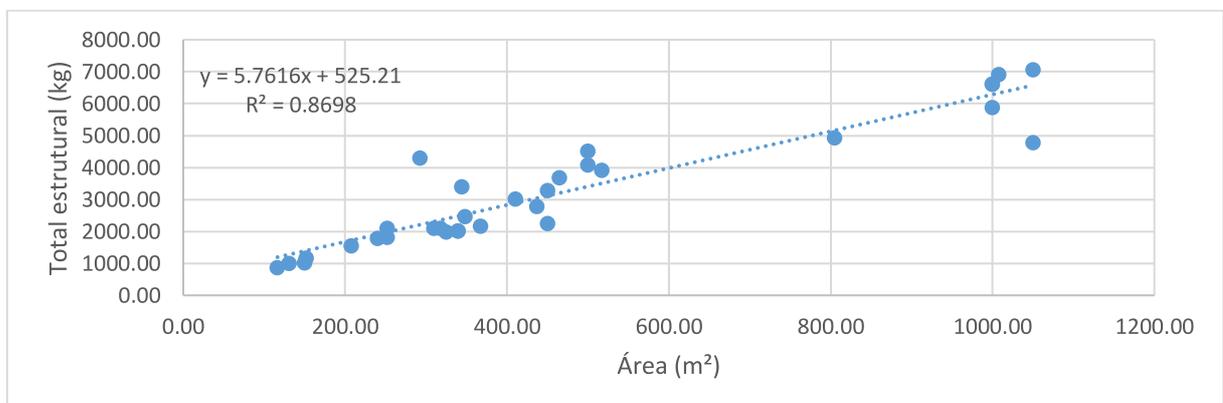
Fonte: Autor.

Desta forma, os dados encontram-se muito dispersos, de certa forma que para obter resultados aceitáveis de CV e R<sup>2</sup>, seria necessário a exclusão de uma parte significativa da amostra. Assim, estas equações não são recomendadas para uma estimativa preliminar.

#### 4.14 QUILOGRAMAS DE AÇO ESTRUTURAL DA COBERTURA POR METRO QUADRADO (KG/M<sup>2</sup>)

Para este indicador que relaciona a massa total dos elementos da cobertura (com função estrutural) com a área de projeção da cobertura, foram realizadas 2 análises afim de obter uma equação representativa. A Figura 28 apresenta o gráfico da primeira análise.

Figura 26 - Relação entre a massa do total estrutural e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Os gráficos das análises efetuadas encontram-se no Apêndice O, e os resultados destas estão na Tabela 16.

Tabela 15 - Resultados das análises da massa do aço estrutural da cobertura

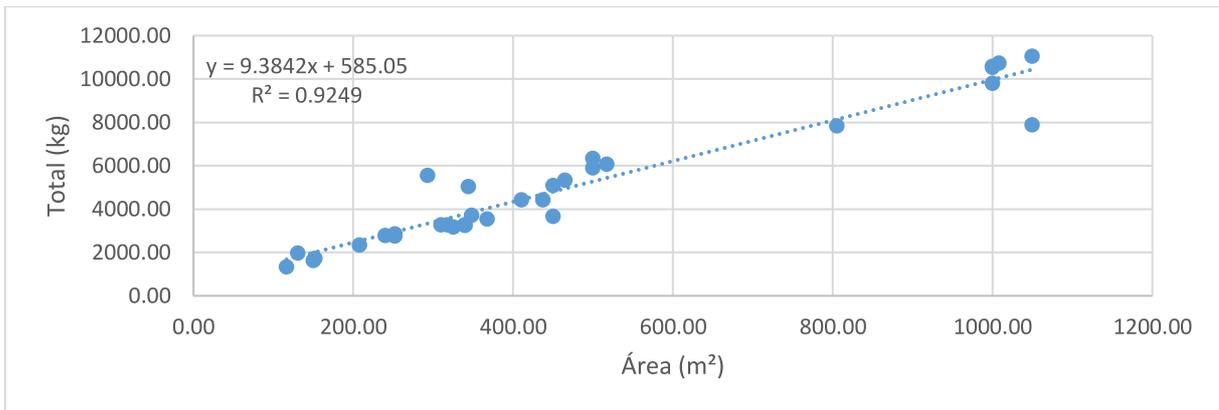
Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas do aço estrutural da cobertura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise Y=5,7616x+525,21	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,8698 CV=23,71% Média=7,20Kg/m <sup>2</sup>	32
	Segunda Análise Y=5,6354x+620,47	130,53 a 1050,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,8444 CV=25,85% Média=7,12Kg/m <sup>2</sup>	27

Fonte: Autor.

Durante o levantamento de quantitativos notou-se que alguns projetos não possuíam alguns itens com função estrutural especificados. Assim, após a primeira análise optou-se por remover estes itens, obtendo assim, uma equação com parâmetros R<sup>2</sup> e CV aceitáveis.

#### 4.15 QUILOGRAMAS DO TOTAL DA COBERTURA POR METRO QUADRADO (KG/M<sup>2</sup>)

Neste indicador é relacionado a massa total dos elementos da cobertura (com e sem função estrutural) com a área de projeção da cobertura. Para a primeira análise utilizou-se de todos os projetos, conforme pode-se observar na Figura 29. No Apêndice P, encontram-se as análises efetuadas para este indicador. A Tabela 17 apresenta os resultados obtidos nas duas análises efetuadas.

Figura 27 - Relação entre a massa do total da cobertura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)

Fonte: Autor.

Na segunda análise optou-se por efetuar um estudo com os projetos que possuíam todos os elementos de cobertura, ou seja, aqueles projetos que apresentavam algum item faltando foram excluídos da análise, resultando em uma amostra com apenas 12 dados.

Tabela 16 - Resultados das análises da massa do aço da cobertura

Elemento	Equação	Áreas	Dados	Número de dados utilizados
Quilogramas do aço da cobertura por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Primeira Análise Y=9,3842x+585,05	116,40 a 1050,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,9249 CV=18,47% Média=11,06Kg/m <sup>2</sup>	32
	Segunda Análise Y=11,98x-360,09	116,40 a 500,00 m <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,8388 CV=12,47% Média=11,87Kg/m <sup>2</sup>	12

Fonte: Autor.

Devido aos parâmetros R<sup>2</sup> e CV terem sido atendidos na segunda situação, esta equação é considerada confiável e pode ser usada para estimativa preliminar da massa total da cobertura para um projeto que tenha área entre 116,40 m<sup>2</sup> e 500,00 m<sup>2</sup>.

Um resumo estatístico com quantidade de itens na amostra, os valores de aceitação das áreas, variância, desvio padrão, CV, R<sup>2</sup>, índice médio e a equação obtida para cada item citado acima nos resultados, é apresentado no Apêndice R. Já na Tabela 18 são apresentados os principais parâmetros, permitindo uma análise

quanto aos indicadores que podem ser utilizados para estimativas preliminares de custo. Estes indicadores estão destacados na tabela.

Tabela 17 - Principais parâmetros para análise

Elemento estudado		Unidade	Análise	Itens na amostra	Resultado estatístico			Equação
					CV	R <sup>2</sup>	Índice médio	
Aguilha	Ambas	kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	28	44.81	0.5342	0.17	Y=0.2319X - 32.83
			2 <sup>a</sup>	21	30.30	0.1518	0.14	Y=0.0525X + 29.388
	Barra redonda	kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	16	61.45	0.4766	0.14	Y=0.2681X - 49.135
			2 <sup>a</sup>	14	36.32	0.2563	0.12	Y=0,0534X + 23.013
	Perfil L	kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	11	28.83	0.6613	0.19	Y=0.2149X - 12.117
			2 <sup>a</sup>	7	5.56	0.8881	0.18	Y=0.1488X + 8.7681
Terça		kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	34	35.06	0.7898	3.39	Y=3.1658X + 84.876
			2 <sup>a</sup>	32	15.89	0.9542	3.15	Y=3.0058X + 50.46
Contraventamento		kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	34	64.64	0.2867	0.23	Y=0.1267X + 39.559
			2 <sup>a</sup>	31	28.83	0.7454	0.19	Y=0.142X + 16.317
Chapas de cobertura		kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	34	20.91	0.9538	3.80	Y=3.379X + 142.8000
		m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	34	20.92	0.9538	1.07	Y=1.0209X + 12.73
Calha		kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	12	33.97	0.2908	0.26	Y=0.234X + 7.8426
			2 <sup>a</sup>	11	20.41	0.6237	0.24	Y=0.1249X + 33.673
		m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	12	71.58	0.0849	0.11	Y=0.0842X + 10.033
			2 <sup>a</sup>	11	56.66	0.1739	0.09	Y=0.0841X + 3.8047
		m/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	12	35.36	0.2908	0.08	Y=0.0731X + 2.4508
			2 <sup>a</sup>	11	20.20	0.6237	0.07	Y=0.039X + 10.523
Tesoura	Banzo superior	kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	32	30.79	0.7085	1.09	Y=0.9171X + 55.221
			2 <sup>a</sup>	31	29.18	0.7939	1.11	Y=1.0372X + 16.407
	Banzo inferior	kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	32	23.97	0.7138	0.99	Y=0.8667X + 40.534
			2 <sup>a</sup>	31	21.62	0.8129	1.01	Y=0.9855X + 1.1865
	Montante	kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	32	61.29	0.1698	0.63	Y=0.2757X + 138.54
			2 <sup>a</sup>	28	44.41	0.4026	0.53	Y=0.2044X + 111.01
	Diagonal	kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	32	51.47	0.2829	0.85	Y=0.4172X + 164.91
	Total	kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	32	31.91	0.5885	3.68	Y=3.2059X + 173.89
			2 <sup>a</sup>	31	29.72	0.6632	3.59	Y=2.4958X + 393.32
	Aço estrutural da cobertura		kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	32	23.71	0.8698	7.20
2 <sup>a</sup>				27	25.85	0.8444	7.12	Y=5.6354X + 620.47
Total da cobertura		kg/m <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup>	32	18.47	0.9249	11.06	Y=9.3842X + 585.05
			2 <sup>a</sup>	12	12.26	0.8388	11.87	Y=11.98X - 360.09

Fonte: Autor.

