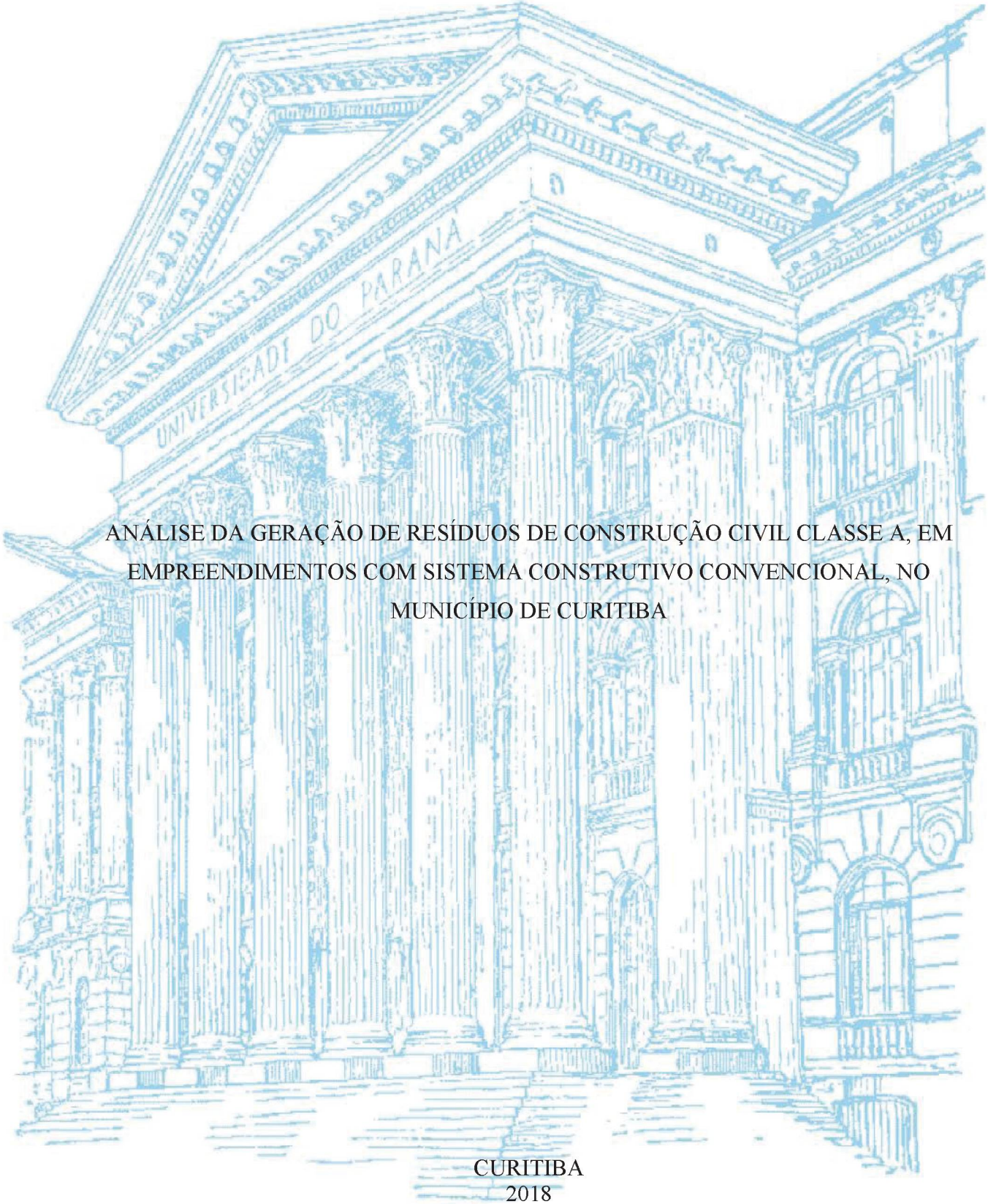
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEILANE KUSUNOKI



ANÁLISE DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL CLASSE A, EM EMPREENDIMENTOS COM SISTEMA CONSTRUTIVO CONVENCIONAL, NO MUNICÍPIO DE CURITIBA

CURITIBA
2018

LEILANE KUSUNOKI

ANÁLISE DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL CLASSE A, EM EMPREENDIMENTOS COM SISTEMA CONSTRUTIVO CONVENCIONAL, NO MUNICÍPIO DE CURITIBA

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, em parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e à Universidade de Stuttgart, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Felga Gobbi
Coorientadora: Prof.ª Dr.ª Patricia Charvet

CURITIBA
2018

Catalogação na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

K97a Kusunoki, Leilane
Análise da geração de resíduos de construção civil classe a, em empreendimentos com sistema construtivo convencional, no município de Curitiba / Leilane Kusunoki – Curitiba, 2018.

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, SENAI – PR, Universitat Stuttgart, 2018.

Orientador: Eduardo Felga Gobbi
Coorientadora: Patricia Charvet

1. Resíduos – Construção civil. 2. Resíduos da construção e demolição. 3. Reciclagem - Usinas. I. Universidade Federal do Paraná. II. Gobbi, Eduardo Felga. III. Charvet, Patricia. IV. Título.

CDD: 628.4

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MEIO AMBIENTE
URBANO E INDUSTRIAL

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **LEILANE KUSUNOKI** intitulada: **ANÁLISE DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL CLASSE A, EM EMPREENDIMENTOS COM SISTEMA CONSTRUTIVO CONVENCIONAL, NO MUNICIPIO DE CURITIBA**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 30 de Outubro de 2018.

EDUARDO FELGA GOBBI
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

Sandra M. P. de Queiroz
SANDRA MARA PEREIRA DE QUEIROZ
Avaliador Interno (UFPR)

ANDRÉ NAGALLI
Avaliador Externo (UTFPR)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria e Roberto, por todo esforço aplicado na minha educação, por sempre respeitarem minhas escolhas e pelo exemplo de pessoas íntegras que me foi passado.

Ao meu irmão Marcel, pelo companheirismo, amizade, paciência e ensinamentos desde pequenos.

Ao meu marido Alexandre, pelo companheirismo e pela compreensão nos momentos ausentes, por não me deixar desistir e pelo suporte e incentivo na minha evolução acadêmica e profissional.

Ao professor doutor Eduardo Felga Gobbi, por toda paciência, pela confiança e pela orientação nessa dissertação.

À professora doutora Patricia Charvet, por todas as correções, pelo incentivo, pela confiança e pela coorientação nessa dissertação.

Aos professores Gontarski e Álvaro, pelo auxílio na direção que o trabalho deveria seguir e por todas as correções apresentadas na banca de qualificação.

À professora Sandra pelo suporte e auxílio na direção que o trabalho deveria seguir, pelas correções e incentivo nas bancas de qualificação e defesa final.

Ao professor Nagalli pelas correções, esclarecimentos e indicações na banca de defesa final.

A todos os professores e professoras da UFPR, SENAI e Universidade de Stuttgart pelas aulas e conhecimentos repassados.

A Elizabete, da SMMA; a Lucimara, da SEIL-PR; ao Luiz Marcelo, do SMOP, a Cristina, Claudia e Lívia, do IPPUC, por todas as informações, disposição em ajudar e esclarecimentos fundamentais para a elaboração dessa dissertação.

A HMS e Ideal Ambiental, pela autorização do uso das imagens utilizadas nessa dissertação.

À amiga Fernanda Soares pelo incentivo e por me mostrar o tema dessa dissertação.

A todos os amigos e colegas atuantes em construtoras e empresas de meio ambiente que disponibilizaram tempo e dados, que tornaram possível a conclusão dessa dissertação.

RESUMO

A extração de matéria-prima da natureza, o volume de resíduos de construção e demolição (RCD) acumulado e sua posterior disposição inadequada são preocupações ambientais causadas pelo setor da construção civil. O gerenciamento de resíduos identifica e quantifica os RCD a serem gerados, nos diversos estágios das obras, sendo, assim, ferramenta de gestão que colabora para a correta disposição dos resíduos, reciclagem e reuso dos RCD e, consequentemente, para a redução na necessidade de insumos virgens. O principal obstáculo da sua efetiva execução é a escassez de dados para estimativas, o que torna o processo do gerenciamento impreciso. Assim, essa dissertação objetiva analisar os principais fatores e sua influência na produção dos resíduos de construção civil classe A, em obras executadas com sistema construtivo convencional, no município de Curitiba. Inicialmente, o banco de dados foi elaborado, identificando as possíveis variáveis significativas e as informações dos elementos amostrais foram obtidas com construtoras, empresas que prestam serviços ambientais e setores públicos. A análise das variáveis foi realizada por meio da técnica de regressão linear multivariada e as que apresentaram maior correlação foram discutidas. A equação de regressão foi testada e os valores obtidos foram comparados com os valores reais. Os resultados apresentaram correlações esperadas e não esperadas, como: quanto mais treinada for a mão de obra, menor a geração de RCD classe A, e empreendimentos executados com padrão construtivo alto demonstraram maior predisposição para a geração de resíduos. A inexistência de dados públicos e digitais, de fácil acesso, também foi uma dificuldade percebida durante a elaboração do banco de dados. O conhecimento das principais causas da geração de resíduos de construção civil é fundamental para a aplicação do gerenciamento de resíduos, logo, auxilia na evolução da indústria da construção sustentável e na menor agressão ao meio ambiente.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição. Gerenciamento de resíduos de construção. Regressão linear múltipla. Metodologia de quantificação. Usinas de Reciclagem. Segregação de resíduo. Reuso.

ABSTRACT

Extraction of raw materials from nature, the volume of accumulated construction and demolition wastes (CDW) and their subsequent inadequate final disposal are environmental concerns caused by the construction industry. Waste management is a valuable administration tool that contributes to the correct waste disposal, recycling and reuse of class A residue and, consequently, reduction of virgin inputs need. Although, it requires the identification and quantification of CDW to be generated at various stages of the project. The dominant barrier for the management application is the data scarcity for residues estimates, which make the management process inaccurate. Thus, this dissertation aims to analyze the primary variables and their significance in the production of the civil construction waste class A, in buildings with conventional construction system, in Curitiba. The possible significant variables were identified, and the database of CDW generation was elaborated, through information obtained by constructors, environmental companies, and public sectors, operating in Curitiba. Hence, the variables analysis was performed through the multivariate linear regression technique. The results revealed expected and unexpected correlations, such as the more experienced and trained was the labor force, the less CDW were produced, and the higher the quality standard of the building, the more CDW were generated. The lack of a public and easy to access database were also challenges that had to be overcome. Knowledge about the construction waste generation leading causes is essential to ensure the waste management application and more sustainable construction industry.

Keywords: Construction and demolition waste. Construction waste management. Multiple linear regression. Quantification methodology. Recycling plants. Waste segregation. Reuse.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SETORES COM MAIOR CONCENTRAÇÃO DE GERAÇÃO DE EMPREGO RELACIONADOS COM AS ATIVIDADES DA CONSTRUÇÃO CIVIL 19
FIGURA 2 – ARRECADAÇÃO DE IMPOSTOS DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ÂMBITO FEDERAL, ESTADUAL E MUNICIPAL 20
FIGURA 3 – ESTUDO COMPARATIVO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO CONSIDERANDO O TEMPO DE VIDA DOS MATERIAIS 28
FIGURA 4 – (A) RCD RECEBIDO EM USINA DE RECICLAGEM (B) AREIA RECICLADA PRODUZIDA EM USINA DE RECICLAGEM 37
FIGURA 5 – (A) BRITA RECICLADA PRODUZIDO EM USINA DE RECICLAGEM (B) RACHÃO RECICLADO PRODUZIDO EM USINA DE RECICLAGEM 37
FIGURA 6 – (A) USINA DE RECICLAGEM BR-040 EM BELO HORIZONTE (B) USINA DE RECICLAGEM HMS, EM CURITIBA 38
FIGURA 7 – (A) (B) ÁREA DE SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO, IDENTIFICADA POR SUBCLASSE 39
FIGURA 8 – (A) SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS CLASSE A E (B) LIXEIRAS PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS RECICLÁVEIS 39
FIGURA 9 – (A) ALMOXARIFADO E (B) ARMAZENAMENTO DE INSUMOS, IDENTIFICADOS E PROTEGIDOS DE INTEMPÉRIES 41
FIGURA 10 – MODELO DE RELATÓRIO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL 46
FIGURA 11 – *OUTLIERS* INDICADOS NO TESTE DE NORMALIDADE 66
FIGURA 12 – TESTE DE NORMALIDADE, (A) GRÁFICO DE CAIXA E (B) GRÁFICO Q-Q NORMAL 67
FIGURA 13 – (A) GRÁFICO DE RESÍDUOS PADRONIZADOS E (B) ESTUDENTIZADOS APRESENTANDO ALEATORIEDADE 71
FIGURA 14 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS APRESENTANDO RELAÇÃO DECRESCENTE 73
FIGURA 15 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS

INDEPENDENTES QUANTITATIVAS APRESENTANDO RELAÇÃO CRESCENTE 74
FIGURA 16 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUALITATIVAS APRESENTANDO RELAÇÃO DECRESCENTE 76
FIGURA 17 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUALITATIVAS APRESENTANDO RELAÇÃO CRESCENTE 77
FIGURA 18 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES APRESENTANDO RELAÇÃO DECRESCENTE PARA O TESTE COM DADOS EXTRAS 87
FIGURA 19 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES APRESENTANDO RELAÇÃO CRESCENTE PARA O TESTE COM DADOS EXTRAS 88

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – METODOLOGIAS DE QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO 21
QUADRO 2 – VARIÁVEIS PARA MODELAGEM ESTATÍSTICA 30
QUADRO 3 – FATORES K_E, K_F E K_C INTEGRANTES DA EQUAÇÃO 1 31
QUADRO 4 – FATOR KP INTEGRANTE DA EQUAÇÃO 1 32
QUADRO 5 – FATORES QUE INFLUENCIAM DE FORMA POSITIVA E NEGATIVA NA GERAÇÃO DE RCD NO CANTEIRO DE OBRAS 41
QUADRO 6 – RAMO E QUANTIDADE DAS FONTES DO BANCO DE DADOS 54
QUADRO 7 – POSSÍVEIS VARIÁVEIS INDEPENDENTES DO MODELO 59
QUADRO 8 – VARIÁVEIS UTILIZADAS NA REGRESSÃO MULTIVARIADA 60
QUADRO 9 – QUANTIDADE DE EMPRESAS PROCURADAS, DADOS AMOSTRAIS FORNECIDOS E EFETIVAMENTE APROVEITADOS NO ESTUDO 61
QUADRO 10 – COMO AS INFORMAÇÃOS REFERENTE ÀS VARIÁVEIS FORAM OBTIDAS 61
QUADRO 11 – LEGENDA DAS VARIÁVEIS QUALITATIVAS 62
QUADRO 12 – LEGENDA DAS VARIÁVEIS DICOTÔMICAS 63
QUADRO 13 – RESUMO DAS TENDÊNCIAS APRESENTADAS PELAS VARIÁVEIS EFEITVAMENTE UTILIZADAS NO MODELO DE REGRESSÃO 78

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RESULTADO DE ESTUDOS REALIZADOS COM A METODOLOGIA DENOMINADA VISITA NA OBRA 25
TABELA 2 – BANCO DE DADOS DE GERAÇÃO DE RCC CLASSE A, EM EMPREENDIMENTOS DO MUNICÍPIO DE CURITIBA – VARIÁVEIS QUANTITATIVAS 62
TABELA 3 – BANCO DE DADOS DE GERAÇÃO DE RCC CLASSE A, EM EMPREENDIMENTOS DO MUNICÍPIO DE CURITIBA – VARIÁVEIS QUALITATIVAS 63
TABELA 4 – *OUTLIERS* INDICADOS NO TESTE DE NORMALIDADE - AMPLITUDE VARIÁVEL DEPENDENTE 66
TABELA 5 – TESTE DE NORMALIDADE 67
TABELA 6 – SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS 69
TABELA 7 – CORRELAÇÃO DE PEARSON DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES 69
TABELA 8 – RESUMO DO MODELO DE REGRESSÃO E ANÁLISE DA VARIÂNCIA 70
TABELA 9 – VARIÁVEIS EXCLUÍDAS DO MODELO DE REGRESSÃO 71
TABELA 10 – GERAÇÃO DE RCD FORNECIDA E CALCULADA COM MODELO DE REGRESSÃO 80
TABELA 11 – COMPARATIVO ENTRE OS DADOS QUE APRESENTARAM MAIOR VARIÂNCIA ENTRE OS VALORES CALCULADOS E OS REAIS 81
TABELA 12 – SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS DO MODELO PARA VALIDAÇÃO COM DADOS EXTRAS 83
TABELA 13 – DADO EXCLUÍDO POR INDICAÇÃO DE RESÍDUO ATÍPICO 83
TABELA 14 – COMPARATIVO ENTRE O DADO 21 E OS DEMAIS DADOS 84
TABELA 15 – TESTES PARA VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DA AMOSTRA APÓS A EXCLUSÃO DO DADO 21 85
TABELA 16 – RESUMO DO MODELO DE REGRESSÃO E ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA VALIDAÇÃO COM DADOS EXTRAS 85
TABELA 17 – DADOS LEVANTADOS PARA VALIDAÇÃO EXTRA 86
TABELA 18 – VALORES REAIS, CALCULADOS E ERRO RELATIVO 86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAINC – Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias
ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição
ABRELPE – Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACCD – *Andalusian Construction Costs Database* (Base de Dados de Construção Andalusian)
APP – Área de Preservação Permanente
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento
CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente
COEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente do Ceará
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.
CREA-PR – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná
CVCO – Certificado de Conclusão de Obra
EWL – *European Waste List* (Lista de Resíduos Europeia)
FINEP – Empresa Brasileira de Inovação e Pesquisa
IAP – Instituto Ambiental do Paraná
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ITQC – Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade da Construção Civil
LEED – *Leadership in Energy and Environment Design* (Liderança em Projetos de Energia e Meio Ambiente)
LO – Licença de Operação
MTR – Manifesto do Transporte de Resíduos
PGRCC – Plano de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil
PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PIB – Produto Interno Bruto
RCC – Resíduo de Construção Civil
RCD – Resíduo de Construção e Demolição
RGRCC – Relatório de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SEIL-PR – Secretaria Estadual de Infraestrutura e Logística do Paraná
SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SMMA – Secretaria Municipal do Meio Ambiente

