



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**MODELO PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA
CONSTRUÇÃO DE OBRAS COMERCIAIS VERTICAIS**

GISELI BARBOSA DE LIMA

São Leopoldo, Janeiro de 2017.

GISELI BARBOSA DE LIMA

**MODELO PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA
CONSTRUÇÃO DE OBRAS COMERCIAIS VERTICAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Andrea Parisi Kern

Banca examinadora: Prof. Dr. André Luis Korzenowski
Prof. Dr. Antônio Eduardo B. Cabral

São Leopoldo, Janeiro de 2017.

L732m Lima, Giseli Barbosa de
 Modelo para estimar a geração de resíduos na construção de
 obras comerciais verticais / por Giseli Barbosa de Lima – 2017.
 96 f. : il. ; 30 cm.

 Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos
 Sinos, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, São
 Leopoldo, RS, 2017.

 “Orientadora: Dr^a. Andrea Parisi Kern.”

 1. Construção civil. 2. Resíduos de construção. 3. Quantificação de
 resíduos.. I. Título.

CDU: 691

A Dissertação de Mestrado

**“MODELO PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO DE OBRAS
COMERCIAIS VERTICAIS”**

apresentada por **Giseli Barbosa de Lima**

foi julgada e aprovada como atendimento parcial aos requisitos para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dra. Andrea Parisi Kern
Orientadora e Presidente da Banca Examinadora
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS



Prof. Dr. André Luis Korzenowski
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS



Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral
Universidade Federal do Ceará - UFC
(participação por webconferência*)

** Na presente sessão, fica a orientadora autorizada a assinar pelo professor que integra a banca via webconferência*

São Leopoldo, 12 de janeiro de 2017.

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais, familiares, sogros e meu marido, que sempre estiveram comigo nos momentos mais difíceis de minha vida, com o apoio incondicional, força e coragem para superar os desafios de mais esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao findar esta etapa, quero agradecer a Deus, por estar sempre ao meu lado, dando-me força, sabedoria e saúde, estando sempre comigo em todos os momentos, guiando o meu caminho. Agradeço pela oportunidade de chegar até aqui.

Aos meus pais, Guimorvam (*in memoriam*) e Eunice, por todo amor, carinho, compreensão e dedicação, possibilitando-me concretizar mais uma etapa da minha vida. Espero ser sempre um orgulho para vocês. Esta vitória é nossa.

Aos meus familiares, pelo apoio incondicional, força e coragem, pela confiança que me foi depositada e pela paciência nos momentos mais difíceis. Esta vitória é nossa.

Ao meu marido José Wellington, pelo amor, pela compreensão, confiança e por estar sempre ao meu lado, me apoiando, motivando, fazendo com que eu superasse todas as minhas dificuldades nesta etapa. Esta vitória é nossa.

Aos meus sogros, José Alves e Maria Telma, pelo incentivo, carinho e por me acolherem como filha. Esta vitória é nossa.

Às minhas colegas do Mestrado pelo companheirismo e amizade.

Aos meus excelentes professores pelos ensinamentos, os quais levarei por toda vida e à minha querida professora orientadora Andrea Parisi Kern pela amizade, carinho, dedicação e apoio.

Às empresas construtoras que colaboraram com informações para o desenvolvimento desta pesquisa.

Meu carinho àqueles que, com dedicação, amizade, ou pelo simples convívio, ajudaram-me a chegar à conclusão de mais esta jornada.

Agradeço a todos que vibram comigo a conquista de mais uma etapa de minha vida, que juntos buscaram a realização dos meus sonhos.

Enfim, a todas as pessoas que contribuíram para esta conquista.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 JUSTIFICATIVA	25
1.2 OBJETIVOS	26
1.2.1 Objetivo geral	26
1.2.2 Objetivos específicos	26
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA	26
1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	27
2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	28
2.1 LEGISLAÇÃO NACIONAL E GERENCIAMENTO DE RCD	30
2.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO: ORIGEM E CAUSAS	35
2.3 PARÂMETROS E INDICADORES DE QUANTIFICAÇÃO DE RCD	39
2.3.1 Indicador de quantificação proposto por Pinto (1999)	40
2.3.2 Indicador de quantificação proposto por Lage <i>et al.</i> (2010)	41
2.3.3 Indicador de quantificação proposto por Llatas (2011)	41
2.3.4 Indicador de quantificação proposto por Sáez <i>et al.</i> (2012)	42
2.3.5 Indicador de quantificação proposto por Li <i>et al.</i> (2013)	44
2.3.6 Indicador de quantificação proposto por Mália <i>et al.</i> (2013)	45
2.3.7 Método de quantificação proposto por Dias (2013)	46
2.4 Resumo dos indicadores de quantificação propostos pelos autores citados acima	46
3 MÉTODO DE PESQUISA	48
3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS	49
3.2 TRATAMENTO DOS DADOS	55
3.3 APLICAÇÃO DO MODELO	56
4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	60
4.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS	60
4.1.1 Variável dependente – volume de resíduos gerados / área construída	60
4.1.2 Variáveis independente – relacionadas ao projeto	61
4.1.3 Variáveis independentes – relacionadas ao sistema construtivo	61
4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DE OBRAS COMERCIAIS VERTICAIS	62
4.2.2 Análise da variável dependente (Y)	62
4.2.3 Análise das variáveis independentes (X)	65
4.2.4 Análise de regressão	68
4.2.5 Modelo de estimativa de geração de resíduos em obras comerciais verticais	71
4.2.6 Aplicação do modelo para estimar a geração de resíduos das obras estudadas	73
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS COM AMPLIAÇÃO DA AMOSTRA	75
4.3.1 Análise descritiva dos dados coletados com a ampliação da amostra	75
4.3.2 Análise da variável dependente (Y)	76
4.3.3 Análise das variáveis independentes (X)	78
4.3.4 Análise de regressão	81
4.3.5 Modelo de estimativa de geração de resíduos em obras comerciais e residenciais verticais	84
4.3.6 Aplicação do modelo para estimar a geração de resíduos com ampliação da amostra	86
4.4 COMPARAÇÃO COM ÍNDICES DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS PUBLICADOS NA LITERATURA	87
5 CONCLUSÃO	89
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos resíduos da construção civil.....	32
Tabela 2 - Geração de RCD em algumas obras em diversas cidades brasileiras	40
Tabela 3 - Cálculo do primeiro indicador (i_1)	43
Tabela 4 - Cálculo do segundo indicador (i_2)	43
Tabela 5 - Cálculo do terceiro indicador (i_3)	44
Tabela 6 - Indicadores de RCD	45
Tabela 7 - Indicadores de estimativas de RCD em estudos anteriores.....	47
Tabela 8 - Percentual de participação das empresas.....	50
Tabela 9 - Descrição das obras em estudo – Planta baixa.....	51
Tabela 10 - Descrição das obras em estudo – Corte.....	52
Tabela 11 - Quantificação dos resíduos gerados em cada obra.....	57
Tabela 12 - Variáveis independentes relacionadas ao projeto (quantitativas).....	58
Tabela 13 - Descrição das obras Dias (2013) – Planta baixa	59
Tabela 14 - Quantificação dos resíduos gerados em cada obra (informação dada pelas empresas).....	60
Tabela 15 - Variáveis independentes relacionadas ao projeto (quantitativas).....	61
Tabela 16 - Variáveis independentes relacionadas ao sistema construtivo (qualitativas).....	61
Tabela 17 - Estatística descritiva da amostra.....	62
Tabela 18 - Teste de normalidade – variável dependente (volume de resíduos (m^3)).....	63
Tabela 19 - Teste de normalidade – variável dependente (índice de geração de resíduos (m^3/m^2))	64
Tabela 20 - Valores de correlação de Pearson entre as variáveis independentes	68
Tabela 21 - Resumo da análise de regressão – Modelo 1.....	69
Tabela 22 - Coeficientes do Modelo 1.....	69
Tabela 23 - Resumo da análise de regressão – Modelo 2.....	69
Tabela 24 - Coeficientes do Modelo 2.....	69
Tabela 25 - Resumo da análise de regressão – Modelo 3.....	70
Tabela 26 - Coeficientes do Modelo 3.....	70
Tabela 27 - Resumo da análise de regressão – Modelo 4.....	70
Tabela 28 - Coeficientes do Modelo 4.....	70
Tabela 29 - Resumo da análise de regressão – Modelo 5.....	71
Tabela 30 - Coeficientes do Modelo 5.....	71
Tabela 31 - Teste de normalidade dos resíduos da regressão.....	72
Tabela 32 - Dados utilizados para calcular a estimativa proposto pelo trabalho	73
Tabela 33 - Dados utilizados para calcular o modelo proposto por Dias (2013)	74
Tabela 34 - Resultado da estimativa das obras comerciais verticais em estudo.....	75
Tabela 35 - Estatística descritiva da amostra.....	76
Tabela 36 - Teste de normalidade – variável dependente (índice de geração de resíduos (m^3/m^2))	77
Tabela 37 - Valores de correlação de Pearson entre as variáveis independentes	81
Tabela 38 - Resumo da análise de regressão – Modelo 1.....	81
Tabela 39 - Coeficientes do Modelo 1.....	82
Tabela 40 - Resumo da análise de regressão – Modelo 2.....	82
Tabela 41 - Coeficientes do Modelo 2.....	82
Tabela 42 - Resumo da análise de regressão – Modelo 3.....	83
Tabela 43 - Coeficientes do Modelo 3.....	83
Tabela 44 - Resumo da análise de regressão – Modelo 4.....	83
Tabela 45 - Coeficientes do Modelo 4.....	83

Tabela 46 - Resumo da análise de regressão – Modelo 5.....	84
Tabela 47 - Coeficientes do Modelo 5.....	84
Tabela 48 - Teste de normalidade dos resíduos da regressão.....	85
Tabela 49 - Dados utilizados para calcular a estimativa proposto pelo trabalho	86
Tabela 50 - Resultado da estimativa das obras comerciais e residenciais.....	87
Tabela 51 - Comparativo entre os resultados obtidos de geração de RCD pelos modelos propostos com a geração de RCD informadas pelas empresas e pelos indicadores de estimativa propostos por Pinto (1999), Llatas (2011), Mália et al. (2013) e Dias (2013).....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Total de RCD coletados no Brasil e Regiões (tx1000/ano).....	29
Figura 2 - Delineamento da pesquisa	49
Figura 3 - Esquema de compensação por acréscimo de pavimentos.....	54
Figura 4 - Gráfico boxplot da variável dependente – Volume de resíduos (m ³)	63
Figura 5 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q plot para o volume de resíduos (m ³).....	63
Figura 6 - Gráfico tendência normal (detrended normal q-q plot)	63
Figura 7 - Gráfico boxplot da variável dependente – Índice de geração de resíduos (m ³ /m ²) .	64
Figura 8 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q plot para o índice de geração de resíduos (m ³ /m ²).....	64
Figura 9 - Gráfico tendência normal (detrended normal q-q plot)	64
Figura 10 - Gráfico variável – N° de tipos / total de pavimentos	65
Figura 11 - Gráfico variável – Área total construída (m ²).....	65
Figura 12 - Gráfico variável – N° de pavimentos tipo.....	66
Figura 13 - Gráfico variável – Índice econômico de compacidade (Iec)	66
Figura 14 - Gráfico variável – Densidade de paredes internas (m/m ²).....	67
Figura 15 - Gráfico variável – Área do pavimento tipo (m ²)	67
Figura 16 - Gráfico Q-Q normal de resíduos não padronizados.....	72
Figura 17 - Gráfico tipo/total x resíduos não padronizados	72
Figura 18 -Gráfico área total construída x resíduos não padronizados	72
Figura 19 - Gráfico Iec x resíduos não padronizados.....	73
Figura 20 - Gráfico boxplot da variável dependente – Índice de geração de resíduos (m ³ /m ²)	77
Figura 21 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q plot para o índice de geração de resíduos (m ³ /m ²).....	77
Figura 22 - Gráfico tendência normal (detrended normal q-q plot)	77
Figura 23 - Gráfico variável – N° de tipos / total de pavimentos	78
Figura 24 - Gráfico variável – Área total construída (m ²).....	79
Figura 25 - Gráfico variável – N° de pavimentos tipo.....	79
Figura 26 - Gráfico variável – Índice econômico de compacidade (Iec)	79
Figura 27 - Gráfico variável – Densidade de paredes internas (m/m ²).....	80
Figura 28 - Gráfico variável – Área do pavimento tipo (m ²)	80
Figura 29 - Gráfico Q-Q normal de resíduos não padronizados.....	85
Figura 30 - Gráfico tipo/total x resíduos não padronizados	85
Figura 31 - Gráfico área do pavimento tipo x resíduos não padronizados	85
Figura 32 - Gráfico Iec x resíduos não padronizados.....	86
Figura 33 - Gráfico densidade de paredes internas x resíduos não padronizados	86

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

RCC – Resíduos da Construção Civil

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

PGRCC – Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre Resíduos Sólidos

RESUMO

LIMA, G. B. de. **Modelo para estimar a geração de resíduos na construção de obras comerciais verticais**. São Leopoldo, 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2017.

A indústria da construção civil tem um papel fundamental em termos econômicos e sociais para o país. Mas do ponto de vista ambiental, é um dos setores que mais se destaca em relação ao consumo de matérias-primas, além de gerar um grande volume de resíduos de construção e demolição. Para evitar ou reduzir a geração destes resíduos é necessário investigar a sua origem, que pode ser desde a fase do projeto até a de produção, e quantificar a geração para o estabelecimento de parâmetros e controle. Neste contexto, este estudo propõe um modelo para estimar a geração de resíduos na construção de obras comerciais verticais, considerando características específicas das construtoras que atuam na região metropolitana de Porto Alegre/RS. O método de pesquisa consiste num estudo de múltiplos casos, utilizando ferramenta de análise estatística. A pesquisa foi realizada em três etapas: 1) levantamento de dados através de variável dependente (geração de resíduos por área construída – m^3/m^2) e as variáveis independentes (características de projeto arquitetônico e sistema construtivo); 2) tratamento dos dados utilizando regressão linear múltipla; e 3) aplicação do modelo estatístico e análise com ampliação da amostra. Inicialmente a amostra é constituída por dados de 6 obras comerciais verticais de 5 empresas da região metropolitana de Porto Alegre/RS, gerando um modelo estatístico com R^2 ajustado = 0,967, permitindo explicar 97% da geração de resíduos por área construída em obras com características semelhantes. As variáveis que formam o modelo consistem em: variável dependente “geração de resíduos por área construída” e as variáveis independentes “tipo/total”; “área total construída”; “índice econômico de compactidade” e “sistema construtivo”. A amostra ampliada é formada por 12 obras, incluindo 6 obras residenciais verticais que atuam na região metropolitana de Porto Alegre/RS. Como resultado foi testado um modelo estatístico, formado pela variável dependente e as variáveis independentes. Ao comparar os valores estimados de geração de resíduos (m^3/m^2) utilizando este modelo é possível observar que o modelo gerado a partir das obras somente do segmento comercial mostra maior aproximação aos valores de geração de resíduos informados pelas empresas construtoras.

Palavras-chave: Construção civil, resíduos de construção, quantificação de resíduos.

ABSTRACT

LIMA, G. B. de. **Model to estimate the generation of waste in the construction of vertical commercial works.** São Leopoldo, 2017. 96 f. Dissertation (Master in Civil Engineering) - Post-graduation Program in Civil Engineering, Unisinos, São Leopoldo. 2017.

The construction industry plays a key role in economic and social terms for the country. But from the environmental point of view, it is one of the sectors that stands out more in relation to the consumption of raw materials, besides generating a large volume of construction and demolition waste. To avoid or reduce the generation of these wastes, it is necessary to investigate their origin, which can be from the project to the production phase, and quantify the generation for the establishment of parameters and control. In this context, this study proposes a model to estimate the generation of residues in the construction of vertical commercial works, considering specific characteristics of the constructors that operate in the metropolitan region of Porto Alegre/RS. The research method consists of a multiple case study using a statistical analysis tool. The research was performed in three stages: 1) data collection through a dependent variable (generation of waste by constructed area - m^3/m^2) and independent variables (characteristics of architectural design and construction system); 2) data treatment using multiple linear regression; and 3) application of the statistical model and analysis with amplification of the sample. Initially the sample consists of 6 vertical commercial works of 5 companies from the metropolitan region of Porto Alegre/RS, generating a statistical model with adjusted $R^2 = 0.967$, allowing to explain 97% of the waste generation by area constructed in works with similar characteristics. The variables that form the model consist of: dependent variable "generation of residues per constructed area" and independent variables "type/total"; "Total built area"; "Economic index of compactness" and "constructive system". The expanded sample consists of 12 works, including 6 vertical residential works that operate in the metropolitan region of Porto Alegre/RS. As a result was tested a statistical model, formed by the dependent variable and the independent variables. When comparing the estimated values of waste generation (m^3/m^2) using this model it is possible to observe that the model generated from the works only of the commercial segment shows a greater approximation to the values of generation of waste reported by the construction companies.

Keywords: Civil construction, construction waste, waste quantification.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um dos setores mais importantes para a economia do Brasil, sendo responsável em grande parte pelo crescimento do país, por meio da geração de renda e fazendo circular riquezas (SCHERRER; SILVA; BRITO, 2014). Segundo Alves e Dreux (2015) além de ser uma atividade econômica de grande ênfase, também é a que mais emprega, contribuindo assim para a redução dos indicadores sociais de desemprego.

Contudo, Alves e Dreux (2015) e Zeule (2014) afirmam que o setor da construção civil também é responsável por sérias consequências para o meio ambiente, como a escassez dos recursos naturais e a geração de resíduos. Com o crescimento das atividades de construção, houve um aumento da quantidade gerada de resíduos de construção, e a gestão dos resíduos de construção tornou-se um problema que atrai cada vez mais a atenção mundial (BAKSHAN *et al.*, 2015).

O setor da construção civil consome cerca de 50% de todos os recursos naturais, além de gerar um grande volume de resíduos de construção e demolição, sendo cerca de 60% da totalidade dos resíduos sólidos urbanos gerados nos municípios brasileiros tem origem do setor da construção civil (CARELI, 2008).

Os resíduos gerados durante a construção ou demolição, conhecidos como Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são de extrema relevância no montante que é produzido nos centros urbanos. Estes resíduos constituem uma parte representativa do total de resíduos gerados nas cidades (SILVA; FERNANDES, 2012), em todo o mundo. No Brasil, segundo Lima (2012), o grande volume gerado de resíduos aliado ao baixo índice de resíduos que são reciclados ou reaproveitados devem ser fatores que preocupam a indústria, academia, poder público e sociedade em geral.

A estimativa da quantidade de resíduos sólidos da construção gerada ao longo do tempo é de extrema importância para o gerenciamento destes resíduos, especialmente para servir de parâmetro para reduzir a quantidade de resíduos gerados nas atividades do setor da construção civil, primeira premissa de um sistema de gestão de resíduos (BRASIL, 2002).

No entanto, trata-se de uma atividade extremamente complexa, tendo em vista características próprias da indústria, do produto e do processo de produção na construção.

Oliveira (2008) ressalta que características como composição e quantidade produzida dependem diretamente do estágio de desenvolvimento da indústria da construção local. No Brasil diferentes métodos e parâmetros de quantificação fundamentam as estimativas de geração de RCD em diversos trabalhos acadêmicos, como os publicados por Pinto (1999), Souza *et al.* (2004) e Bernardes *et al.* (2008). Contudo, estes métodos foram desenvolvidos a partir de cenários com características específicas, que impactam diretamente a quantidade de resíduos: sistemas construtivos, sistemas de gestão das empresas, contratação e treinamento da mão de obra, entre outros.

Dias (2013) propôs um modelo estatístico para estimar a geração de RCD durante o processo de produção de obras residenciais verticais a partir de características do projeto arquitetônico e sistema produtivo. Em seu estudo investigou as principais variáveis de 20 obras, analisadas através de regressão múltipla, gerando um modelo para ser utilizado para estimar a quantidade de resíduo a ser gerada por novos empreendimentos, especialmente do segmento residencial. Os resultados do modelo de Dias (2013) também estão publicados em Kern *et al.* (2015).

Diante deste contexto, este trabalho tem como objetivo complementar a pesquisa realizada por Dias (2013) e investigar variáveis de projeto e produção que influenciam a geração de resíduos durante a construção de edifícios verticais no segmento comercial, com intuito de propor um modelo para estimar a geração destes resíduos na construção de obras comerciais verticais. Entende-se que, pela diferença de sistemas construtivos utilizados tradicionalmente nos dois segmentos haverá diferença significativa em relação a valores de resíduos gerados e/ou variáveis de projeto e produção.

O trabalho busca responder as seguintes questões de pesquisa:

“Quais são as principais variáveis, e como estas influenciam na geração de resíduos durante a construção de obras comerciais verticais?”

“Que características em termos de projeto e sistema construtivo as obras estudadas apresentam, e qual a influência das mesmas na geração de resíduos na construção das obras?”