## 5 CONCLUSÃO

Dentre todos os indicadores gerados, apenas 8 deles podem ser utilizados como método de estimativa preliminar, pois atendem aos critérios do  $R^2$  e do CV, são eles: quilogramas de agulha em perfil “L” por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), quilogramas de terça por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), quilogramas de chapas de cobertura por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), área de chapas de cobertura por área construída ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ), quilogramas de banzo superior da tesoura por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), quilogramas de banzo inferior da tesoura por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), quilogramas do aço estrutural da cobertura por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), e quilogramas do total da cobertura por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). O uso destes indicadores fica aconselhado quando não se dispõe de muito tempo para fazer o levantamento dos quantitativos ou quando se admite um grau de precisão menor. Desta forma, deve-se utilizar o método analítico sempre que possível.

Para o indicador de quilogramas de contraventamento por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), aconselha-se a utilizá-lo com mais cuidado, pois o  $R^2$  não foi atendido, mas chegou próximo de 0,8.

Não é aconselhável o uso dos demais indicadores para estimativa preliminar, sendo eles: quilogramas de agulha por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), quilogramas de agulha em barra redonda por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), quilogramas de calha por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), área de calha por área construída ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ), comprimento de calha por área construída ( $\text{m}/\text{m}^2$ ), quilogramas de montante da tesoura por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), quilogramas de diagonal da tesoura por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), e quilogramas do total da tesoura por área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

A causa desta imprecisão está nas várias formas que os elementos são dispostos, em função do projeto arquitetônico, do método de cálculo do engenheiro, da altura do empreendimento, e da finalidade do projeto. Também é importante observar que este estudo foi elaborado com projetos da região oeste do estado do paraná, em outras regiões estes indicadores podem não ser representativos devido as normas da região e aos esforços solicitados pelo clima.

Assim, as equações geradas neste trabalho visam contribuir com a geração de indicadores paramétricos, auxiliando o engenheiro orçamentista a efetuar suas atividades com mais agilidade e precisão.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do presente trabalho abrem-se possibilidades de novos estudos, a fim de contribuir com o desenvolvimento dos índices paramétricos.

Portanto, como sugestão para trabalhos futuros tem-se:

- Realizar estudo dos mesmos indicadores obtidos neste trabalho, utilizando como variável independente a altura das construções;
- Efetuar estudo dos mesmos indicadores apresentados neste trabalho, analisando a influência do formato de estruturas não retangulares;
- Realizar estudo para um indicador relacionando a quantidade de chapas de tapamento lateral;
- Efetuar estudo para a parte estrutural da infraestrutura e da supra estrutura;
- Aplicação da mesma metodologia para itens de acabamento, instalação elétrica e projetos complementares;
- Repetir o estudo em uma amostra com projetos apresentando áreas acima de 600,00 m<sup>2</sup>;
- Repetir o estudo em uma amostra maior, afim de verificar se os indicadores encontrados neste trabalho mantêm esse comportamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Dalton F.; OGLIARI, Paulo J. **Estatística para as ciências agrárias e biológicas**: com noções de experimentação. 3ª edição. Florianópolis: Editora da UFSC, 2013. 475 p.

BARBETTA, Pedro A.; REIS, Marcelo M.; BORNIA, Antonio C. **Estatística para cursos de engenharia e informática**. 3ª edição. São Paulo: Editora Atlas, 2010. 210 p.

BARROSO, Leônidas C. et al. **Cálculo numérico**: com aplicações. 2ª edição. São Paulo: Editora HARBRA, 1987.

BRASIL. Decreto nº 7983, de 08 de abril de 2013. Estabelece regras e critérios para elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com recursos dos orçamentos da União, e dá outras providências. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 08 abr. 2013. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2013/decreto/D7983.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/decreto/D7983.htm)>. Acesso em: 27 set. 2017.

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-sustentabilidade.php>> . Acesso em: 25 ago. 2017.

COSTA, Giovani G. de O. **Curso de estatística básica**: teoria e prática. São Paulo: Editora Atlas, 2011. 217 p.

DIAS, Luís A. de M. **Estruturas de aço**: conceitos, técnicas e linguagem. São Paulo: Editora Zigurate, 1997. 297 p.

GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª edição. São Paulo: Editora Atlas, 1996.

GOLDMAN, Pedrinho. **Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira**. 4ª edição. São Paulo: Editora Pini, 2004.

LIMMER, Carl V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras**. Rio de Janeiro: Editora LTC – Livros técnicos e científicos, 1997. 244p.

LOSSO, Iseu Reichmann. **Utilização das características geométricas da edificação na elaboração de estimativas preliminares de custo:** estudo de caso em uma empresa de construção. 1995. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1995.

MATTOS, Aldo D. **Como preparar orçamentos de obras:** dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos. São Paulo: Editora Pini, 2006. 281p.

OTERO, Juliano Araújo. **Análise paramétrica de dados orçamentários para estimativas de custo na construção de edifícios:** estudo de caso voltado para a questão da variabilidade. 2000. 214p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2000.

PARISOTTO, Jules Antonio. **Análise de estimativas paramétricas para formular um modelo de quantificação de serviços, consumo de mão de obra e custos de edificações residenciais:** estudo de caso para uma empresa construtora. Florianópolis, SC. UFSC. 2003. 106 p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

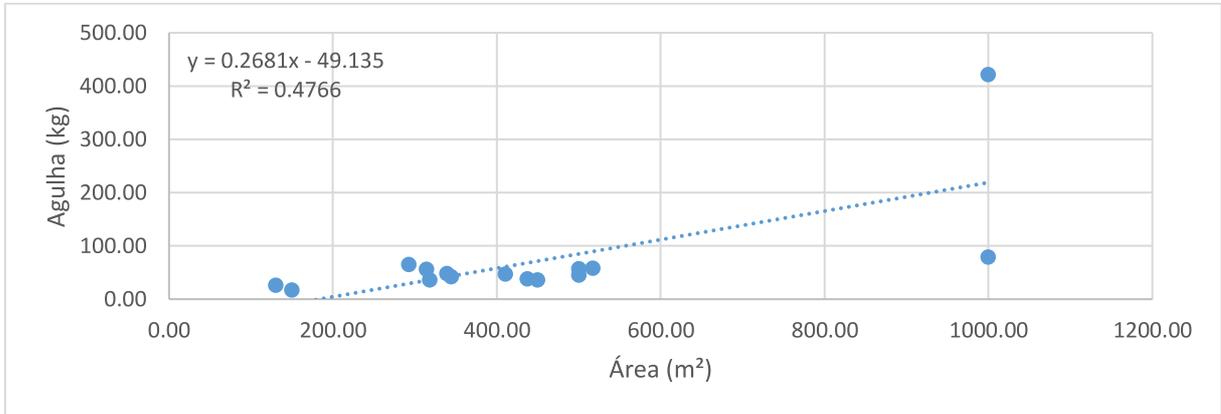
PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço:** Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008. 8ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC – Livros técnicos e científicos, 2012. 357p.

PINHEIRO, Antonio C. da F. B. **Estruturas metálicas:** cálculos, detalhes, exercícios e projetos. São Paulo: Editora Bluncher, 2005. 301 p.

SOCIEDADE INTERNACIONAL DE ANALISTAS PARAMÉTRICOS. **Parametric Estimating Handbook.** Vienna (USA), 1995. 237 p.