SMU – Secretaria Municipal do Urbanismo

URBS – Urbanização de Curitiba S/A

USEPA – *United States Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

USP – Universidade de São Paulo

ZCT – Zona Central de Tráfego

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
2 OBJETIVOS 18
2.1 OBJETIVO GERAL **18**
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS **18**
3 REVISÃO DA LITERATURA 19
3.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL **19**
3.2 PRINCIPAIS METODOLOGIAS QUE ESTIMAM A GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, NO BRASIL E NO MUNDO **21**
3.2.1 Metodologia Denominada Visita na Obra 22
3.2.2 Metodologia Denominada Cálculo por Índice de Geração 26
3.2.3 Metodologia Análise do Tempo de Vida 27
3.2.4 Metodologia Denominada Sistema de Classificação 28
3.2.5 Metodologia Denominada Modelo com Variáveis 29
3.2.6 Metodologia Denominada Outras 34
3.3 RESÍDUOS GERADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL **35**
3.3.1 Fatores Significativos na Geração de Resíduo de Construção 40
3.4 PRINCIPAIS INSTRUMENTOS LEGAIS A NÍVEL FEDERAL, ESTADUAL E MUNICIPAL **42**
3.5 TÉCNICA DE REGRESSÃO MULTIVARIADA **47**
3.5.1 Normalidade 47
3.5.2 Outliers 48
3.5.3 Significância 48
3.5.4 Resíduos (regressão linear) 49
3.5.5 Coeficiente de Determinação (R^2), *Durbin-Watson* e Variância 49
3.5.6 Colinearidade 49
3.5.7 Coeficientes 50
4 MATERIAL E MÉTODOS 52
4.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES **52**
4.1.1 Levantamento de Banco de Dados para Análise Multivariada 52
4.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL CLASSE A **54**

4.3 EQUAÇÃO DE REGRESSÃO PARA ESTIMAR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL GERADOS EM OBRAS DE EMPREENDIMENTOS VERTICAIS, NO MUNICÍPIO DE CURITIBA **55**
4.4 LIMITAÇÕES DO ESTUDO **56**
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 57
5.1 DEFINIÇÃO DAS POSSÍVEIS VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL **57**
5.1.1 Análise das Metodologias para Estimativa de Resíduo de Construção Civil 57
5.1.2 Definição das Variáveis Significantes na Produção de Resíduo de Construção Civil 58
5.2 LEVANTAMENTO DO BANCO DE DADOS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO, EM OBRAS DE CURITIBA, PARA ANÁLISE MULTIVARIADA **59**
5.2.1 Fatores que Influenciam a Geração de RCC 59
5.2.2 Principais Dificuldades Encontradas no Levantamento do Banco de Dados 63
5.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL **65**
5.3.1 Técnica de Regressão Linear Multivariada 65
5.3.2 Análise das Variáveis Independentes 72
5.4 DESENVOLVIMENTO DA EQUAÇÃO DE REGRESSÃO PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM OBRAS EMPREENDIMENTOS RESIDENCIAIS OU COMERCIAIS NO MUNICÍPIO DE CURITIBA **78**
5.4.1 Modelo de Estimativa de Geração de RCC Classe A em Empreendimentos Construídos em Curitiba 78
5.4.2 Modelo de Estimativa de Geração de RCC Classe A em Empreendimentos Construídos em Curitiba para validação com dados extras 82
6 CONCLUSÃO 89
6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS **90**
REFERÊNCIAS 91
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESENVOLVIDO PARA BANCO DE DADOS 98
APÊNDICE B – TABELA COMPLETA DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON 100

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil influencia diretamente na economia e no crescimento do país. O setor é responsável pela geração de empregos, não apenas no canteiro de obras, mas na indústria, no comércio, no varejo, no transporte e na logística. Além desse fato, representa significativa parcela na arrecadação de impostos e no crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Por outro lado, a construção civil causa preocupações com relação ao meio ambiente, desde a extração de matérias-primas, como areia, água, argila, brita, calcário e outros materiais essenciais na construção civil, até a disposição final dos resíduos gerados em obras de demolição, ampliação, restauração, reforma ou edificação nova.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, dispõe sobre as diretrizes para a gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos (RSU), que por sua vez são classificados em resíduos de construção civil, de saúde, domésticos, agrossilvopastoris, transporte, industrial, saneamento e de mineração. Essa dissertação foca somente nos resíduos de construção civil (RCC).

Os RCC, também chamados de resíduos de construção e demolição (RCD), são provenientes de materiais, como componentes cerâmicos, concreto, argamassa, solo, brita, areia, cimento, cal, plástico, condutores, papel e papelão, vidro, madeira, gesso, isopor, metais, sacos de cimento, latas de tintas, tintas, solventes, óleos, materiais contaminados, composto por amianto, entre outros.

O gerenciamento de resíduos de construção civil é a principal ferramenta de gestão dos RCC. Sua aplicação requer a identificação e a quantificação dos resíduos a serem gerados nos diversos estágios da obra, visando, assim, garantir a destinação final adequada deles e reduzir o estoque de insumos no canteiro à quantidade necessária.

A estimativa do volume de RCC a ser gerado pode reduzir a extração de insumos diretamente da natureza, pois, consciente das etapas que o resíduo será gerado, o reaproveitamento dele, na própria obra, torna-se uma ação viável, além de otimizar a logística da obra em geral. A Resolução CONAMA nº 307, de 17 de julho de 2002 (2002), classifica o RCC em classe A quando é possível reciclar ou reutilizar o resíduo na construção civil, assim como determina as diretrizes de destinação final para as demais classes de RCC que não permitem o seu reaproveitamento dentro do canteiro de obras.

Assim, essa dissertação busca aprofundar o conhecimento nos fatores que causam a formação do RCC e testar a ferramenta obtida, para que colabore na estimativa deste, visando a aplicação efetiva do gerenciamento de resíduos de construção nos canteiros de obras. Os

empreendimentos estudados foram edificados com sistema construtivo convencional, ou seja, cujas técnicas e materiais são normatizados ou conhecidos pelo uso e tradição (CAIXA, 2018).

Os fatores que colaboram para os resíduos serem apontados como um problema ambiental devem-se às subclasses serem categorizadas resíduos perigosos (CONAMA nº 307, 2002), pelo volume acumulado, pois representam mais de 50% do total de RSU gerados, anualmente, no Brasil e pela disposição final inadequada, a qual muitas vezes pode ser notada em terrenos sem edificação, calçadas de pedestres, córregos de rios e área de preservação permanente (APP), causando contaminação de solo e água, risco à saúde humana e agressão ao meio ambiente.

A primeira etapa do gerenciamento de RCC é a estimativa de quais subclasses dos resíduos são geradas, em quais etapas do processo construtivo há possibilidade dessa ocorrência e o volume final acumulado. Porém, a escassez de metodologia e dados para o desenvolvimento das estimativas faz com que os formulários de gerenciamento que precisam ser elaborados para formalização perante órgãos públicos sejam de difícil aplicação prática.

O gerenciamento de resíduos de construção, quando utilizado efetivamente, auxilia no controle de qualidade do canteiro e possibilita a verificação da implantação de ações de melhoria, como treinamento e falhas pontuais. Todas as vantagens da aplicação dessa ferramenta tendem a reduzir o desperdício de material, conter a agressão ao meio ambiente e gerar economia no orçamento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as principais variáveis e sua significância na geração de resíduos de construção civil classe A, em obras de empreendimentos residenciais e comerciais, com sistema construtivo convencional, no município de Curitiba.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos dessa dissertação são:

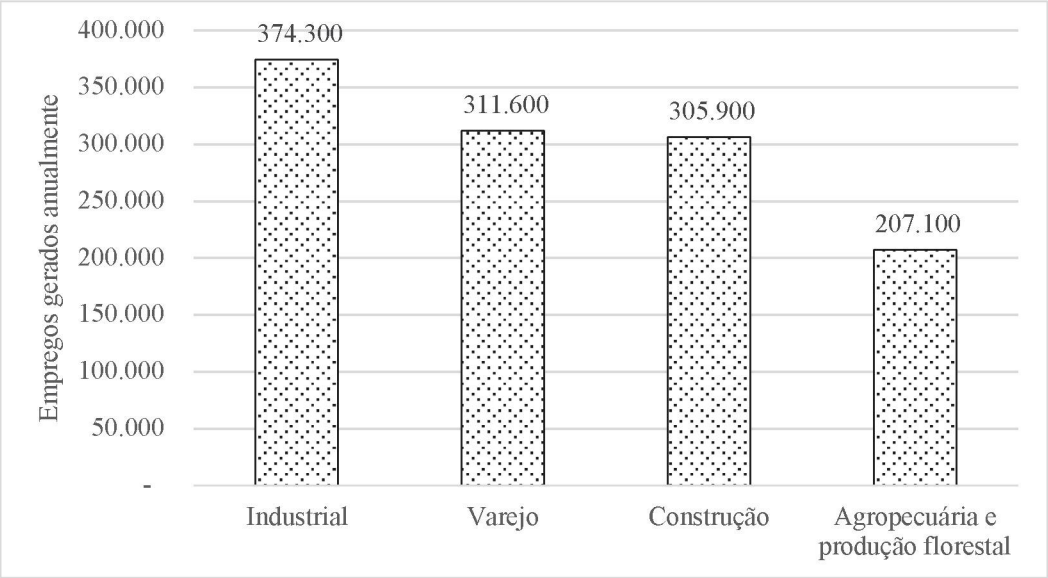
a) Definir as possíveis variáveis que interferem na geração de resíduos de construção civil.
b) Analisar como as variáveis influenciam na geração de resíduos da construção civil classe A.
c) Testar a aplicação do modelo de regressão para estimar os resíduos de construção civil classe A, de edificações com sistema construtivo convencional, no município de Curitiba.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

O setor da construção civil é de fundamental importância no desempenho da economia brasileira. A Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias (ABRAINC) divulgou que 1,9 milhão de empregos são gerados anualmente no Brasil em função da construção civil. Esse valor é a média dos últimos sete anos (2010-2017) (ABRAINC, 2017). Os setores que apresentaram maior representatividade na geração de emprego estão concentrados nas atividades citadas na Figura 1.

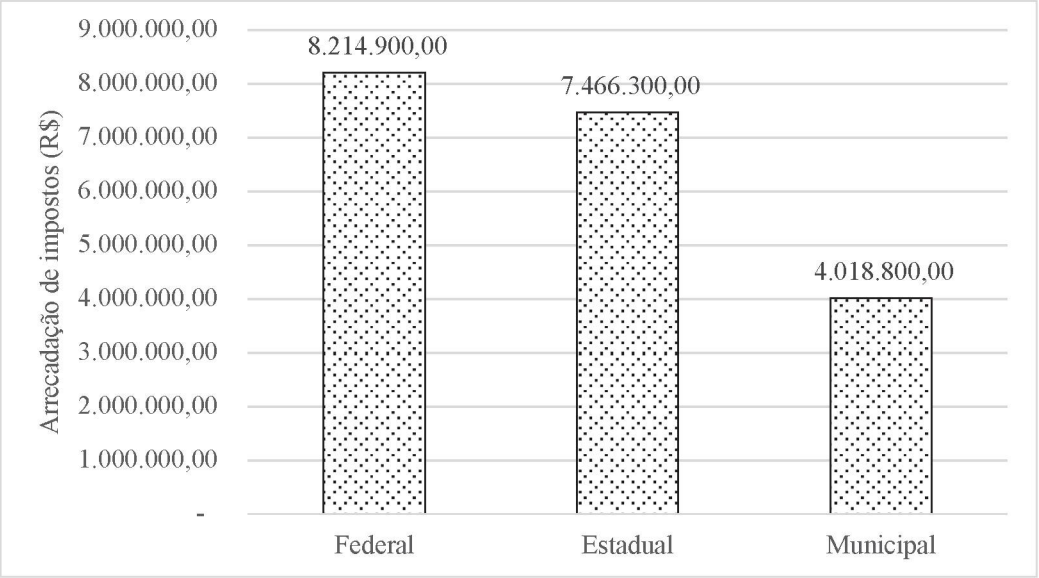
FIGURA 1 – SETORES COM MAIOR CONCENTRAÇÃO DE GERAÇÃO DE EMPREGO RELACIONADOS ÀS ATIVIDADES DA CONSTRUÇÃO CIVIL



FONTE: Adaptado de ABRAINC, 2017.

No mesmo período, foi levantado o quanto foi arrecadado com impostos do setor da construção civil. Nos sete anos, foram recolhidos R$ 157,4 bilhões e a média anual de R$ 19,7 bilhões. Os dados de arrecadação de impostos são referentes a empreendimentos comerciais e residenciais. Obras de infraestrutura não foram consideradas nesse cálculo (ABRAINC, 2017). A Figura 2 apresenta a representatividade dos impostos arrecadados no âmbito federal, estadual e municipal.

FIGURA 2 – ARRECADAÇÃO DE IMPOSTOS DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ÂMBITO FEDERAL, ESTADUAL E MUNICIPAL



FONTE: Adaptado de ABRAINC, 2017.

O segmento da construção civil é considerado um dos setores que mais poluem o planeta, como ponto negativo. A agressão ao meio ambiente é notada desde a extração de matérias-primas diretamente da natureza, até a geração de RCD e sua posterior destinação final. Os edifícios são responsáveis pelo consumo de pelo menos 40% da energia mundial, 50% de matéria-prima virgem e da geração de mais de 50% dos RSU (MATHIAS; FISCHER; LUCCA, 2017).

A forma como se constroem edificações no Brasil é um dos fatores mais significantes no acúmulo de RCC. Predominantemente, a obra é executada de forma manual, ou ainda, de maneira quase artesanal. Argamassas e concreto são produzidos dentro do canteiro de obras. A alvenaria é executada com o auxílio de prumo e nível e a madeira é cortada conforme a necessidade, entre outras situações cotidianas de canteiro de obras.

Algumas tecnologias pré-fabricadas já são acessíveis no mercado da construção brasileira, principalmente, nas últimas décadas, com a migração do campo para as cidades e o decorrente crescimento dos centros urbanos. No entanto, o sistema construtivo convencional ainda é dominante na construção civil brasileira.

O sistema construtivo convencional é definido como método que utiliza técnicas e materiais normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e que já é conhecido e conceituado pelo seu uso ou tradição (CAIXA, 2018). As tecnologias tradicionais, por sua vez, são estrutura em concreto armado, paredes em alvenaria ou blocos cerâmicos e revestimento de argamassa (FORMOSO et al., 1996).

As tecnologias pré-fabricadas têm como principais características: a execução mais rápida e limpa que a de um sistema construtivo convencional; canteiro mais organizado, por não exigir espaço para armazenamento de material; e economia, quando considerado esses fatores (LACHIMPADI et al., 2012; AJAYI et al., 2016). No entanto, mesmo com todo o crescimento da construção civil no Brasil, os empreendimentos frequentemente são executados com sistema construtivo convencional.

3.2 PRINCIPAIS METODOLOGIAS QUE ESTIMAM A GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL E NO MUNDO

As metodologias para estimar a geração de RCD foram as principais buscas na revisão de literatura. Wu et al. (2014) classificaram as metodologias para quantificar os RCD em seis designações diferentes, que são detalhadas no Quadro 1 e na sequência são exemplificadas individualmente.