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2015) a quantidade total de RCD coletado pelos municípios brasileiros são cerca de 45 milhões de toneladas de RCD em 2015, um aumento de 1,2% em relação a 2014, sendo que os municípios coletam apenas os resíduos lançados ou abandonados nos logradouros públicos.

Este trabalho entende que é fundamental o conhecimento da quantidade de resíduos gerada, pois é o primeiro passo para reduzir a quantidade dos resíduos e o gerenciamento dos mesmos nas atividades do setor da construção civil.

Existem vários métodos de quantificação de RCD proposto por diversos autores, como: Pinto (1999), Lage *et al.* (2010), Llatas (2011), Li *et al.* (2013), Mália *et al.* (2013), Dias (2013), entre outros. Contudo, segundo Dias (2013) mesmo com diversos métodos, a quantificação de resíduos de construção, ainda pode ser considerada como um desafio.

Sob uma nova perspectiva aos métodos publicados, Dias (2013) propôs um modelo para estimar a geração de RCD durante o processo de produção de obras residenciais verticais a partir de características do projeto arquitetônico e sistema produtivo, utilizando análise estatística para tratamento dos dados. Este trabalho tem como objetivo complementar a pesquisa realizada por Dias (2013), propondo um modelo para estimar a geração de resíduos na construção com foco no segmento de obras comerciais verticais.

1.2 OBJETIVOS

Segue abaixo a apresentação do objetivo geral e os objetivos específicos deste estudo.

1.2.1 Objetivo geral

Propor um modelo para estimar a geração de resíduos durante o processo de construção de obras comerciais verticais a partir de características do projeto arquitetônico e sistema construtivo.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Identificar variáveis de projeto e produção que influenciam a geração de resíduos durante a construção de edifícios verticais no segmento comercial;
- Verificar a influência de variáveis de projeto arquitetônico e o sistema construtivo em relação à geração de resíduos em obras comerciais verticais;
- Testar variáveis em modelo estatístico;
- Desenvolver um modelo estatístico.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

Esta pesquisa está dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo apresenta a introdução que descreve um panorama atual em relação à geração de resíduos na indústria da construção civil e as questões de pesquisa. Neste capítulo também são apresentados a justificativa, os objetivos geral e específicos, a estrutura da pesquisa e as delimitações do trabalho.

No segundo capítulo consiste em revisão bibliográfica que aborda sobre a geração de resíduos na construção civil, legislação nacional, gerenciamento de RCD, geração de resíduos de construção (origem e causas), parâmetros e métodos de quantificação de RCD e uma breve apresentação de alguns métodos de quantificação propostos na literatura.

No terceiro capítulo apresenta o método de pesquisa utilizado. Também mostra o delineamento da pesquisa e a explicação detalhada das etapas de pesquisa. O quarto capítulo

apresenta a análise e discussão dos resultados obtidos nesta pesquisa. No quinto capítulo é apresentado a conclusão e as sugestões para trabalhos futuros.

1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho utiliza como plano de pesquisa o estudo de múltiplos casos e tem como objetivo de investigar a geração de resíduos por área construída (m^3/m^2) em obras comerciais verticais concluídas. Os dados utilizados são de seis obras de cinco empresas construtoras da região metropolitana de Porto Alegre/RS. Os resultados obtidos são referentes aos dados coletados pelas empresas participantes, mediante a características de projeto arquitetônico e de produção. A quantidade de resíduos gerados em cada obra foi informada pelas empresas através do número total de caçambas coletas durante a execução de cada obra e a capacidade do volume das caçambas utilizadas. Não foi considerado o fator de empolamento dos resíduos nas caçambas. Também não foi considerado resíduo de solos, provenientes de terraplanagem e serviços de infraestrutura.

2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A preservação do meio ambiente é dever de todos, e neste sentido, a indústria da construção civil tem um papel fundamental (GEUS; GARCIAS, 2014), pois é considerada com um dos setores que mais causa impactos no meio ambiente (PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2013). De acordo com Almeida *et al.* (2015), a construção civil gera aspectos ambientais significativos e conseqüentemente causa impactos em todo o seu ciclo de vida, dentre as quais destacam-se a utilização de grandes quantidades de recursos naturais e a geração de resíduos.

Segundo Marinho *et al.* (2014), a construção civil utiliza em abundância os recursos naturais não renováveis, desde a matéria-prima até a energia consumida durante todo o processo. Na construção de diversos empreendimentos do ambiente construído esses recursos são consumidos de maneira equivocada, sem pensar no futuro das próximas gerações. Zordan (1997) explica que o grande consumo de matérias-primas está diretamente ligado ao grande desperdício de material que ocorre nos empreendimentos de construção, e em obras de reparos e adaptações das edificações existentes. Para se ter uma ideia do tamanho impacto que a indústria da construção civil promove ao meio ambiente, em comparação deste setor com a indústria automobilística, outra grande consumidora de recursos naturais, o autor concluiu que a primeira tem um consumo de 100 a 200 vezes maior que a segunda.

A geração de resíduos de construção é outro impacto ambiental que vem crescentemente preocupando o setor e o Poder Público. Os resíduos de construção e demolição (RCD) dispostos de maneira inadequada causam grandes impactos ao meio ambiente, como a poluição do solo, obstrução de vias de tráfego, consumo desnecessário de recursos naturais, degradação ambiental, problemas de saúde pública, entre outros (PIMENTEL, 2013; COSTA *et al.*, 2014).

Os impactos decorrentes da geração de RCD são provenientes do expressivo volume gerado, seu nível de biodegradabilidade e sua disposição irregular, que se desdobram em problemas ambientais, sociais e econômicos. Eles são responsáveis pelo esgotamento de áreas de aterros em cidades de médio e grande porte uma vez que eles correspondem a mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos. Ademais, os mesmos produzem altos custos socioeconômicos e ambientais na maioria das cidades em virtude das deposições irregulares (MARQUES NETO, 2005; ÂNGULO, 2005).

Os resíduos de construção e demolição são um problema mundial, que diz respeito aos agentes envolvidos nas atividades de construção e também dos governantes (SOLÍS-GUZMÁN *et al.*, 2009). Em todos os países, o volume de resíduo gerado pela indústria da construção civil é muito significativo, porém, a legislação e, na prática, a forma de lidar com o resíduo gerado é muito diferente. Como exemplo, cita-se o Japão que, em dez anos, obteve uma redução na quantidade de RCC gerada de 99 milhões de toneladas para 77 milhões de toneladas (GEHRKE, 2012). Outros exemplos de gestão são os adotados na Bélgica, Holanda e Dinamarca onde o percentual de RCC reciclado observado é na faixa de 80 a 90%, assim como em Israel e Espanha, que apresentaram um índice de reciclagem de 20% e 10%, respectivamente (KATZ e BAUM, 2011; MÁLIA *et al.*, 2011). Já, de acordo com Jaillon *et al.* (2009), a indústria da construção de Hong Kong produziu em 2005, cerca de 21,5 milhões de toneladas, sendo o montante de 11% destinado a aterros e 89% em áreas de preenchimentos públicos.

No Brasil, segundo Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), os municípios coletaram cerca de 45 milhões de toneladas de RCD em 2014, o que implica no aumento de 4,1% em relação a 2013 (Figura 1) (ABRELPE, 2014).

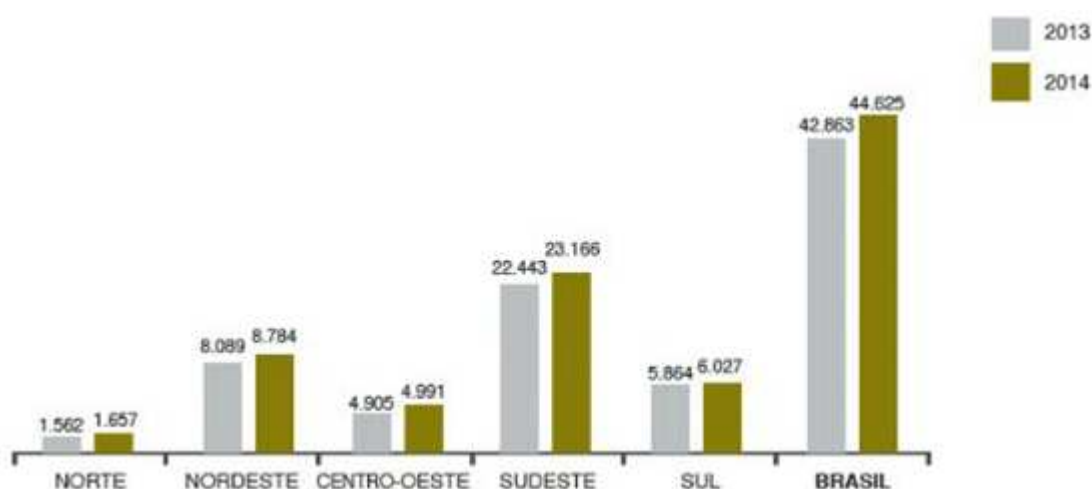


Figura 1 - Total de RCD coletados no Brasil e Regiões (tx1000/ano)

Fonte: Abrelpe (2014)

Em 2015, a quantidade total de RCD coletado pelos municípios brasileiros foi de 123.721 (t/dia). A comparação com a quantidade de 122.262 (t/dia) coletada em 2014, configura um aumento de 1,2% em relação a 2014 ABRELPE (2015). Esses dados se referem ao resíduo de construção coletado por empresas públicas de limpeza urbana. A quantidade total produzida pela indústria da construção civil Brasileira tende a ser muito maior, tendo em

vista as coletas realizadas por empresas particulares e mesmo o descarte ilegal e construções informais, ainda muito presentes no país. No entanto, os dados oficiais da ABRELPE mostram que a quantidade de RCD coletada no Brasil vem aumentando de um ano para o outro.

De acordo com Ângulo (2005), em sua maioria o RCD apresenta natureza mineral (como por exemplo: concretos, argamassas, rochas, solos e cerâmicas), considerados como inertes. Porém, a partir de um levantamento bibliográfico internacional, componentes orgânicos como plásticos, tintas, óleos, asfaltos e madeiras, bem como o amianto e algumas substâncias inorgânicas como manganês podem contaminar aterros ou colocar em risco a saúde das pessoas.

Além dos resíduos inertes, existem resíduos dificilmente degradáveis pela natureza, como vidro, metal, plástico e pedra, entre outros. Como exemplo, a madeira, material amplamente utilizado, muitas vezes de maneira temporária (fôrmas e apoios nos canteiros de obra), é um material considerado dificilmente degradável (MARQUES NETO, 2005).

A composição dos RCD é diferente em cada país, em função da diversidade de tecnologias construtivas e tipos de materiais de construção utilizados. Por exemplo, na construção americana e japonesa, a madeira mais utilizada do que na construção europeia. O gesso é há mais tempo utilizado na construção americana e europeia do que na construção brasileira (PINTO, 1999).

Devido ao aumento dos volumes de resíduos, a falta de aterros sanitários e dos impactos ambientais, a gestão de resíduos tornando-se cada vez mais relevante para proteger a saúde pública e os ecossistemas naturais (YEHEYIS *et al.*, 2013).

2.1 LEGISLAÇÃO NACIONAL E GERENCIAMENTO DE RCD

A compreensão em relação ao problema enfrentado em função da geração de resíduos de construção deve ser precedida de conceitos e definições que têm como base as normas técnicas e legislações pertinentes ao tema (FRAGA, 2006). No Brasil, foram elaboradas legislações, visando à uma gestão adequada e à minimização dos impactos ambientais, devido à expansão das atividades pelo setor da construção civil, sendo elas: Resolução CONAMA n.º 307/2002 e a Lei Federal 12.305/2010 sobre as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (SANTOS *et al.*, 2012).

A Resolução nº. 307 do CONAMA¹ (BRASIL, 2002) estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC), que representam um percentual significativo dos resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas. Estas diretrizes têm como foco a não geração de resíduos, porém, tratam também sobre a redução, reutilização, reciclagem e sobre as técnicas de destinação e disposição final correta. Os resíduos da construção civil segundo a Resolução nº. 307 do CONAMA (BRASIL, 2002) são:

Os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (BRASIL - RESOLUÇÃO CONAMA N° 307, 2002, p. 1).

Após a definição apresentada sobre os resíduos da construção civil é importante salientar sobre a classificação dos mesmos de acordo com a determinação feita pela Resolução nº 307, 2002 do CONAMA que estabelece quatro classes. A Tabela 1 apresenta a classificação dos resíduos estabelecidos pela Resolução nº 307, 2002 do CONAMA.

1 A Resolução CONAMA 307/2002 utiliza a sigla RCC (Resíduos da Construção Civil) ao invés da sigla RCD (Resíduos de Construção e Demolição), termo utilizado no meio acadêmico, incluindo este trabalho, em tradução ao termo utilizado na língua inglesa (CDW – *construction and demolation waste*).

Tabela 1 - Classificação dos resíduos da construção civil

CLASSE	ORIGEM	TIPO DE RESÍDUO
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados.	Pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem. Construção, demolição, reformas e reparos de edifícios como: tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, concreto e argamassa.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações.	Plásticos, papel, papelão, madeiras, metais, vidros, gesso e embalagens vazias de tintas imobiliárias.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Não tem nenhuma especificação pela Resolução.
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção.	Tintas, óleos, solventes, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos prejudiciais à saúde.

Fonte: Adaptado de Brasil (2002)

Cabe ressaltar que a Resolução 307/2002 sofreu algumas alterações através das Resoluções n.º 431, 2011 sobre o resíduo de gesso, mudando-o da classe C para a Classe B e pela Resolução n.º 348, 2004 que inclui o amianto na Classe D, de resíduos perigosos. A Resolução 469/2015 altera a Resolução 307/2002 em relação a Classe B, acrescentando os resíduos de embalagens vazias de tintas imobiliárias.

No entanto, embora a Resolução 307 esteja em vigor desde 2002, Fernandes (2013) afirma ainda que existem problemas decorrentes da falta de conhecimento ou de um planejamento eficiente para a gestão de resíduos de construção e demolição - RCD.

Segundo a Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos da construção civil são todos aqueles gerados em construções, reformas, reparos e demolições de obras civis. Em seu Artigo 12 é proposto o Sinir – Sistema Nacional de Informações sobre Resíduos Sólidos que deverá ser organizado e mantido de forma conjunta pela União, os Estados, o Distrito Federal e pelos Municípios.

A lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010 também define que os Estados, Distrito Federal e os Municípios devem fornecer ao órgão federal responsável pelo Sinir, todas as informações necessárias sobre os resíduos sob sua esfera de competência de forma e periodicidade estabelecidas por lei.

Com base na classificação exposta, há que se atentar ainda que, o gerador poderá identificar quais as diferentes soluções para os distintos resíduos produzidos no seu

empreendimento, atingindo dessa maneira, um menor custo de disposição final e ganhos socioambientais.

A resolução 307/2002 do CONAMA define o gerenciamento de resíduos da construção civil como um sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar, incluindo, planejamento e responsabilidades. Segundo Fernandes (2013) para que se concretize um eficiente sistema de gerenciamento de RCD, alguns elementos físicos são imprescindíveis e previstos na legislação, como: planejamento, implementação e manutenção.

Em termos gerais, o Projeto de Gerenciamento deve adotar às exigências das seguintes etapas da Resolução CONAMA n.º 307/2002. No art. 9º da Resolução 307/2002, os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil deverão considerar as seguintes etapas:

Caracterização: nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;

Triagem: deverá ser realizada, de preferência, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para esse intuito, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas no art. 3º desta Resolução;

Acondicionamento: o gerador deve assegurar o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;

Transporte: deverá ser realizado em consonância com as etapas anteriores e segundo as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;

Destinação: deverá ser prevista conforme o estabelecido na referida Resolução.

Cabral e Moreira (2011) explicam que a gestão dos RCD deve seguir os preceitos do Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) elaborado para o empreendimento e apresentado ao órgão fiscalizador competente. Segundo Pimentel (2013), o gerenciamento inadequado dos resíduos gerados na construção civil acarreta a necessidade de ações corretivas. Para que isso seja minimizado, é fundamental que se inicie pelas ações preventivas, de modo que priorizem a não geração e as formas de acompanhamento dos resíduos, antes de encaminhá-los para a disposição final.

A gestão de resíduos deve focar três pontos: o Gerador, reduzindo a quantidade de resíduos gerados e realizando a segregação dos materiais, para a correta destinação; o Transportador, realizando a disposição correta e legal; e o Poder Público, disponibilizando áreas, projetos e mão-de-obra qualificada para que seja feito o máximo reaproveitamento do material (AMADEI *et al.*, 2011, p. 197-198).

Evidentemente que existem alguns desafios no que tange à realização do gerenciamento de resíduos da construção civil, dentre os quais Blumenschein (2007) destaca:

- O conhecimento do volume do resíduo produzido (que justifica todo o esforço para a redução de sua geração);
- O número de participantes no processo construtivo (que torna o fluxo de informação falho);
- O número de agentes do setor produtivo, setor público e terceiro setor que compartilham a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos sólidos (quando o setor público não cumpre com a sua responsabilidade enfraquece as ações e os esforços do setor produtivo e do terceiro setor);
- Os recursos escassos para financiamento de projetos de pesquisa de novos materiais produzidos pela reciclagem de resíduos;
- Os recursos escassos dos municípios para atacarem os problemas de gestão ambiental;
- O potencial de reciclagem (desperdiçado) dos resíduos sólidos oriundos do processo construtivo (em torno de 80% dos resíduos de uma caçamba são recicláveis);
- A necessidade e responsabilidade do setor público de instituir instrumentos que controlem e estimulem a gestão dos resíduos gerados em canteiros de obras;
- A responsabilidade e o compromisso do setor produtivo em atender às legislações referentes ao tema.

Segundo Bakshan *et al.* (2015), a gestão adequada de resíduos de construção é uma necessidade para proteção dos recursos naturais. A elaboração de um plano de gestão de resíduos exige a identificação e a quantidade de resíduos gerados em diversos estágios de construção. Um sistema de gestão ambiental poderá contribuir não apenas com a questão de

gerenciamento dos resíduos de construção civil, bem como para o uso racional dos recursos naturais por meio de soluções inovadoras (KARPINSKI *et al.*, 2008).

A gestão de resíduos de construção e demolição pode contribuir significativamente à redução do material nas fases de planejamento, reduzindo assim os resíduos e os desperdícios nos canteiros de obras, podendo ser reutilizados ou reciclados os materiais no próprio local (YEHEYIS *et al.*, 2013).

Segundo Bartholomeu e Caixeta-Filho (2011), cada país possui suas particularidades no tocante à geração de resíduos e mais especificamente, cada município pode observar situações bastante diferenciadas. Assim, é necessário esclarecer que a escolha do local para acomodar resíduos sólidos deve obedecer a várias normas de caráter ambiental, operacional e econômico.

Para a implementação do gerenciamento dos resíduos de construção civil, deve-se ter o conhecimento de sua taxa de geração da localidade, com a finalidade de atender às exigências legais (PIMENTEL, 2013). Segundo Bakshan *et al.* (2015), o primeiro passo para o gerenciamento de resíduos de construção é a quantificação de resíduos gerados a partir de diversas etapas de construção.

2.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO: ORIGEM E CAUSAS

Os resíduos de construção e demolição (RCD) possuem características quali-quantitativas bem peculiares devido às diferentes técnicas e metodologias de execução. As características como composição e a quantidade de resíduos produzidos dependem do estágio de desenvolvimento da indústria da construção local. John e Agopyan (2000) esclarecem que a composição básica do entulho de obras de construção civil e de infraestrutura pode variar por conta dos sistemas construtivos e das disponibilidades regionais, isto é, dos materiais, da mão-de-obra e da tecnologia que podem ser empregados na execução de uma obra. Pode-se acrescentar que ocorrências associadas à fonte geradora, à fase da obra, e sua finalidade também influenciam na composição dos resíduos gerados.

Desta forma, a característica do RCD está condicionada a parâmetros específicos da região geradora do resíduo analisado (OLIVEIRA, 2008). Além de características do local, o segmento dos empreendimentos, também influencia a quantidade e característica dos RCD, devido às diferenças de sistemas construtivos empregados em cada um. Por exemplo, no Brasil, a métodos construtivos mais racionais e industrializados são mais comuns em obras

industriais e comerciais, sendo que no ramo residencial ainda há o emprego de técnicas construtivas de caráter artesanal, caracterizado pela baixa produtividade e grande desperdício. Porém, segundo qualquer tipo de processo produtivo gera algum tipo de resíduo, havendo a necessidade de planejamento visando estabelecer a redução e o descarte adequado dos resíduos gerados (ITO *et al.*, 2015).

Com os avanços tecnológicos e o crescimento populacional, o setor mundial da indústria da construção civil tem buscado sistemas construtivos eficientes para aumentar a produtividade e diminuir o desperdício. O desconhecimento da correta utilização de alguns materiais e técnicas construtivas ultrapassadas, causam um consumo desenfreado de matéria-prima, trazendo assim consequências como, o aumento na geração de resíduos sólidos decorrente dos excessos nos processos construtivos (DELONGUI *et al.*, 2011). Neste sentido, Silva e Fernandes (2012) argumentam que a construção civil brasileira ainda utiliza métodos ultrapassados que ocasiona desperdício, gerando prejuízos e uma grande produção de resíduos.