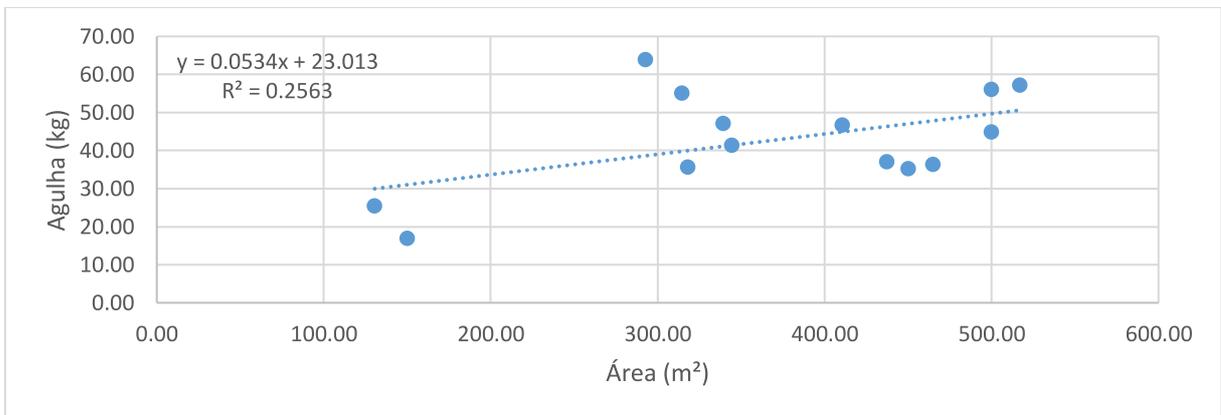
## APÊNDICE A – Análises para o indicador de quilogramas de agulha redonda por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

Figura 28 - Relação entre a massa das agulhas redondas e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

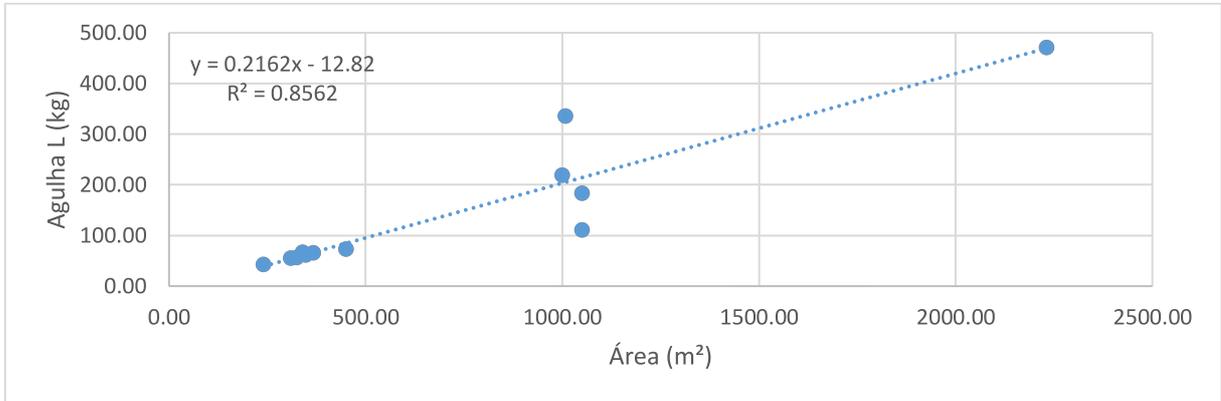
Figura 29 - Relação entre a massa das agulhas redondas e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

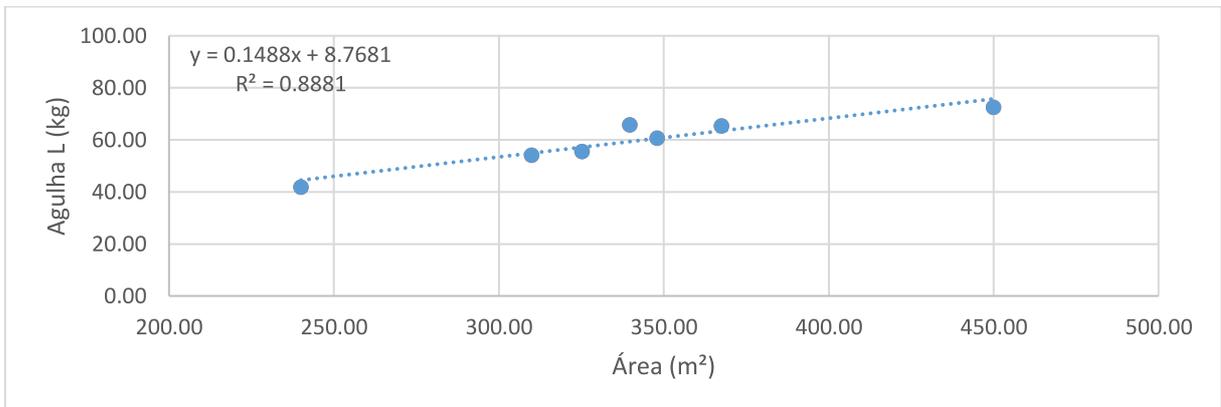
## APÊNDICE B – Análises para o indicador de quilogramas de agulha em perfil “L” por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

Figura 30 - Relação entre a massa das agulhas em perfil “L” e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

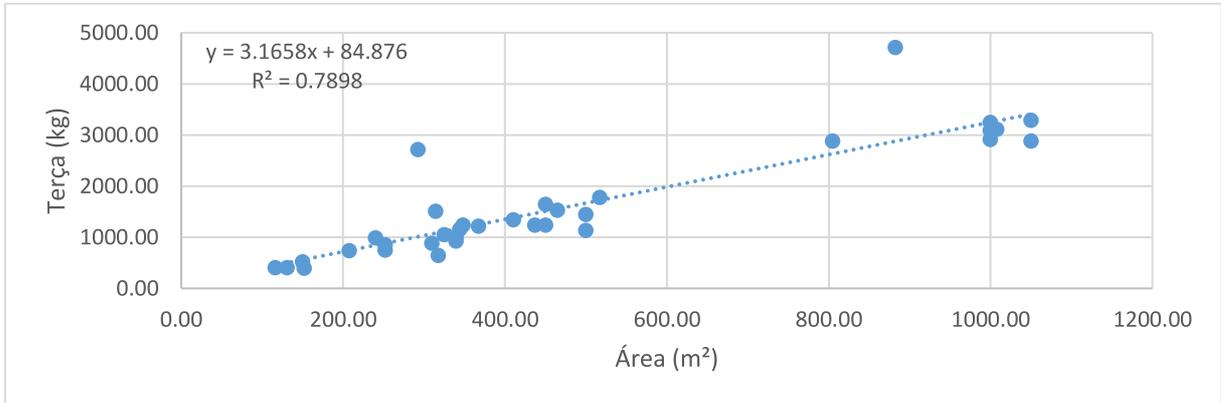
Figura 31 - Relação entre a massa das agulhas em perfil “L” e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

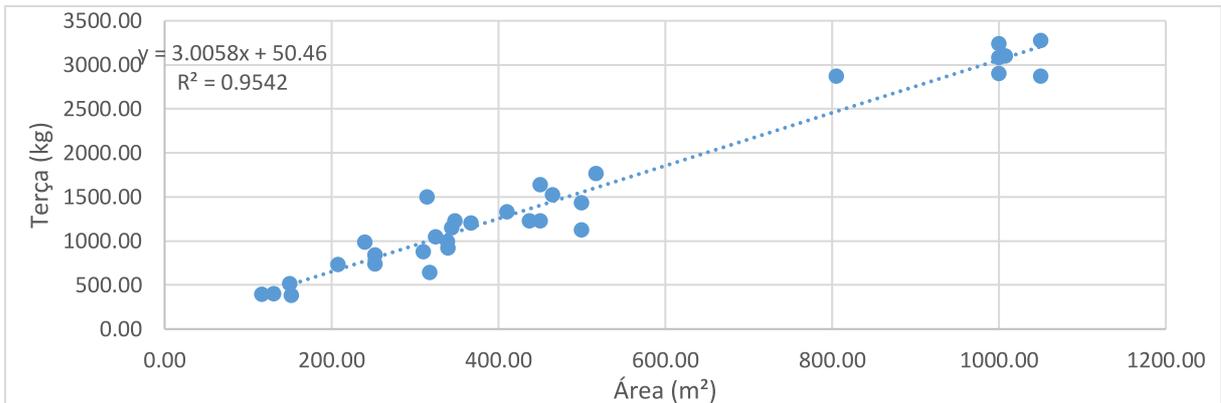
## APÊNDICE C – Análises para o indicador de quilogramas de terça por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

Figura 32 - Relação entre a massa das terças e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

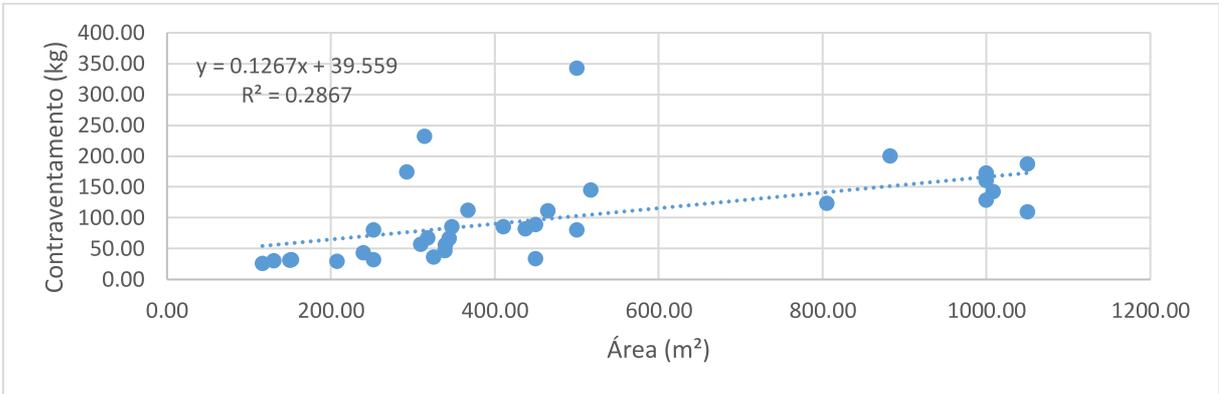
Figura 33 - Relação entre a massa das terças e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