QUADRO 1 – METODOLOGIAS DE QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

METODOLOGIA		DESCRIÇÃO
Visita na obra	Medição direta	As medições são realizadas diretamente no canteiro de obras. Metodologia com exigência de tempo, pois é necessária a permanência no canteiro de obras para medições constantes de geração de resíduo.
	Medição indireta	Medição realizada por meio de informações fornecidas. Exemplo: a quantidade de caminhões contratados para retirar o resíduo da obra. Todavia, essa medição não é tão precisa quanto a medição direta.
Cálculo por índice de geração	Renda *per capita*	A obtenção da geração de resíduo por região pode ser obtida utilizando o fator da renda *per capita*.
	Custo da obra	Essa metodologia considera o valor do custo de "n" obras da região e a sua respectiva geração média de resíduo.
	Área construída	A geração de resíduo pode ser calculada pela multiplicação da área a ser construída e a taxa de geração de resíduos.
Análise de tempo de vida	Do edifício	Metodologia aplicada para índices de demolição, usualmente. O tempo de vida do edifício é a base para o cálculo.
	Do material	Metodologia aplicada para índices de demolição, usualmente. O tempo de vida do material é a base para o cálculo.
Sistema de classificação		Essa metodologia envolve uma plataforma que quantifica e especifica os diversos materiais. A plataforma segue classificação preexistente, como, por exemplo, a *European Waste List* (EWL).
Modelo com variáveis		Metodologia de modelagem que integra diversas variáveis com alta significância na geração de resíduos de construção.
Outras		Outras metodologias ainda são encontradas na literatura. Como por exemplo, porcentagens fixas para geração de resíduos para cada material, ou dados anuais de produção para determinado tipo de material.

FONTE: Adaptado de WU et al., 2014.

As metodologias possibilitam a projeção e estimativa da geração de resíduos em obras de edificações novas, de demolição e de infraestrutura, com exceção da metodologia de análise de tempo de vida, que é indicada apenas para obras de demolição. As metodologias indicadas para quantificação ainda em fase de projeto são: visita na obra, cálculo por índice de geração por área construída, sistema de classificação, modelo com variáveis e outras, enquanto as metodologias desenvolvidas para obter resultados regionais são índice de geração por renda *per capita*, custo da obra e por área construída, análise de tempo de vida do edifício e do material, sistema de classificação, modelo com variáveis e outras (WU et al., 2014).

Na sequência, cada metodologia é explicada individualmente.

3.2.1 Metodologia Denominada Visita na Obra

A metodologia denominada visita na obra pode ser realizada por medição direta no canteiro de obras, diariamente, durante todo o período de execução, ou por medição indireta, por meio de outros dados repassados pela empresa que executa a obra. Essas informações podem ser quantidade de caminhões ou caçambas utilizadas para retirada dos resíduos ou dados de Manifesto de Transporte de Resíduo (MTR). Essa metodologia é amplamente utilizada para levantamentos de perdas e geração de RCC (WU et al., 2014).

Skoyles e Skoyles (1987) foram pioneiros em publicações sobre quantificação de RCC. Os autores estudaram mais de 100 canteiros de obras no Reino Unido, nas décadas de 70 e 80, com o objetivo de quantificar os resíduos de construção civil gerados. Eles também citam que os valores de perda teórica, usualmente sugeridos para orçamentos no Reino Unido, são menores que os obtidos no levantamento realizados pelos autores.

No Brasil, o primeiro estudo realizado sobre estimativa de perdas em obras foi publicado por Pinto (1989). O levantamento foi realizado no canteiro de um empreendimento localizado em São Paulo, no qual era edificado 3.658 m^2. O estudo considerou dados obtidos no projeto, orçamento, documentos fiscais para constatação do total de material que era recebido no canteiro e vistorias realizadas durante todo cronograma da obra, nas quais foi possível verificar se a execução estava de acordo com as medidas planejadas em projeto. O objetivo principal desse estudo era levantar a taxa de perda total de cada material. A taxa de perda é a soma dos RCC e dos desperdícios que são incorporadas na obra. Por exemplo, quando é utilizada mais argamassa do que o necessário, é considerado desperdício.

Souza et al. (2004) foram os primeiros a realizarem o levantamento da geração dos resíduos considerando as perdas, ou seja, o desperdício em geral, e a geração de RCC em relação às perdas, que representa o que sai do canteiro para destinação final.

O estudo foi proposto pelo Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade da Construção Civil (ITQC), financiado pela Empresa Brasileira de Inovação e Pesquisa (FINEP), executado pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil da Universidade de São Paulo (USP), com participação de 15 universidades em diversos estados do Brasil, entre elas universidades estaduais e federais dos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Ceará, Piauí, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba e Maranhão, que levou o título de *Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras* (FINEP, 1998) e que teve apoio de 63 construtoras, levantando o desperdício de materiais em 100 canteiros de obras (FINEP, 1998; SOUZA et al., 2004).

A conclusão do trabalho apontou que as construtoras que participaram do estudo não tinham conhecimento sobre as perdas dos processos construtivos e, consequentemente, dos sistemas de produção do canteiro de obras (SOUZA et al., 2004).

Poon et al. (2004) acompanharam algumas obras de Hong Kong e obtiveram as porcentagens médias de geração de RCC por meio do histórico de volume transportado, ou seja, de maneira indireta. O estudo destaca que os materiais que representavam impacto maior no orçamento, como é o caso do aço, receberam maior fiscalização durante seu manuseio e execução. Por outro lado, materiais com menor significância orçamentária receberam menor atenção, como as tábuas de madeira.

As porcentagens apresentadas por Poon et al. (2004) e Skoyles e Skoyles (1987) apresentaram resultados abaixo dos apresentados por Pinto (1989) e Souza et al. (2004), de maneira geral. A localização do estudo pode ser apontada como um fator relevante para a diferença, conforme Souza et al. (2004). Os valores mais baixos foram obtidos em estudos realizados na China e no Reino Unido, enquanto os valores mais altos foram resultados de levantamentos realizados em obras brasileiras. Contudo, o aspecto que mais explica essa diferença é que os estudos do Reino Unido e da China apresentaram resultados para geração de RCC, enquanto os estudos brasileiros apresentaram resultados para perdas totais, que considera tanto a geração de RCC quanto o que é desperdiçado na obra, por erro na execuçã (SOUZA et al., 2004).

As publicações citadas até essa etapa apresentaram os resultados em porcentagem de perdas e RCC gerado referente ao total de insumo adquirido. Alguns estudos realizados posteriormente publicaram os dados obtidos em unidade de volume por área construída ou apenas por unidade de volume.

Mariano (2008) acompanhou a obra de uma escola na cidade de Campo Largo, no estado do Paraná, durante doze meses, com área total construída de 4.465,45 m^2. A estimativa do RCC gerado foi obtida por meio da balança instalada no canteiro e da quantidade de materiais desperdiçados. Por exemplo, duas telhas foram quebradas e cada telha pesava 10 kg, então foram gerados 20 kg de resíduo de telha. Por fim, o resultado foi apresentado em unidade de peso por área construída e foi levantado por medição direta.

Apesar de o município de Campo Largo não exigir o gerenciamento de resíduos de construção para liberação do alvará de construção, o objetivo geral do estudo era gerenciar os resíduos no canteiro de obras e testar o concreto com função estrutural produzido com resíduos de concreto e argamassa reciclados. A implantação do gerenciamento de resíduos de construção apresentou resultados positivos, pois favoreceu a economia nos gastos com insumos e resíduos, sendo que 45,45 m^3 de matéria-prima não foram extraídas da natureza e 125 m^3 de resíduos não foram para o aterro sanitário. Contudo, os testes realizados com o concreto produzido com resíduo reciclado não apresentaram resultados positivos nos testes de resistência (MARIANO, 2008).

Lu et al. (2011) visitaram quatro canteiros de obras diferentes na cidade de Shenzhen, na China, durante três meses. O objetivo era quantificar o RCC gerado nos canteiros. O levantamento dos dados ocorreu por medição direta. Antes de o resíduo ter a destinação final condizente com sua classificação local, era pesado. Por fim, ao final de todos os levantamentos, a média aritmética foi obtida para cada resíduo gerado.

Li et al. (2013) visitaram o canteiro de um empreendimento na China. O levantamento do volume de resíduo gerado foi realizado por meio de notas fiscais e registros de transporte. Assim, utilizaram a metodologia denominada visita na obra por medição indireta.

A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados obtidos nos estudos, que utilizaram a metodologia denominada visita na obra por medição direta e indireta. Os resultados são apresentados em porcentagem ou em unidade de volume por área.

TABELA 1 – RESULTADO DE ESTUDOS REALIZADOS COM A METODOLOGIA DENOMINADA VISITA NA OBRA

	SKOYLES e SKOYLES (1987)	PINTO (1989)	FINEP (1998); SOUZA et al. (2004).			POON et al. (2004)	MARIANO (2008)	LU et al. (2011)	LI et al. (2013)
MATERIAIS	RCD (%)	PERDAS (%)	MÉDIA (%)	MEDIANA (%)	RCC (%)	RCC (%)	RCC (%)	RCC (kg/m2)	RCC (kg/m2)
Aço		26,19	10	11	70	0,80		0,04	6
Cimento		33,11	95	56					
Concreto	2,00	1,34	9	9	15	2,50	9,08	1,37	26,5
Areia		39,02	76	44					
Brita			75	38					
Argamassa		86,50			16	6,20	2,93	0,37	1,7
Tijolo furado	10,00	12,73	17	13	100	2,90		0,43	1,4
Bloco de concreto						3,00			
Cal		101,94	97	36					
Madeira	15,00	47,50				50,00	16,82	1,80	9,5
Revestimento cerâmico		8,50	16	14	100	5,30	2,55		
Telhas	10,00						0,63		0,3
Tubos de cobre	1,90								
Tubos de PVC	7,00		20	15				0,04	
Vidros	4,00								
Gesso			45	30	50	2,90			
Eletrodutos			15	15					
Tintas			17	17					
Condutores			25	27					

FONTE: Adaptado de SKOYLES; SKOYLES (1987); PINTO (1989); FINEP (1998); SOUZA et al. (2004); POON et al. (2004); MARIANO (2008); LU et al. (2011); LI et al. (2013).

Alguns estudos utilizaram a metodologia visita na obra e mensuraram o volume de RCC, porém visando alcançar outro objetivo, como, por exemplo, o custo que o gerenciamento dos RCC teria para o empreendimento.

Zanna, Fernandes e Gasparine (2017) visitaram o canteiro de dois empreendimentos na cidade de Londrina, no estado do Paraná, durante quatro meses do cronograma de execução das obras. O *software* SCWMS foi utilizado para a entrada dos dados de transporte dos RCC e, por conseguinte, o volume total de resíduos foi calculado. Assim, a metodologia aplicada foi visita na obra por medição indireta.

A partir do levantamento realizado com o auxílio do SCWMS, foi possível obter valores de custo total que cada empreendimento teve com a adequada destinação do RCC. O cálculo considerou o quanto foi investido na compra dos materiais, no transporte do RCC e na destinação final. As duas obras somaram, juntas, valores aproximados a R$ 170.000,00 com a destinação pertinente a cada tipologia de resíduo gerado, durante os quatro meses de acompanhamento das obras (ZANNA; FERNANDES; GASPARINE, 2017).

3.2.2 Metodologia Denominada Cálculo por Índice de Geração

A metodologia denominada cálculo por índice de geração pode ser obtida por meio de índices, como: área construída, renda *per capita*, custo da obra e outros (WU et al., 2014).

Yost e Halstead (1996) testaram e desaconselharam o uso da metodologia de cálculo por índice *per capita*, pois o estudo não detectou correlação existente entre as taxas de construção e demolição de Boston e a renda *per capita* da população da mesma localidade, entre os anos de 1980 e 1987.

O estudo realizado por Pinto e González (2005) verificou a geração de resíduos de construção em algumas cidades brasileiras e utilizou o índice de área construída para o desenvolvimento do trabalho.

Os autores definiram que para estimar o valor final de geração de resíduo de construção em um município é necessário somar os resíduos gerados, no mesmo período, por:

1. edificações novas;
2. reformas, demolição e ampliação;
3. disposições irregulares (PINTO; GONZÁLES, 2005).

O volume gerado por edificações novas foi levantado por meio dos alvarás de construção emitidos, os quais forneciam dados de área construída. Após esse levantamento, a

área total construída no período era multiplicada pelo indicador apresentado no valor de 150 kg/m^2 (PINTO, 1999).

A quantificação dos resíduos advindos de reformas, ampliações e demolições foi obtida junto à Limpeza Pública e Transportadoras responsáveis, logo, os coletores. Os alvarás para a finalidade de demolição não poderiam ser considerados porque a maioria das obras dessa tipologia não é regularizada (PINTO, 1999).

A Limpeza Pública também forneceu os dados referentes às disposições irregulares dos RCD. Os valores de resíduos de demolição e disposição irregulares são passíveis de erro significante para os autores, em razão de o controle desses resultados ser de responsabilidade tanto do órgão público, quanto de várias empresas privadas de transporte, que podem ou não manter o monitoramento desses dados.

O estudo constatou que aproximadamente 21% do RCD gerado provêm de edificações novas, com área construída acima de 300 m^2, 20% são gerados em obras de residências novas com áreas menores que 300 m^2 e 59% são consequência de reformas, ampliações e demolições (PINTO; GONZÁLES, 2005).

Essa metodologia, considerando o índice de área construída, foi utilizada em diversas publicações. Kofoworola e Gheewala (2009) realizaram o mesmo levantamento para obter o total de resíduos gerado entre os anos de 2002 e 2005, na Tailândia. Ding e Xiao (2014) utilizaram o mesmo índice para levantar o RCD médio anual gerado em Shangai, na China. Zeng et al. (2017) calcularam o volume de RCD gerado na China entre os anos de 2003 e 2013.

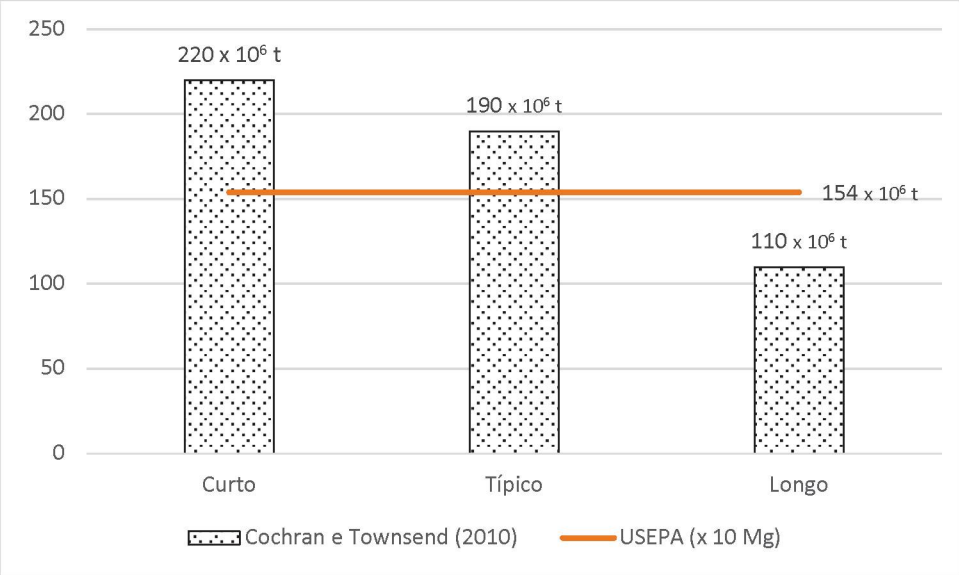
3.2.3 Metodologia Análise do Tempo de Vida

A metodologia denominada análise do tempo de vida é usualmente utilizada para quantificação de geração de resíduos de demolição e considera o parâmetro tempo de vida da edificação ou do material de construção civil o principal indicador (WU et al., 2014).

Cochran e Townsend (2010) compararam os resultados obtidos no estudo realizado pelos autores, no qual foi considerado o tempo de vida típico, curto e longo dos materiais de construção, com o apresentado pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA).

Em 2003, a USEPA estimou a geração de resíduos de construção dos Estados Unidos. No cálculo foram considerados dados de produção do ano de 2002, tempo de vida médio dos materiais e estudos de composição dos resíduos. A Figura 3 apresenta o comparativo dos resultados obtidos pela Usepa (USEPA, 2002) e pelos autores.

FIGURA 3 – ESTUDO COMPARATIVO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO CONSIDERANDO O TEMPO DE VIDA DOS MATERIAIS



FONTE: Adaptado de COCHRAN; TOWNSEND (2010).

A maior discrepância é notada quando foi considerado o tempo de vida curto dos materiais. Os autores consideraram que essa diferença acontece porque no estudo foi considerado que todo material utilizado ao longo do tempo torna-se RCD, superestimando o resultado, dado que uma fração do material pode ser mantida no local, enquanto apenas o restante tem sua destinação final como RCD. O estudo da USEPA considerou apenas o volume que teve a destinação final adequada (COCHRAN; TOWNSEND, 2010).