Porém, esta situação deve ser modificada a partir de novas tecnologias, melhor forma de permitir a industrialização e a racionalização dos processos (FREITAS; CRASTO, 2006), diminuindo, desta forma a geração de resíduos na fonte, primeira premissa de um sistema de gerenciamento de resíduo. Por outro lado, quando o resíduo é gerado, deve ser tratado com conhecimento técnico, pois na maioria das vezes esses materiais são matéria-prima para agregados de boa qualidade, podendo ser utilizados em diversas outras etapas do processo construtivo (SILVA; FERNANDES, 2012).

Segundo diferentes autores como Fraga (2006) Azevedo; Kiperstok e Moraes (2006) e Amadei *et al.* (2011), o principal aspecto para a geração de resíduos na construção, coloquialmente chamado de entulho de obra, é o desperdício de materiais, que ocorre desde a escolha dos fornecedores, passando pela etapa de projeto, fase de aquisição dos materiais (transporte, recebimento e o armazenamento no canteiro), fase de execução da obra (aumento de consumo de materiais devido a correções das imperfeições de execução), até a fase de pós-ocupação onde ocorre desperdício de materiais em função dos serviços de reparo.

De acordo com Leite (2001) as fontes de geração de resíduos na construção civil são diversas, como por exemplo: a falta de qualidade dos bens e serviços que podem dar origem a perdas de materiais que saem das obras em forma de entulho. Por outro lado, existem ainda as manifestações patológicas, que provocam o mau funcionamento da edificação, resultando numa redução de sua vida útil, tornando assim mais frequente a

necessidade de manutenção, fazendo com que haja um maior consumo de matéria prima e a produção de resíduos. Martins (2012) afirma que, muitas vezes, a geração de resíduos do setor da construção civil pode ser considerada como consequência da falta de planejamento, originando um grande desperdício e perda nas etapas da obra.

Assim, quando são reduzidas as perdas geradas na fase de construção, também é reduzida quantidade de geração de resíduo nas fases de manutenção e demolição (JOHN; AGOPYAN, 2000). Um estudo feito pelos autores Al-Hajj e Hamani (2011) sobre as principais causas de resíduos de construção nos Emirados Árabes Unidos aponta: falta de consciência dos trabalhadores, projeto deficiente e retrabalho. Algumas práticas implementadas pelas empreiteiras para minimizar o desperdício de materiais de construção são: armazenamento adequado, treinamento e conscientização do pessoal envolvido.

Para Fabrício (2002), o projeto é considerado a fase mais estratégica do empreendimento com relação à fixação de gastos de produção e a qualidade do produto. Dentre diferentes conceituações de projeto, Thomaz (2001) o define como o conjunto de desenhos; cálculos; modelagens; memoriais justificativos da concepção, memoriais de construção; quantificações; fluxogramas de atividades; cronogramas; especificações de materiais, equipamentos e processos essenciais à perfeita construção da obra e sua manutenção preventiva ao longo da vida útil que lhe foi prevista.

Melhado e Violani (1992) declaram que a falta ou adiamento de decisões, principalmente nas fases iniciais da fase de projeto de empreendimentos, tanto no que se refere aos aspectos ligados às características do produto, quanto às definições que envolvem o sistema de produção, potencializa uma grande quantidade de erros e de retrabalho para todos os agentes envolvidos e constitui uma fonte expressiva de desperdício, com reflexos negativos sobre a qualidade final do produto final entregue.

As chances de recuperação de resíduos de construção e demolição na etapa do projeto aumentam porque os tipos e quantidades de resíduos são estimados em detalhe e, especificamente, para cada tipo de projeto a fim de desenvolver uma programação racional dos tipos e quantidades de resíduos esperado nas diversas fases do processo de construção antes do início das obras (LLATAS, 2011).

No entanto, a pesquisa feita por Osmani *et al.* (2006) mostra que a maioria dos arquitetos está ciente sobre a relevância da minimização de resíduos, mas pouca tentativa tem sido feita para reduzir o desperdício durante o processo de projeto. Innes (2004 apud

OSMANI *et al.*, 2006) estimou que 33% dos resíduos gerados, em virtude de falha de projetistas ao deixarem de projetar medidas de redução durante a fase de produção.

Segundo Mawakdye (1993 apud DELESDERRIER, 2015), uma grande parcela das perdas de eficiência na construção civil é causada por problemas relacionados ao projeto, tais como: modificações no transcorrer do processo construtivo, falta de consulta ou de cumprimentos às especificações e de detalhamento insuficiente de projeto, bem como falhas de coordenação entre as diversas especialidades de projeto.

A preocupação com o projeto tornou-se maior por ser a elaboração do projeto considerada uma das principais fontes de melhoria de desempenho do produto edificação, de diminuição de custos de produção, de diminuição de ocorrência de falhas tanto no produto quanto no processo e de otimização das atividades de execução (PERALTA, 2002, p. 26-27).

Com o propósito de minimizar o desperdício, Boehm (2012) apresenta seis estratégias de projetos que possibilitem esta minimização na geração de resíduos, sendo elas: redução no consumo de materiais; utilização de materiais reaproveitados e reciclados; projeto de estruturas visando à desconstrução para que ao final de sua vida útil do edifício, os seus materiais e componentes sejam facilmente removidos para reutilização ou reciclagem; padronização de materiais do projeto, com a finalidade de reduzir cortes no local; ajuste na padronização de materiais para adequar ao projeto; e projetar para uso preferencial de unidades pré-fabricadas, pois podem reduzir ou até eliminar o corte de materiais.

Para Chen *et al.* (2010) e Wang *et al.* (2015) devem ser previstos na fase de projetos métodos construtivos que reduzam a geração de resíduos de construção, utilizando-se, por exemplo, componentes pré-fabricados.

Neste contexto, foram investigados 14 projetos de edifícios em ambos os setores, públicos e privados em Hong Kong. Os projetos selecionados foram concluídos entre 2002 e 2004, após a implementação de um sistema de incentivo para promover o uso de pré-fabricados. Metade dos projetos foram utilizados técnicas de pré-fabricação, sendo 3 projetos de habitação pública e 4 empreendimentos residenciais privados. A outra metade foi utilizado método convencional de construção. Os resultados indicaram que o nível médio de redução de resíduos foi cerca de 52%, quando adotado por construção pré-fabricado (JAILLON *et al.*, 2009).

Além de falhas de projeto, falhas na gestão administrativa da obra ser causa de perdas, desperdício e geração de resíduo. As perdas na execução de edificações são diferentes entre países, em função da especialização da mão de obra e das técnicas de execução dos

serviços (PIMENTEL, 2013). Para o autor, parte das perdas poderia ser evitada ou reduzida através de melhorias na gestão administrativa da obra, pois um bom sistema de gestão contribui para a redução da geração dos resíduos de construção (PIMENTEL, 2013).

Com relação à etapa de manutenção e reforma, a geração de RCD está atrelada à correção de patologias, às reformas ou modernização da edificação ou de partes da mesma, que em muitas ocasiões exigem demolições parciais, e no descarte de estruturas e equipamentos que tenham se degradado e concluído sua vida útil (JOHN; AGOPYAN, 2000). A geração e o aproveitamento dos resíduos desta etapa dependem da vida útil dos edifícios e seus componentes, de incentivos para a realização de modernizações e da tecnologia de projeto que permitam a reutilização dos componentes (JOHN; AGOPYAN, 2000).

2.3 PARÂMETROS E INDICADORES DE QUANTIFICAÇÃO DE RCD

Conforme exposto anteriormente, o primeiro passo para o gerenciamento de resíduos de construção é a quantificação de resíduos gerados (BAKSHAN *et al.*, 2015) para o delineamento de estratégias e metas voltadas à redução dos resíduos (COSTA *et al.*, 2014; SÁEZ *et al.*, 2015). A construção de índice de geração de resíduos é um instrumento muito útil para estimar a quantidade de resíduos de construção e pode ser usado para aprimorar o desempenho sustentável da indústria da construção (LI *et al.*, 2013; MARTINS, 2012).

No entanto, a quantificação e o estabelecimento de índices de geração de resíduos de construção e demolição pode ser considerada ainda como um grande desafio, tendo em vista as diferentes peculiaridades de cultura, projeto e produção na indústria da construção (DIAS, 2013). Há na bibliografia diferentes métodos e parâmetros de quantificação que embasam as estimativas de geração de RCD. Entretanto, por serem criados a partir de características e cenários específicos, sua utilização em diferentes cenários pode gerar resultados distorcidos.

Por exemplo, segundo Monteiro *et al.* (2001) a taxa de geração de RCD no Brasil é de 300 kg/m² (área de construção), enquanto que em países desenvolvidos é em torno de 100 kg/m², próxima à taxa de 107,60 kg/m² proposta por Solis Guzman *et al.* (2009) referente à Espanha.

No Brasil existem diferentes taxas de geração de RCD publicadas por autores de diferentes localidades, sendo alguns apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Geração de RCD em algumas obras em diversas cidades brasileiras

Fonte	Taxa de geração estimada kg/m ²	Taxa de geração estimada m ³ /m ²	Localidade
Andrade <i>et al.</i> , (2001)	49,58	-	São Paulo/SP
Careli (2008)	104,49 a 115,82	-	São Paulo/SP
Carneiro (2005)	69,28 a 86,41	0,08	Recife/PE
Costa (2012)	106,63	-	João Pessoa/PB
Freitas (2009)	99,11	-	Batatais/SP
Levy e Helene (1997)	-	0,08	-
Marques Neto e Schalch (2010)	137,02	-	São Carlos/SP
Miranda <i>et al.</i> , (2009)	115,80	-	São Paulo/SP
Neto (2007)	-	0,08	-
Pinto (1999)	150	-	São Paulo/SP
Silva (2007)	97,51	0,10	Belo Horizonte/MG
Sardá (2003)	49	-	Blumenau/SC
Souza (2005)	89,68	-	Uberlândia/MG
Vasconcellos (2004)	-	0,06	-
Viana (2009)	209,03	-	João Pessoa/PB
Média dos estudos	96	0,08	
Monteiro <i>et al.</i> , (2001)	300	-	Brasil
Monteiro <i>et al.</i> , (2001)	< 100,00	-	Países desenvolvidos
Solis Guzman <i>et al.</i> , (2009)	107,60	-	Espanha

Fonte: Adaptado de Pimentel (2013)

Observa-se que alguns autores utilizam massa de resíduo por área de construção (kg/m²) e outros volume de resíduo por área de construção (m³/m²). Nas pesquisas que apresentam taxa de geração considerando a massa de resíduos a variação nos resultados é maior, apresentando média de 96 kg/m², bastante inferior à taxa proposta por Pimentel (2013). Os resultados que utilizam o volume de resíduos apresentam menor variação entre si.

A seguir são brevemente apresentados alguns métodos de quantificação propostos na literatura.

2.3.1 Indicador de quantificação proposto por Pinto (1999)

O método de quantificação de RCD proposto por Pinto (1999) foi de grande relevância no Brasil, pois serviu de base para vários outros trabalhos acadêmicos com a mesma temática. Esta pesquisa propõe uma metodologia caracterizada pela soma de três fatores: pela área construída, movimentação de cargas por coletores e o monitoramento de descargas nas áreas destinadas para o RCD. Esta última forma de quantificação é extremamente difícil, devido à pulverização das descargas em vários pontos no ambiente urbano.

A estimativa de geração de RCD em construções novas foi feita mediante informações adquiridas pelos registros de aprovação de projetos junto à prefeitura municipal. A taxa de geração de resíduos obtida neste estudo foi de 150 kg/m². A aplicação deste estudo leva em consideração que é muito pequeno o percentual de projetos aprovados que não são levados a concretização (PINTO, 1999).

2.3.2 Indicador de quantificação proposto por Lage *et al.* (2010)

O método proposto por Lage *et al.* (2010) foi aplicado na região da Galícia na Espanha, para estimar a quantidade e composição dos resíduos de construção e demolição para o ano de 2011. O método utiliza informações sobre as áreas de superfície de nova construção, renovação e demolição, que foram estimadas a partir de dados disponíveis nos últimos anos, bem como informações sobre a quantidade de resíduos gerados em cada unidade.

Através do estudo foi estimado a geração de nova construção 80 kg/m², que é equivalente a 0,11 m³/m² (densidade cerca de 700 kg/m³) para novas construções, 90 kg/m² (densidade de 650 kg/m³) para reformas e 1.350 kg/m² nas atividades de demolições. O estudo concluiu que na Galicia, cerca de 40% dos resíduos são gerados a partir de nova construção, 20% de renovação e 40% de demolição (LAGE *et al.*, 2010).

2.3.3 Indicador de quantificação proposto por Llatas (2011)

A fim de cumprir as metas estabelecidas no âmbito da legislação espanhola, a pesquisa feita por Llatas (2011), apresentou um modelo para quantificar resíduos em projetos de uma forma específica e detalhada detectando a sua fonte. O modelo foi aplicado a uma norma de habitação na Andalusia, utilizando como objeto de estudo um edifício de 4 andares com 26 habitações sociais. O modelo é baseado em fatores de quantificações estatísticos utilizando bancos de dados da construção, e também porque as taxas globais e percentuais obtidas no estudo de caso são próximas dos dados fornecidos pelo contratante e os poucos dados espanhóis disponíveis, sem um aumento da dispersão que ocorre mesmo entre estes estudos (LLATAS, 2011).

O modelo proposto desenvolve 3 ferramentas básicas: (1) Estrutura sistemática do processo de construção, a fim de identificar nos projetos os elementos de construção e seus materiais e componentes; (2) Aplicação do sistema de classificação de resíduos, a fim de obter

uma lista de resíduos codificados de acordo com a Lista Europeia de Resíduos; (3) Expressões analíticas que estimam a quantidade de resíduos. Neste estudo obteve-se uma taxa de geração de resíduos de construção (sem resíduos de solo) no valor de $0,1388\text{m}^3/\text{m}^2$. Embora isso significava 95% da quantidade real de resíduos, é considerado um valor aceitável para a finalidade do presente estudo (LLATAS, 2011).

2.3.4 Indicador de quantificação proposto por Sáez *et al.* (2012)

Sáez *et al.* (2012) utilizaram diversos projetos de habitação para determinar uma estimativa de RCD gerado durante o processo de construção. Esta pesquisa determinou três indicadores para estimar a geração de RCD em novos edifícios residenciais na Espanha.

A pesquisa foi realizada em 5 etapas: (1) Identificação do edifício tipicamente espanhol; (2) Caracterização dos projetos analisados; (3) Determinação dos estágios de construção; (4) Cálculo dos resíduos gerados nas obras estudadas; e (5) Desenvolvimento de um modelo empírico para prever as quantidades de resíduos em relação não só aos diferentes tipos de resíduos, mas também o estágio de construção (SÁEZ *et al.*, 2012).

O volume de resíduos produzidos em cada uma das etapas foi baseado nas categorias estabelecidas no Catálogo Europeu de Resíduos (EWC) para cada etapa de construção e no banco de dados do Instituto de Tecnologia da Catalonia - BEDEC (ITeC, 2010) que fornece a quantificação, tanto em peso (kg) como em volume (m^3) dos diferentes tipos de RCD gerados (SÁEZ *et al.*, 2012).

Foram determinados três indicadores: o primeiro indicador (i_1) permite a estimativa do volume total de RCD gerado na construção; o segundo indicador (i_2) permite uma estimativa de cada tipo de RCD gerado; e o terceiro indicador (i_3) refere-se ao volume (m^3) de RCD gerado por fase de construção para a superfície total construída (m^2) (SÁEZ *et al.*, 2012).

O indicador (i_1) foi obtido através da divisão entre a média do volume de resíduos totais gerados (m^3), valor baseado no banco de dados do BEDEC (ITeC, 2010) e a área total construída (m^2), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo do primeiro indicador (i_1)

Indicador (i_1)		
Volume (m ³)	Superfície construída (m ²)	i_1 (m ³ /m ²)
1.009,96	13.546,50	0,0746

Fonte: Adaptado de Sáez *et al.* (2012)

O indicador (i_2) relaciona o volume (m³) de cada categoria de RCD gerado em todo o processo de construção e a área total construída (m²), conforme mostra na Tabela 4.

Tabela 4 - Cálculo do segundo indicador (i_2)

Indicador (i_2)				
Tipo de RCD		Volume (m ³)	Superfície construída (m ²)	i_2 (m ³ /m ²)
EWC código	Especificação			
150101	Papel e papelão	66,02	13.546,50	0,00487
170101	Concreto	147,53		0,0109
170103	Telhas e materiais cerâmicos	157,81		0,0116
170107	Mistura de concreto, tijolos, telhas e materiais cerâmicos não contaminados	118,11		0,00872
170201	Madeira	282,16		0,0208
170203	Plástico	11,33		0,000836
170407	Metais diversos	29,65		0,00219
170904	Resíduos mistos sem mercúrio, materiais perigosos ou PCB	107,93		0,00797
170903*	Resíduos mistos contendo materiais perigosos	4,21		0,000311
150110*	Embalagens contaminadas com materiais perigosos	32,69		0,00241

*Resíduos perigosos

Fonte: Adaptado de Sáez *et al.* (2012)

O indicador (i_3) relaciona o volume de RCD (m³) gerado por cada etapa de construção para a área total construída (m²). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5 e mostram que a etapa 2 (paredes exteriores, divisórias internas e coberturas) é responsável por 46,05% do total de RCD e na etapa 1 (terraplanagem e estrutura) representam 28,65% do RCD previsto.

Tabela 5 - Cálculo do terceiro indicador (I_3)

Indicador (I_3)					
Etapa de construção	Descrição	Volume (m ³)	%	Superfície construída (m ²)	I_3 (m ³ /m ²)
1	Terraplanagem e estrutura	289,39	28,65	13.546,50	0,0238
2	Paredes exteriores, divisórias internas e coberturas	465,05	46,05		0,0322
3	Moldura de janelas e portas	4,53	0,45		0,000312
4	Elétrico e comunicações	79,04	7,83		0,00633
5	Sistemas de ar-condicionado	0,09	0,01		0,0000212
6	Sistemas hidráulicos	15,88	1,57		0,00189
7	Sistemas de aquecimento	104,76	10,37		0,00276
8	Sistemas de proteção contra incêndio	0,00	0,00		0,00000112
9	Energia solar térmica	0,01	0,00		0,00000429
10	Elevadores	23,13	2,29		0,00124
11	Vedações em vidro	0,63	0,06		0,0000565
12	Decoração	25,24	2,50		0,00169
13	Jardinagem e mobiliário urbano	2,22	0,22		0,000176

Fonte: Adaptado de Sáez *et al.* (2012)

Portanto, de acordo com os autores, a utilização dos três indicadores proporciona informações detalhadas antes da geração de resíduos, e conseqüentemente, uma melhor precisão para evitar ou reduzir a geração dos mesmos.

2.3.5 Indicador de quantificação proposto por Li *et al.* (2013)

Li *et al.* (2013) propõem um modelo para quantificar a geração de resíduos por área construída na China, para ser utilizado em estudos estatísticos de grande escala. A aplicação do modelo é constituída por 5 etapas, sendo elas: (1) Listagem dos principais materiais de construção; (2) Investigação da quantidade adquirida destes materiais; (3) Investigação da taxa de desperdício de material real de cada tipo de material listado na primeira etapa; (4) Estimativa da porcentagem dos resíduos remanescentes; e (5) Cálculo total da geração de resíduos por área construída para cada tipo cada material.

Para grandes quantidades de materiais é utilizado um fator por área construída para cada componente e para quantidades menores de material o modelo não utiliza fator, considerando a quantidade total de cada material (LI *et al.*, 2013).

Como estudo de caso para ilustrar o modelo de estimativa foi utilizado um edifício residencial recém-construído na cidade de Shenzhen no Sul da China. Neste caso a geração de resíduos por área construída foi de 40,7 kg/m². Desse montante os principais materiais foram:

o concreto que representa 43,5%, madeira 18,7%, barra de aço 9,8%, tijolos e blocos de 8,4%, argamassa 8,4% e azulejo 1,2%. O resíduo proveniente desses materiais totaliza 90% do resíduo gerado, sendo 10% proveniente de outros materiais utilizados (LI *et al.*, 2013).

Os dados foram comparados com os registros feitos no local de transporte, índice empírico da China e dados de outras economias. Comparações com estes dados revelam que o modelo proposto é válido e prático para estimar a geração de resíduos por área construída (LI *et al.*, 2013).

2.3.6 Indicador de quantificação proposto por Mália *et al.* (2013)

O estudo conduzido por Mália *et al.* (2013), para a determinação de indicadores para estimar a quantidade de resíduos gerados, utiliza em seis indicadores específicos: nova construção, demolição e reforma, considerando o segmento residencial e não residencial.