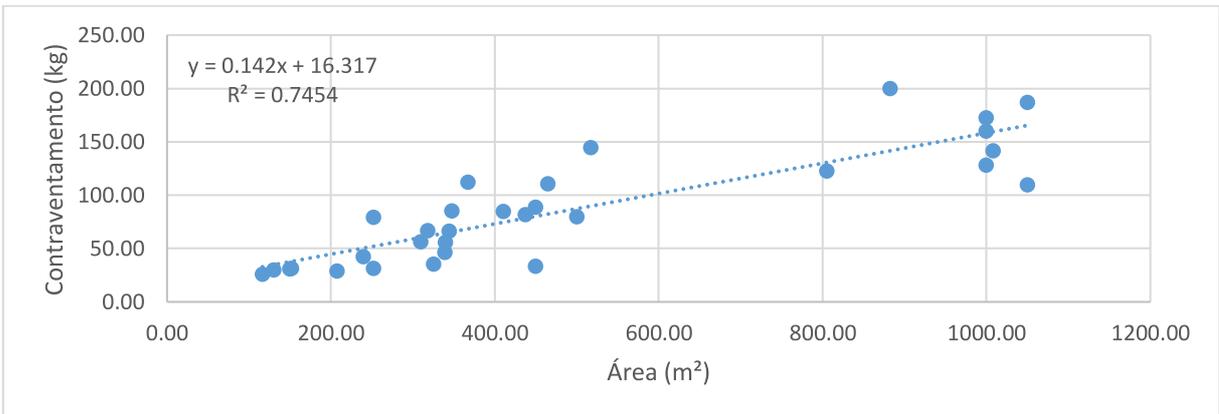
## APÊNDICE D – Análises para o indicador de quilogramas de contraventamento por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

Figura 34 - Relação entre a massa do contraventamento e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

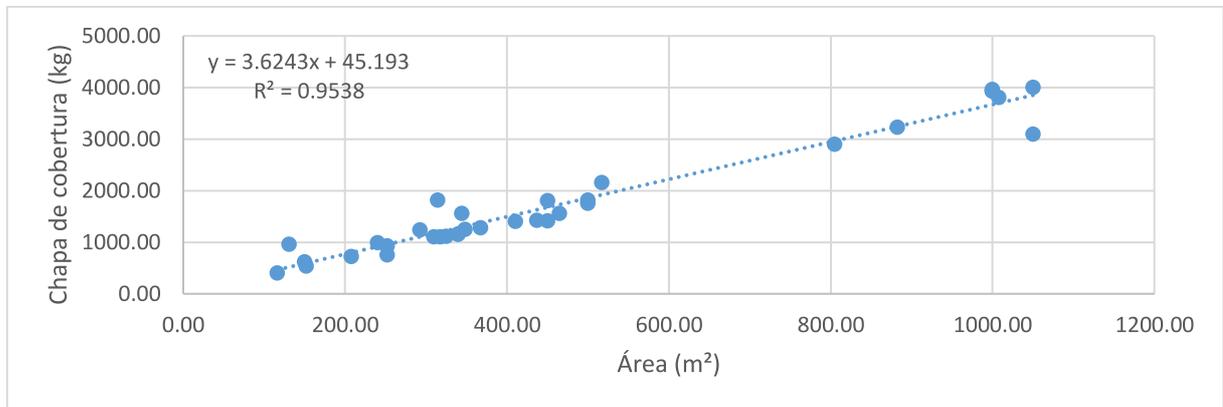
Figura 35 - Relação entre a massa do contraventamento e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

## APÊNDICE E – Análises para o indicador de quilogramas de chapas de cobertura por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

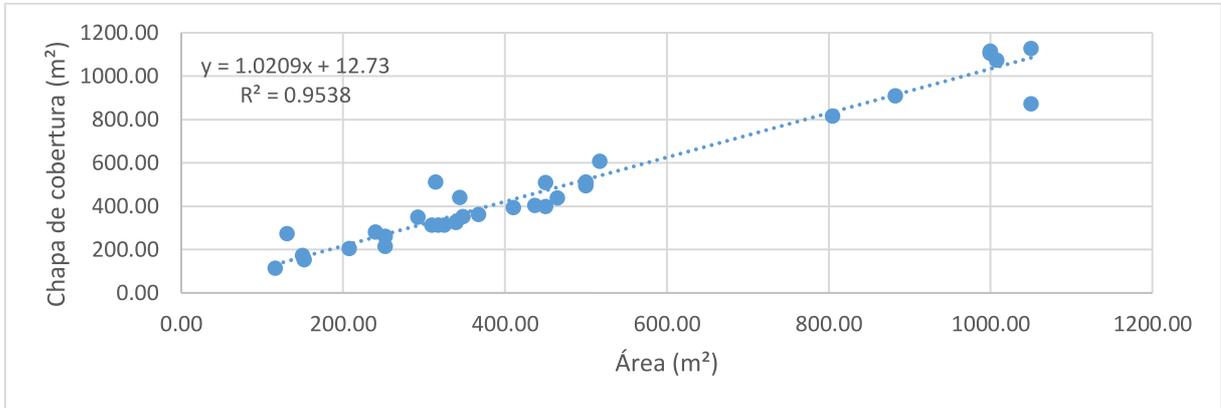
Figura 36 - Relação entre a massa das chapas de cobertura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

## APÊNDICE F – Análises para o indicador de área de chapas de cobertura por metro quadrado ( $m^2/m^2$ )

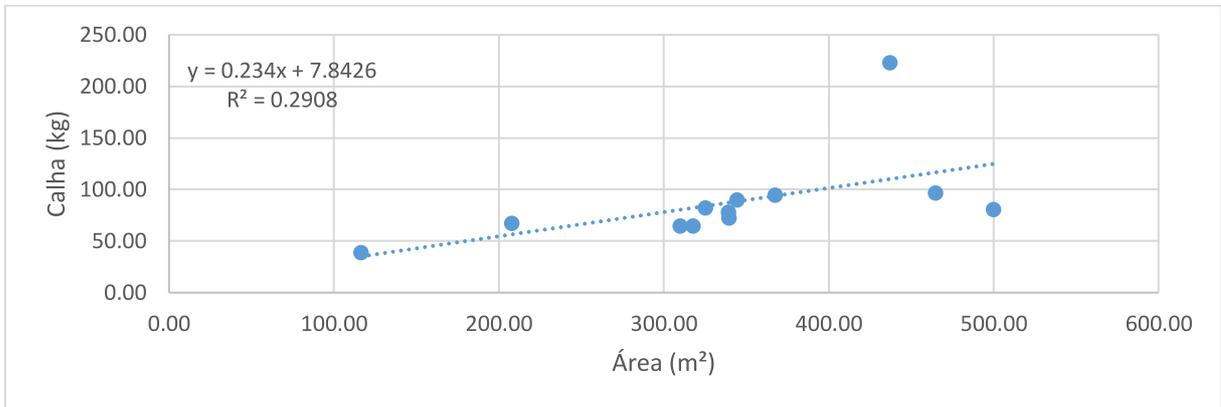
Figura 37 - Relação entre a área das chapas de cobertura e a área construída – 1ª análise ( $m^2/m^2$ )



Fonte: Autor.

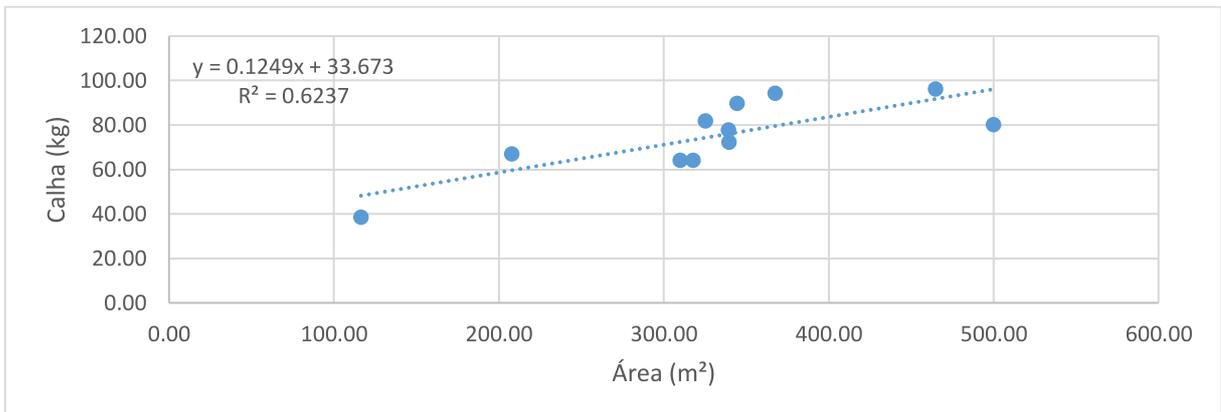
## APÊNDICE G – Análises para o indicador de quilogramas de calha por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

Figura 38 - Relação entre a massa das calhas e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