Bernardo, Gomes e Brito (2016) estimaram os resíduos gerados por obras de demolição na Região Metropolitana de Lisboa, a qual é composta por dezoito municípios. Os fatores idade e tempo de vida da edificação, obtidos em dados estatísticos de Portugal, foram utilizados nos cálculos apresentados no estudo.

3.2.4 Metodologia Denominada Sistema de Classificação

A metodologia denominada sistema de classificação foi desenvolvida com base na metodologia cálculo por índice de geração, mas que obrigatoriamente segue um sistema de classificação, como a EWL, por exemplo (WU et al., 2014).

A EWL é um sistema de classificação de resíduos que busca a padronização para a maior integração da União Europeia, no que se refere aos RSU. A lista possui 20 capítulos no total,

sendo que o 17 é referente aos resíduos de construção e o 15 é referente às embalagens (COMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2001).

Malia et al. (2013) seguiram a classificação EWL no estudo que estimou a geração de resíduos de edificações novas residenciais e não residenciais, reformas residenciais e não residenciais, demolições residenciais e não residenciais. A base de dados de cada tipologia de construção foi levantada por meio de publicações que levantaram geração de RCD e mencionavam a área construída.

O resíduo solo foi desconsiderado do estudo, pois depende, essencialmente, da localização da obra, da topografia e do projeto de fundação. Após o levantamento de diversas publicações, foram obtidos valores em unidade de massa por área, para cada uma das seis tipologias. Assim, a quantificação do resíduo a ser gerado implica na multiplicação simples desses valores pela área a ser construída (MALIA et al., 2013).

Carpio et al. (2016) estimaram os resíduos gerados em seis hipotéticos empreendimentos que seriam construídos com técnicas e materiais que são comumente utilizados na Espanha. Os projetos apresentavam seis diferentes disposições, com diferentes quantidades de blocos e pavimentos, mas todos foram desenvolvidos no mesmo terreno, para fins residenciais e seguiram as leis e determinações da cidade de Granada, na Espanha. A massa de insumos que deveriam ser adquiridos em cada projeto foi a base para determinação dos resíduos de construção gerados. O estudo também foi desenvolvido à luz da classificação EWL.

Moyano e Agudo (2013) utilizaram o sistema de classificação espanhol *Andalusian Construction Costs Database (ACCD)*, no qual cada material é identificado por códigos compostos por dois números seguidos de duas letras.

Dez empreendimentos para uso residencial, localizados na região de Sevilha, foram acompanhados para o desenvolvimento do estudo. Cada projeto previa a construção de condomínio composto por blocos com subsolo e quatro pavimentos tipo, a serem executados com sistema construtivo convencional.

Os autores mediram a geração de resíduos classificados pela *ACCD* a partir da razão da massa de insumo adquirido e o efetivamente utilizado no canteiro de obras pela área construída. Na sequência, o coeficiente de quantificação de geração de resíduos, previamente determinado por Agudo et al. (2002), ajustou a estimativa de RCC a ser gerado (MOYANO; AGUDO, 2013).

3.2.5 Metodologia Denominada Modelo com Variáveis

A metodologia denominada modelo com variáveis considera que diversos fatores influenciam na geração de RCD no canteiro de obras (WU et al., 2014).

Wimelasena et al. (2010) sugeriram que o modelo estatístico a ser desenvolvido considere variáveis qualitativas e quantitativas, que por sua vez consideram o fator humano e o fator não humano, conforme descrito no Quadro 2.

QUADRO 2 – VARIÁVEIS PARA MODELAGEM ESTATÍSTICA

VARIÁVEIS	CRITÉRIOS	FATORES
V1 (com fator humano)	Competência	Habilidade do trabalhador
		Adaptabilidade em organização e local de trabalho
		Conhecimento sobre gerenciamento de resíduos no canteiro de obras
V2 (com fator humano)	Satisfação no trabalho	Com relação às horas trabalhadas
		Com relação ao treinamento
V3 (sem fator humano)	Conforto	Temperatura
		Humidade
		Nível de iluminação
		Precipitações
V4 (sem fator humano)	Conveniência no trabalho	Distância da área de armazenamento de insumos
		Área de trabalho disponível
		Relação do material adquirido para o material necessário

FONTE: Adaptada de WIMELASENA et al. (2010).

As variáveis devem ser correlacionadas para cada atividade do canteiro de obras, objetivando a estimativa de geração de resíduos. Assim, é possível prever e planejar como será executado o gerenciamento de resíduos no canteiro de obras, analisar os custos no reuso, reciclagem ou disposição final de resíduos (WIMELASENA et al., 2010).

A metodologia desenvolvida por Nagalli (2012, 2014), por meio do histórico de geração de resíduos levantado em obras pelo próprio autor, resultou nas Equações 1 e 2.

$$RCD = \frac{(K_e \cdot K_p^2 \cdot K_f \cdot K_c)}{(K_e + K_p + K_f + K_c)} \cdot Q \cdot T + S \quad (1),$$

$$S = t_p \cdot P \cdot Q \quad (2),$$

em que:

RCD – é o total de resíduo acumulado;

Q – é a unidade de referência a ser utilizada, podendo ser expressa pela área a ser construída;

T – é a recorrência de aquisição de um mesmo material na obra;

S – é a sobra final do material;

t_p – é o percentual a mais comprado para cada material;

P – é a porcentagem desse a mais que de fato se tornará resíduo;

K_e – é o fator de ajuste referente ao nível de treinamento e experiência da equipe relacionado ao porte da equipe, determinado de acordo com o Quadro 3;

K_p – é o fator referente ao processo construtivo ou perdas específicas, determinado de acordo com o Quadro 4;

K_f – é o fator referente à fiscalização interna da obra, determinado de acordo com o Quadro 3;

K_C – é o fator referente ao risco de atraso no cronograma de acordo com as atividades a serem desenvolvidas nesse período, determinado de acordo com o Quadro 3.

QUADRO 3 – FATORES K_e, K_f e K_c INTEGRANTES DA EQUAÇÃO 1

FATORES	CLASSIFICAÇÃO	K_e	K_f	K_c
Equipe inexperiente ou pouco treinada	Porte da equipe inferior ao necessário	1,5		
	Porte da equipe compatível com o necessário	1,3		
	Porte da equipe superior ao necessário	1,2		
Equipe experiente e/ou treinada	Porte da equipe inferior ao necessário	1		
	Porte da equipe compatível com o necessário	0,9		
	Porte da equipe superior ao necessário	0,7		
Fiscalização na obra	Escassa/Rara		1,4	
	Esporádica ou Regular		1,1	
	Permanente		1,5	
Cronograma e atividades no caminho crítico	Prazo flexível e longo, com atividades no caminho crítico			1,2
	Prazo flexível e longo, com atividades fora do caminho crítico			1,1
	Atividades de curta duração, no caminho crítico			1,1
	Atividades de curta duração, fora do caminho crítico			1,0

FONTE: Adaptada de NAGALLI (2014).

QUADRO 4 – FATOR KP INTEGRANTE DA EQUAÇÃO 1

PROCESSO CONSTRUTIVO	DESPERDÍCIO INTRÍNSECO	K_P
Alvenaria - blocos cerâmicos		1,15
Alvenaria - blocos de concreto		1,00
Alvenaria - blocos solo-cimento		1,50
Madeira para tapumes		2,00
Tapumes metálicos		0,80
Gesso acartonado - forro		1,50
Vidros		0,05
	2%	0,10
	4%	0,50
	10%	1,15
	15%	1,65
	20%	2,10
	30%	3,20
	40%	4,40
	50%	6,00
	80%	16,50
	100%	52,00

FONTE: Adaptada de NAGALLI (2014).

Nagalli (2014) define o caminho crítico como as atividades que devem seguir a sequência predeterminada e que ao não serem cumpridas, comprometem o cronograma geral da obra. A tendência é que para manter os prazos estipulados, a mão de obra não disponibiliza a atenção necessária aos resíduos.

Os dados de dezoito edifícios construídos entre 2008 e 2013, em Porto Alegre e Região Metropolitana, foram utilizados no estudo realizado por Dias (2013). Pela análise de regressão multivariada, foi obtida a equação de regressão, que calcula a geração total de resíduos da obra. Por meio da técnica de regressão multivariada, foi verificada a significância das variáveis e suas correlações, assim como os gráficos de resíduos, ausência de *outliers* e gráficos de dispersão.

A variável dependente do modelo desenvolvido por Dias (2013) é a geração de RCD total do empreendimento. Enquanto as variáveis independentes testadas no modelo foram: área total; área de piso de cada apartamento; número de pavimentos; sistema construtivo; reuso do RCD; número de apartamentos no pavimento/número de pavimentos; densidade da parede; EIC, que é o índice econômico de compactação da planta baixa, calculado pela Equação 3.

$$EIC = \frac{2 \cdot (S \cdot \pi)^{1/2})}{(P + 1{,}5.C + E/2)} \cdot 100 \qquad (3),$$

em que:

EIC – é o índice econômico de compactação;

S – é a área superficial do edifício;

P – é o perímetro das paredes externas do edifício;

C – é o perímetro das paredes curvas do edifício;

E – é o número de arestas da fachada.

Após os testes estatísticos realizados com as variáveis citadas, apenas algumas se adequaram ao modelo. A Equação 4 apresenta a equação de regressão obtida (DIAS, 2013).

Volume de resíduos = 5202,886 + (5138,519 . "número de pavimento tipo/número de pavimentos") + (1.411 "área do apartamento tipo") + (22,968 . "EIC") + (375,155 . "sistema construtivo") + (–783,296 . "reuso do resíduo") (4),

em que:

"Volume de resíduos" é o volume total de RCC a ser gerado em uma obra.

"Número de pavimento tipo/número de pavimentos" é a fração entre o número de pavimento tipo e o número total de pavimentos do edifício, incluindo subsolo, térreo e cobertura.

"Área do apartamento tipo" é a área do apartamento tipo do edifício.

"EIC" é obtido pela Equação 3.

"Sistema construtivo" segue a escala de 1 a 3, sendo 1 sistema construtivo convencional até 3, sistema completamente industrial.

"Reuso do resíduo" é uma variável dicotômica, determinado por sim ou não, onde sim corresponde à quando no mínimo 10% do RCC é reaproveitado no canteiro de obras.

A equação obtida foi testada nos 18 edifícios utilizados como banco de dados e em 5 deles a diferença entre os valores obtidos e os reais foram menor que 5%, enquanto em 15 edifícios, a diferença foi menor que 30% (DIAS, 2013). Essa equação é para uso exclusivo de edificações verticais com estrutura de concreto armado (DIAS, 2013; KERN et al., 2015).

Caetano, Fagundes e Gomes (2018) ampliaram a quantidade de elementos amostrais utilizados por Dias (2013) e Kern et al. (2015). Um dos dados excluídos por Dias (2013) apresentava sistema construtivo em alvenaria estrutural. Os autores adicionaram esse dado novamente e acrescentaram mais três dados construídos com alvenaria estrutural, o que

influenciou diretamente na variável "sistema construtivo" e somou o total de vinte e dois elementos amostrais.

A equação de regressão obtida por Caetano, Fagundes e Gomes (2018) é a Equação 5 e manteve as mesmas variáveis utilizadas por Dias (2013).

> Volume de resíduos = –6581,931 + (6286,927 . "número de pavimento tipo/número de pavimentos") + (1.411 . "área do apartamento tipo") + (22,968 . "EIC") + (375,155 . "sistema construtivo") + (–783,296 . "reuso do resíduo") (5)

Os três dados acrescidos no modelo foram testados na Equação 5 e apresentaram erro menor que a equação de Dias (2013), considerando que o objetivo do estudo era modelar uma equação de regressão para estimar os resíduos gerados em obras de edificações verticais com alvenaria estrutural (CAETANO; FAGUNDES; GOMES, 2018).

3.2.6 Metodologia Denominada Outras

A metodologia denominada outras representa as demais metodologias publicadas, como autores que consideram porcentagem fixa ou outro indicador para determinar a geração de resíduos (WU et al., 2014).

Shi e Xu (2006) realizaram o cálculo da geração de resíduos de concreto na China, entre os anos de 1950 e 2004, utilizando como principal fator o consumo de cimento. Esse cálculo foi realizado tanto para demolição quanto para construção. Na sequência foi estimado o quanto seria gerado de resíduos de concreto até o ano de 2050, na China. As taxas de produção de cimento no futuro seguiram proporcionalmente as taxas de crescimento econômico previstos no país. Mesmo não sendo possível garantir a precisão das previsões, o estudo permite antever a capacidade de reciclagem do montante de RCD a ser gerado.

Hao et al. (2008) calcularam a geração de resíduos de construção, de um canteiro de obra em Hong Kong, considerando que 10% do total de material adquirido tornar-se-iam desperdício na obra. O estudo ainda calculou o gasto para a destinação do montante de RCD estimado considerando dois cenários de separação: diretamente no canteiro de obras e no local de destinação final. A separação do RCD dentro do canteiro de obras apresentou custo inferior a 50% do total calculado para a segregação ocorrer diretamente no local da recepção final. O

estudo ainda indicou a alta correlação entre a geração de resíduos com a quantidade de material adquirido para a execução da obra.

A Secretaria Estadual de Infraestrutura e Logística do Paraná (SEIL-PR) é responsável pela maior parte das obras do estado e também considerou porcentagens fixas para estimar o volume de RCC gerado em suas obras (LIMA, 2014).

A proposta de metodologia da SEIL-PR considerou os resíduos classificados de acordo com a Resolução CONAMA nº 307, de 17 de julho de 2002 (2002) e o total de insumos a ser adquirido para cada subclasse de resíduo. A massa dos insumos ou materiais a serem adquiridos foi obtida por meio do orçamento da obra a ser executada.

Por meio de porcentagens médias de geração de resíduo obtidas com a revisão de literatura, a SEIL-PR determinou as porcentagens de perdas e geração de RCC, para todas as subclasses de resíduos de construção. Os valores de perda representaram o total de material que foi desperdiçado, quando a mão de obra utiliza fração acima da necessária de insumos. Os valores de RCC representam a porcentagem de perda que efetivamente se tornou RCC, sem considerar o que foi agregado à obra desnecessariamente (LIMA, 2014).

3.3 RESÍDUOS GERADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A problemática ambiental causada pelo RCD pode ser limitada com ações como a gestão dos resíduos. Aproximadamente 70% dos RCD gerados são resíduos inertes (SENAI, 2014), fato que possibilita o reuso ou reciclagem deles, que quando realizado reduz a necessidade de extração de material virgem da natureza (MATHIAS; FISCHER; LUCCA, 2017).

Em 2008, a União Europeia, ciente da situação, impôs a meta para 2020 de que no mínimo 70% de todo RCD gerado em países europeus devem ser reciclados ou reutilizados (EUROPEAN PARLIAMENT, 2008). A prática da reciclagem e da reutilização são consideradas as alternativas mais sustentáveis com relação aos RCD (ULUBEYLI; KAZAZ; ARSLAN, 2017).

A Alemanha, pioneira em reciclagem de RCD na Europa, durante o período pós-II Guerra Mundial (SILVA, 2009), recicla aproximadamente 90% do total de RCD gerado no país atualmente (BMU, 2018). Desde 2005, o governo alemão proibiu a disposição final de RSU sem tratamento prévio, em aterros sanitários (SILVA, 2009). Essa exigência, somada ao comprometimento do setor da construção civil alemã, é um fator que contribui para os altos índices de reciclagem.

A indústria da reciclagem alemã emprega em torno de 200.000 pessoas em 3.000 empresas e tem faturamento anual de aproximadamente 40 bilhões de euros (NELLES; GRÜNES; MORSCHECK, 2016). A mesma oportunidade de negócio também foi percebida por empresas na Holanda, na Espanha e na Turquia. Na Itália, em Portugal, na Palestina e no Brasil, a indústria de reciclagem de RCD é gerenciada tanto pela inciativa privada, quanto por municípios (ULUBEYLI; KAZAZ; ARSLAN, 2017).

O brasileiro ainda apresenta resistência no uso do RCD reciclado, mesmo com a existência das normas NBR-15115 e 15116, ambas de 2004, que tratam exclusivamente da utilização de agregados reciclados para pavimentação e concreto sem função estrutural (MATHIAS; FISCHER; LUCCA, 2017).

A Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2017) divulgou um relatório com dados relativos ao ano de 2016, no qual é informado que 58% dos RSU gerados no Brasil são RCD, o que corresponde a aproximadamente 123.000 t/dia. De acordo com o Relatório Pesquisa Setorial 2014/2015, realizado pela Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (ABRECON), aproximadamente 21% dos RCD gerados nos últimos cinco anos foram reciclados nas usinas públicas e privadas, no Brasil (ABRECON, 2015).

O relatório ainda divulgou as principais barreiras enfrentadas pelo setor e na opinião das usinas de reciclagem de RCD: 31% consideraram a falta de incentivo para o uso do material de construção reciclado imposto por legislação, o problema preponderante; 26% apontaram que a elevada carga tributária é a principal dificuldade do setor; 26% acreditam que a falta de conhecimento do mercado é o maior obstáculo, pois pode gerar desconfiança para o uso do resíduo reciclado (ABRECON, 2015).