Os indicadores apresentados para o segmento de construções residenciais e não residenciais estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Indicadores de RCD

Residencial			Não residencial		
Nova construção	Demolição	Reforma	Nova construção	Demolição	Reforma
44-115 kg/m ²	805-1.371 kg/m ²	28-397 kg/m ²	48-135 kg/m ²	742-1.637 kg/m ²	20-326 kg/m ²

Fonte: Adaptado de Mália *et al.* (2013)

Os indicadores indicam que a composição média dos resíduos gerados no local é principalmente de concreto e cerâmico (cerca de 80% de todo o RCD gerado no local). A geração de resíduos de concreto em edifícios com estrutura de concreto armado consistem em: nova construção, varia de 18,3 e 40,1 kg/m²; demolição, varia entre 401 a 768 kg/m²; e reformas, entre 18,9 e 191,2 kg/m². Ainda em relação à geração de resíduos, os tijolos apresentam as seguintes estimativas: nova construção entre 15,6 e 54,3 kg/m²; demolição entre 176 e 438 kg/m² (indefinido); e reforma entre 11,2 e 62,0 kg/m² (MÁLIA *et al.*, 2013).

2.3.7 Método de quantificação proposto por Dias (2013)

Dias (2013) propôs em seu estudo um modelo estatístico para estimar a quantidade da geração de RCD em obras residenciais verticais. A amostra formada por 20 obras de 10 empresas que atuam na região metropolitana de Porto Alegre, utilizando análise estatística por regressão múltipla. Para as variáveis independentes foram coletados dados sobre projeto, sistema construtivo e sobre a organização do canteiro praticado pelas empresas construtoras. O tratamento dos dados foi feito mediante a análise estatística a partir do programa computacional IBM SPSS Statistics.

Como resultado foi gerado um modelo estatístico, formado pela variável dependente (volume total de resíduos gerados) e variáveis independentes relacionadas ao projeto (área total construída, área do pavimento tipo, número de pavimentos tipo, número total de pavimentos tipo/total, índice econômico de compacidade, perímetro de parede interna e a densidade da parede) e o sistema de produção (personalização dos apartamentos, reaproveitamento de resíduo em obra, organização do canteiro e sistema produtivo). O modelo proposto obteve um valor de R^2 ajustado = 0,69, permitindo explicar 69% da geração de resíduos em obras com características semelhantes.

2.4 Resumo dos indicadores de quantificação propostos pelos autores citados acima

A Tabela 7 apresenta um resumo dos estudos realizados anteriormente que determinam diferentes estimativas de geração de RCD, e também encontram-se destacadas as pesquisas que serão feitas um comparativo com os resultados de geração estimados pelo modelo proposto neste trabalho.

Tabela 7 - Indicadores de estimativas de RCD em estudos anteriores

AUTOR / ANO	TIPO DE PROJETO DE CONSTRUÇÃO	PAÍS	ESTIMATIVA DE RCD	JUSTIFICATIVA DE USO PARA COMPARAR OS RESULTADOS OBTIDOS NESTA PESQUISA
Pinto (1999)	Novas	Brasil	150 kg/m ²	Estudo de grande importância para o Brasil.
Lage <i>et al.</i> (2010)	Nova construção, renovação e demolição	Espanha	Nova construção (80 kg/m ²); Renovação (90 kg/m ²); e Demolição (1.350 kg/m ²).	
Llatas (2011)	Residencial	Espanha	0,1388 m ³ /m ²	Pode ser utilizado em outros países e também em outros tipos de edifícios, tais como escritório, industrial, educacional, etc.
Sáez <i>et al.</i> (2012)	Residencial	Espanha	0,0746 m ³ /m ²	
Li <i>et al.</i> (2013)	Residencial	China	40,7 kg/m ²	
Mália <i>et al.</i> (2013)	Nova construção, demolição e reforma (residencial e não residencial)	União Européia	Residencial: Nova construção (44-115 kg/m ²); Demolição (805-1.371 kg/m ²); e Reforma (28-397 kg/m ²). Não residencial: Nova construção (48-135 kg/m ²); Demolição (742-1.637 kg/m ²); e Reforma (20-326 kg/m ²).	Fornecer indicador corresponde a construção não residencial.
Dias (2013)	Residencial	Brasil	Equação	Esta pesquisa tem como objetivo em dar continuidade a pesquisa realizada por Dias (2013), mas no segmento comercial.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Neste trabalho foi utilizado como método de pesquisa o estudo de múltiplos casos que, de acordo com Yin (2015), é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo em seu contexto no mundo real, algo que o pesquisador tem pouco ou nenhum controle sobre os eventos e principalmente busca explicar as principais questões de pesquisa relacionadas à “como” ou “por que” os eventos acontecem.

Para Gil (2010), os objetivos do estudo de caso são: 1) explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos; 2) preservar o caráter do objeto estudado; 3) descrever a situação do contexto em que está sendo feita uma determinada investigação; 4) formular hipóteses ou desenvolver teorias; e 5) explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações complexas que não permitam o uso de levantamentos e experimentos.

Esta pesquisa baseou-se em um estudo de múltiplos casos, onde envolve a coleta e análise de diversas fontes de dados quantitativos e qualitativos observados nas obras comerciais verticais de várias empresas. O estudo foi realizado em três etapas principais: levantamento de dados, tratamento dos dados e aplicação do modelo. Na Figura 2 é apresentado o delineamento da pesquisa:

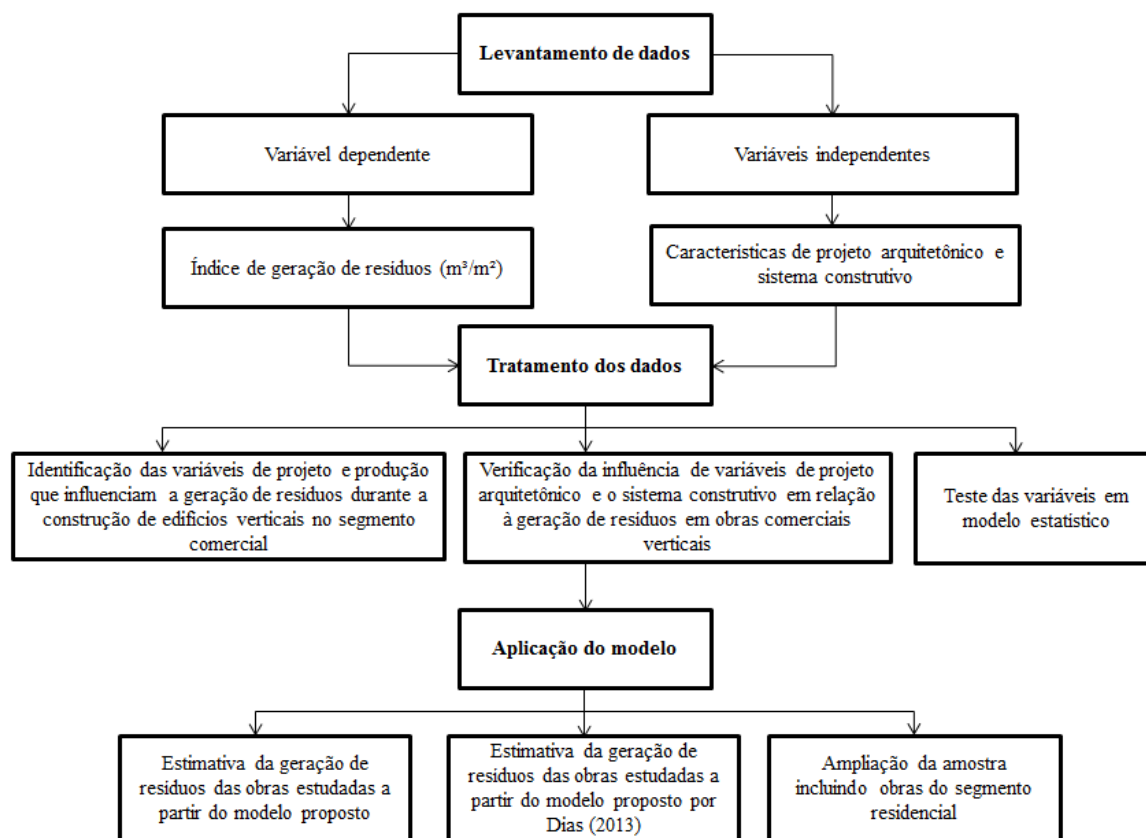


Figura 2 - Delineamento da pesquisa

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Esta etapa da pesquisa teve como objetivo levantar dados de geração de resíduos gerados na execução de obras comerciais verticais já concluídas. A quantidade de resíduos gerados em cada obra estudada foi informada pelas empresas construtoras, mediante o número total de caçambas retiradas de cada obra, a fim de formar um conjunto de amostras a serem estudadas por meio de regressão múltipla, relacionando variável dependente (geração de resíduos por área construída (m^3/m^2)) e variáveis independentes (características do projeto arquitetônico e sistema construtivo). O volume total de resíduos foi dividido pela área construída de cada empreendimento, obtendo-se o índice de geração de resíduos (m^3/m^2).

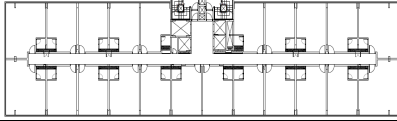
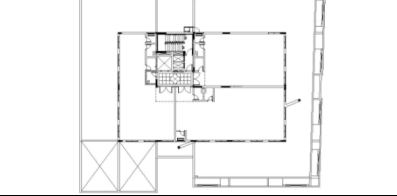
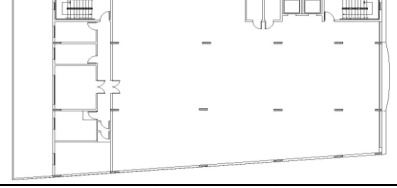
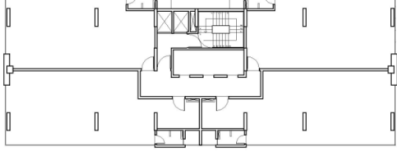
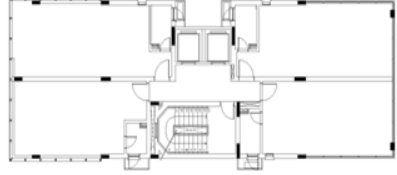
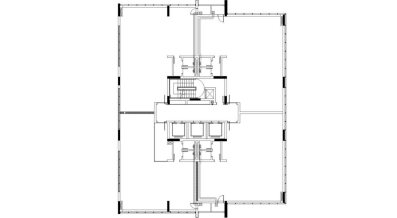
No total, cinco empresas construtoras aceitaram disponibilizar informações sobre seis obras comerciais verticais, realizadas na região metropolitana de Porto Alegre/RS, conforme é mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Percentual de participação das empresas

Empresa	Ident. Obra	Percentual de Empresa em n° de Amostras	Cidade/Estado da Obra
A	1	16,70%	Porto Alegre/RS
B	2	16,70%	Novo Hamburgo/RS
C	3	33,20%	São Leopoldo/RS
	4		
D	5	16,70%	Porto Alegre/RS
E	6	16,70%	Porto Alegre/RS


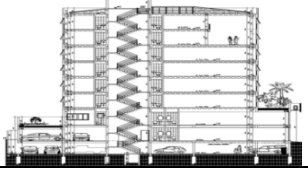
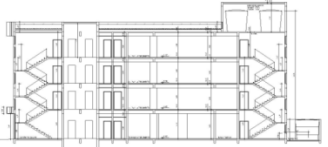
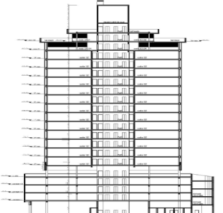
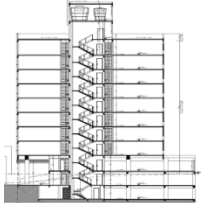
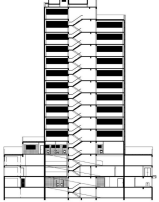
A Tabela 9 mostra as principais características das obras em termos de planta baixa do pavimento tipo, e porte dos empreendimentos (área total construída e a descrição dos pavimentos).

Tabela 9 - Descrição das obras em estudo – Planta baixa

Empresa	Id. Obra	Planta baixa – pavimento tipo	Área Total (m ²)	Descrição do Empreendimento
A	1		18.160,08	Térreo, 2º pavimento, 3º pavimento, 4º pavimento e 9 pavimentos tipo.
B	2		4.026,65	Subsolo (garagem), térreo, pavimento mezanino, 4 pavimentos tipo, 5º pavimento e 5º pavimento mezanino.
C	3		2.402,85	Térreo e 3 pavimentos tipo.
	4		13.000,00	Térreo, 3 pavimentos de garagem, 1 pavimento pilotis, 13 pavimentos tipo e 2 pavimentos de cobertura.
D	5		2.475,85	Subsolo, térreo, 2º pavimento e 8 pavimentos tipo.
E	6		11.692,67	Subsolo (garagem), térreo, 2º pavimento, 3º pavimento, 4º pavimento, 5º pavimento, 9 pavimentos tipo e 15º pavimento.

A Tabela 10 mostra as principais características das obras em termos do projeto arquitetônico (em corte) e sistema construtivo.

Tabela 10 - Descrição das obras em estudo – Corte

Empresa	Id. Obra	Projeto - corte	Sistema construtivo
A	1		Estrutura convencional com paredes externas em bloco cerâmico, paredes internas em drywall com exceção das paredes de compartimentação, ou seja, paredes de escadas e afins que são em bloco cerâmico, e fachada revestida em pele de vidro com sistema unitilizado.
B	2		Laje nervurada protendida, vedação externa e divisórias internas em bloco cerâmico e a fachada revestida em plaquetas cerâmicas, pele de vidro e porcelanato.
C	3		Sistema viga/pilar em concreto armado, com fechamento em alvenaria e pele de vidro. As divisórias internas foram feitas de gesso acartonado, alvenaria (tijolos furado e maciço) e placa cimentícia.
	4		Sistema viga/pilar em concreto armado, com fechamento em alvenaria e pele de vidro e divisórias internas em alvenaria.
D	5		Estrutura de concreto armado moldado in loco e a vedação em alvenaria em tijolos cerâmicos.
E	6		Estrutura convencional de concreto armado e alvenaria externas e internas em blocos cerâmicos.

Tanto as variáveis de projeto quanto as variáveis do sistema construtivo coletadas foram inspiradas no modelo proposto por Dias (2013). As variáveis independentes relacionadas ao projeto arquitetônico investigadas foram: área total construída (m²); área do pavimento tipo (m²); a relação entre o número de pavimentos tipo e o número total de pavimentos do edifício (tipo/total); densidade de paredes internas no pavimento tipo (m/m²), que se refere ao comprimento de paredes internas (apenas paredes em alvenaria) incluindo os pilares, dividido pela área do pavimento tipo e o índice econômico de compacidade (Iec) (adimensional), para medir e avaliar a relação entre as paredes que envolvem o edifício e a sua superfície, calculado mediante as Equações 1 e 2, propostas por Mascaró (2010).

Equação 1

$$Iec = \frac{2\sqrt{A_p \cdot \pi}}{Pep} \times 100$$

Onde:

Iec = Índice econômico de compacidade;

A_p = Superfície do projeto;

Pep = Perímetro econômico do projeto.

Equação 2

$$Pep = Ppr + 1,5Ppc + \frac{nA}{2}$$

Onde:

Pep = Perímetro econômico do projeto;

Ppr = Perímetro das paredes exteriores retas;

Ppc = Perímetro das paredes exteriores curvas;

nA = Número e arestas das fachadas.

A relevância em incluir o índice econômico de compacidade nas variáveis independentes está na hipótese que relaciona o índice e a geração de resíduos, visto que as arestas e curvas nas fachadas causam maior desperdício de materiais em função da dificuldade

de execução. Mascaró (2010) propôs o índice econômico de compacidade (Iec), considerando o número de arestas e curvas presentes nas paredes externas, sendo que estas implicam em um aumento no seu custo.

Com o propósito de homogeneizar as amostras foi adotado o critério de integrar os pavimentos de garagem ao edifício de pavimentos tipo, compensando o cálculo da relação entre o número de pavimentos tipo e o número total de pavimentos do edifício (tipo/total), como ilustrado na Figura 3 (Dias, 2013). O cálculo em relação ao tipo/total é expresso na Equação 3.

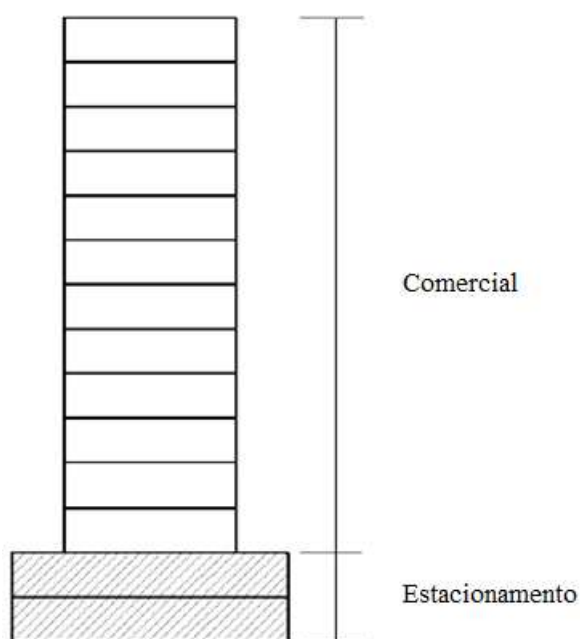


Figura 3 - Esquema de compensação por acréscimo de pavimentos
Fonte: Adaptado de Dias (2013)

Nº de tipos / total de pavimentos

Equação 3

O levantamento dos dados foi feito inicialmente em contato entre as empresas construtoras por telefone e por e-mail.

A coleta dos dados para a realização deste estudo foi feita através de solicitações / questionamentos encaminhadas por e-mail como: projetos arquitetônicos, projetos de fachadas, cortes, descrição detalhada do sistema construtivo, área total construída, quantidade de resíduos gerados, nº de caçambas e seu respectivo volume, cidade / estado de localização das obras, entre outras. Além disso, foi realizada pesquisa no site de cada empresa

participante com objetivo de obter mais informações sobre as obras. Também foi utilizado o “google earth” para ter uma visão ampla da edificação e tirar dúvidas de projeto e produção.

Após juntar as informações necessárias, foi realizado o levantamento de dados nos projetos para calcular as variáveis independentes relacionadas ao projeto arquitetônico foram: área total construída (m^2); área do pavimento tipo (m^2); a relação entre o número de pavimentos tipo e o número total de pavimentos do edifício (tipo/total); densidade de paredes internas no pavimento tipo (m/m^2), que se refere ao comprimento de paredes internas (apenas paredes em alvenaria) incluindo os pilares, dividido pela área do pavimento tipo e o índice econômico de compactidade (Iec). Também foi utilizado dados de quantificação de resíduos para calcular a geração de resíduos por área construída (m^3/m^2).

As variáveis referentes ao sistema construtivo são do tipo qualitativas e por este motivo necessitaram serem convertidas em números para poder ser processados estatisticamente. Para as características relacionada com o sistema construtivo foi adotada a seguinte pontuação: sistema construtivo artesanal (0) e o sistema construtivo industrializado (1). O sistema construtivo artesanal refere-se à utilização de métodos e processos empíricos e intuitivos. Já o sistema construtivo industrializado, conforme explica Rosso (1980) é definido como utilização de tecnologias que subsistem a habilidade do artesanato pelo uso da máquina. Em outras palavras, ela consiste no desenvolvimento das técnicas construtivas a fim de aperfeiçoar o processo e o produto final.

O critério de avaliação em relação ao sistema construtivo foi adotado da seguinte maneira: obras com mais de 50% em alvenaria, considerada artesanal (0), obras com menos de 50% em alvenaria, considerada industrializado (1). A partir da análise dos projetos arquitetônicos e do sistema construtivo foi realizada uma classificação com relação ao tipo de sistema construtivo de cada obra, considerando o perímetro de paredes internas em alvenaria (m), e em drywall (m) e também a densidade de paredes internas do pavimento tipo (m/m^2).

3.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Nesta etapa do trabalho foi realizado o tratamento de todos os dados, utilizando a regressão linear múltipla, a qual segundo Barros *et al.* (2008), trata-se de uma técnica estatística para investigar e modelar a relação entre variáveis, sendo uma das mais utilizadas na análise de dados. Um dos objetivos da análise de regressão é estimar os parâmetros desconhecidos do modelo. Downing e Clark (2011) afirmam ainda que a regressão múltipla

consiste em um método estatístico para análise da relação entre uma variável dependente e diversas variáveis independentes.

Todas as análises estatísticas foram obtidas através de um programa computacional denominado IBM SPSS Statistics, como ferramenta para análise de dados utilizando técnicas estatísticas avançadas. Roesch (1999) recomenda o uso desse programa no momento em que há necessidade de que os dados sejam submetidos a análises estatísticas, sobretudo, quando há uma quantidade expressiva de informações e dados.