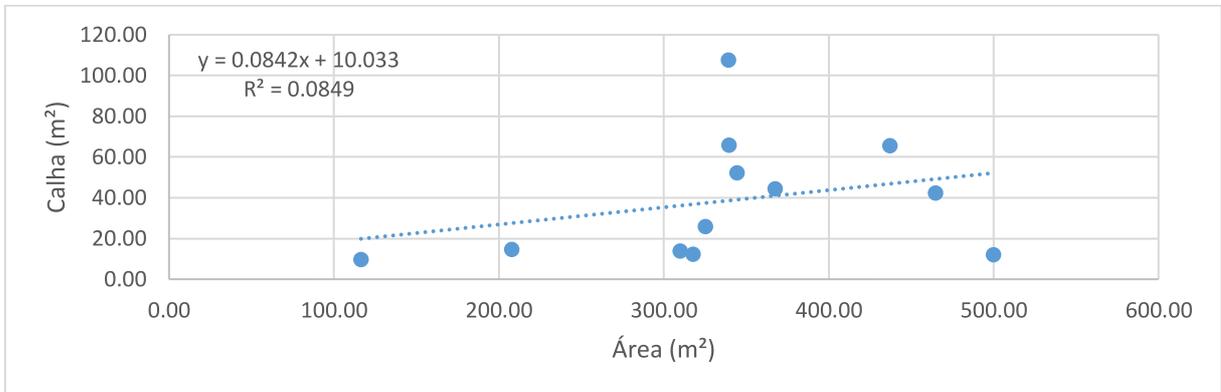
Figura 39 - Relação entre a massa das calhas e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

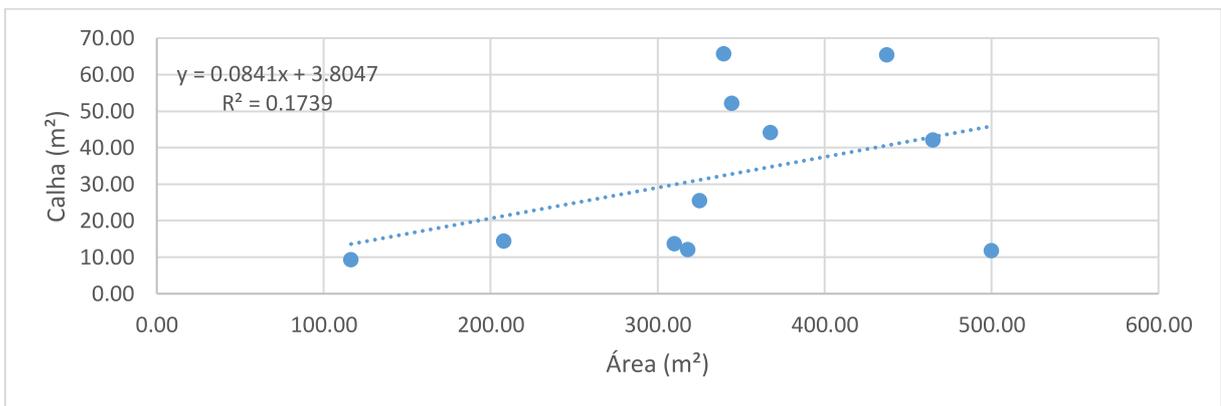
## APÊNDICE H – Análises para o indicador de área de calha por metro quadrado (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)

Figura 40 - Relação entre a área das calhas e a área construída – 1ª análise (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

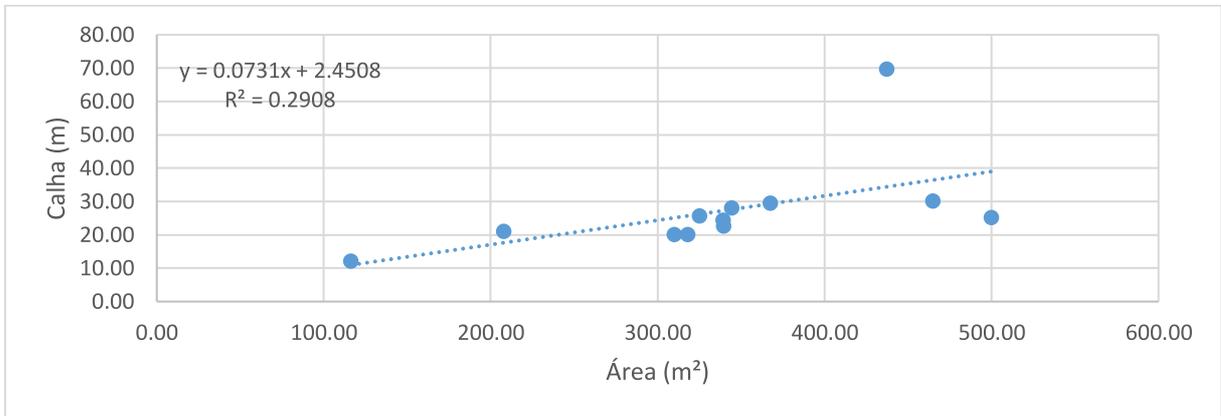
Figura 41 - Relação entre a área das calhas e a área construída – 2ª análise (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

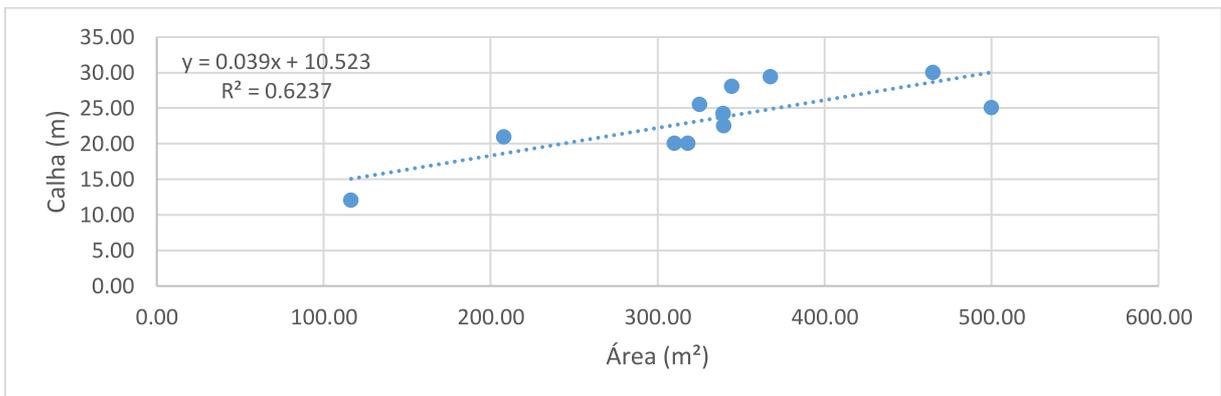
## APÊNDICE I – Análises para o indicador de comprimento de calha por metro quadrado (m/m<sup>2</sup>)

Figura 42 - Relação entre o comprimento das calhas e a área construída – 1ª análise (m/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

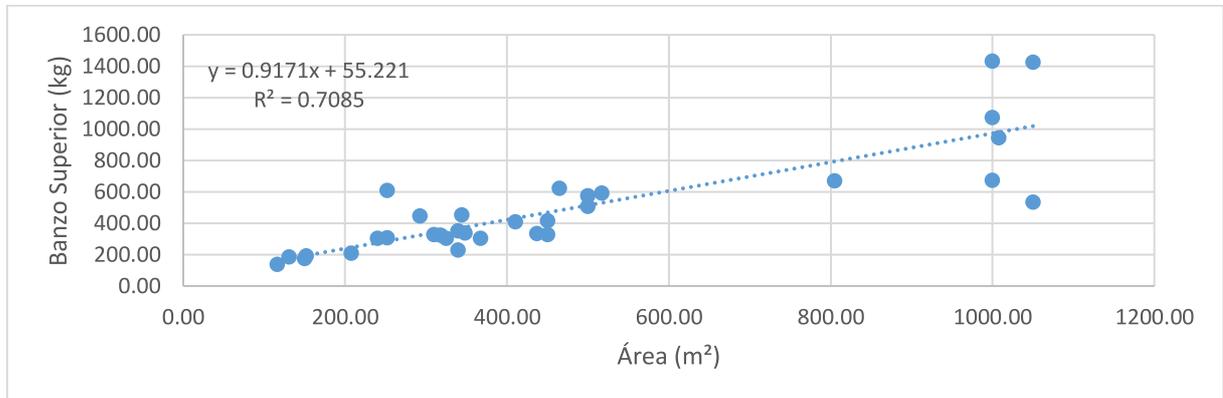
Figura 43 - Relação entre o comprimento das calhas e a área construída – 2ª análise (m/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

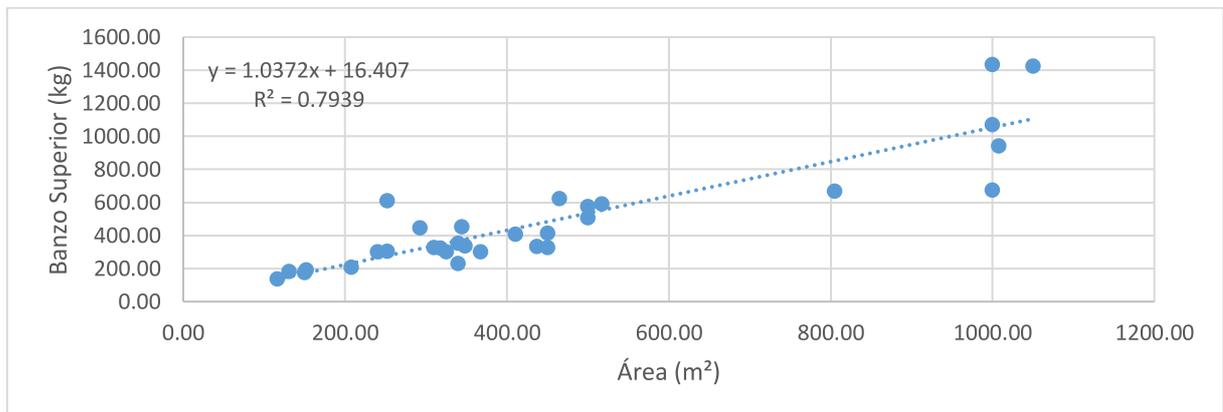
## APÊNDICE J – Análises para o indicador de quilogramas de banzo superior da tesoura por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