A legislação do município de Curitiba exige o uso dos agregados reciclados nas obras municipais, desde 2007 (CURITIBA, 2007). Porém, a sua utilização teve início somente em 2015 (MATHIAS; FISCHER; LUCCA, 2017).

A Figura 4 (a) mostra o RCD sem impurezas sendo recebido na usina de reciclagem do município de Curitiba. As Figuras 4 (b), 5 (a) e 5 (b) mostram os agregados reciclados produzidos na mesma usina, sendo areia, brita e rachão, respectivamente. O rachão é o nome usual utilizado para quando o agregado não possui granulometria definida.

FIGURA 4 – (a) RCD RECEBIDO EM USINA DE RECICLAGEM (b) AREIA RECICLADA PRODUZIDA EM USINA DE RECICLAGEM

(a)  (b) 

FONTE: HMS (2018).

FIGURA 5 – (a) BRITA RECICLADA PRODUZIDA EM USINA DE RECICLAGEM (b) RACHÃO RECICLADO PRODUZIDO EM USINA DE RECICLAGEM

(a)  (b) 

FONTE: HMS (2018).

Soares (2017) entrevistou profissionais da área da construção civil e que desenvolvem projetos de meio ambiente em Curitiba, questionando quais fatores impediam a reciclagem de RCD no município.

Os resultados apontaram que a fraca comunicação entre setores privado e público, a inexistência de comunicação entre os setores da construção civil, a fiscalização inexistente e a consequente falta de interesse e de consciência ambiental dos geradores e transportadoras, além da falta de planejamento das obras públicas, são os principais fatores que impedem a reciclagem de RCD no município (SOARES, 2017).

A localização das usinas de reciclagem, principalmente quando relacionada à densidade da população, também é considerada um fator que influencia diretamente nas taxas de reciclagem do RCD, considerando que influencia no custo do transporte (ZHENG et al., 2017; ULUBEYLI; KAZAZ; ARSLAN, 2017). As usinas também apresentam características

negativas, como o barulho, a vibração e a poeira que a região no entorno da usina está exposta (ULUBEYLI; KAZAZ; ARSLAN, 2017).

Costa et al. (2007) utilizaram a análise multivariada para identificar as variáveis mais significativas para que os programas de reciclagem de RCD sejam bem-sucedidos em municípios brasileiros.

Os fatores com maior significância foram, respectivamente: funcionários com nível médio, ou seja, mão de obra com qualificação nos setores envolvidos; domicílios com água, porque nas regiões sem estrutura mínima, a preocupação com a gestão de RCD não ocorre; incentivos, quanto mais incentivos municipais e estaduais, maior a reciclagem de RCD; renda média tem influência proporcional na reciclagem; área de recepção, pois facilita a recepção de pequenas reformas e do pequeno gerador; e programas de coleta que educam e conscientizam toda a população e setores envolvidos (COSTA et al., 2007).

Estudos revelam que as primeiras usinas de reciclagem surgiram no Brasil, com equipamentos de grande porte, em 1991. Até esse período, o RCD geralmente era reciclado dentro da própria obra, em pequenos equipamentos que os trituravam (PINTO, 1999).

Dos municípios que foram precursores na área da reciclagem do RCD, pode-se citar Belo Horizonte. A Figura 6 mostra os britadores, peneiras e demais maquinários da usina BR-040, em Belo Horizonte (a) e a HMS (b), atualmente a única usina localizada em Curitiba.

FIGURA 6 – (a) USINA DE RECICLAGEM BR-040 EM BELO HORIZONTE (b) USINA DE RECICLAGEM HMS, EM CURITIBA

(a)  (b) 

FONTE: (a) A autora (2017); (b) HMS (2018).

A baixa taxa de reciclagem do RCD no Brasil pode não ocorrer porque a etapa antecessora também não é executada nos canteiros de obras. O gerenciamento de resíduos de construção e a segregação dos RCD é fundamental para que não ocorra a contaminação da classe que pode ser reciclada (PINTO, 1999). As Figuras 7 (a) e 7 (b) exemplificam a área para

segregação dos resíduos gerados no canteiro de obras de empreendimento em construção, em Curitiba.

FIGURA 7 – (a) (b) ÁREA DE SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO, IDENTIFICADA POR SUBCLASSE

a) 

b) 

FONTE: IDEAL AMBIENTAL (2018).

A Figura 8 (a) demonstra a separação dos RCD classe A no canteiro, enquanto a Figura 8 (b) apresenta o espaço destinado aos RSU, que estava localizado na entrada do canteiro e acessível para quem estivesse na via de passagem.

FIGURA 8 – (a) SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS CLASSE A E (b) LIXEIRAS PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS RECICLÁVEIS

a) 

b) 

FONTE: (a) IDEAL AMBIENTAL (2018); (b) IDEAL AMBIENTAL (2017).

O treinamento da equipe a respeito do meio ambiente e do ganho econômico quando aplicado o gerenciamento de RCD está entre os fatores que mais afeta a realização deste e a segregação dos resíduos dentro do canteiro de obras. Em paralelo, estão os incentivos financeiros e o tipo de contrato da mão de obra, que usualmente são negociados apenas para a execução de um empreendimento, fatores estes que influenciam diretamente na segregação dos resíduos durante o cronograma da obra (BAKSHAN et al., 2016).

Osmani (2013) cita a falta de comunicação entre os diversos profissionais envolvidos e a falta de documentação de auxílio e treinamento para a separação dos resíduos gerados durante o cronograma da obra.

3.3.1 Fatores Significativos na Geração de Resíduo de Construção

Diversos autores consideram que a geração de resíduo de construção não acontece pela ocorrência de um condição isolada, mas pela combinação de mais de um fator (NAGALLI et al., 2013; DIAS, 2013; NAGALLI, 2014; KERN et al., 2015; WON; CHENG, 2017; CAETANO; FAGUNDES; GOMES, 2018).

A área construída, se considerada isoladamente, não influenciou diretamente no volume de resíduos gerados. Todavia, quando associada a outras variáveis, como a quantidade de funcionários, passa a ter significância no acúmulo de RCC. Em teoria, o número de funcionários deveria aumentar proporcionalmente a metragem da obra. Se o número de funcionários é mantido, mesmo com o aumento de área a ser construída, significa que cada pedreiro passa a ser responsável por uma área maior da obra. A tendência é que o funcionário priorize outras atividades e o gerenciamento de resíduos não seja sua principal preocupação, o que normalmente aumenta o volume de resíduos (NAGALLI et al., 2013).

As obras executadas por construtoras com certificação de qualidade apresentam produção reduzida de RCD, pois naturalmente existe a preocupação tanto com a geração do resíduo quanto com a sua destinação final adequada, influenciando diretamente no gerenciamento de resíduos de construção (NAGALLI et al., 2013).

O sistema construtivo pré-fabricado (AJAYI et al., 2016; WON; CHENG, 2017), a aquisição da quantidade necessária de insumos, a organização e a logística do canteiro de obras previamente planejadas, a mão de obra experiente e treinada, a aplicação do gerenciamento de RCD e a segregação dos resíduos são ações que tendem a reduzir o acúmulo de resíduos no canteiro (WON; CHENG, 2017). A Figura 9 (a) exemplifica o sistema de almoxarifado e a Figura 9 (b) apresenta o depósito de insumos dentro do canteiro de obras. Cada material possui placa explicativa e com características necessárias à identificação e à consequente utilização na execução.

FIGURA 9 – (a) ALMOXARIFADO E (b) ARMAZENAMENTO DE INSUMOS, IDENTIFICADOS E PROTEGIDOS DE INTEMPÉRIES

a) 

b) 

FONTE: IDEAL AMBIENTAL (2018).

O Quadro 5 resume diversas variáveis significativas na geração de RCD e como elas influenciam de forma positiva e negativa a geração do resíduo no canteiro de obras.

QUADRO 5 – FATORES QUE INFLUENCIAM DE FORMA POSITIVA E NEGATIVA NA GERAÇÃO DE RCD NO CANTEIRO DE OBRAS

Tendência	Menor geração de RCD	Maior geração de RCD
Sistema construtivo	Pré-fabricado	Manual (Convencional no Brasil)
Empreendimento busca certificação	Sim	Não
Quantidade de insumos adquirido	Necessária	Acima da necessária
Experiência da mão-de-obra	Experiente	Inexperiente
Treinamento da mão-de-obra no canteiro	Treinamento e material de auxílio existente	Sem treinamento/material de auxílio
Organização do canteiro	Organizado	Desorganizado
Fiscalização no canteiro	Ativa	Não existente
Reuso do RCD	Acontece na própria obra	Não acontece
Mudança de projeto	Não ocorre mudança durante a execução	Ocorre mudança de projeto durante a execução
Logística para insumos e RCD	Planejada e ativa	Sem planejamento
Segregação no canteiro	Acontece	Não acontece
Número de funcionários	Compatível com a necessidade	Abaixo da necessária

FONTE: NAGALLI et al. (2013); AJAYI et al. (2016); WON; CHENG (2017).

O entendimento dos principais fatores que causam a geração de resíduos é fundamental para o desenvolvimento de metodologias que estimem o volume de resíduo de construção a ser gerado (PINTO, 1999).

3.4 PRINCIPAIS INSTRUMENTOS LEGAIS EM NÍVEL FEDERAL, ESTADUAL E MUNICIPAL

A Lei 12.305 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), no art. 3, define resíduos sólidos como:

> XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (BRASIL, 2010).

A PNRS aborda definições como logística reversa, responsabilidade compartilhada e educação ambiental, os objetivos e instrumentos da Política também são apresentados. RSU específicos possuem legislação própria devido a características unitárias, como a periculosidade oferecida à sociedade e ao meio ambiente. A PNRS também estipula prioridades para o RSU, que deve seguir a seguinte ordem: não gerar, reduzir, reusar, reciclar e, por fim, dar a devida destinação final.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) apresenta a classificação dos RSU de acordo com o risco apresentado à saúde pública:

a) Resíduos classe I – Perigosos: O resíduo classe I possui características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, que expõem os seres humanos e o meio ambiente a risco.
b) Resíduos classe IIA – Não perigosos e não inertes: O resíduo classe IIA não é considerado perigoso, mas por não ser inerte, pode apresentar características como, solubilidade, combustibilidade, biodegradabilidade. Os resíduos orgânicos são exemplos dessa classe.
c) Resíduos classe IIB – Não perigosos e inertes: O resíduo classe IIB, quando em contato com água destilada ou deionizada, em condições normais de temperatura e pressão, não apresenta solubilidade dos seus constituintes superiores ao considerado no padrão de potabilidade da água. Aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor não são considerados nessa classificação.

Uma das subdivisões dos RSU é o RCD, que é o foco dessa dissertação. A principal legislação brasileira referente aos RCD é a Resolução CONAMA nº 307, de 17 de julho de 2002, que acompanhada de suas alterações, Resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004, Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011, Resolução CONAMA nº 448, de

18 de janeiro de 2012 e Resolução CONAMA nº 469, de 30 de julho de 2015, descrevem os resíduos de construção civil como oriundos de obras ou construções, reformas e demolições. Os principais exemplos de resíduos de construção e demolição (RCD) são: restos de argamassa, concreto, bloco cerâmico, solo, restos de tinta, solventes e verniz, colas, resinas, madeira, telhas, gesso, vidros, plásticos, fiação elétrica e tubulações (CONAMA, 2002, 2004, 2011, 2012, 2015).

A Resolução CONAMA nº 307, de 17 de julho de 2002 (CONAMA, 2002) classifica o RCD de acordo com a sua destinação final. Assim, a classificação segue a seguinte ordem:

a) Resíduo Classe A: são os resíduos de demolição, reforma ou construção, que podem ser reutilizados ou reciclados como agregados, ou ainda dispostos em aterros de resíduos classe A para reserva caso ocorra a necessidade de uso no futuro. Os exemplos mais comuns são resíduos de pavimentação, solos oriundos de terraplanagem, blocos, telhas, revestimentos, argamassa, componentes cerâmicos e de concreto.
b) Resíduos Classe B: são os resíduos recicláveis para outra destinação, ou seja, não são reciclados para posterior uso na construção civil. Os resíduos classe B são exemplificados pelo vidro, plástico, papel, metais, gesso e madeira.
c) Resíduos Classe C: são os resíduos que ainda não possuem desenvolvimento de tecnologia para sua reciclagem ou possuem processos economicamente inviáveis, como a lã de vidro, lã de rocha, tubos de poliuretano.
d) Resíduos Classe D: são os resíduos perigosos, como telhas ou qualquer objeto fabricado com amianto, tintas, solventes, vernizes, óleos e outros prejudiciais à saúde humana.

No âmbito estadual, a Lei Estadual nº 12.493 (PARANÁ, 1999) regulamenta os resíduos sólidos urbanos e define como deve ocorrer o armazenamento, o transporte, a disposição e o tratamento final do RSU no Estado. O RSU deve seguir a classificação definida na NBR 10.004 (2004). Quando o RSU for proveniente de outros estados, deve passar por aprovação do Instituto Ambiental do Paraná (IAP) e do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA). Quando a origem for de outro país, a autorização deve provir do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

A Lei Estadual nº 17.321 (PARANÁ, 2012) determina que o Certificado de Vistoria e Conclusão de Obra (CVCO) só será emitido em território paranaense se for apresentada a comprovação de que o RCD teve a destinação correta, a qual pode ocorrer por meio do certificado de transporte fornecido pela transportadora contratada ou pelo órgão municipal competente.

Em Curitiba, o transporte do RCD é regulamentado pelo Decreto nº 1.120 (CURITIBA, 1997) e pela Lei nº 9.380 (CURITIBA, 1998), que descrevem as principais normas para o uso de caçambas, os dias e horários para o transporte delas e como ocorre o cadastro das transportadoras.

A caçamba pode ser estacionada na calçada de pedestre na condição de que permita a passagem de pelo menos uma pessoa, ou seja, com distância para passagem mínima de 0,7 m. Quando não for possível que a caçamba fique na calçada de pedestre, é permitida a sua alocação na faixa de estacionamento. Quando a obra for localizada na Zona Central de Tráfego (ZCT), a preferência é para que a caçamba fique no canteiro de obras ou dentro do alinhamento predial. Contudo, na sua impossibilidade, é permitida a sua disposição na calçada de pedestres mediante autorização da Secretaria Municipal do Urbanismo (SMU), conforme o art. 3º, do Decreto nº 1.120 (CURITIBA, 1997).

Dentre as diretrizes referentes ao transporte de RCD, destaca-se a determinação de que o RCD deve ser transportado com caminhões do tipo *Brooks* e que para a transportadora estar regular perante a Prefeitura de Curitiba é necessário que o cadastro seja realizado simultaneamente em três secretarias: na Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA), na Secretaria Municipal do Urbanismo (SMU) e na Urbanização de Curitiba S/A (URBS-SETRAN). As principais exigências para as caçambas são capacidade máxima para 5 m^3 de volume de resíduo, estar identificada com o número de registro cadastrado na Prefeitura, com o nome da empresa proprietária e seu número de telefone, que a pintura seja feita com cores vivas e com as frases "Proibido lixo doméstico" e "Denúncias e Reclamações: 156" na parte externa, de forma legível (CURITIBA, 1997).

O Decreto nº 1.120 (CURITIBA, 1997) e a Lei nº 9.380 (CURITIBA, 1998) delimitam a ZCT, enquanto a Lei Complementar nº 97 (CURITIBA, 2001) determina o valor a ser pago para as caçambas estacionadas fora e dentro da área de EstaR.

O Decreto nº 1.068, de 18 de novembro de 2004, institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil e classifica o gerador de acordo com o volume de resíduo acumulado. A classificação do gerador influencia diretamente em como deve ocorrer a destinação final do RCD. A separação do resíduo, a contratação do transporte e da empresa pública ou privada receptora do RCD é de responsabilidade do gerador (CURITIBA, 2004).

O gerador de RCD é classificado como pequeno gerador quando pessoa jurídica ou física, que produz até 2,5 m^3 de RCD, em um período mínimo de dois meses.

Volumes de até 0,5 m^3 podem ser disponibilizados em frente ao imóvel, para recolhimento do departamento competente da SMMA, quando previamente solicitado.

Os resíduos Classe A e C, oriundos de pequeno gerador, podem ser entregues em áreas de transbordo determinados pelo Município, atualmente chamados de Estação de Sustentabilidade – Tipo II. O resíduo Classe B pode ser disponibilizado para o recolhimento realizado pela coleta seletiva municipal, enquanto os resíduos Classe D devem ser encaminhados para área de coleta de resíduos perigosos ou tóxicos de Curitiba (CURITIBA, 2004).