A partir da análise estatística é gerado um modelo de regressão, resultando numa equação similar à Equação 4, que segundo Triola (2008) expressa a relação linear entre uma variável dependente (Y) e duas ou mais variáveis independentes (X).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad \text{Equação 4}$$

(I + 1, 2...n)

Onde:

Y_i = Variável dependente;

X_i = Variáveis independentes;

β = Coeficientes parciais de regressão;

ε = Erro aleatório (tais erros sejam distribuídos normalmente, com média 0 e um desvio padrão de σ);

n = Tamanho amostral.

Os modelos gerados foram analisados a partir dos coeficientes de determinação múltipla (R^2) e coeficiente de correlação (r), da análise de variância (F) e teste das variáveis explicativas (t), com base nas análises.

3.3 APLICAÇÃO DO MODELO

A terceira etapa consistiu na aplicação do modelo estatístico proposto para a estimativa da quantidade de resíduos gerados nas obras estudadas, comparando os resultados obtidos pelo modelo às quantidades de resíduos informadas pelas empresas construtoras.

Posteriormente, a estimativa da quantidade de resíduo das 6 obras foi realizada utilizando-se a equação de regressão proposta por Dias (2013), desenvolvida para edificações

verticais do segmento residencial. Alguns ajustes no modelo foram necessários, como: a desconsideração da variável RR (reaproveitamento de resíduos no canteiro) e o valor do SP (sistema produtivo) foi utilizado (0) para sistema artesanal e (1) para o sistema construtivo industrializado.

Por fim, foi feita análise com ampliação da amostra, utilizando os dados das seis obras comerciais verticais, incluindo seis obras residenciais verticais de cinco empresas construtoras que atuam na região metropolitana de Porto Alegre/RS retiradas da pesquisa de Dias (2013), totalizando uma amostra com doze obras mistas. O critério utilizado para esta seleção das seis obras foi feita mediante análise das 20 obras amostra, selecionando-se as obras com sistema construtivo mais artesanal e com maior índice de geração de resíduos (m^3/m^2).

Os dados das seis obras selecionadas do trabalho de Dias (2013) estão apresentados nas Tabelas 11, 12 e 13, contendo a quantificação dos resíduos gerados em cada obra, as variáveis independentes (projeto arquitetônico e o sistema construtivo) e a descrição das obras – planta baixa.







Tabela 11 - Quantificação dos resíduos gerados em cada obra

Empresa	Ident. Obra	Área Total (m^2)	Nº de caçambas	Volume das caçambas utilizadas (m^3)	Volume total de resíduos gerados (m^3)	Geração de resíduos / área construída (m^3/m^2)
B	5	5.776,96	179	6	1.074	0,19
C	6	4.326,08	218	4	872	0,20
D	9	9.807,00	125	4	500	0,05
F	10	7.619,94	153	4	612	0,08
F	11	6.856,52	184	4	736	0,11
H	17	2.700,00	253	4	1.012	0,37

Tabela 12 - Variáveis independentes relacionadas ao projeto (quantitativas)

Empresa	Ident. obra	Área do tipo (m²)	Nº. de pav. tipo	Nº. total de pav. do edf.	Relação tipo/total	Perímetro de paredes internas (m)	Densidade de paredes internas (m/m²)	Iec
B	5	360,65	9	12	0,75	173,70	0,48	62,09
C	6	564,95	5	7	0,71	259,98	0,46	59,23
D	9	674,40	9	12	0,75	297,55	0,44	59,27
F	10	346,80	14	18	0,82	135,40	0,39	60,58
F	11	399,77	13	16	0,81	186,88	0,47	66,82
H	17	230,51	9	11	0,82	99,77	0,43	57,91

Tabela 13 - Descrição das obras Dias (2013) – Planta baixa

Empresa	Ident. Obra	Planta baixa – pavimento tipo	Descrição do Empreendimento	Cidade/Estado da Obra
B	5		Estrutura de concreto armado e vedação com tijolos.	Novo Hamburgo/RS
C	6		Estrutura de concreto armado e vedação com blocos cerâmicos.	Canoas/RS
D	9		Estrutura de concreto armado e vedação com tijolos retificados.	Esteio/RS
F	10		Estrutura de concreto armado e vedação com tijolos.	Porto Alegre/RS
F	11		Estrutura de concreto armado e vedação de tijolos.	Porto Alegre/RS
H	17		Estrutura de concreto armado e vedação com blocos cerâmicos (com projeto de paginação).	Porto Alegre/RS

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos nas três etapas deste trabalho, descritas no capítulo anterior.

4.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

A seguir são apresentadas as variáveis dependentes e independentes referentes às seis obras comerciais estudadas.

4.1.1 Variável dependente – volume de resíduos gerados / área construída

Os dados coletados em relação à quantidade de resíduo gerada em cada obra foram informados pelas empresas participantes através de números de caçambas coletadas durante a execução de cada obra, sendo que as empresas A e E informaram o volume total de resíduos gerados na obra (m³). Considerando a capacidade de volume das caçambas utilizadas foi calculado o volume total de resíduos gerados (m³) das obras realizadas pelas empresas B, C e D. Por fim foi estabelecido o índice de geração de resíduos por área construída (m³/m²), utilizado como variável dependente. A Tabela 14 mostra as informações coletadas e calculadas para a determinação da variável dependente (índice de geração de resíduos).

Tabela 14 - Quantificação dos resíduos gerados em cada obra (informação dada pelas empresas)

Empresa	Ident. Obra	Área Total (m ²)	Nº de caçambas	Volume das caçambas utilizadas (m ³)	Volume total de resíduos gerados (m ³)	Geração de resíduos / área construída (m ³ /m ²)
A	1	18.160,08	***	***	3.406	0,19
B	2	4.026,65	168	6	1.008	0,25
C	3	2.402,85	68	5	340	0,14
	4	13.000,00	288	5	1.440	0,11
D	5	2.475,85	80	4	320	0,13
E	6	11.692,67	***	***	562	0,05

4.1.2 Variáveis independente – relacionadas ao projeto

Os dados coletados referentes às variáveis independentes relacionadas ao projeto arquitetônico, foram feitos através de projetos cedidos pelas empresas participantes. A Tabela 15 apresenta as informações coletadas para as variáveis independentes.

Tabela 15 - Variáveis independentes relacionadas ao projeto (quantitativas)

Empresa	Ident. obra	Área total construída (m ²)	Área do pavimento tipo (m ²)	Relação tipo/total	Densidade de paredes internas (m/m ²)	Iec
A	1	18.160,08	977,73	0,69	0,07	67,97
B	2	4.026,65	333,44	0,44	0,29	72,91
C	3	2.402,85	567,47	0,75	0,12	83,90
	4	13.000,00	409,66	0,65	0,24	63,09
D	5	2.475,85	197,88	0,73	0,32	69,72
E	6	11.692,67	517,01	0,56	0,29	73,23

4.1.3 Variáveis independentes – relacionadas ao sistema construtivo

As variáveis independentes relacionadas ao sistema construtivo de cada empreendimento estão apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Variáveis independentes relacionadas ao sistema construtivo (qualitativas)

Empresa	Ident. obra	Sistema construtivo (0 e 1)
A	1	1
B	2	0
C	3	1
	4	0
D	5	0
E	6	0

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DE OBRAS COMERCIAIS VERTICAIS

Primeiramente foi realizada uma análise descritiva dos dados, observando-se os valores mínimos e máximos de cada variável em estudo, as médias e o desvio padrão na Tabela 17.

Tabela 17 - Estatística descritiva da amostra

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Nº de pavimentos tipo	6	3,00	13,00	7,6667	3,66970
Nº total de pavimentos	6	4,00	20,00	12,1667	5,56477
Tipo/Total	6	0,44	0,75	0,6367	0,11759
Área total construída	6	2402,85	18160,08	8626,3500	6590,00733
Área do pavimento tipo	6	197,88	977,73	500,5317	268,41976
Iec	6	63,09	83,90	71,8033	6,99352
Densidade de paredes internas	6	0,07	0,32	0,2217	0,10265
Sistema construtivo	6	0,00	1,00	0,3333	0,51640
Volume de resíduos (m ³)	6	320,00	3406,00	1179,3333	1172,97752
Geração de resíduos (m ³ /m ²)	6	0,05	0,25	0,1450	0,06863

A partir da Tabela 17, observa-se que o valor do mínimo e máximo do índice de geração de resíduos está entre 0,05m³/m² e 0,25m³/m² e a média com 0,1450m³/m². Comparando os dados apresentados na pesquisa de Dias (2013) os valores mínimo e máximo obtidos foram entre 0,05m³/m² a 0,37m³/m² e sua média ficou em 0,1286 em obras residenciais verticais. Pode-se observar uma diferença de -0,12m³/m² entre valores máximos obtidos quando comparado com obras residenciais verticais, esta diferença representa 48%.

4.2.2 Análise da variável dependente (Y)

A Tabela 18 mostra a análise da variável dependente como sendo o volume de resíduos (m³) através do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, com a finalidade de apresentar viabilidade de aplicação. Com o resultado do p-valor = 0,048 ~ 0,05 (Sig.), não se rejeita a hipótese de normalidade para esta variável.

O gráfico da Figura 4 mostra que tem *outliers* na amostra. Este gráfico é utilizado para avaliar visualmente a distribuição empírica dos dados. Na Figura 5, o gráfico de probabilidade normal, comprova a distribuição normal de variável dependente devido à proximidade dos pontos em relação à reta. A Figura 6, demonstra a dispersão dos dados em relação à reta, o que indica normalidade dos dados.

Tabela 18 - Teste de normalidade – variável dependente (volume de resíduos (m³))

	Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.
Volume de resíduos (m ³)	0,791	6	0,048

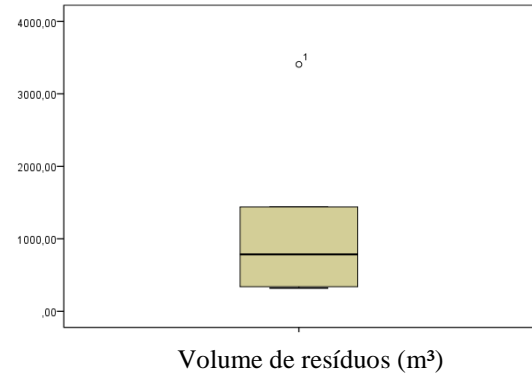


Figura 4 - Gráfico boxplot da variável dependente – Volume de resíduos (m³)

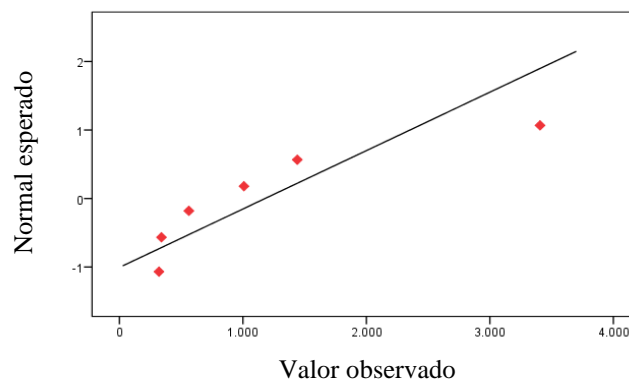


Figura 5 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q plot para o volume de resíduos (m³)

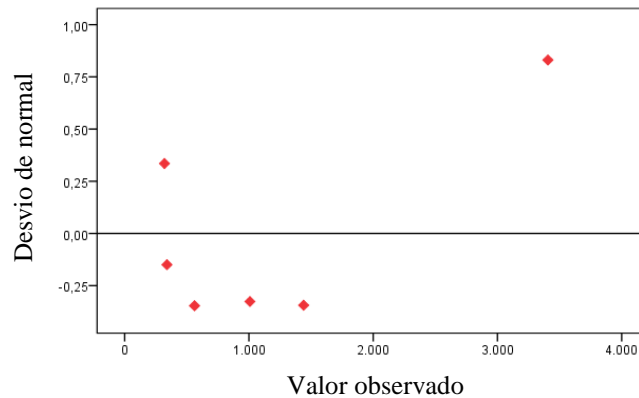


Figura 6 - Gráfico tendência normal (detrended normal q-q plot)

Pelo fato do p-valor do teste de normalidade da variável dependente como sendo o volume de resíduos (m³) ter dado baixo, como variável dependente foi optada o índice de geração de resíduos (m³/m²), obtendo-se p-valor = 0,953 (Sig.) no teste de normalidade de Shapiro-Wilk, confirmando a hipótese de normalidade para esta variável (Tabela 19).

Tabela 19 - Teste de normalidade – variável dependente (índice de geração de resíduos (m^3/m^2))

	Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.
Índice de geração de resíduos (m^3/m^2)	0,980	6	0,953

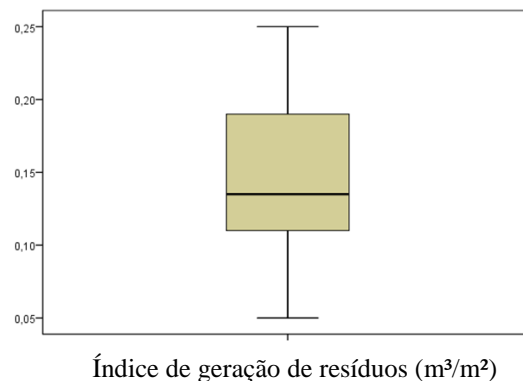


Figura 7 - Gráfico boxplot da variável dependente – Índice de geração de resíduos (m^3/m^2)

O gráfico da Figura 7 mostra que, ao utilizar o índice de geração de resíduos (m^3/m^2) a amostra não apresenta *outliers*.

Na Figura 8, o gráfico de probabilidade normal, comprova a distribuição normal de variável dependente devido à proximidade dos pontos em relação à reta, e a Figura 9, demonstra a dispersão dos dados em relação à reta, o que indica normalidade dos dados.

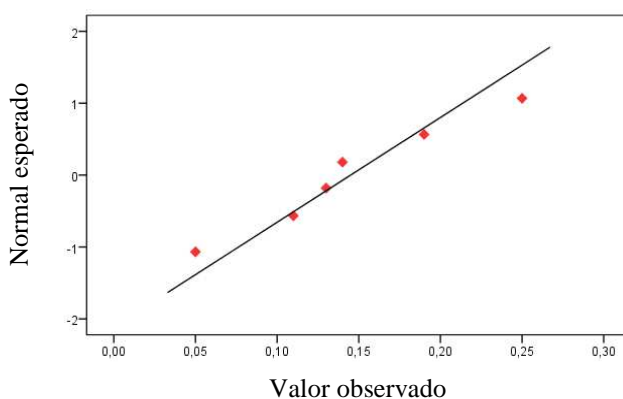


Figura 8 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q plot para o índice de geração de resíduos (m^3/m^2)

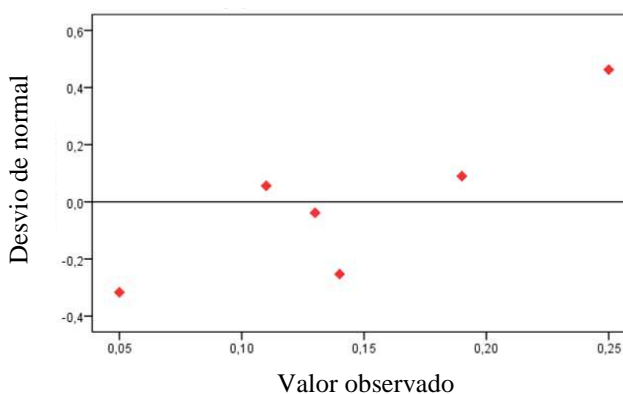


Figura 9 - Gráfico tendência normal (detrended normal q-q plot)

4.2.3 Análise das variáveis independentes (X)

Foi analisada a dispersão da variável independente (Y) com cada uma das variáveis independentes (X), com o objetivo de verificar possível relação de causa e efeito entre elas: “área total construída (m²)”; “área do pavimento tipo (m²)”; a “relação entre o número de pavimentos tipo e o número total de pavimentos do edifício (tipo/total)”; “densidade de paredes internas no pavimento tipo (m/m²)” e o “índice econômico de compactidade (Iec)”.

A Figura 10 apresenta o gráfico de dispersão da variável “tipo/total” em relação à variável “índice de geração de resíduos (m³/m²)”. A Figura 11 apresenta os gráficos de dispersão das variáveis “área total construída (m²)” em relação ao “índice de geração de resíduos (m³/m²)”.

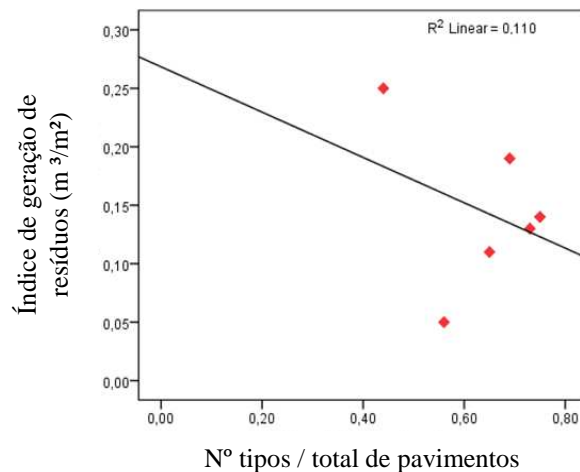


Figura 10 - Gráfico variável – Nº de tipos / total de pavimentos

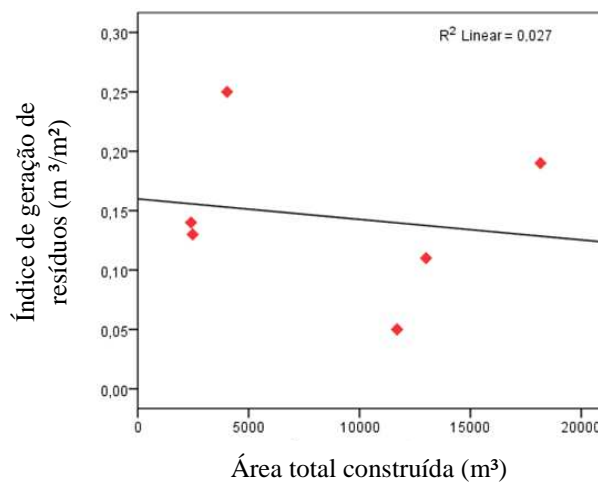


Figura 11 - Gráfico variável – Área total construída (m²)

A partir da Figura 10 é possível observar relação entre as duas variáveis, sendo que conforme aumenta o nº de pavimentos tipo sobre o total de pavimentos diminui o índice de geração de resíduos. Na Figura 11 é possível observar uma pequena redução no índice de geração de resíduos em função do aumento da área total construída, que pode se justificar pela repetição (pavimentos tipo).

As Figuras 12 e 13 apresentam o gráfico de dispersão entre a variável “nº de pavimentos tipo” e “índice econômico de capacidade” em relação ao “índice de geração de resíduos (m^3/m^2)”.

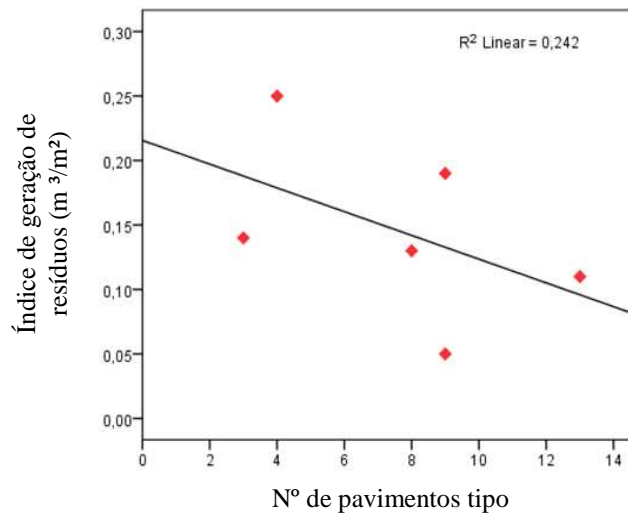


Figura 12 - Gráfico variável – Nº de pavimentos tipo

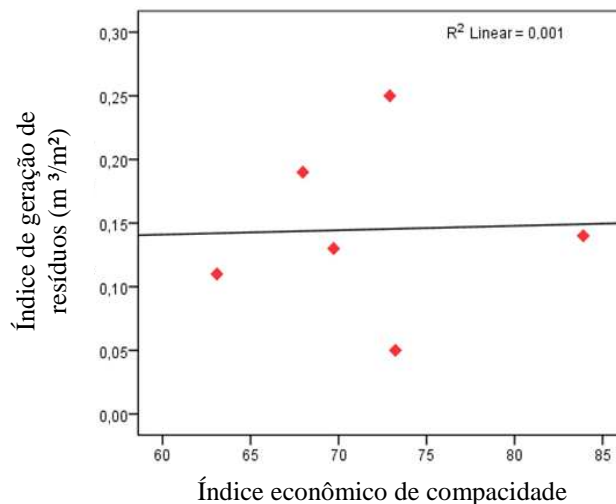


Figura 13 - Gráfico variável – Índice econômico de capacidade (Iec)

A execução de obras verticais com repetição de projeto tende a uma redução no índice de geração de resíduos, conforme comprovado pelo gráfico da Figura 12. Na Figura 13,

há um aumento no índice de geração de resíduos em consequência da elevação do índice econômico de compactidade.