Figura 44 - Relação entre a massa do banzo superior da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

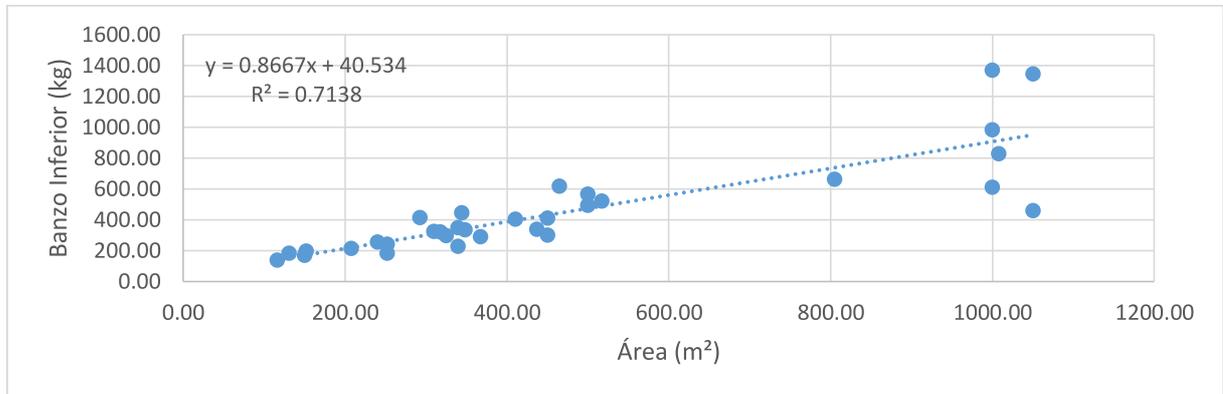
Figura 45 - Relação entre a massa do banzo superior da tesoura e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

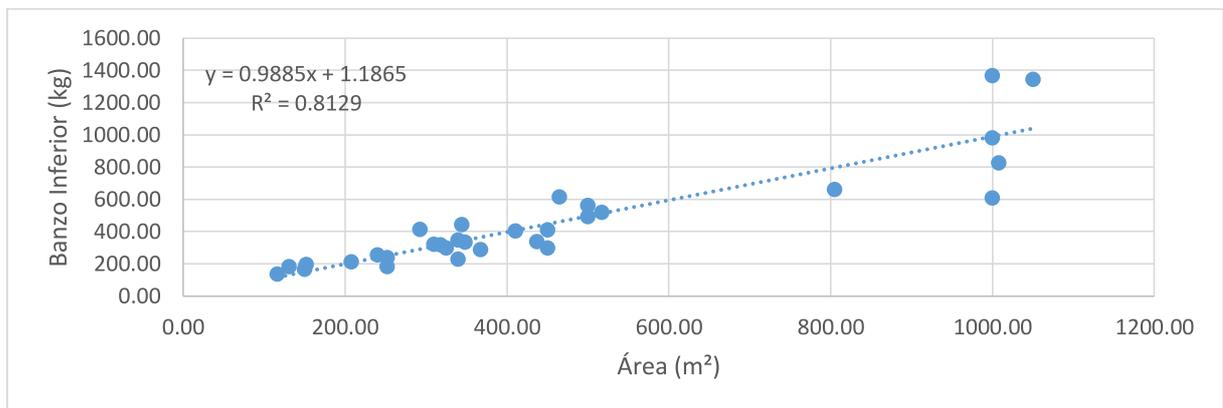
## APÊNDICE K – Análises para o indicador de quilogramas de banzo inferior da tesoura por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

Figura 46 - Relação entre a massa do banzo inferior da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

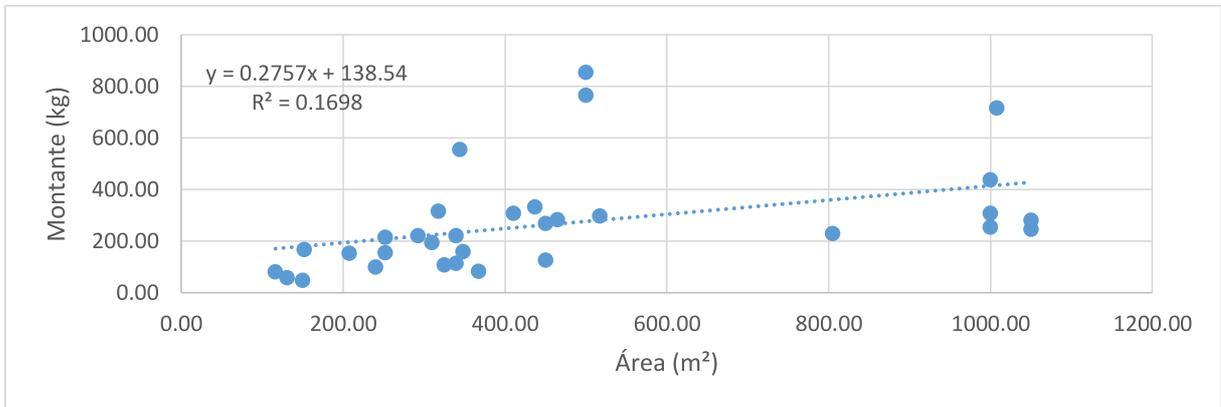
Figura 47 - Relação entre a massa do banzo inferior da tesoura e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

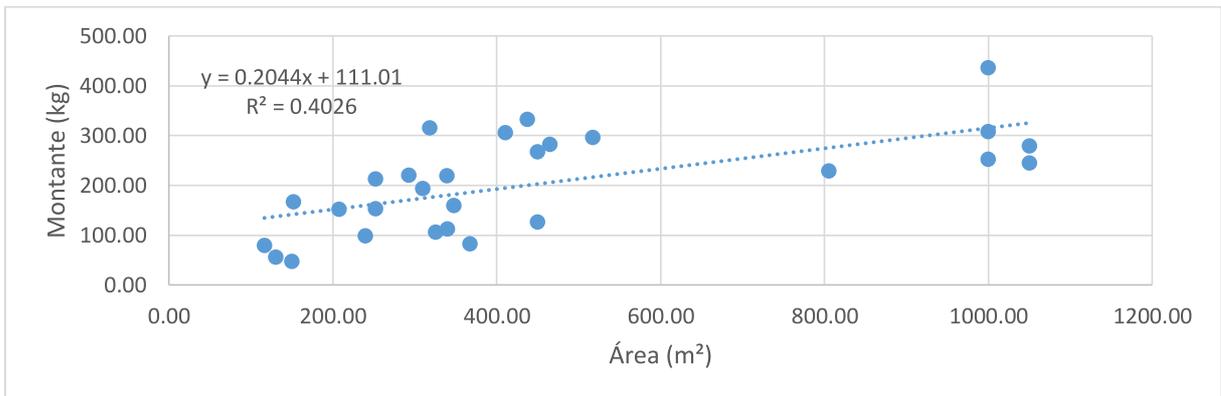
## APÊNDICE L – Análises para o indicador de quilogramas de montante da tesoura por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

Figura 48 - Relação entre a massa do montante da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

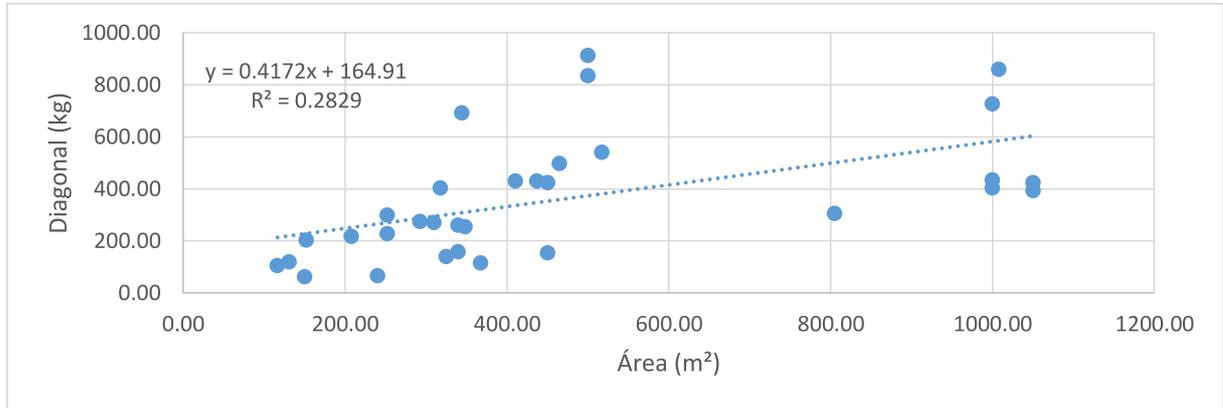
Figura 49 - Relação entre a massa do montante da tesoura e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