Os grandes geradores acumulam volume superior a 2,5 m^3 de RCD. O decreto nº 1.068, de 18 de novembro de 2004, também determina o que é exigido do grande gerador, de acordo com a área a ser construída ou removida:

a) Construção com área abaixo de 70 m^2 e volume de resíduo gerado acima de 0,5 m^3: o gerador deverá manter cópia do MTR emitido pela transportadora contratada e assinada pelo gerador, transportadora e recebedor do resíduo.
b) Construção maior que 70 m^2 e menor que 600 m^2, ou remoção de mais de 50 m^3 de terra: o preenchimento de formulário na SMMA é obrigatório para obtenção do alvará de construção ou de outra finalidade. Esse formulário orientará sobre a devida separação, transporte e disposição do resíduo, além do conhecimento da responsabilidade do resíduo gerado. O Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (CURITIBA, 2010) explica que o formulário é o Projeto de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (PGRCC) em modelo simplificado, disponível no *site* da Prefeitura.
c) Construção com área acima de 600 m^2 ou demolição com área superior a 100 m^2 devem obrigatoriamente elaborar o PGRCC, para a obtenção do alvará de construção, ampliação e reforma ou licenciamento ambiental. O PGRCC deve contemplar a Classe do RCD a ser gerado e sua quantificação estimada, como será realizada a triagem, assim como o seu acondicionamento (CURITIBA, 2004).

O Decreto Municipal nº 983 proíbe o despejo de resíduos em lugares expressamente não autorizados, como corpos de água, redes de esgoto ou água pluviais, poços, fundos de vale, e a queima do resíduo a céu aberto (CURITIBA, 2004).

O Decreto Municipal nº 852 (CURITIBA, 2007) regulamenta a obrigatoriedade de utilizar agregados oriundos de reciclagem de RCD classe A, em obras públicas contratadas pelo município de Curitiba.

A obtenção do CVCO ou da Licença de Operação (LO) é possível com a entrega do Relatório de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (RGRCC) na SMMA, conforme institui a Portaria nº 007, de 04 de março de 2008. O RGRCC deve apresentar os volumes finais de RCD gerado no empreendimento, conforme exemplificado pela Figura 10. Quando

reutilizado o resíduo, outra planilha deve ser preenchida, apresentando os volumes de RCD reutilizado. As duas planilhas apresentam os resultados por classe e subclasse (CURITIBA, 2008).

FIGURA 10 – MODELO DE RELATÓRIO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA
SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE
DEPARTAMENTO DE PESQUISA E MONITORAMENTO

CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCC

CARACTERIZAÇÃO		QUANTIDADE (m^3)		
		ETAPA DA OBRA		TOTAL
Classe	Tipo	CONSTRUÇÃO	DEMOLIÇÃO	
Classe A	Solos (terra) Volume solto			
	Componentes cerâmicos			
	Pré-moldados em concreto			
	Argamassa			
	Material asfáltico			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe A			
Classe B	Plásticos			
	Papel/papelão			
	Metais			
	Vidros			
	Madeiras			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe B			
Classe C	Gesso			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe C			
Classe D	Tintas			
	Solventes			
	Óleos			
	Materiais que contenham amianto			
	Outros materiais contaminados (especificar)			
	TOTAL Classe D			
TOTAL (A + B + C + D)				

FONTE: CURITIBA (2008).

O RGRCC deve ser entregue acompanhado dos certificados de destinação final adequada dos resíduos e dos MTR, que é o principal instrumento de monitoramento do transporte do RCD, conforme regulamentado no Decreto nº 609 (CURITIBA, 2008).

As transportadoras são as responsáveis pelo preenchimento do MTR, que informa a origem e o destino do resíduo, dados do gerador e do receptor e a classe do RCD que está sendo transportado. O transporte de mais de uma classe de RCD na mesma caçamba é permitido. As partes envolvidas devem assinar o MTR e manter cópias dele (CURITIBA, 2008).

O Decreto nº 816 (CURITIBA, 2010) altera o artigo 17 do Decreto nº 1.120 e determina que a punição para o não cumprimento das normas e regulamentações com relação à caçamba, ao estacionamento e ao transporte dela é a aplicação de multa, além da apreensão da caçamba.

Desde 2013, a autorização para estacionar a caçamba na ZCT passou a ser concedida pela URBS-Setran. Essa mudança de responsabilidade pela concessão da autorização foi regulamentada pela Portaria SETRAN nº 106 (CURITIBA, 2013), que também transferiu para a própria Setran a responsabilidade pela fiscalização da autorização por meio da autoridade de trânsito. O prazo máximo para permanência da caçamba é de 72 horas seguidas no mesmo local.

A Portaria nº 80 (CURITIBA, 2013), que regulamenta os parâmetros construtivos do município de Curitiba, determina no item "Vistos de outros órgãos e demais considerações" que, para construções com mais de 3.000 m^2, será exigida a aprovação do PGRCC junto à SMMA, quando da solicitação do alvará de construção na SMU.

3.5 TÉCNICA DE REGRESSÃO MULTIVARIADA

Dentre as técnicas de análise multivaria, a regressão multivariada é indicada para quando há relação de dependência entre as variáveis independentes e uma única variável dependente. Além desse fato, o resultado é apresentado em escala de medida métrica (HAIR et al., 2009).

Na sequência, são detalhadas as principais verificações para a devida utilização da técnica de análise multivaria.

3.5.1 Normalidade

A normalidade verifica se a distribuição dos dados das variáveis está correspondente à curva normal, que pode ser representada quando os valores estão distribuídos simetricamente em torno da média, aparentemente lembrando a figura do sino (HAIR et al., 2009).

O histograma de resíduos pode ser utilizado na comparação e verificação da normalidade da variável. Todavia, a verificação é visual e subjetiva. Na situação de poucos dados amostrais, a semelhança com a curva normal pode ser de difícil percepção (FIELD, 2009).

Os testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk são indicados para verificação da normalidade de amostras consideradas pequenas, nas quais os escores da distribuição normal são comparados com os da amostragem. Quando o teste resultar na não significância, ou seja, valores acima de 0,05, isso sugere que os dados são normais. Quando o resultado é significativo, abaixo de 0,05, demonstra que a distribuição é significativamente diferente da normal (FIELD, 2009). Hair et al. (2009) consideram que amostras com menos de 30 dados podem ser consideradas pequenas.

3.5.2 *Outliers*

O *outlier* é o dado atípico, que se difere dos demais na amostragem. A sua detecção pode ocorrer por meio do diagrama de caixa ou *boxplot*, no qual qualquer ponto fora da caixa significa *outlier,* ou ainda por meio da verificação dos escores, que consiste na comparação de cada dado com a média de todos. Os valores que estiverem muito longe da média podem ser considerados *outliers* (FIELD, 2009).

No diagrama de caixa, a linha central representa a mediana, a caixa reproduz 50% dos dados, sendo que a primeira linha retrata o 25° percentil e a última o 75° percentil. As linhas ligadas abaixo e acima da caixa, conhecidas como *whiskers*, simbolizam os pontos extremos da distribuição. Os dados que distam pelo menos 1 quartil da caixa são indicados acima ou abaixo dos *whiskers*, ou seja, os *outliers* (HAIR et al., 2009).

3.5.3 Significância

A significância estatística indica se o resultado obtido foi ao acaso ou não. Valores abaixo de 0,05 representam resultado significativo, enquanto valores acima de 0,05 mostram situações não significativas (HAIR et al., 2009).

A significância estatística verificada pelo teste *t* auxilia na exclusão de variáveis no tratamento de dados da estimação *forward*, na qual, inicialmente, todas as variáveis independentes são consideradas no modelo e são excluídas de acordo com a significância, ou seja, pelo quanto contribuem para a variável dependente (FIELD, 2009).

3.5.4 Resíduos (regressão linear)

Os resíduos (regressão linear) representam a distância que cada dado amostral localiza-se dos valores previstos pelo modelo, os quais formam uma reta e são chamados de resíduos normais ou não padronizados. Essa visualização pode ser realizada por meio do diagrama de resíduos (FIELD, 2009; WATERMAN, 2018).

Os resíduos padronizados são os resíduos normais divididos pela estimativa do desvio padrão, a fim de transformar as variáveis em unidades padrão. O resíduo estudantizado também é padronizado pela divisão do desvio padrão, mas diferentemente dos padronizados, com mudança em cada ponto. Os gráficos dos valores previstos padronizados pelos resíduos padronizados ou estudantizados buscam apresentar distribuição aleatória, sem padrões crescente ou decrescente, ou seja, sem apresentar homocedasticidade (FIELD, 2009; HAIR et al., 2009).

Os gráficos de regressão parcial padronizada verificam a existência de padrões não lineares, se as variáveis independentes apresentam efeito forte ou significante no modelo, além de apresentar a relação existente entre a variável dependente e a independente, isoladamente (HAIR et al., 2009).

3.5.5 Coeficiente de Determinação (R^2), Durbin-Watson e Variância

O coeficiente de determinação, conhecido como R^2, informa o quanto a equação de regressão explica a variável dependente. Quanto mais próximo de 1, mais o modelo representa o objeto de estudo. A diferença entre o valor obtido e o valor 1 representa a existência de outros fatores que também influenciam na variável dependente (FIELD, 2009).

O teste de *Durbin-Watson* ou estatística de colinearidade verifica se há correlação entre os resíduos, ou seja, espera-se que sejam independentes. O resultado 2 significa a não correlação entre os resíduos. Valores entre 1 e 3 são aceitáveis, de acordo com Field (2009).

A verificação da variância serve para provar que o modelo prevê a variável dependente de forma mais efetiva que a utilização da média dos valores. Assim, é possível afirmar que o modelo adere aos dados de forma significativa. O valor esperado nessa verificação é que seja menor que 0,05 (FIELD, 2009).

3.5.6 Colinearidade

Outra verificação necessária é a ausência de multicolinearidade no modelo. Quando a correlação for alta entre as variáveis independentes, ou seja, duas ou mais características apresentarem influência alta entre si e pouca correlação com a variável dependente, tornando-se regredida perante as demais variáveis independentes, está ocorrendo multicolinearidade. Em outras palavras, é quando as variáveis que pouco influenciam o resultado estão sendo utilizadas no modelo (HAIR et al., 2009).

A colinearidade pode ser verificada por meio dos coeficientes de correlação bivariada, conhecida por coeficientes de correlação de Pearson, que variam entre –1 e +1. Pearson verifica a correlação entre as variáveis isoladamente, sem influência das demais (FIELD, 2009). Hair et al. (2009) consideram valores acima de |0,9| indicativo de multicolinearidade.

Os coeficientes de correlação são padronizados e seguem a seguinte ordem: valores de |0,1| representam efeito pequeno, valores de |0,3| representam efeito médio e valores de |0,5| representam efeito grande (FIELD, 2009).

Além da correlação bivariada, é possível realizar essa verificação por meio das correlações parciais, nas quais a correlação entre duas variáveis é verificada quando uma ou mais variáveis estão com o efeito controlado (FIELD, 2009).

3.5.7 Coeficientes de regressão

Os coeficientes são fundamentais para a obtenção da equação de regressão, pois representam os valores que multiplicam cada variável do modelo (HAIR et al., 2009). A Equação 6 exemplifica a equação de regressão com a constante (b0) e demais variáveis com seus respectivos coeficientes.

$$Y = b0 + b1\,X1 + b2\,X2 + \ldots + bn\,Xn \qquad (6),$$

em que:

Y – é a variável dependente;

b – são os coeficientes de regressão;

X – são as variáveis da equação de regressão.

Após a obtenção da equação de regressão, é possível testar os dados na própria equação. Todavia, o recomendado é que sejam utilizados dados extras para os testes (HAIR et al., 2009).

Após a obtenção dos dados calculados, pode-se calcular o erro relativo, ou seja, os valores reais menos os valores calculados, que por sua vez são divididos pelos valores reais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Nessa etapa, é descrito como esse trabalho foi desenvolvido. Inicialmente, é explicado como as possíveis variáveis foram definidas. Na sequência, a ferramenta utilizada para analisar a influência das variáveis na geração de resíduos classe A é determinada e as etapas do tratamento de dados são apresentadas. A análise das variáveis e dos dados é detalhada e a equação de regressão obtida é testada quanto à precisão para estimar a quantificação dos RCC classe A, de empreendimentos executados no município de Curitiba.

4.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

A definição das possíveis variáveis independentes aconteceu por meio da revisão da literatura e de informações obtidas mediante contatos com empresas de meio ambiente, construtoras e setores públicos atuantes no setor da construção civil, no município de Curitiba.

O tema resíduo de construção civil é parte dos resíduos sólidos, portanto, foi revisada a PNRS e os RSU, além da situação atual da construção civil no Brasil e legislações pertinentes. Na sequência, foram levantadas publicações que desenvolveram ou propuseram metodologias para estimar a geração de RCC, além de estudos que apontavam os principais fatores que geravam esses resíduos.

Por meio da revisão de literatura, foi possível entender que vários aspectos provocam a formação do RCC no canteiro de obras. Assim, a metodologia denominada modelo com variáveis foi considerada a mais adequada para alcançar o objetivo geral dessa dissertação, uma vez que ela considera que vários fatores causam a produção do resíduo de construção civil.

Sequencialmente, os principais fatores citados na literatura, que influenciam a geração de RCC, foram definidos, ou seja, as possíveis variáveis independentes. Por sua vez, a variável dependente, desse estudo, é a geração de RCC em empreendimentos residenciais e comerciais, no município de Curitiba.

4.1.1 Levantamento de Banco de Dados para Análise Multivariada

Após a definição das possíveis variáveis do modelo e do entendimento do panorama atual dos RCC no Município, foi elaborado um formulário para auxiliar no levantamento das

informações necessárias para o banco de dados. O mesmo pode ser consultado no Apêndice A dessa dissertação. As entrevistas foram realizadas com o auxílio dessa ferramenta e por esse motivo, podem ser classificadas como totalmente estruturadas (GIL, 2017).

O formulário, que é composto por dezenove perguntas, sendo onze fechadas com alternativas predefinidas e oito abertas, também foi preparado em formato que poderia ser encaminhado por *e-mail*, caso fosse a preferência do entrevistado. Assim, a coleta de dados aconteceu por meio de entrevistas, pessoalmente ou por telefonema e mediante formulário encaminhado via *e-mail*.

A informação referente ao volume total de RCC gerado em cada empreendimento do banco de dados foi obtido pela tabela de caracterização e quantificação dos RCC, a qual integra os dados informados no RGRCC.

As informações necessárias foram obtidas por contato com construtoras, empresas da área do meio ambiente e órgão públicos, todos atuantes no município de Curitiba, o qual foi realizado por *e-mail*, telefone ou pessoalmente, no período de dezembro de 2017 a junho de 2018. Os nomes dos contatos, empresas e empreendimentos não serão citados nessa dissertação por confidencialidade e serão renomeados por numerais ordinais.

As construtoras que forneceram informações para o banco de dados apresentaram as seguintes características:

a) Edificam empreendimentos verticais residenciais ou comerciais.
b) Elaboram PGRCC e RGRCC das suas obras.
c) Possuem registro em situação regular perante o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná (CREA-PR).

As empresas de meio ambiente que forneceram informações para o banco de dados apresentaram as seguintes características:

a) Elaboram PGRCC e RGRCC das obras que são contratadas.

Os órgãos públicos que forneceram informações para o banco de dados apresentaram as seguintes características:

a) Recebem PGRCC e RGRCC das obras que são executadas em Curitiba, ou fiscalizam as obras públicas no Município.

No total, foram contatadas vinte e duas fontes de dados, conforme descrito no Quadro 6. As empresas e os empreendimentos foram identificados por meio de números por motivo de confidencialidade.

QUADRO 6 – RAMO E QUANTIDADE DAS FONTES DO BANCO DE DADOS

Empresa	Ramo	Contato
1	órgão público	Pessoal e e-mail
2	órgão público	Pessoal
3	órgão público	Pessoal
4	órgão público	Pessoal
1	meio ambiente	Pessoal
2	meio ambiente	Telefone e e-mail
3	meio ambiente	Pessoal
1	construtora	Telefone e e-mail
2	construtora	Telefone e e-mail
3	construtora	Telefone e e-mail
4	construtora	Telefone e e-mail
5	construtora	Telefone e e-mail
6	construtora	Telefone e e-mail
7	construtora	Telefone e e-mail
8	construtora	Pessoal
9	construtora	E-mail
10	construtora	Telefone e e-mail
11	construtora	Telefone e e-mail
12	construtora	Telefone e e-mail
13	construtora	Telefone e e-mail
14	construtora	Pessoal
15	construtora	Telefone e e-mail
Total		**22 contatos**

FONTE: A autora (2018).

4.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL CLASSE A

As informações obtidas por meio das entrevistas, formulários e RGRCC foram organizadas em tabelas por classe, conforme especificado pela Resolução CONAMA nº 307, de 17 de julho de 2002 (BRASIL, 2002), as quais foram organizadas com o auxílio do software *Excel*, versão 16.13.1, licença obtida pelo *Office 365* (MICROSOFT, 2018).

Após o levantamento do banco de dados, foi definida a ferramenta que auxiliou na análise das influências na geração de RCD classe A. A análise multivariada prevê a relação entre duas ou mais variáveis por meio de técnicas de estatística. As variáveis são aleatórias e

inter-relacionadas entre si, mas não apresentam significância no resultado quando estudadas individualmente (HAIR et al., 2009).