As Figuras 14 e 15 apresentam os gráficos de dispersão das variáveis, “densidade de paredes internas (m/m^2)” e “área do pavimento tipo (m^2)” em relação à variável dependente.

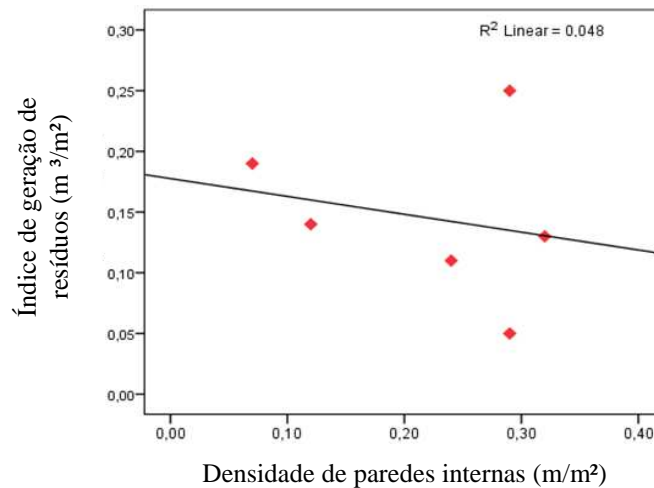


Figura 14 - Gráfico variável – Densidade de paredes internas (m/m^2)

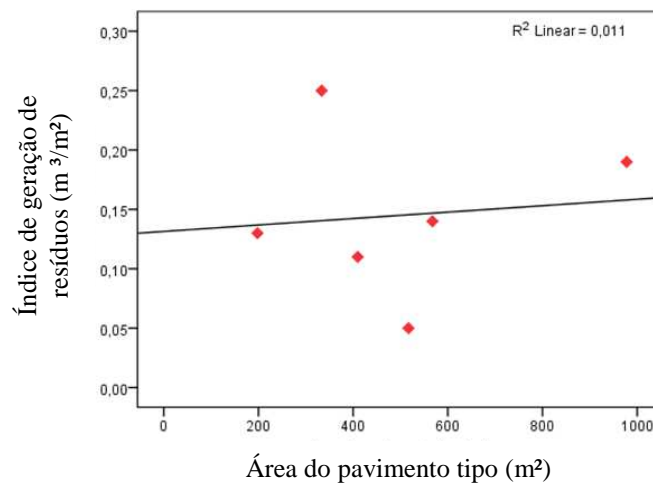


Figura 15 - Gráfico variável – Área do pavimento tipo (m^2)

Na Figura 14, observa-se um decréscimo no índice de geração de resíduos conforme ocorre a redução da densidade de paredes internas, que é justificável pela redução dos trabalhos de execução de alvenaria e revestimento. A Figura 15 apresenta o gráfico de dispersão da variável, área do pavimento tipo (m^2) em relação ao índice de geração de resíduos (m^3/m^2). Pode ser observado que ocorre uma situação lógica, um aumento no índice

de geração de resíduos em função do aumento da área do pavimento tipo, o que pode ser atenuado através da repetição conforme apresentado no gráfico da Figura 12.

Outra averiguação relevante na análise de relação entre as variáveis consiste na análise de correlação de Pearson, demonstrada na Tabela 20.

Tabela 20 - Valores de correlação de Pearson entre as variáveis independentes

	Área total construída	Área do pavimento tipo	Nº de pavimentos tipo	Tipo/Total	Densidade de paredes internas	Iec	Sistema construtivo
Área total construída	1	0,725	0,695	-0,011	-0,427	-0,598	0,195
Área do pavimento tipo	0,725	1	0,076	0,223	-,878	0,026	0,785
Nº de pavimentos tipo	0,695	0,076	1	0,122	0,129	-,864	-0,352
Tipo/Total	-0,011	0,223	0,122	1	-0,478	0,129	0,549
Densidade de paredes internas	-0,427	-,878	0,129	-0,478	1	-0,234	-,956
Iec	-0,598	0,026	-,864	0,129	-0,234	1	0,458
Sistema construtivo	0,195	0,785	-0,352	0,549	-,956	0,458	1

Na Tabela 20 observam-se os valores limites de correlação positiva de 0,785 para (área do pavimento tipo x sistema construtivo) e a correlação negativa de -0,956 para (densidade de paredes internas x sistema construtivo). Baseado nos resultados da análise de correlação entre as variáveis independentes é possível perceber que os valores limites positivo e negativo indicam uma forte correlação para as variáveis: área do pavimento tipo, sistema construtivo e densidade de paredes internas.

4.2.4 Análise de regressão

Tendo em vista à normalidade dos dados que compõem a variável dependente (índice de geração de resíduos (m^3/m^2)) a análise de regressão foi executada testando-se diversas combinações com as variáveis independentes, com objetivo de alcançar o melhor ajuste do modelo, adotando-se nível de significância de 10%.

Para o Modelo 1, as variáveis independentes selecionadas foram: “tipo/total”, “área do pavimento tipo”, “Iec” e “sistema construtivo”. As Tabelas 21 e 22 mostram os resultados obtidos na análise de regressão com as variáveis do Modelo 1. Observa-se que o valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,918$ e o coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado = 0,590.

Tabela 21 - Resumo da análise de regressão – Modelo 1

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
1	0,918	0,590	0,04392	2,802	0,418

Tabela 22 - Coeficientes do Modelo 1

Modelo		Coeficiente (β)	Erro Padrão	p-valor
1	Constante	1,583	0,500	0,195
	Tipo/Total	-0,834	0,264	0,195
	Área do pavimento tipo	0,000	0,000	0,236
	Iec	-0,011	0,005	0,260
	Sistema construtivo	0,405	0,132	0,201

Para o Modelo 2, foram retiradas as variáveis independentes “área do pavimento tipo” e o “sistema construtivo”, incluindo o “nº de pavimentos tipo”. As Tabelas 23 e 24 mostram os resultados obtidos na análise de regressão com as variáveis do Modelo 2. Observa-se que o valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,855$ e o coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado = 0,637. Conforme observado, representa melhora do modelo, em relação ao anterior, na explicação da variável dependente.

Tabela 23 - Resumo da análise de regressão – Modelo 2

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
2	0,855	0,637	0,04137	3,920	0,210

Tabela 24 - Coeficientes do Modelo 2

Modelo		Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor
2	Constante	1,540	0,463	0,080
	Tipo/Total	0,067	0,179	0,743
	Iec	-0,016	0,006	0,113
	Nº de pavimentos tipo	-0,036	0,011	0,086

No Modelo 3, foi incluída a variável independente “área do pavimento tipo”. As Tabelas 25 e 26 mostram os resultados obtidos na análise de regressão com as variáveis do Modelo 3. Observa-se que o valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,931$ e o coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado = 0,657, gerando um aumento em relação a R^2 ajustado se compararmos com os Modelos 1 e 2.

Tabela 25 - Resumo da análise de regressão – Modelo 3

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
3	0,931	0,657	0,04017	3,399	0,384

Tabela 26 - Coeficientes do Modelo 3

Modelo		Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor
3	Constante	1,572	0,451	0,178
	Área do pavimento tipo	7,311E-05	0,000	0,482
	Nº de pavimentos tipo	-0,037	0,011	0,183
	Tipo/Total	0,039	0,176	0,860
	Iec	-0,017	0,006	0,212

Para o Modelo 4, foram excluídas as variáveis independentes “área do pavimento tipo” e “tipo/total” e incluída “densidade de paredes internas”. As Tabelas 27 e 28 mostram os resultados obtidos na análise de regressão com as variáveis do Modelo 4. Observa-se que o valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,973$ e o coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado = 0,933. Com as variáveis independentes, densidade de paredes internas, nº de pavimentos tipo e Iec, houve uma melhora no Modelo 4.

Tabela 27 - Resumo da análise de regressão – Modelo 4

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
4	0,973	0,933	0,01776	24,219	0,040

Tabela 28 - Coeficientes do Modelo 4

Modelo		Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor
4	Constante	1,691	0,202	0,014
	Densidade de paredes internas	-0,250	0,080	0,090
	Nº de pavimentos tipo	-0,036	0,004	0,014
	Iec	-0,017	0,002	0,018

No Modelo 5, foram excluídas as variáveis independentes “densidade de paredes internas” e “nº de pavimentos tipo”, e incluídas “tipo/total”, “área total construída” e “sistema construtivo”. As Tabelas 29 e 30 mostram os resultados obtidos na análise de regressão com as variáveis do Modelo 5. Observa-se que o valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,993$ e o coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado = 0,967.

Tabela 29 - Resumo da análise de regressão – Modelo 5

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
5	0,993	0,967	0,01241	38,005	0,121

Tabela 30 - Coeficientes do Modelo 5

Modelo		Coefficiente (β)	Erro padrão	p-valor
5	Constante	1,708	0,146	0,054
	Tipo/Total	-0,681	0,064	0,060
	Área total construída	-1,516E-05	0,000	0,065
	Iec	-0,015	0,002	0,069
	Sistema construtivo	0,246	0,022	0,056

Comparando com os outros modelos, é possível concluir que o Modelo 5 é o mais adequado, pois é capaz de explicar 97% da geração de resíduos em obras comerciais verticais. A análise de variância do modelo mediante do teste F confirma a influência das variáveis independentes (X) sobre a variável dependente (Y) do modelo de regressão testado.

4.2.5 Modelo de estimativa de geração de resíduos em obras comerciais verticais

O modelo para estimar a geração de resíduos durante a execução de obras comerciais verticais, foi elaborado a partir dos coeficientes de regressão estimados na análise de regressão do Modelo 5. A Equação 5 apresenta o modelo de estimativa.

$$\begin{aligned} \text{GR} = & 1,708 + (-0,681 \times \text{T/T}) + (-0,00001516 \times \text{ATC}) \\ & + (-0,015 \times \text{Iec}) + (0,246 \times \text{SC}) + \varepsilon \end{aligned} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

GR = Geração de resíduos;

T/T = Tipo/total;

ATC = Área total construída;

Iec = Índice econômico de compacidade;

SC = Sistema construtivo;

ε (erro padrão da estimativa) = 0,01241.

Para a análise de ajuste do Modelo empírico foi realizado o teste de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk. Com base no resultado obtido para resíduos não padronizados de $p\text{-valor} = 0,674$ (Sig.) (Tabela 31). A partir dos resultados, rejeita-se a hipótese nula a um nível de significância de 10% e se comprova que os resíduos provêm de uma população normal.

No gráfico da Figura 16 observa-se a proximidade dos pontos em relação à reta, este fato comprova a normalidade dos valores do Modelo.

Tabela 31 - Teste de normalidade dos resíduos da regressão

	Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.
Resíduos não padronizados	0,942	6	0,674

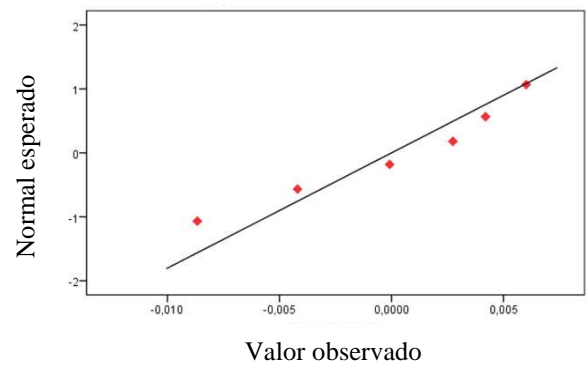


Figura 16 - Gráfico Q-Q normal de resíduos não padronizados

Os gráficos de dispersão apresentados nas Figuras 17, 18 e 19 foram elaborados no intuito de visualizar a ocorrência de tendências em cada uma das variáveis independentes (X) tipo quantitativa do Modelo.

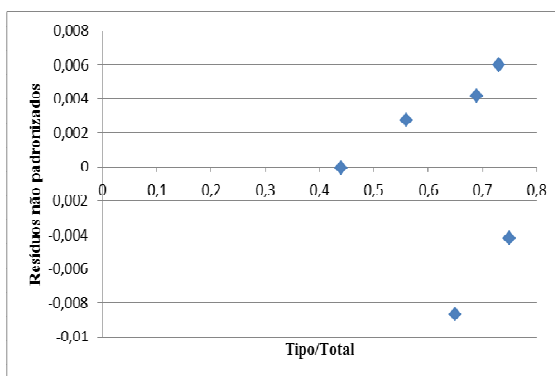


Figura 17 - Gráfico tipo/total x resíduos não padronizados

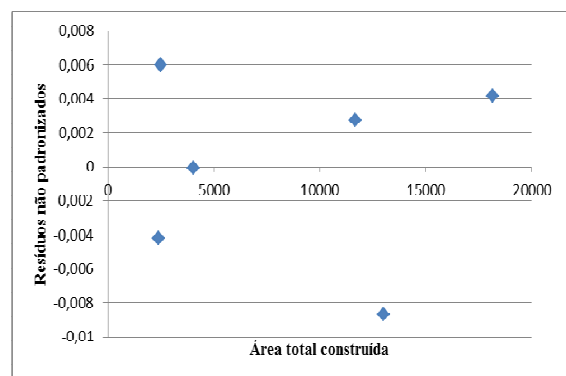


Figura 18 - Gráfico área total construída x resíduos não padronizados

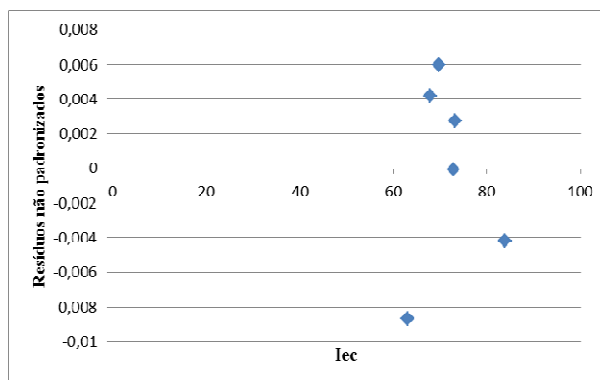


Figura 19 - Gráfico Iec x resíduos não padronizados

Nos gráficos das Figuras 17, 18 e 19, não é possível visualizar qualquer tipo de tendência nos dados das variáveis independentes (tipo/total, área total construída e Iec) x resíduos não padronizados, mantendo-se a distribuição aleatória para as variáveis independentes (X).

4.2.6 Aplicação do modelo para estimar a geração de resíduos das obras estudadas

Para analisar a eficiência do modelo proposto foram lançados na Equação 5 os valores das variáveis independentes para comparar os índices de geração de resíduos informados pelas empresas construtoras das 6 obras estudadas. Os dados utilizados para calcular a estimativa são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Dados utilizados para calcular a estimativa proposto pelo trabalho

Empresa	Ident. obra	Área total construída (m ²)	Relação tipo/total	Iec	Sistema Construtivo
A	1	18.160,08	0,69	67,97	1
B	2	4.026,65	0,44	72,91	0
C	3	2.402,85	0,75	83,90	1
	4	13.000,00	0,65	63,09	0
D	5	2.475,85	0,73	69,72	0
E	6	11.692,67	0,56	73,23	0

Para estimar o índice de geração de resíduos utilizando o modelo proposto por Dias (2013) foram lançados os valores das variáveis independentes na Equação 6, onde foi retirado da equação o RR (reaproveitamento de resíduos no canteiro), porque este dado a pesquisa não possui, e o valor do SP (sistema produtivo) foi utilizado (0) para sistema

artesanal e (1) para o sistema construtivo industrializado. Os dados utilizados para calcular a estimativa são apresentados na Tabela 33.

$$\text{VR} = -5202,886 + (5138,519 \times \text{T/T}) + (1,411 \times \text{ATP}) + (22,968 \times \text{Iec}) + (375,155 \times \text{SP}) + \varepsilon \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

VR = Volume total de resíduos;

T/T = Relação tipo/total;

ATP = Área do pavimento tipo;

Iec = Índice econômico de compacidade;

SP = Sistema produtivo;

ε (erro padrão da estimativa) = 301,13.

Tabela 33 - Dados utilizados para calcular o modelo proposto por Dias (2013)

Empresa	Ident. obra	Relação tipo/total	Área do pav. tipo	Iec	Sistema Produtivo
A	1	0,69	977,73	67,97	1
B	2	0,44	333,44	72,91	0
C	3	0,75	567,47	83,90	1
	4	0,65	409,66	63,09	0
D	5	0,73	197,88	69,72	0
E	6	0,56	517,01	73,23	0

A Tabela 34 apresenta os resultados do índice de geração de resíduos (m^3/m^2) estimados pelo Modelo 5, comparados aos resultados da estimativa feita a partir do modelo proposto por Dias (2013) e ao índice de geração de resíduos informado pelas empresas.

Tabela 34 - Resultado da estimativa das obras comerciais verticais em estudo

Empresa	Ident. Obra	Índice de geração de resíduos (m ³ /m ²)		
		Estimativa pelo Modelo 5	Estimativa pelo Modelo de Dias (2013)	Estimativa informada pelas empresas
A	1	0,20	0,11	0,19
B	2	0,27	-0,12	0,25
C	3	0,16	0,86	0,14
	4	0,13	0,04	0,11
D	5	0,14	0,29	0,13
E	6	0,06	0,03	0,05

Após realizar os cálculos da estimativa com relação à geração de resíduos por área construída (m³/m²) com os modelos (proposto pelo trabalho e proposto por Dias (2013)), pode-se observar que há uma diferença entre obras comerciais e residenciais pela diferença com relação ao sistema construtivo de cada segmento. É possível constatar que das seis obras estudadas, os resultados estimados pelo modelo para obras comerciais verticais são mais próximos da geração de resíduos por área construída informada pelas empresas participantes. Os resultados indicam que o modelo proposto por Dias (2013) não é adequado para estimar a geração de resíduos (m³/m²) para obras de outro segmento, tendo em vista que a amostra utilizada por esta autora é composta por obras do segmento residencial.

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS COM AMPLIAÇÃO DA AMOSTRA

4.3.1 Análise descritiva dos dados coletados com a ampliação da amostra

Foi realizada uma análise descritiva dos dados podendo ser observados os valores mínimos e máximos de cada variável em estudo, as médias e o desvio padrão na Tabela 35.

Tabela 35 - Estatística descritiva da amostra

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Nº de pavimentos tipo	12	3,00	14,00	8,7500	3,49350
Nº total de pavimentos	12	4,00	20,00	12,4167	4,58175
Tipo/Total	12	0,44	0,82	0,7074	0,11267
Área total construída	12	2402,85	18160,08	7403,7167	4921,89043
Área do pavimento tipo	12	197,88	977,73	465,0225	214,42521
Iec	12	57,91	83,90	66,3938	7,66704
Densidade de paredes internas	12	0,07	0,48	0,3336	0,13763
Sistema construtivo	12	0,00	1,00	0,1667	0,38925
Volume de resíduos (m ³)	12	320,00	3406,00	990,1667	829,20705
Geração de resíduos (m ³ /m ²)	12	0,05	0,37	0,1559	0,09256

Os dados da Tabela 35 mostram que o valor do mínimo e máximo está entre $0,05\text{m}^3/\text{m}^2$ e $0,37\text{m}^3/\text{m}^2$ e a média com $0,1559\text{m}^3/\text{m}^2$, considerando a amostra com 12 obras, dos segmentos comercial e residencial.

Comparando os dados apresentados somente com obras comerciais verticais os valores mínimo e máximo obtidos foram entre $0,05\text{m}^3/\text{m}^2$ a $0,25\text{m}^3/\text{m}^2$ e sua média ficou em $0,1450$. Pode-se observar uma diferença de $-0,12\text{m}^3/\text{m}^2$ entre valores máximos obtidos quando comparado com obras comerciais verticais, esta diferença representa 48%.

Assim sendo, pode-se afirmar que obras comerciais verticais tendem em gerar menos resíduos do que obras mistas, supondo pela diferença entre o sistema construtivo de cada segmento.

4.3.2 Análise da variável dependente (Y)

Foi realizada a análise da variável dependente como sendo o índice de geração de resíduos (m^3/m^2) através do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, com a finalidade de apresentar viabilidade de aplicação, conforme a Tabela 36. Com o resultado do p-valor = $0,214$ (Sig.), não se rejeita a hipótese de normalidade para esta variável. O gráfico da Figura 20 mostra que há *outliers* na amostra, isto quer dizer que a um ponto que está muito distante das demais observações, chamado como “ponto fora da curva”. A existência de *outliers* pode implicar na interpretação dos resultados dos testes estatísticos aplicados às amostras.