## APÊNDICE M – Análises para o indicador de quilogramas de diagonal da tesoura por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

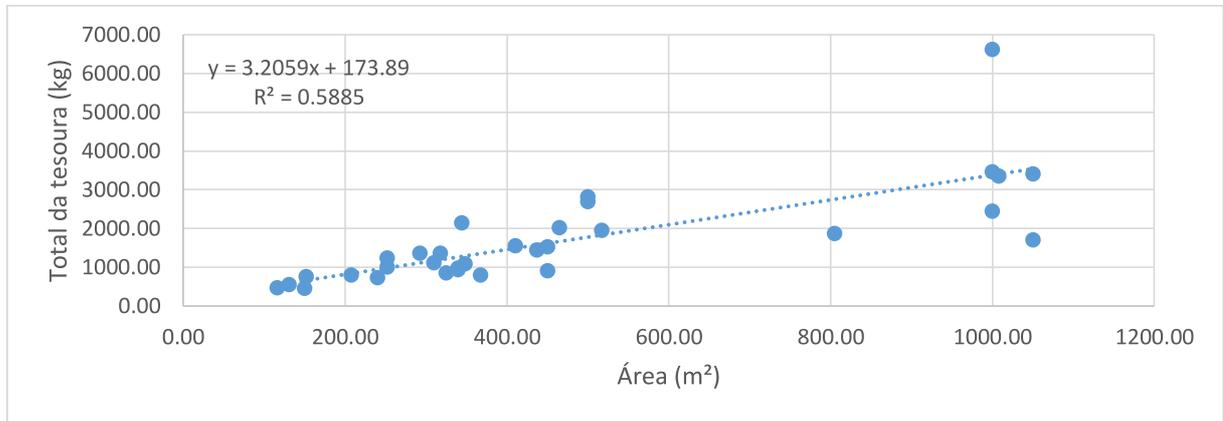
Figura 50 - Relação entre a massa da diagonal da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

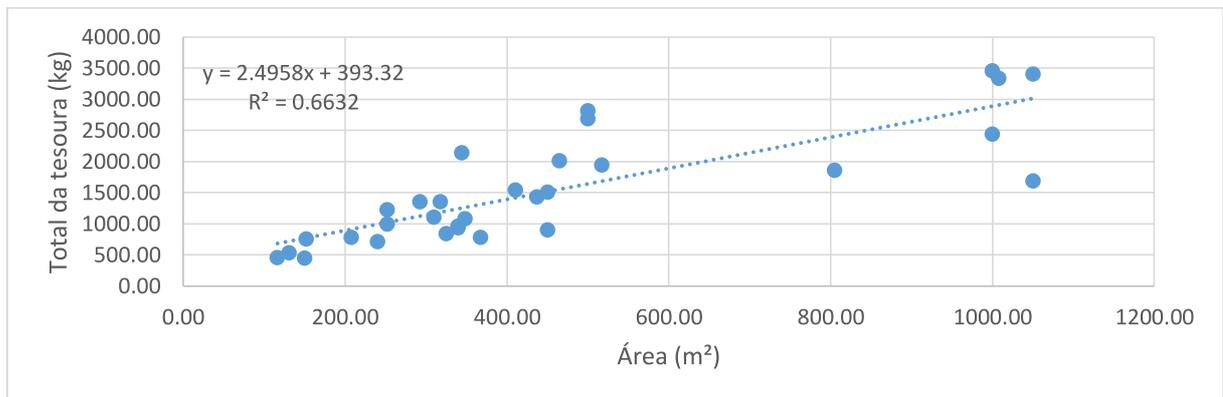
## APÊNDICE N – Análises para o indicador de quilogramas do total da tesoura por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

Figura 51 - Relação entre a massa do total da tesoura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

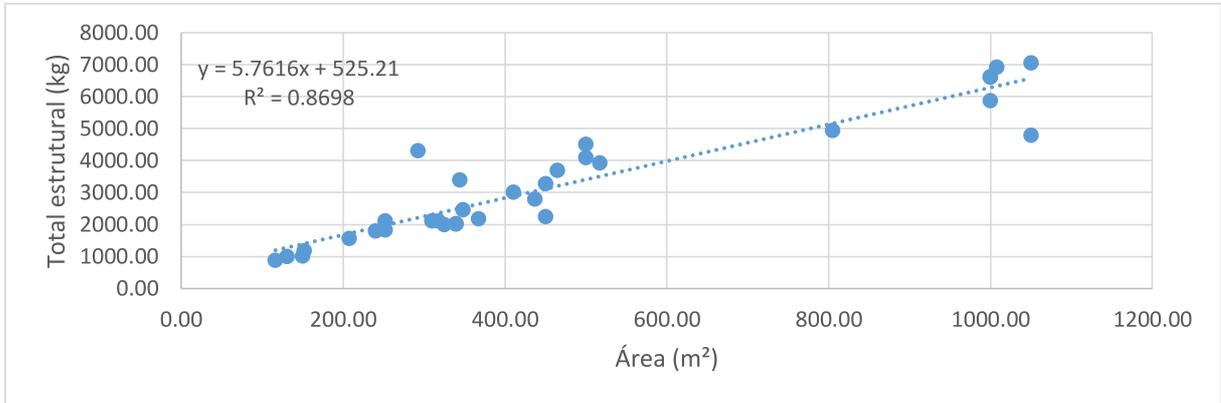
Figura 52 - Relação entre a massa do total da tesoura e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

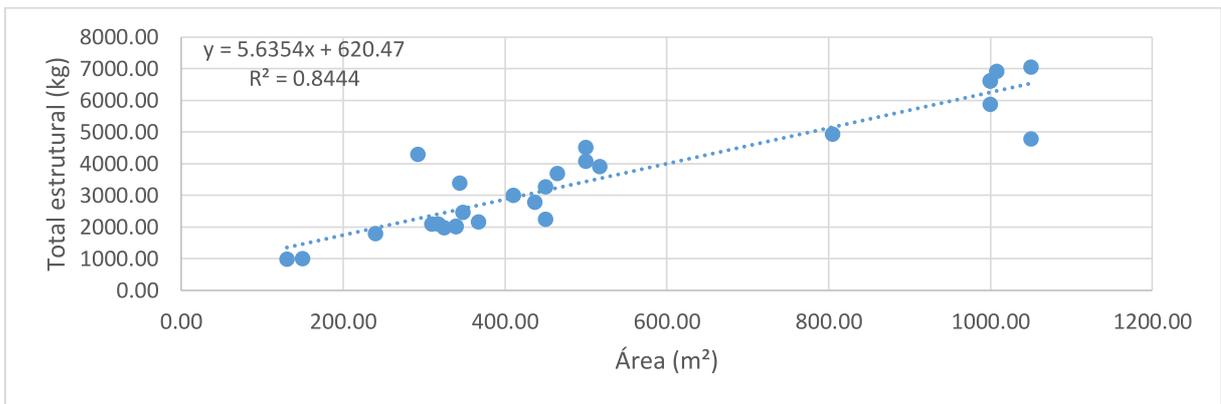
## APÊNDICE O – Análises para o indicador de quilogramas de aço estrutural da cobertura por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

Figura 53 - Relação entre a massa do total estrutural e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

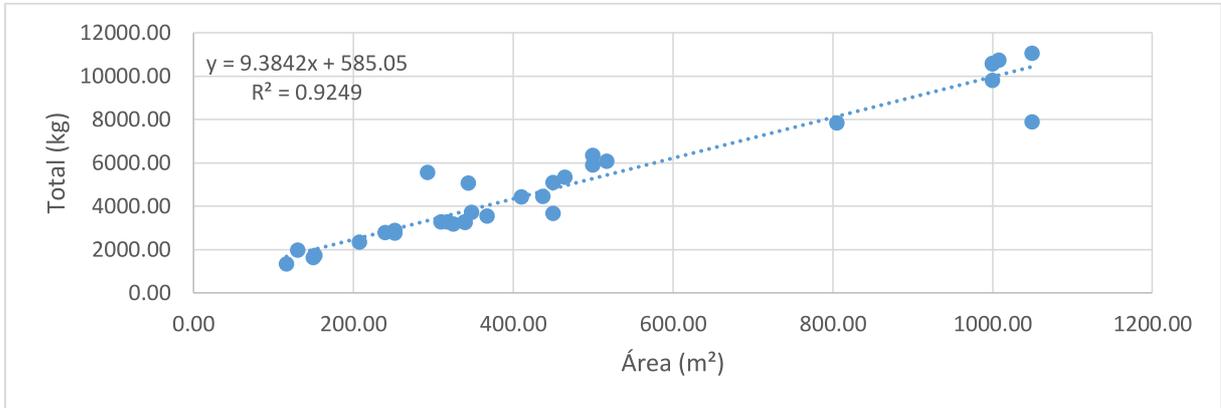
Figura 54 - Relação entre a massa do total estrutural e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