A regressão linear múltipla é a melhor opção entre as técnicas multivariadas, quando o levantamento possui uma variável dependente e várias independentes, ou seja, quando uma característica, também chamada de variável dependente, sofre variação por estar sendo influenciada por outras características, chamadas de variáveis independentes. A regressão múltipla é muito usual em tomadas de decisões de negócios, além de ser indicada para quando os resultados são apresentados em escala métrica. Após a ponderação das variáveis independentes ocorre a formação da equação ou modelo de regressão, também chamada de variável estatística (HAIR et al., 2009).

Assim, a técnica de regressão multivariada foi considerada a melhor ferramenta para a análise das variáveis influentes na geração de RCC. O tratamento de dados foi realizado pelo programa *IBM SPSS Statistics*, versão 2.3 (IBM, 2015).

As principais verificações realizadas no tratamento de dados para a posterior análise foram: normalidade, ausência de *outliers*, resíduos (regressão linear), colinearidade (correlações de Pearson), *Durbin-Watson*, variância, significância, correlações parciais e gráficos de regressão parcial de todas as variáveis independentes efetivamente utilizadas no modelo.

Na regressão linear multivariada, desenvolvida nessa dissertação, foram consideradas variáveis do tipo métrica (quantitativa) e não métrica (qualitativa e dicotômicas).

4.3 EQUAÇÃO DE REGRESSÃO PARA ESTIMAR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL GERADOS EM OBRAS DE EMPREENDIMENTOS VERTICAIS, NO MUNICÍPIO DE CURITIBA

Após as verificações de conformidade da técnica de regressão multivariada foram obtidos os coeficientes e, consequentemente, a equação. Na sequência, os dados amostrais utilizados no modelo foram testados na equação obtida e os resultados foram comparados com os dados levantados por meio dos RGRCC e calculado o erro, em porcentagem.

Além dos dados utilizados na modelagem, foram levantados mais cinco dados sem as caracterizações de duas variáveis que se adequaram à modelagem. Dessa forma, foi optado por testar esses cinco dados extras com a exclusão das duas variáveis, para as quais não foi possível

levantar as informações dos cinco dados extras, sendo as verificações realizadas novamente, os valores calculados comparados com os levantados nos RGRCC e o erro relativo calculado.

Os resultados obtidos foram discutidos na sequência.

4.4 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O objetivo geral dessa dissertação é analisar os principais fatores que influenciam na geração de RCC, classe A, conforme classificação determinada na Resolução CONAMA nº 307, de 17 de julho de 2002 (2002), de empreendimentos novos, verticais, residenciais ou comerciais, executados com sistema construtivo convencional, no município de Curitiba.

A opção de analisar apenas os resíduos classe A foi determinada devido à alta representatividade dessa classe quando comparada ao total de RCD gerado nos canteiros de obra. De acordo com Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI, 2014), aproximadamente 70% do RCD acumulado nos canteiros de obras são resíduos classe A, ou seja, podem ser reciclados e reaproveitados na mesma obra ou em outra. No entanto, os resíduos de solo foram desconsiderados do estudo, pois apresentam relação com a localização do imóvel, topografia e projeto de fundação.

Os empreendimentos utilizados como dados amostrais no estudo estão localizados no município de Curitiba e seguiram as legislações vigentes. O uso dos edifícios poderia ser tanto para fins residenciais quanto comerciais. Obras de infraestrutura não foram consideradas nessa dissertação.

Os dados de RGRCC parciais foram descartados do estudo por não representarem a realidade por completo do canteiro de obras. Os elementos amostrais considerados foram julgados como confiáveis e próximos da realidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DEFINIÇÃO DAS POSSÍVEIS VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

5.1.1 Análise das Metodologias para Estimativa de Resíduo de Construção Civil

As metodologias estudas na revisão de literatura apresentaram o objetivo em comum de quantificar a geração de resíduos ou perdas na construção civil. Contudo, algumas buscaram a quantificação de resíduos resultantes exclusivamente da demolição, como é o caso da metodologia análise de tempo de vida, que independentemente de ser referente ao material ou à edificação, o resultado apresenta dados de demolição (WU et al., 2014).

As metodologias denominadas sistema de classificação, cálculo por índice de geração e outras podem quantificar o RCC ainda em fase de projeto, mas consideram apenas um índice de influência para o cálculo. Contudo, alguns autores costumam considerar que são diversos os fatores que ocasionam a geração de resíduos e não apenas um isoladamente (NAGALLI et al., 2013; DIAS, 2013; NAGALLI, 2014; KERN et al., 2015; WON; CHENG, 2017; CAETANO; FAGUNDES; GOMES, 2018).

No caso da metodologia denominada sistema de classificação, é exigido que os resultados sejam apresentados em nomenclatura padronizada. Analogamente, a ideia é ter algo similar ao Sistema Internacional de Medidas, que padroniza unidades e permite o seu entendimento em qualquer país ou língua falada. Assim, a metodologia sistema de classificação merece destaque por essa imposição.

A metodologia denominada visita na obra tem grande relevância, pois pode apresentar resultados precisos, senão, bem próximos da realidade, ou ainda servir para o desenvolvimento de banco de dados e de validação de outra metodologia. Assim, pode ser utilizada quando o objetivo é a obtenção de um número único, ou da média regional. Porém, não é indicada para a estimativa em fase de projeto, apesar de ser a metodologia mais testada em publicações brasileiras.

A metodologia modelo com variáveis permite que o modelo considere vários fatores, que apresentem correlação entre si, o que corresponde à realidade verificada em obra.

Wimalasena et al. (2010), Dias (2013), Nagalli (2014) e Caetano, Fagundes e Gomes (2018) consideraram inúmeros fatores importantes na geração de RCC. Essas variáveis podem ser identificadas dentro dos canteiros de obras, em dados técnicos dos projetos, com a mão de obra, entre outras situações relacionada à construção civil.

Após a análise e o entendimento de cada uma das metodologias levantadas, é possível apontar que por possibilitar o uso de diversos fatores de correção, a metodologia denomina modelo com variáveis permite ajustar a estimativa da geração de RCC, adequando o resultado à realidade de cada canteiro de obras.

5.1.2 Definição das Variáveis Significantes na Produção de Resíduo de Construção Civil

Após a definição de que a metodologia denominada modelo com variáveis foi a selecionada para auxiliar na análise da geração de RCC, as possíveis variáveis independentes foram definidas. Essa definição foi baseada em informações obtidas por meio da revisão da literatura, contatos previamente realizados com órgãos públicos, empresas atuantes na área de meio ambiente e construção civil.

As possíveis variáveis independentes do modelo podem ser classificadas de acordo com a tipologia em quantitativa, qualitativa e dicotômica. No total, foram selecionadas vinte variáveis independentes, conforme apresentadas no Quadro 7.

QUADRO 7 – POSSÍVEIS VARIÁVEIS INDEPENDENTES DO MODELO

Variáveis	Definição	Tipo
1	Área construída	Quantitativa
2	Pavimentos	Quantitativa
3	Blocos	Quantitativa
4	Pavimentos por blocos	Quantitativa
5	Unidades	Quantitativa
6	Área construída por unidade	Quantitativa
7	Unidades por pavimento	Quantitativa
8	Cronograma	Quantitativa
9	Área construída por mês	Quantitativa
10	Reuso do RCD	Quantitativa
11	Uso do empreendimento	Qualitativa
12	Sistema construtivo	Qualitativa
13	Padrão construtivo do empreendimento	Qualitativa
14	Ficalização no canteiro de obras	Qualitativa
15	Organização do canteiro	Qualitativa
16	Separação do RCD no canteiro de obras	Qualitativa
17	Empreendimento busca certificação verde	Dicotômica
18	Treinamento e experiência da mão de obra	Dicotômica
19	Tamanho da equipe compatível com o porte da obra	Dicotômica
20	Armazenamento da matéria-prima/insumo	Dicotômica
*	RCC Classe A	Dependente

FONTE: A autora (2018).

Esse estudo testou e analisou as vinte variáveis, com vistas a concluir se influenciam significantemente na geração de RCC em obras de empreendimentos executados no município de Curitiba e se são fatores que resultam em aumento ou redução de RCD no canteiro de obras.

5.2 LEVANTAMENTO DO BANCO DE DADOS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO, EM OBRAS DE CURITIBA, PARA ANÁLISE MULTIVARIADA

5.2.1 Fatores que Influenciam a Geração de RCC

A primeira etapa do levantamento do banco de dados é a definição das variáveis independentes e dependentes do modelo. A variável dependente é a geração de RCC classe A de empreendimentos executados em Curitiba e as variáveis independentes são apresentadas no Quadro 8.

QUADRO 8 – VARIÁVEIS UTILIZADAS NA REGRESSÃO MULTIVARIADA

Variáveis	Definição	Tipo	Descrição
1	Área construída	Quantitativa	Área total construída, em m².
2	Pavimentos	Quantitativa	Número total de pavimentos construídos no empreendimento, em unidades.
3	Blocos	Quantitativa	Número total de blocos construídos no empreendimento, em unidades.
4	Pavimentos por blocos	Quantitativa	Número de pavimentos por bloco construído, em unidades.
5	Unidades	Quantitativa	Número total de blocos unidades construídas no empreendimento, em unidades.
6	Área construída por unidade	Quantitativa	Área média por unidade construída, em m².
7	Unidades por pavimento	Quantitativa	Número de unidades por pavimento construído, em unidades.
8	Cronograma	Quantitativa	Período de execução da obra, em meses.
9	Área construída por mês	Quantitativa	Área média construída em cada mês de execução da obra, em m².
10	Reuso do RCD	Quantitativa	Volume de RCD reutilizado no canteiro de obras, em m^3.
11	Uso do empreendimento	Qualitativa	1 - Comercial; 2 - Comercial e Residencial; 3 - Residencial
12	Sistema construtivo	Qualitativa	1 - Alvenaria estrutural; 2 - Alvenaria convencional
13	Padrão construtivo do empreendimento	Qualitativa	1 - Alto/Luxo; 2 - Normal/Médio; 3 - Popular/Baixo
14	Ficalização no canteiro de obras	Qualitativa	1 - Permanente; 2 - Esporádica; 3 - Não ocorre
15	Organização do canteiro	Qualitativa	1 - Ótima; 2 - Regular; 3 - Ruim
16	Separação do RCD no canteiro de obras	Qualitativa	1 - Por subclasse; 2 - Por classe; 3 - Não ocorre
17	Empreendimento busca certificação verde	Dicotômica	1 - Busca certificação verde; 2 - Não buca certificação
18	Treinamento e experiência da mão de obra	Dicotômica	1 - Equipe treinada e experiente; 2 - Equipe sem experiência/treinamento
19	Tamanho da equipe compatível com o porte da obra	Dicotômica	1 - Compatível com a necessidade; 2 - Incompatível com a necessidade
20	Armazenamento da matéria-prima/insumo	Dicotômica	1 - Lugares cobertos; 2 - Lugares descobertos
*	RCC Classe A	Dependente	Geração de RCC Classe A, em m^3.

FONTE: A autora (2018).

Dezoito empresas e quatro órgãos públicos foram procurados para o levantamento dos dados amostrais para a regressão multivariada, assim vinte e duas possíveis fontes de dados foram contatadas. O Quadro 9 apresenta as empresas e órgãos públicos que responderam com dados de geração de resíduos de construção. Os dados que apresentaram características que não se enquadravam nos objetivos desse estudo, não foram aproveitados. Então foram descartados 48 dados.

As justificativas para os 48 descartes são: alguns empreendimentos não estavam localizados em Curitiba, outros dados eram referentes a obras de infraestrutura, algumas empresas entregaram dados de PGRCC e não de RGRCC, ou ainda RGRCC parcial. Todos os dados que possuíam uma ou mais dessas características não foram aproveitados na análise multivariada.

Além dessas situações, alguns dados não estavam completos. Esse fato também impediu o aproveitamento deles.

QUADRO 9 – QUANTIDADE DE EMPRESAS PROCURADAS, DADOS AMOSTRAIS FORNECIDOS E EFETIVAMENTE APROVEITADOS NO ESTUDO

Empresa	Ramo	Dados fornecidos	Dados aproveitados	Localização obras	Contato	Dados
1	órgão público	2	0	Curitiba	Pessoal e e-mail	RGRCC e questionário
2	órgão público	25	16	Curitiba	Pessoal	Álvará, RGRCC e entrevista
3	meio ambiente	3	2	Curitiba	Pessoal	RGRCC e entrevista
4	meio ambiente	14	0	Londrina	Telefone e e-mail	RGRCC e entrevista
5	construtora	5	5	Curitiba	Telefone e e-mail	RGRCC e questionário
6	construtora	2	2	Curitiba	Telefone e e-mail	RGRCC e questionário
7	construtora	1	1	Curitiba	Telefone e e-mail	RGRCC e questionário
8	construtora	6	3	Curitiba	Telefone e e-mail	RGRCC e questionário
9	construtora	4	1	Curitiba	Telefone e e-mail	RGRCC e entrevista
10	construtora	7	0	Curitiba e São José dos Pinhais	Telefone e e-mail	RGRCC e questionário
11	construtora	4	0	Londrina	Telefone e e-mail	RGRCC e questionário
12	construtora	3	0	Araucária	Pessoal	RGRCC e entrevista
13	construtora	2	0	São Mateus do Sul	E-mail	RGRCC e questionário
Total		**78**	**30**			

FONTE: A autora (2018).

As empresas e setores públicos apresentaram as informações solicitadas de diferentes formas. O Quadro 10 apresenta como os dados de cada variável foram apresentados.

QUADRO 10 – COMO AS INFORMAÇÃOS REFERENTE ÀS VARIÁVEIS FORAM OBTIDAS

#	Variáveis	Tipologia	Fonte
X1	Área construída	Quantitativa	Alvará, RGRCC e questionário/entrevista
X2	Número de pavimentos	Quantitativa	Alvará, RGRCC e questionário/entrevista
X3	Número de blocos	Quantitativa	Alvará, RGRCC e questionário/entrevista
X4	Número de pavimentos por bloco	Quantitativa	X2/X3
X5	Número de unidades	Quantitativa	Alvará, RGRCC e questionário/entrevista
X6	Área construída por unidade	Quantitativa	X1/X5
X7	Unidades por pavimento	Quantitativa	X5/X2
X8	Cronograma	Quantitativa	Alvará, RGRCC e questionário/entrevista
X9	Área construída por mês	Quantitativa	X1/X8
X10	Reuso do RCD	Quantitativa	RGRCC e questionário/entrevista
X11	Uso do empreendimento	Qualitativa	Alvará, RGRCC e questionário/entrevista
X12	Padrão construtivo do empreendimento	Qualitativa	Questionário/entrevista
X13	Ficalização no canteiro de obras	Qualitativa	Questionário/entrevista
X14	Organização do canteiro	Qualitativa	Questionário/entrevista
X15	Separação do RCD no canteiro de obras	Qualitativa	Questionário/entrevista
X16	Sistema construtivo	Qualitativa	RGRCC e questionário/entrevista
X17	Empreendimento busca certificação verde	Dicotômica	Questionário/entrevista
X18	Teinamento e experiência da mão de obra	Dicotômica	Questionário/entrevista
X19	Tamanho da equipe compatível com o porte da obra	Dicotômica	Questionário/entrevista
X20	Armazenamento da matéria-prima/insumo	Dicotômica	Questionário/entrevista
*	Geração de RCC Classe A	Dependente	RGRCC

FONTE: A autora (2018).