Tabela 36 - Teste de normalidade – variável dependente (índice de geração de resíduos (m³/m²))

	Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.
Geração de resíduos (m ³ /m ²)	0,910	12	0,214

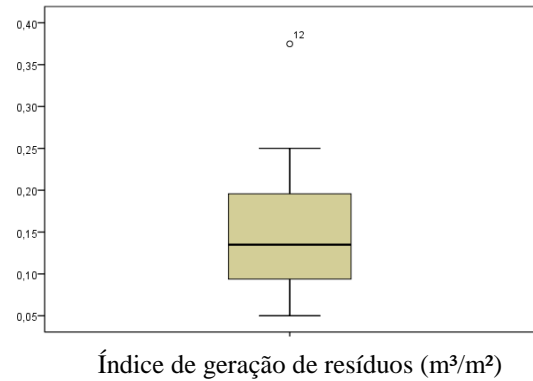


Figura 20 - Gráfico boxplot da variável dependente – Índice de geração de resíduos (m³/m²)

Na Figura 21 é apresentado o gráfico de probabilidade normal e na Figura 22 a dispersão dos dados em relação à reta.

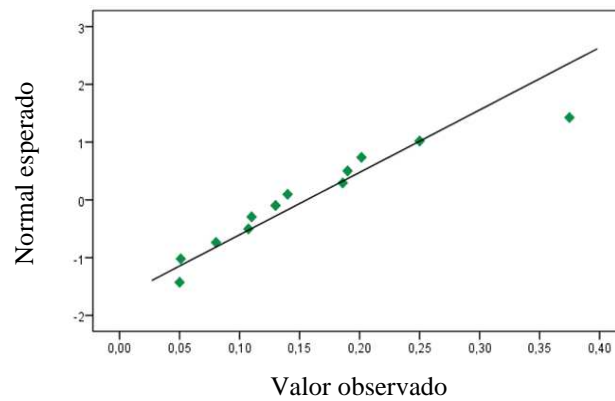


Figura 21 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q plot para o índice de geração de resíduos (m³/m²)

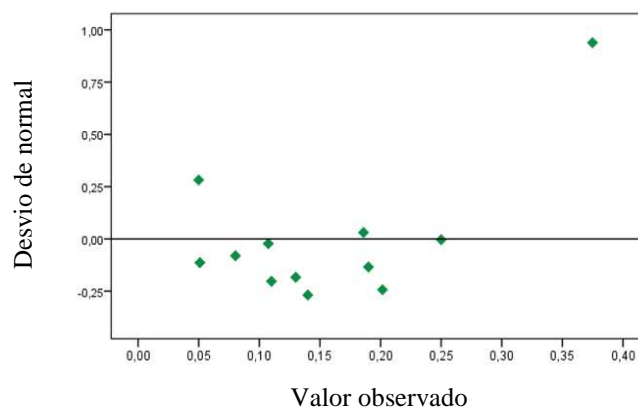


Figura 22 - Gráfico tendência normal (detrended normal q-q plot)

O gráfico de probabilidade normal, comprova a distribuição normal de variável dependente devido à proximidade dos pontos em relação à reta (Figura 21), e a Figura 22, demonstra a dispersão dos dados em relação à reta, o que indica normalidade dos dados.

4.3.3 Análise das variáveis independentes (X)

Foram elaborados gráficos de dispersão com dados quantitativos da variável dependente (Y) *versus* cada uma das variáveis independentes (X), com o objetivo de verificar possível relação de causa e efeito entre elas: “área total construída (m²)”; “área do pavimento tipo (m²)”; a “relação entre o número de pavimentos tipo e o número total de pavimentos do edifício (tipo/total)”; “densidade de paredes internas no pavimento tipo (m/m²)” e o “índice econômico de compacidade (Iec)”.

A Figura 23 apresenta o gráfico de dispersão da variável “tipo/total” em relação à variável dependente “índice de geração de resíduos (m³/m²)”. É possível observar uma pequena redução no índice de geração de resíduos conforme aumenta o n° de pavimentos tipo sobre o total de pavimentos.

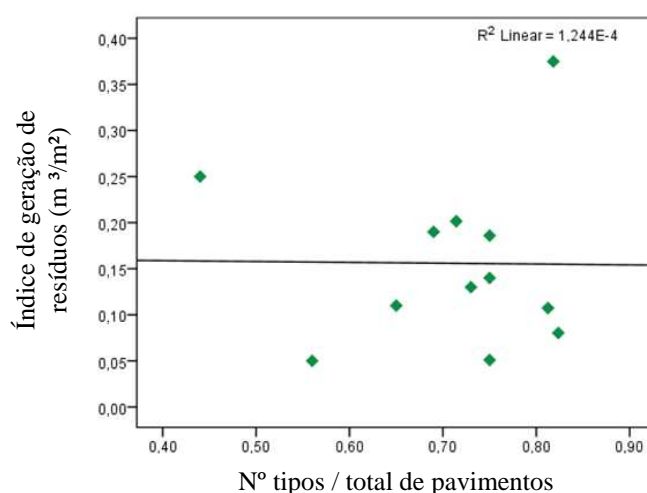


Figura 23 - Gráfico variável – Nº de tipos / total de pavimentos

As Figuras 24 e 25 apresentam os gráficos de dispersão das variáveis, “área total construída (m²)” e “n° de pavimentos tipo” em relação ao “índice de geração de resíduos (m³/m²)”, e as Figuras 26 e 27 apresentam os gráficos de dispersão das variáveis, “índice econômico de compacidade” e “densidade de paredes internas (m/m²)” em relação ao “índice de geração de resíduos (m³/m²)”.

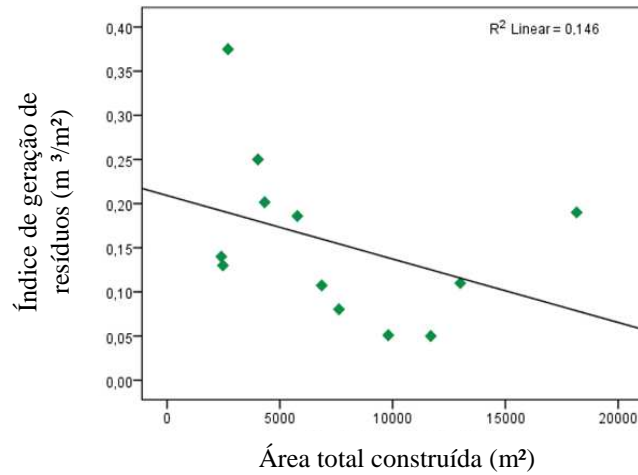


Figura 24 - Gráfico variável – Área total construída (m²)

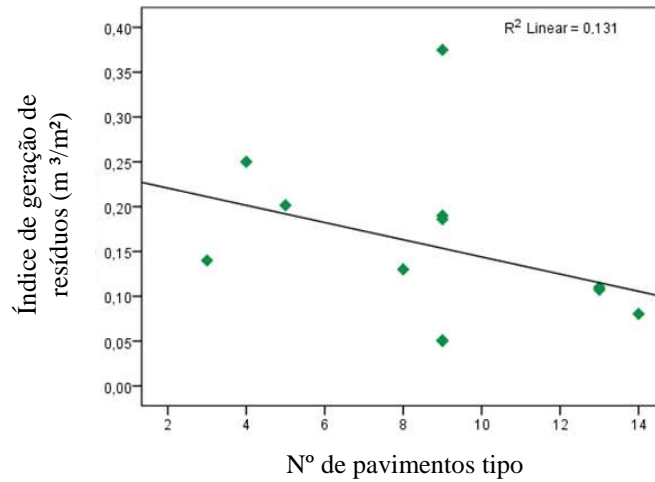


Figura 25 - Gráfico variável – Nº de pavimentos tipo

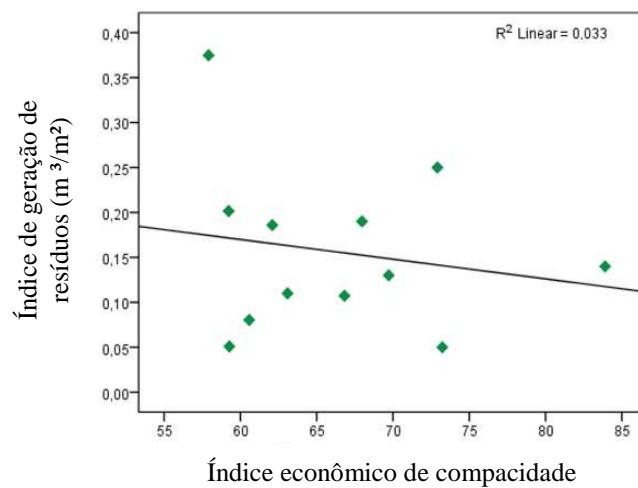


Figura 26 - Gráfico variável – Índice econômico de compacidade (Iec)

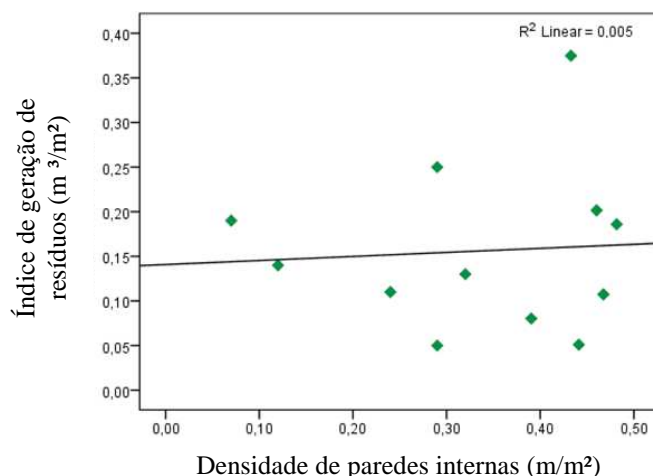


Figura 27 - Gráfico variável – Densidade de paredes internas (m/m²)

Na Figura 24 é possível observar uma redução no índice de geração de resíduos em função do aumento da área total construída, que pode se justificar pela repetição (pavimentos tipo). A execução de obras verticais com repetição de plantas tende a uma redução no índice de geração de resíduos, conforme comprovado pelo gráfico da Figura 25. Na Figura 26, há uma redução no índice de geração de resíduos em consequência da elevação do índice econômico de compactidade. Já na Figura 27, apresenta um aumento do índice de geração de resíduos conforme ocorre o aumento da densidade de paredes internas, que é justificável pela redução dos trabalhos de execução de alvenaria e revestimento.

A Figura 28 apresenta o gráfico de dispersão da variável, “área do pavimento tipo (m²)” em relação ao “índice de geração de resíduos (m³/m²)”. Pode ser observado que ocorre uma redução no índice de geração de resíduos em função do aumento da área do pavimento tipo.

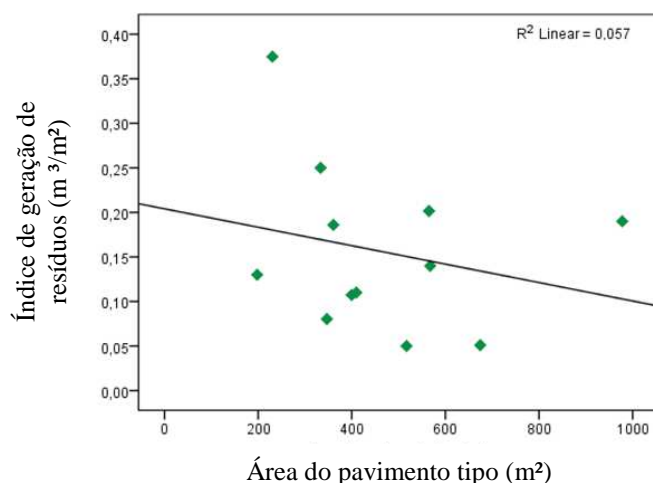


Figura 28 - Gráfico variável – Área do pavimento tipo (m²)

Outra averiguação importante na análise de relação entre as variáveis consiste na análise de correlação de Pearson, apresentada na Tabela 37.

Tabela 37 - Valores de correlação de Pearson entre as variáveis independentes

	Área total construída	Área do pavimento tipo	Nº de pavimentos tipo	Tipo/Total	Densidade de paredes internas	Iec	Sistema construtivo
Área total construída	1	,702	0,452	-0,181	-0,425	-0,115	0,273
Área do pavimento tipo	,702	1	-0,141	-0,080	-0,504	0,126	,670
Nº de pavimentos tipo	0,452	-0,141	1	0,416	0,275	-0,519	-0,368
Tipo/Total	-0,181	-0,080	0,416	1	0,364	-0,408	0,052
Densidade de paredes internas	-0,425	-0,504	0,275	0,364	1	-,680	-,810
Iec	-0,115	0,126	-0,519	-0,408	-,680	1	,581
Sistema construtivo	0,273	,670	-0,368	0,052	-,810	,581	1

Na Tabela 37 observam-se os valores limites de correlação positiva de 0,702 para (área total construída x área do pavimento tipo) e a correlação negativa de -0,810 para (densidade de paredes internas x sistema construtivo). Baseado nos resultados da análise de correlação entre as variáveis independentes é possível perceber que os valores limites positivo e negativo indicam uma correlação forte para as variáveis: área total construída, área do pavimento tipo, densidade de paredes internas e sistema construtivo.

4.3.4 Análise de regressão

Tendo em vista à normalidade dos dados que compõe a variável dependente (índice de geração de resíduos) a análise de regressão foi executada testando diversas combinações com as variáveis independentes, com objetivo de alcançar o melhor ajuste do modelo. Para os testes foi adotado o nível de significância de 10%.

Para o Modelo 1, as variáveis independentes selecionadas foram: “nº de pavimentos”, “tipo/total”, “área total construída”, “área do pavimento tipo”, “Iec” e “sistema construtivo”. As Tabelas 38 e 39 mostram os resultados obtidos na análise de regressão com as variáveis do Modelo 1. Observa-se que o valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,774$ e o coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado = 0,504.

Tabela 38 - Resumo da análise de regressão – Modelo 1

Modelo	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
1	0,774	0,504	0,06521	2,860	0,134

Tabela 39 - Coeficientes do Modelo 1

Modelo		Coeficiente (β)	Erro Padrão	p-valor
1	Constante	1,861	0,548	0,019
	Nº total de pavimentos	-0,013	0,023	0,611
	Tipo/Total	-0,507	0,435	0,296
	Área total construída	5,068E-06	0,000	0,872
	Área do pavimento tipo	-0,001	0,000	0,250
	Iec	-0,015	0,006	0,055
	Sistema construtivo	0,323	0,167	0,110

Para o Modelo 2, foi acrescentado a variável independente “densidade de paredes internas”. As Tabelas 40 e 41 mostram os resultados obtidos na análise de regressão com as variáveis do Modelo 2. Observa-se que o valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,832$ e o coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado = 0,539. Conforme observado, representa melhora do modelo na explicação da variável dependente.

Tabela 40 - Resumo da análise de regressão – Modelo 2

Modelo	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
2	0,832	0,539	0,06283	2,840	0,165

Tabela 41 - Coeficientes do Modelo 2

Modelo		Coeficiente (β)	Erro Padrão	p-valor
2	Constante	1,811	0,530	0,027
	Nº total de pavimentos	-0,013	0,023	0,603
	Tipo/Total	-0,776	0,477	0,179
	Área total construída	1,347E-05	0,000	0,674
	Área do pavimento tipo	-0,001	0,000	0,160
	Iec	-0,015	0,006	0,068
	Densidade de paredes internas	0,620	0,526	0,304
	Sistema construtivo	0,553	0,253	0,094

No Modelo 3, foram excluídas as variáveis independentes “nº de pavimentos” e “densidade de paredes internas”. As Tabelas 42 e 43 mostram os resultados obtidos na análise de regressão com as variáveis do Modelo 3. Observa-se que o valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,761$ e o coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado = 0,562, gerando um aumento em relação a R^2 ajustado se compararmos com os Modelos 1 e 2.

Tabela 42 - Resumo da análise de regressão – Modelo 3

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
3	0,761	0,562	0,06126	3,824	0,067

Tabela 43 - Coeficientes do Modelo 3

Modelo		Coefficiente (β)	Erro Padrão	p-valor
3	Constante	1,985	0,467	0,005
	Tipo/Total	-0,701	0,234	0,024
	Área total construída	-1,084E-05	0,000	0,114
	Área do pavimento tipo	0,000	0,000	0,104
	Iec	-0,017	0,005	0,009
	Sistema construtivo	0,388	0,110	0,012

Para o Modelo 4, foi acrescentada a variável independente “densidade de paredes internas”. As Tabelas 44 e 45 mostram os resultados obtidos na análise de regressão com as variáveis do Modelo 4. Observa-se que o valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,819$ e o coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado = 0,602. Com o acréscimo da variável independente, densidade de paredes internas, houve uma melhora no Modelo 4.

Tabela 44 - Resumo da análise de regressão – Modelo 4

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
4	0,819	0,602	0,05839	3,774	0,083

Tabela 45 - Coeficientes do Modelo 4

Modelo		Coefficiente (β)	Erro Padrão	p-valor
4	Constante	1,936	0,447	0,007
	Tipo/Total	-0,970	0,308	0,025
	Área total construída	-2,495E-06	0,000	0,784
	Área do pavimento tipo	-0,001	0,000	0,069
	Iec	-0,017	0,004	0,012
	Densidade de paredes internas	0,619	0,489	0,261
	Sistema construtivo	0,618	0,210	0,032

No Modelo 5, foi excluída a variável independente “área total construída”. As Tabelas 46 e 47 mostram os resultados obtidos na análise de regressão com as variáveis do Modelo 5. Observa-se que o valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,816$ e o coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado = 0,663. Comparando com os outros modelos, é possível concluir que o Modelo 5 é o mais adequado, pois demonstra que explica 66% da

geração de resíduos em obras mistas verticais. A análise de variância do modelo mediante do teste F confirma a influência das variáveis independentes (X) sobre a variável dependente (Y) do modelo de regressão testado.

Tabela 46 - Resumo da análise de regressão – Modelo 5

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
5	0,816	0,663	0,05374	5,326	0,033

Tabela 47 - Coeficientes do Modelo 5

Modelo		Coeficiente (β)	Erro Padrão	p-valor
5	Constante	1,911	0,403	0,003
	Tipo/Total	-1,007	0,257	0,008
	Área do pavimento tipo	-0,001	0,000	0,003
	Iec	-0,017	0,004	0,006
	Densidade de paredes internas	0,727	0,291	0,047
	Sistema construtivo	0,659	0,141	0,003

4.3.5 Modelo de estimativa de geração de resíduos em obras comerciais e residenciais verticais

O modelo para estimar a geração de resíduos durante a execução de obras comerciais e residenciais verticais foi elaborado a partir dos coeficientes de regressão estimados na análise de regressão do Modelo 5. A Equação 7 apresenta o modelo de estimativa.

$$\begin{aligned} \text{GR} = & 1,911 + (-1,007 \times \text{T/T}) + (-0,001 \times \text{APT}) + (-0,017 \times \text{Iec}) + \\ & (0,727 \times \text{DPI}) + (0,659 \times \text{SC}) + \varepsilon \end{aligned} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

GR = Geração de resíduos;

T/T = Tipo/total;

APT= Área do pavimento tipo;

Iec = Índice econômico de compacidade;

DPI = Densidade de paredes internas;

SC = Sistema construtivo;

ε (erro padrão da estimativa) = 0,05374.

Para a análise de ajuste do Modelo empírico, foi realizado o teste de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk. Com base no resultado obtido para resíduos não padronizados de $p\text{-valor} = 0,649$ (Sig.) (Tabela 48), rejeita-se a hipótese nula a um nível de significância de 10% e se comprova que os resíduos provêm de uma população normal.

No gráfico da Figura 29 observa-se a proximidade dos pontos em relação à reta, este fato comprova a normalidade dos valores do Modelo.

Tabela 48 - Teste de normalidade dos resíduos da regressão

	Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.
Resíduos não padronizados	0,951	12	0,649

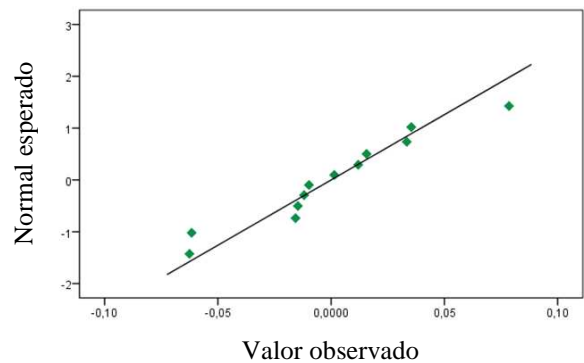


Figura 29 - Gráfico Q-Q normal de resíduos não padronizados

Os gráficos de dispersão apresentados nas Figuras 30, 31, 32 e 33 foram elaborados no intuito de visualizar a ocorrência de tendências em cada uma das variáveis independentes (X) tipo quantitativa do Modelo.