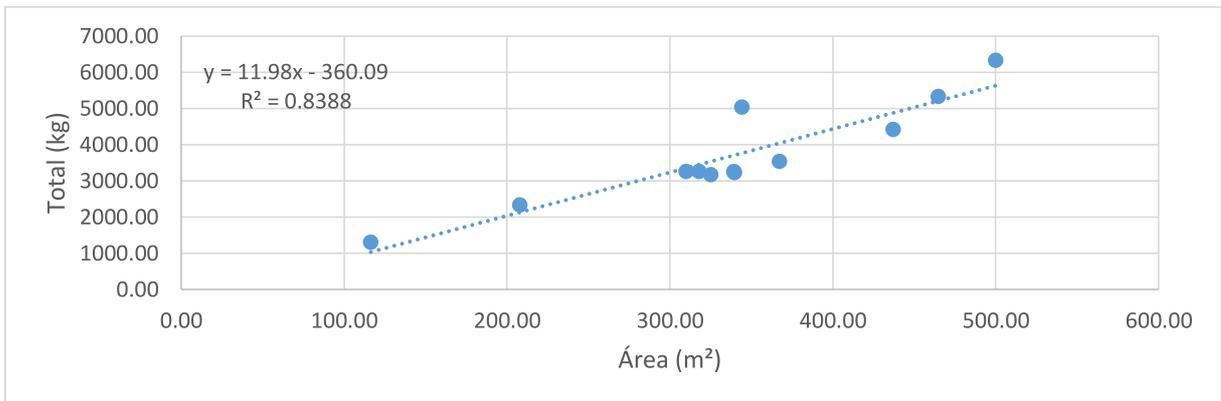
## APÊNDICE P – Análises para o indicador de quilogramas do total da cobertura por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>)

Figura 55 - Relação entre a massa do total da cobertura e a área construída – 1ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

Figura 56 - Relação entre a massa do total da cobertura e a área construída – 2ª análise (kg/m<sup>2</sup>)



Fonte: Autor.

## APÊNDICE Q – Resumo de quantitativos

Tabela 18 - Resumo de quantitativos dos projetos

Projeto	Largura (m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m²)	Estrutura									
					Agulha (kg)	Terça (kg)	Contraventamento (kg)	Chapa de cobertura		Calha			Tesa	
								kg	m²	kg	m²	m	Banzo superior	Banzo inferior
1	16.50	26.50	6.00	437.25	36.96	1229.31	81.72	1424.49	401.26	222.40	65.33	69.50	331.09	336.42
2	20.00	25.00	6.00	500.00	44.80	1434.20	341.95	1748.38	492.50	80.00	11.75	25.00	504.02	491.72
3	15.90	20.00	6.00	318.00	35.62	639.34	66.66	1099.08	309.60	64.00	12.00	20.00	321.26	317.57
4	12.30	28.00	6.00	344.40	41.33	1147.36	66.08	1556.60	438.48	89.60	52.08	28.00	449.19	442.88
5	20.00	25.00	6.00	500.00	56.00	1126.87	79.88	1808.73	509.50	-	-	-	573.06	562.37
6	42.80	108.80	7.08	4656.64	862.85	17833.19	808.68	16129.38	4543.49	-	-	-	7812.89	7473.44
7	12.20	24.00	12.00	292.80	63.88	2709.59	174.10	1233.70	347.52	-	-	-	443.61	412.00
8	14.97	27.42	-	410.48	46.64	1332.69	84.59	1393.92	392.65	-	-	-	406.00	402.59
9	6.40	49.16	5.50	314.62	55.06	1498.91	231.69	1808.73	509.50	-	-	-	-	-
10	30.26	60.26	6.00	1823.47	338.91	6232.79	166.72	6631.61	1868.06	-	-	-	6051.56	7612.11
11	12.15	72.63	10.00	882.45	-	4706.71	199.89	3222.96	907.88	-	-	-	-	-
12	15.50	20.00	4.70	310.00	54.05	876.06	56.31	1100.50	310.00	64.00	13.60	20.00	325.42	320.66
13	20.00	50.00	6.00	1000.00	217.80	3082.70	128.13	3920.98	1104.50	-	-	-	671.43	608.51
14	9.70	12.00	4.00	116.40	-	391.68	25.65	399.16	112.44	38.40	9.36	12.00	135.93	134.19
15	11.35	11.50	4.50	130.53	25.42	399.20	29.66	960.20	270.48	-	-	-	181.68	180.13
16	10.00	15.00	3.50	150.00	16.80	512.21	30.91	610.25	171.90	-	-	-	172.73	165.79
17	9.95	20.89	3.50	207.86	-	730.56	28.78	717.86	202.22	66.85	14.41	20.89	205.17	210.89
18	18.00	14.00	4.80	252.00	-	736.88	79.33	920.94	259.42	-	-	-	303.72	180.30
19	8.58	29.40	4.00	252.25	-	843.31	31.27	751.99	211.83	-	-	-	607.44	237.99
20	12.50	12.17	4.05	152.13	-	384.05	31.51	533.13	150.18	-	-	-	190.64	193.11
21	20.40	25.35	5.20	517.14	57.12	1765.90	144.47	2150.82	605.87	-	-	-	587.61	519.26
22	12.50	29.40	5.00	367.50	65.38	1204.72	111.88	1273.31	358.68	94.08	44.10	29.40	299.95	287.66
23	25.00	40.00	6.00	1000.00	420.75	3240.20	160.08	3954.70	1114.00	-	-	-	1069.50	979.88
24	14.00	24.24	6.23	339.36	47.04	993.28	46.12	1153.10	324.82	77.57	107.43	24.24	227.01	226.74
25	12.00	20.00	4.70	240.00	41.84	983.45	42.47	991.16	279.20	-	-	-	300.26	253.12
26	18.00	25.00	4.50	450.00	35.10	1639.08	88.60	1802.51	507.75	-	-	-	412.46	408.26
27	15.10	22.50	5.00	339.75	65.81	921.98	55.84	1150.20	324.00	72.00	65.70	22.50	349.94	345.08
28	25.00	40.00	5.00	1000.00	78.00	2901.36	172.28	3929.14	1106.80	-	-	-	1430.98	1366.85

## APÊNDICE R – Resumo estatístico

Tabela 19 - Resumo estatístico

Elemento estudado		Unidade	Análise	Itens na amostra	Área de validação (m <sup>2</sup> )		Média		Resultado estatístico		
					Mínima	Máxima	Elemento	Área	Variância	Desvio padrão	CV
Agulha	Ambas	kg/m <sup>2</sup>	1ª	28	130.53	1050.00	86.96	516.54	0.0057	0.0754	44.83
			2ª	21	130.53	517.14	48.27	359.53	0.0018	0.0424	30.30
	Barra redonda	kg/m <sup>2</sup>	1ª	16	130.53	1000.00	68.55	448.10	0.0074	0.0860	61.45
			2ª	14	130.53	517.14	42.72	369.26	0.0019	0.0436	36.32
	Perfil L	kg/m <sup>2</sup>	1ª	11	240.00	1050.00	114.63	589.86	0.0030	0.0548	28.83
			2ª	7	240.00	450.00	59.38	340.07	0.0001	0.0100	5.56
Terça		kg/m <sup>2</sup>	1ª	34	116.40	1050.00	1605.05	480.18	1.4126	1.1885	35.06
			2ª	32	116.40	1050.00	1089.57	343.84	0.2506	0.5006	15.89
Contraventamento		kg/m <sup>2</sup>	1ª	34	116.40	1050.00	100.42	480.18	0.0221	0.1487	64.64
			2ª	31	116.40	1050.00	86.01	490.93	0.0030	0.0548	28.83
Chapas de cobertura		kg/m <sup>2</sup>	1ª	34	116.40	1050.00	1785.52	480.18	0.6311	0.7944	20.92
		m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	1ª	34	116.40	1050.00	502.96	480.18	0.0501	0.2238	20.92
Calha		kg/m <sup>2</sup>	1ª	12	116.40	500.00	87.21	339.23	0.0078	0.0883	33.97
			2ª	11	116.40	500.00	74.92	330.32	0.0024	0.0490	20.41
		m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	1ª	12	116.40	500.00	38.61	339.23	0.0062	0.0787	71.58
			2ª	11	116.40	500.00	32.35	339.22	0.0026	0.0510	56.66
		m/m <sup>2</sup>	1ª	12	116.40	500.00	27.25	339.23	0.0008	0.0283	35.36
			2ª	11	116.40	500.00	23.41	330.32	0.0002	0.0141	20.20
Tesoura	Banzo superior	kg/m <sup>2</sup>	1ª	32	116.40	1050.00	488.83	472.78	0.1126	0.3356	30.79
			2ª	31	116.40	1050.00	487.48	453.16	0.1049	0.3239	29.18
	Banzo inferior	kg/m <sup>2</sup>	1ª	32	116.40	1050.00	450.32	472.78	0.0563	0.2373	23.97
			2ª	31	116.40	1050.00	450.12	454.16	0.0477	0.2184	21.62
	Montante	kg/m <sup>2</sup>	1ª	32	116.40	1050.00	268.87	472.78	0.1491	0.3861	61.29
			2ª	28	116.40	1050.00	204.27	456.31	0.0554	0.2354	44.41
	Diagonal	kg/m <sup>2</sup>	1ª	32	116.40	1050.00	362.16	472.78	0.1914	0.4375	51.47
	Total	kg/m <sup>2</sup>	1ª	32	116.40	1050.00	1689.58	472.78	1.3792	1.1744	31.92
			2ª	31	116.40	1050.00	1530.85	455.78	1.1386	1.0671	29.72