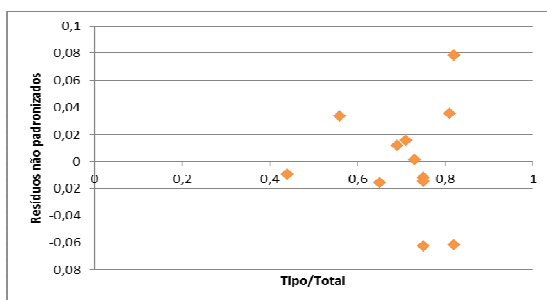


Figura 30 - Gráfico tipo/total x resíduos não padronizados

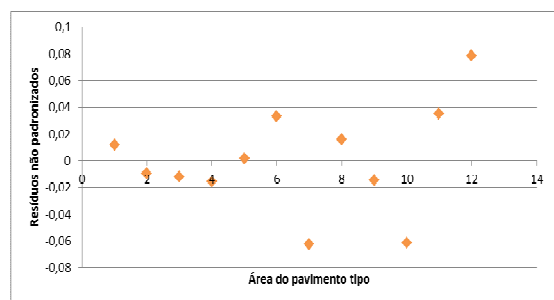


Figura 31 - Gráfico área do pavimento tipo x resíduos não padronizados

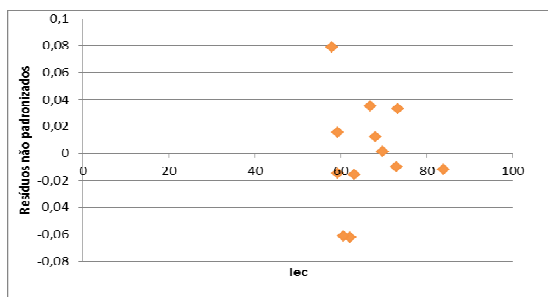


Figura 32 - Gráfico Iec x resíduos não padronizados

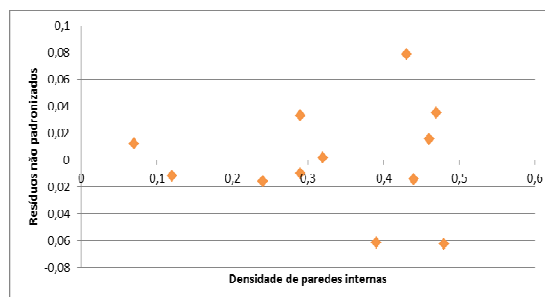


Figura 33 - Gráfico densidade de paredes internas x resíduos não padronizados

Nos gráficos das Figuras 30, 31, 32 e 33, não é possível visualizar qualquer tipo de tendência nos dados das variáveis independentes (tipo/total, área do pavimento tipo, Iec e densidade de paredes internas) x resíduos não padronizados, mantendo-se a distribuição aleatória para as variáveis independentes (X).

4.3.6 Aplicação do modelo para estimar a geração de resíduos com ampliação da amostra

Para analisar a eficiência do modelo proposto para obras comerciais e residenciais, foram lançados na Equação 7 os valores das variáveis independentes para verificação da proximidade dos resultados ao valor real coletado. Os dados utilizados para calcular a estimativa são apresentados na Tabela 49.

Tabela 49 - Dados utilizados para calcular a estimativa proposto pelo trabalho

Empresa	Ident. obra	Relação tipo/total	Área do pavimento tipo	Iec	Densidade de paredes internas	Sistema construtivo
Obras comerciais verticais						
A	1	0,69	977,73	67,97	0,07	1
B	2	0,44	333,44	72,91	0,29	0
C	3	0,75	567,47	83,9	0,12	1
	4	0,65	409,66	63,09	0,24	0
D	5	0,73	197,88	69,72	0,32	0
E	6	0,56	517,01	73,23	0,29	0
Obras residenciais verticais						
B	5	0,75	360,65	62,09	0,48	0
C	6	0,71	564,95	59,23	0,46	0
D	9	0,75	674,4	59,27	0,44	0
F	10	0,82	346,8	60,58	0,39	0
F	11	0,81	399,77	66,82	0,47	0
H	17	0,82	230,51	57,91	0,43	0

Após a coleta dos dados realizou-se os cálculos da estimativa proposto pelo trabalho para obras comerciais e residenciais. Na Tabela 50 apresenta os resultados das estimativas (geração de resíduos / área construída (m^3/m^2)) dos dois segmentos, sendo 6 obras comerciais verticais e 6 obras residenciais verticais.

Tabela 50 - Resultado da estimativa das obras comerciais e residenciais

Empresa	Ident. Obra	Obras comerciais e residenciais verticais (Modelo proposto pelo trabalho)	Estimativa informada pelas empresas
		Geração estimada (m^3/m^2)	
Comercial vertical			
A	1	-0,15	0,19
B	2	0,16	0,25
C	3	-0,04	0,14
	4	0,002	0,11
D	5	0,08	0,13
E	6	-0,15	0,05
Residencial vertical			
B	5	0,14	0,19
C	6	0,01	0,20
D	9	-0,15	0,05
F	10	0,05	0,08
F	11	-0,04	0,11
H	17	0,24	0,37

Após realizar os cálculos da estimativa com relação à geração de resíduos por área construída (m^3/m^2) com o modelo com ampliação da amostra (obras comerciais e residenciais verticais), pode-se observar uma grande diferença entre os valores informados pelas empresas. Sendo assim, acredita-se que o modelo testado com ampliação da amostra para estimar a geração de resíduos durante a execução de obras comerciais e residenciais verticais não seja adequado.

4.4 COMPARAÇÃO COM ÍNDICES DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS PUBLICADOS NA LITERATURA

Na Tabela 51 são apresentados os resultados de geração estimados pelos modelos propostos no trabalho para obras comerciais verticais e obras (comercial e residencial) e um comparativo com estimativas realizadas por outros autores, como: Pinto (1999) propôs uma taxa de geração de resíduos para construções novas de $150kg/m^2$; Llatas (2011) propôs uma taxa de resíduos de construção (sem solo) de $0,1388m^3/m^2$; Mália et al. (2013) com uma taxa de geração de RCD no valor de $135kg/m^2$ para construção não residencial nova com estrutura

de concreto armado e Dias (2013) propôs um modelo para estimar a geração de RCD durante a construção de obras residenciais verticais.

As estimativas com resultados em kg/m² foram transformados em m³/m² através do valor da densidade aparente publicado por Pinto e Gonzáles (2005) no valor de 1,2t/m³. Os valores ficaram da seguinte maneira: Pinto (1999) com o valor de 0,1250m³/m² e Mália et al. (2013) com 0,1125m³/m².

Tabela 51 - Comparativo entre os resultados obtidos de geração de RCD pelos modelos propostos com a geração de RCD informadas pelas empresas e pelos indicadores de estimativa propostos por Pinto (1999), Llatas (2011), Mália et al. (2013) e Dias (2013)

Empresa	Identificação das obras comerciais	Geração de resíduos / área construída - informada pelas empresas (m ³ /m ²)	Modelo de estimativa proposto no trabalho - OBRAS COMERCIAIS VERTICAIS	Modelo de estimativa proposto no trabalho - OBRAS MISTAS	Indicador proposto por Pinto (1999)	Indicador proposto por Llatas (2011)	Indicador proposto por Mália et al. (2013)	Indicador proposto por Dias (2013)
			Geração estimada (m ³ /m ²)	Geração estimada (m ³ /m ²)	Indicador (m ³ /m ²)	Indicador (m ³ /m ²)	Indicador (m ³ /m ²)	Geração estimada (m ³ /m ²)
A	1	0,19	0,20	-0,15	0,1250	0,1388	0,1125	0,11
B	2	0,25	0,27	0,16				-0,12
C	3	0,14	0,16	-0,04				0,86
	4	0,11	0,13	0,002				0,04
D	5	0,13	0,14	0,08				0,29
E	6	0,05	0,06	-0,15				0,03

Na Tabela 51 é possível constatar que das seis obras estudadas, os resultados estimados pelo modelo para obras comerciais verticais são mais próximos da geração de resíduos por área construída informada pelas empresas participantes. Os resultados indicam que o modelo proposto por Dias (2013) não é adequado para a estimativa da geração de resíduos para obras comerciais, pois os valores obtidos estão muito distantes dos valores informados pelas empresas participantes. Os indicadores propostos por Pinto (1999), Llatas (2011) e Mália *et al.* (2013), superam o modelo proposto para obras comerciais verticais em aproximação dos valores de geração de resíduos (m³/m²) das obras C/4 e D/5, totalizando duas obras.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa investigou algumas variáveis de projeto que influenciam a geração de resíduos durante a construção de edifícios verticais no segmento comercial, a partir de uma amostra com seis obras localizada na região metropolitana de Porto Alegre/RS.

As variáveis independentes relacionadas ao projeto arquitetônico das obras são: área total construída (m^2); área do pavimento tipo (m^2); a relação entre o número de pavimentos tipo e o número total de pavimentos do edifício (tipo/total); densidade de paredes internas no pavimento tipo (m/m^2) e o índice econômico de compacidade (Iec). Em relação a variável dependente corresponde à geração de resíduos por área construída (m^3/m^2).

Mediante a análise estatística das variáveis, verificou-se que a área do pavimento tipo tem grande influência no índice de geração de resíduos devido à lógica de que quanto maior a área construída, mais materiais serão utilizados e conseqüentemente mais resíduos serão gerados. Porém, conforme apresentado no gráfico variável nº de pavimentos tipo, a geração de resíduos em relação ao número de pavimentos tipo, existe uma redução dessa geração em função do aumento do número de pavimentos tipo, o que pode justificar esta diminuição da geração de resíduos a prática de repetição. Contudo, as variáveis que apresentaram maior influência em relação ao índice de geração de resíduos foram: Relação tipo/total, índice econômico de compacidade e a área do pavimento tipo.

O modelo de estimativa adotado (item 4.2.4) obteve coeficiente de determinação (R^2) = 0,993, e seu coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) = 0,967, demonstrando que o modelo adotado é capaz de explicar 97% da geração de resíduos por área construída em obras comerciais verticais.

Já o modelo testado para obras comerciais e residenciais (item 4.3.4) obteve R^2 = 0,816 e o R^2 ajustado = 0,663, podendo explicar 66%, mas quando comparados os valores estimados utilizando deste modelo podemos observar uma grande diferença dos valores informados pelas empresas, pelos valores estimados pelo modelo para obras comerciais verticais e os propostos pelos autores da literatura. Sendo assim, acredita-se que o modelo testado com ampliação da amostra não é viável a sua utilização para obras com segmentos diferentes.

Os resultados da geração de resíduos por área construída (m^3/m^2) estimados mediante ao modelo proposto pela pesquisa para obras comerciais verticais, mostra uma

grande proximidade dos valores informados pelas empresas. Acredita-se que o modelo possa ser muito útil para estimar a geração de resíduos durante a fase de produção.

O conhecimento da quantidade de resíduos gerados ao longo do tempo é de extrema importância para o gerenciamento dos mesmos e para servir de parâmetro para reduzir a quantidade de resíduos gerados pela indústria da construção civil.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se ampliar o tamanho da amostra para garantir estimativas ainda mais condizentes com a realidade, e aprofundar os estudos buscando caracterizar e quantificar os resíduos por estágio de construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2014.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2015.

AL-HAJJ, Assem; HAMANI, Karima. Material waste in the UAE construction Industry: Main causes and minimization practices. **Architectural Engineering and Design Management**. V. 7, n. 4, p. 221-235, 2011.

ALMEIDA, Ricardo Ricelli Pereira et al. Identificação e análise dos impactos ambientais gerados na indústria da construção civil. **Informativo Técnico do Semiárido**. V. 9, n. 1, p. 39-46, 2015.

ALVES, Jefferson; DREUX, Virginia Paiva. Resíduos da construção civil em obras novas. **Interfaces Científicas-Exatas e Tecnológicas**. V. 1, n. 1, p. 53-65, 2015.

AMADEI, Daysa Ione Braga et al. A questão dos resíduos de construção civil: um breve estado da arte. **Revista Nupem**. V. 3, n. 5, p. 185-199, 2011.

ÂNGULO, Sergio Cirelli. **Caracterização de Resíduos de Construção e Demolição**. Suporte ao Projeto de Instalação de Reciclagem e Controle da Qualidade. Tese (Doutorado em engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Construção e Engenharia Civil, São Paulo, 2005.

AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. **Resíduos da construção civil em Salvador**: os caminhos para uma gestão sustentável. In: Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Jan/Mar de 2006. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). Rio de Janeiro, 2006.

BAKSHAN, A., et al. A field based methodology for estimating waste generation rates at various stages of construction projects. **Resources, Conservation and Recycling**. V. 100, p. 70-80, 2015.

BARROS, Emilio Augusto Coelho et al. Métodos de estimação em regressão linear múltipla: aplicação a dados clínicos. **Revista Colombiana de Estadística**. Volumen 31, no. 1, Junio 2008.

BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi; CAIXETA-FILHO, José Vicente (orgs.). **Logística ambiental de resíduos sólidos**. São Paulo: Atlas, 2011.

BERNARDES, A.; Thomé, A.; PRIETTO, P. D. M.; ABREU, A. G. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 3, p. 65-76, 2008.

BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. **Manual técnico: Gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras.** Brasília: SEBRAE/DF, 2007. 48p. Disponível em: <<http://www.biblioteca.sebrae.com.br>> Acesso em 20/01/2016.

BOEHM, Nadine Indira. **Taking Action on Construction Waste: An analysis of construction waste minimisation practices and their barriers.** In: Proceedings 2 nd Conference: People and Buildings held at Graduate Centre, London Metropolitan University, London, UK, 18th September. 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n.º 307 de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 de julho de 2002.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n.º 348 de 16 de agosto de 2004.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 de agosto de 2004.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n.º 431 de 24 de maio de 2011.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de maio de 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n.º 469 de 29 de julho de 2015.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 de julho de 2015.

BRASIL. **Lei Federal n.º 12.305/2010, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 de agosto de 2010.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra; MOREIRA, Kelvya Maria de Vasconcelos. **Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil.** Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará. Fortaleza, agosto de 2011.

CARELI, E. D. **A Resolução CONAMA n.º 307/2002 e as novas condições para gestão dos resíduos de construção e demolição.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2008.

CHEN, Ying; et al. Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. **Automation in construction.** V. 19, n. 2, p. 235-244, 2010.

COSTA, Ricardo Vasconcelos Gomes da et al. Rate of construction waste generation in buildings in the city of João Pessoa. **Ambiente Construído.** V. 14, n. 1, p. 127-137, 2014.

DELESDERRIER, Ariane Bonato. **Estudo de falhas em obras de edificações oriundas da falta de compatibilidade entre projetos.** 2015. 65f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2015.

DELONGUI, Lucas et al. **Panorama dos resíduos da construção civil na região central do Rio Grande do Sul.** Construction and demolition waste situation in central region of Rio Grande do Sul. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 18, p. 71-80, 2011.

DIAS, Michele Ferreira. **Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos. São Leopoldo, 2013.

DOWNING, Douglas; CLARK, Jeffrey. **Estatística aplicada**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

FABRÍCIO, M. M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. 2002. 351f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2002.

FERNANDES, M. P. M. **Apreciação de boas práticas visando à geração de um modelo para a gestão municipal dos resíduos da construção civil**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

FRAGA, Marcel Faria. **Panorama da geração de resíduos da construção civil em belo horizonte**: medidas de minimização com base em projeto e planejamento de obras. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte, 2006.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel framing: arquitetura**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manuais da Construção em Aço).

GEHRKE, A.E. *Gestão de resíduos da construção civil em municípios de pequeno porte: Indicadores de Sustentabilidade*. 2012. 231f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GEUS, Lúcio Marcos de; GARCIAS, Carlos Mello. Gestão de resíduos de construção em edificações de grande porte na cidade de Ponta Grossa. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. V. 6, n. 2, p. Páginas 124-139, 2014.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

ITO, Ana Paula Nishimoto et al. A avaliação da perspectiva dos arquitetos na redução de resíduos na etapa de projeto arquitetônico. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**. V. 6, n. 1, p. 16-25, 2015.

JAILLON, L.; POON, Chi-Sun; CHIANG, Y. H. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. **Waste management**. V. 29, n. 1, p. 309-320, 2009.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. In. Seminário de Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares. São Paulo, 2000.

KARPINSKI, Luisete Andreis et al. Gestão de resíduos da construção civil: uma abordagem prática no município de Passo Fundo-RS. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**. V. 4, n. 2, p. 69-87, 2008.

KATZ, A.; BAUM, H. A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites. *Waste Management*, n 31, p. 353–358, 2011.

KERN, A. P. et al. Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management (Elmsford)**, v. 39, p. 35-44, 2015.

LAGE, Isabel Martínez et al. Estimation of the annual production and composition of C&D Debris in Galicia (Spain). **Waste Management**. V. 30, n. 4, p. 636-645, 2010.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001, 290f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Escola de engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LI J.; DING Z.; MI X.; WANG J. A model for estimating construction waste generation index for building project in China. Resources. **Conservation and Recycling**, 2013, Vol.74, pp.20-26.

LIMA, R. M. S. R. **Sistema de avaliação da gestão integrada de resíduos da construção civil na esfera municipal**. (Tese de Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LLATAS, C. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. **Waste Management**. V. 31, n. 6, p. 1261-1276, 2011.

MÁLIA, M.; BRITO, J. DE.; BRAVO, M. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 117-130, jul./set. 2011.

MÁLIA, Miguel et al. Construction and demolition waste indicators. **Waste Management & Research**. V. 31, n. 3, p. 241-255, 2013.

MARINHO, A. A., et al. **Resíduos da indústria da construção civil e o seu processo de reciclagem para a minimização dos impactos ambientais**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-FITS, 1(1), 73-84, 2014.

MARQUES NETO, J. C. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos: RiMa, 2005.

MARTINS, F. G. **Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte** – estudos de caso. 2012. 177 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas**. 5ª ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2010. 192 p.

MELHADO, S.B. & VIOLANI, M.A.F. **Qualidade na construção civil e o projeto de edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 1992.

OLIVEIRA, D. M. **Desenvolvimento de ferramenta para apoio à gestão de resíduos de construção e demolição com uso de geoprocessamento: caso Bauru, SP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

OSMANI, M et al. Architect and contractor attitudes to waste minimisation. **Waste and Resource Management**, 159, p. 65-72, 2006.

PASCHOALIN FILHO, J. A. et al. Manejo de resíduos de demolição gerados durante obras da arena de futebol palestra Itália (Allianz Parque) localizada na cidade de São Paulo/Brasil. **HOLOS**. V. 6, p. 73-91, 2013.

PERALTA, Antonio Carlos. **Um modelo do processo de projeto de edificações, baseado na engenharia simultânea, em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte.** Dissertação apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

PIMENTEL, U. H. O. **Análise da geração de resíduos da construção civil da cidade de João Pessoa-PB.** 2013. 188 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Doutorado Interinstitucional - DINTER promovido pelas Universidades Federal da Bahia-UFBA e Federal da Paraíba-UFPB, Salvador/BA, 2013.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. 190 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T.P; GONZÁLES, J.L.R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil.** Volume 1 - Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Brasília: CAIXA, 2005.

ROESCH, Sylvia Maria Azevedo. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração.** 2 ed. São Paulo: Editora Atlas, 1999.

ROSSO, Teodoro. **Racionalização da construção.** São Paulo: Ed. FAU-USP, 1980.

SÁEZ, P. V.; MERINO, M. Del R.; PORRAS-AMORES, C. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. **Waste Management & Research**, v. 30, n. 2, p. 137-146, 2012.

SÁEZ, Paola Villoria; PORRAS-AMORES, César; DEL RÍO MERINO, Mercedes. New quantification proposal for construction waste generation in new residential constructions. **Journal of Cleaner Production**, 2015.

SANTOS, Fladimir Fernandes et al. Adequação dos municípios do estado do Rio Grande do Sul à legislação de gestão de resíduos da construção civil. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**. V. 4, n. 8, p. 1-18, 2012.

SCHERRER, Alberto; DA SILVA, José Luis Gomes; DE BRITO, Luiz Antonio Perrone Ferreira. Estudo da influencia do crescimento da construção civil na deposição de resíduos sólidos: estudo de caso no município de Caraguatatuba. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. V. 10, n. 2, 2014.

SILVA, V. A.; FERNANDES, A. L. T. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. **Sociedade & Natureza**. V. 24, n. 2, p. 333-344, 2012.

SOLÍS-GUZMÁN, J. et al. (2009). A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management**. V. 29, n. 9, p. 2542-2548, 2009.

SOUZA, U.E.L. et al. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, 2004.

THOMAZ, Ercio. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Editora Pini, 2001.

TRIOLA, Mario F. **Introdução à estatística**. 10^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

WANG, Jiayuan; et al. Identifying best design strategies for construction waste minimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 92, p. 237-247, 2015.

YEHEYIS, M., et al. An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**. V. 15, n. 1, p. 81-91, 2013.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 5^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 290 p.

ZEULE, L. O. **Práticas e avaliação da sustentabilidade nos canteiros de obras**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997.