Assim, o banco de dados foi composto por trinta elementos amostrais fornecidos por um órgão público, uma empresa da área de meio ambiente e cinco construtoras atuantes no

município de Curitiba. As variáveis quantitativas do banco de dados são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2 – BANCO DE DADOS DE GERAÇÃO DE RCC CLASSE A, EM EMPREENDIMENTOS DO MUNICÍPIO DE CURITIBA – VARIÁVEIS QUANTITATIVAS

Variável / Dados	Dependente	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
	RCD_A (m^3)	Área (m^2)	Pavimentos (un)	Blocos (un)	Pavimentos/ Blocos	Unidades (un)	Área/Unidades (m^2)	Unidades/ Pavimento	Cronograma (meses)	Área/Cronograma (m^2/mês)	Reuso (m^3)
1	29,00	4388,41	11	1	11	31	141,56	2,82	22	199,47	1,00
2	50,00	3740,14	14	4	3,5	64	58,44	4,57	19	196,85	10,00
3	95,00	3512,32	8	1	8	96	36,59	12,00	13	270,18	0,00
4	123,41	2945,93	9	1	9	36	81,83	4,00	24	122,75	123,41
5	157,50	5592,06	12	2	6	62	90,19	5,17	23	243,13	59,60
6	160,00	4069,14	5	1	5	22	184,96	4,40	24	169,55	160,00
7	172,00	16503,75	56	14	4	224	73,68	4,00	20	825,19	130,00
8	181,50	12382,06	16	1	16	16	773,88	1,00	24	515,92	0,00
9	225,00	9620,65	17	1	17	105	91,63	6,18	45	213,79	0,00
10	228,00	7582,01	10	1	10	46	164,83	4,60	27	280,82	40,00
11	277,75	9793,15	11	2	5,5	64	153,02	5,82	29	337,69	0,00
12	316,80	10976,81	36	9	4	144	76,23	4,00	22	498,95	83,20
13	328,00	7353,96	32	8	4	128	57,45	4,00	15	490,26	0,00
14	386,00	2808,39	7	1	7	28	100,30	4,00	32	87,76	0,00
15	390,60	24773,35	112	28	4	448	55,30	4,00	18	1376,30	0,00
16	433,55	4620,60	8	1	8	30	154,02	3,75	19	243,19	0,00
17	533,00	33879,77	27	1	27	240	141,17	8,89	48	705,83	30,00
18	550,00	14031,48	15	1	15	244	57,51	16,27	44	318,90	0,00
19	600,00	6157,05	11	1	11	14	439,79	1,27	44	139,93	15,00
20	634,20	7485,78	9	1	9	30	249,53	3,33	40	187,14	0,00
21	639,00	5933,76	10	1	10	29	204,61	2,90	18	329,65	0,00
22	712,40	22588,81	26	2	13	288	78,43	11,08	28	806,74	0,00
23	712,52	13653,99	21	1	21	64	213,34	3,05	40	341,35	0,00
24	735,00	7419,23	20	2	10	14	529,95	0,70	44	168,62	20,00
25	795,00	3950,78	9	1	9	35	112,88	3,89	40	98,77	0,00
26	1018,85	34593,05	23	2	11,5	539	64,18	23,43	40	864,83	0,00
27	2035,00	48331,48	51	2	25,5	390	123,93	7,65	49	986,36	80,00
28	2257,50	16890,75	10	2	5	112	150,81	11,20	44	383,88	0,00
29	2280,42	10594,50	13	1	13	38	278,80	2,92	26	407,48	0,00
30	3339,87	73753,76	42	3	14	705	104,62	16,79	35	2107,25	0,00

FONTE: A autora (2018).

Os Quadros 11 e 12 apresentam as legendas das variáveis qualitativas e dicotômicas, respectivamente. Os dois quadros auxiliam na compreensão da Tabela 3, que descreve as variáveis X11 a X20.

QUADRO 11 – LEGENDA DAS VARIÁVEIS QUALITATIVAS

Variável	Legenda	1	2	3
X11	Uso do empreendimento	Comercial	Comercial e residencial	Residencial
X12	Padrão construtivo do empreendimento	Alto/Luxo	Normal/Médio	Popular/Baixo
X13	Ficalização no canteiro de obras	Permanente	Esporádica	Não ocorre
X14	Organização do canteiro	Ótima	Regular	Ruim
X15	Separação do RCD no canteiro de obras	Por subclasse	Por classe	Não ocorre

FONTE: A autora (2018).

QUADRO 12 – LEGENDA DAS VARIÁVEIS DICOTÔMICAS

Variável	Legenda	1	2
X16	Sistema construtivo	Alvenaria estrutural	Alvenaria convencional
X17	Empreendimento busca certificação verde	Sim	Não
X18	Teinamento e experiência da mão de obra	Com	Sem
X19	Tamanho da equipe compatível com o porte da obra	Compatível	Incompatível
X20	Armazenamento da matéria-prima/insumo	Lugares cobertos	Lugares descobertos

FONTE: A autora (2018).

TABELA 3 – BANCO DE DADOS DE GERAÇÃO DE RCC CLASSE A, EM EMPREENDIMENTOS DO MUNICÍPIO DE CURITIBA – VARIÁVEIS QUALITATIVAS

Variável / Dados	Dependente	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20
	RCD_A (m3)	Uso do empreendimento	Sistema construtivo	Padrão construtivo	Fiscalização	Organização do canteiro	Segregaçã o do RCD	Busca certificação	Equipe/mão de obra	Tamanho equipe	Armazenamento dos materiais
1	29,00	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
2	50,00	3	1	3	1	2	2	2	1	1	1
3	95,00	3	1	2	1	1	1	2	1	1	1
4	123,41	3	2	2	1	2	1	2	1	1	1
5	157,50	3	2	3	1	1	2	2	1	2	2
6	160,00	3	2	2	1	1	2	2	1	1	1
7	172,00	3	1	3	1	1	2	2	1	1	1
8	181,50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	225,00	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
10	228,00	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1
11	277,75	3	1	2	2	2	1	2	1	2	1
12	316,80	3	1	3	1	1	2	2	1	1	1
13	328,00	3	1	3	1	1	1	2	1	1	1
14	386,00	3	2	1	1	2	2	2	1	1	1
15	390,60	3	1	3	1	1	1	2	1	1	1
16	433,55	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
17	533,00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	550,00	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1
19	600,00	3	2	1	2	2	2	2	1	1	1
20	634,20	3	2	1	2	2	2	2	2	1	1
21	639,00	3	1	3	1	1	2	2	3	1	1
22	712,40	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1
23	712,52	3	2	1	1	1	2	2	1	1	1
24	735,00	3	2	1	2	2	2	2	1	1	1
25	795,00	3	2	1	1	2	2	2	2	1	1
26	1018,85	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1
27	2035,00	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1
28	2257,50	3	2	2	1	1	2	2	1	1	1
29	2280,42	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1
30	3339,87	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1

FONTE: A autora (2018).

5.2.2 Principais Dificuldades Encontradas no Levantamento do Banco de Dados

A Prefeitura Municipal de Curitiba exige a apresentação do PGRCC para a aprovação do alvará de construção de empreendimentos acima de 600 m² de área construída. Por sua vez, o CVCO é liberado após a entrega dos certificados de destinação dos resíduos acompanhados dos MTR e do RGRCC referente à cada empreendimento. As documentações exigidas

(PGRCC, certificados com MTR e RGRCC) são entregues em vias físicas e essa foi uma das primeiras dificuldades encontradas no levantamento do banco de dados.

Algumas empresas tinham a documentação dos últimos empreendimentos concluídos em arquivos digitais. Porém, algumas construtoras têm a prática de terceirizar o preenchimento do PGRCC e do RGRCC. A empresa terceirizada, por sua vez, entrega as vias físicas para a Prefeitura e/ou construtora, que arquivam.

Dessa forma, a inexistência de documentação digital tanto nas construtoras, quanto na Prefeitura Municipal de Curitiba, foi a primeira dificuldade enfrentada.

Um ponto questionável e relacionado à legislação municipal de Curitiba é referente à duplicidade de legislação tratando da exigência do PGRCC. O Decreto nº 1.068, de 18 de novembro de 2004, condiciona o alvará de construção para obra com área a construir superior a 600 m^2, ou demolição maior que 100 m^2 (CURITIBA, 2004), enquanto a Portaria nº 80, de 15 de julho de 2013, da SMU, realiza a mesma exigência para obras com área a construir superior a 3.000 m^2 (CURITIBA, 2013). Portanto, é oportuno que as empresas sigam o instrumento legal mais restritivo.

Atualmente, o PGRCC é exigido em empreendimentos a construir, com área superior a 600 m^2, quando solicitado o alvará de construção, no município de Curitiba. No entanto, a divergência de exigências e a duplicidade de legislações tratando do mesmo assunto pode gerar questionamentos.

Outro ponto destacável é a diferença entre o PGRCC e o RGRCC. O primeiro apresenta a estimativa do quanto será gerado durante o cronograma de obra do empreendimento que está solicitando o alvará, enquanto o segundo apresenta o volume real gerado durante a execução da obra. O RGRCC é apresentado após a finalização da obra, com a solicitação do CVCO do empreendimento.

Cinco construtoras forneceram dados de RGRCC de obras executadas em Curitiba, os quais foram utilizados no modelo estatístico. Dessas construtoras, três encaminharam o PGRCC em vez do RGRCC, após o primeiro contato.

As três construtoras foram contatadas inicialmente por ligação telefônica, durante a qual foi explicada a necessidade dos dados da tabela de volume de geração de RCD, apresentados no RGRCC. Na sequência, foi encaminhado um *e-mail* repetindo a mesma explicação sobre a necessidade de dados de geração de RCD para a realização do estudo.

Aparentemente, ainda não é clara a diferença entre PGRCC e RGRCC dentro de setores de algumas construtoras, talvez por muitas terceirizarem o serviço ou por falta de treinamento interno mais específico sobre o tema.

Outra dificuldade percebida é relacionada à falta de padronização de nomenclatura e padrão exigido no preenchimento do PGRCC e do RGRCC. Dentro da mesma construtora, é notável a falta de padrão no preenchimento dos documentos.

Dentre os RGRCC recebidos, foram identificadas diversas denominações para o mesmo resíduo. Por exemplo, os blocos de concreto foram também identificados como blocos, bloco estrutural, bloco pré-moldado, pré-moldado de concreto e caliça, assim como os blocos cerâmicos, que foram renomeados como blocos, tijolo, alvenaria e caliça em alguns relatórios.

As dúvidas sobre qual RCD era referido em cada RGRCC foi solucionada ao questionar os contatos novamente. Essa dissertação busca analisar a geração de RCD classe A, conforme determinado pela Resolução CONAMA nº 307, de 17 de julho de 2002 (2002), diferença de nomenclatura que não seria considerada um problema grave. Contudo, se o estudo passar a analisar os RCD individualmente, a dificuldade de identificação do resíduo poderia ser considerada fator limitante do estudo.

Sistemas de classificação de resíduos, como o EWL e o ACCD, são bons exemplos de ferramentas padronizadas que auxiliam no preenchimento de formulários e no levantamento de banco de dados, como exemplificado pelas publicações de Moyano e Agudo (2013), Malia et al. (2013) e Carpio et al. (2016).

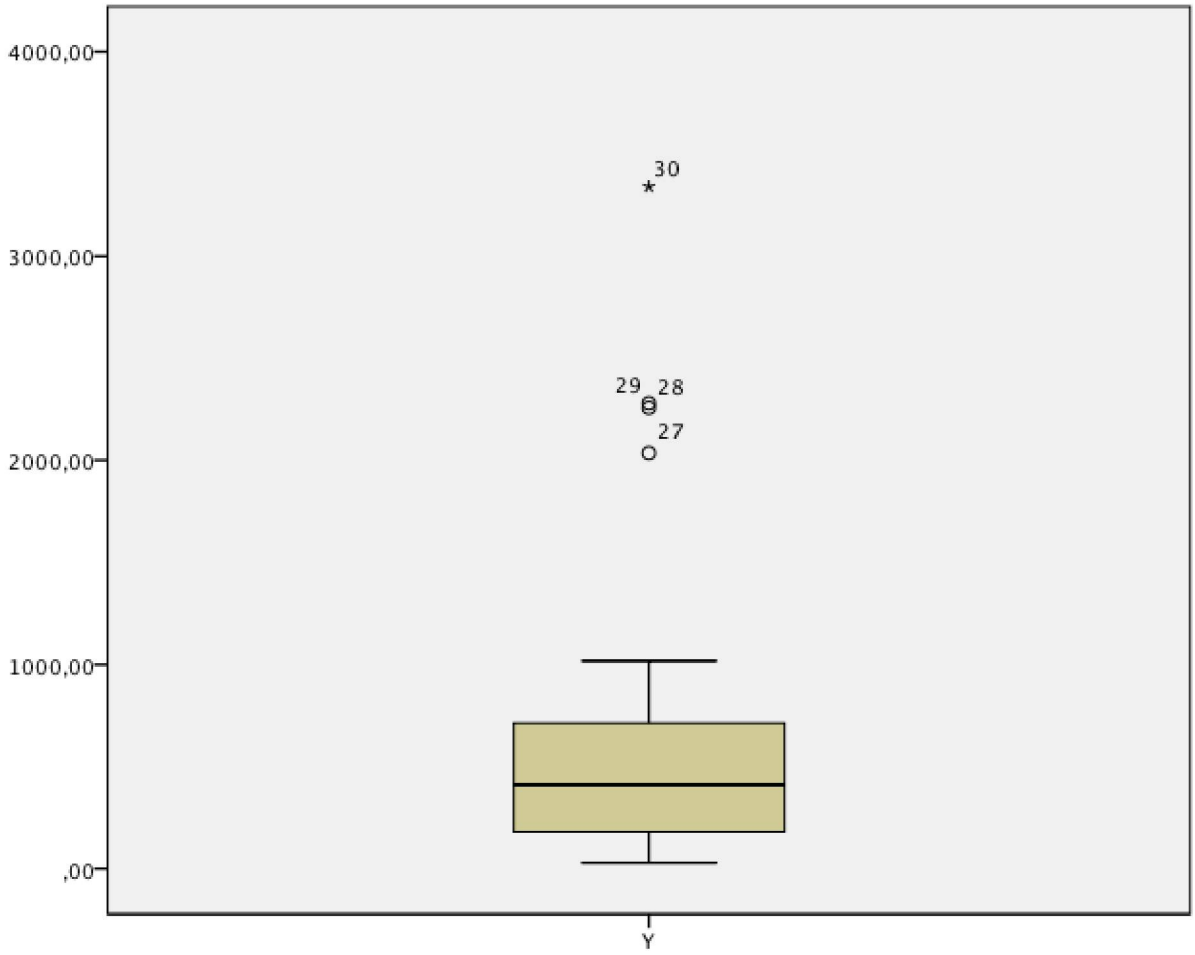
5.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

5.3.1 Técnica de Regressão Linear Multivariada

A análise multivariada é recomendada para quando a situação envolve diversos fatores de influência. Das diversas técnicas da análise multivariada, a regressão linear multivariada é a mais recomendada por ser indicada para cenários nos quais diversas variáveis impactam em uma única variável dependente, que por sua vez, é apresentada em escala métrica (HAIR et al., 2009).

A normalidade foi a primeira verificação a ser realizada, por meio dos testes de *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilk* (FIELD, 2009). O gráfico de caixas obtido no teste indicou quatro *outliers*, conforme mostra a Figura 11.

FIGURA 11 – *OUTLIERS* INDICADOS NO TESTE DE NORMALIDADE



FONTE: A autora (2018).

A amplitude da variável dependente, do dado 1 até o dado 26, varia entre 29 m^3 e 1.018,85 m^3 de RCC classe A. Os *oultiers* indicados apresentaram valores variando de 2.035 m^3 e 3.339,87 m^3, conforme descrito na Tabela 4. Assim, o apontamento desses dados é justificado, pois representam volume de RCC classe A gerado atípico aos demais dados.

TABELA 4 – *OUTLIERS* INDICADOS NO TESTE DE NORMALIDADE – AMPLITUDE VARIÁVEL DEPENDENTE

Dado	RCC_A (m3)
27	2035,00
28	2257,50
29	2280,42

30	3339,87

FONTE: A autora (2018).

Após a exclusão dos quatro dados, o teste de normalidade foi realizado novamente e exposto na Tabela 5. A significância apresentou valores maiores que 0,05, o que quer dizer que o resultado é não significativo e que os dados são diferentes, de forma significante da distribuição normal.

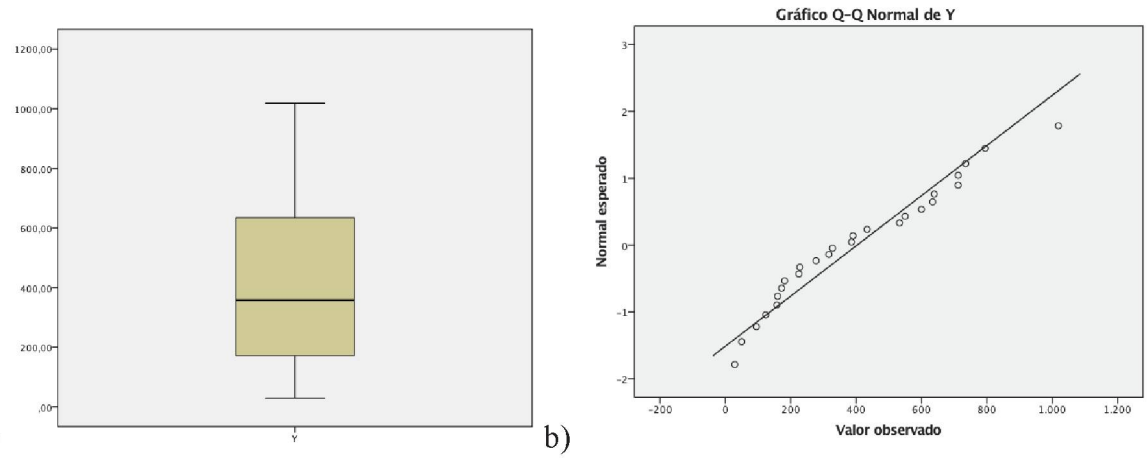
TABELA 5 – TESTE DE NORMALIDADE

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estatística	Graus de liberdade	Significância	Estatística	Graus de liberdade	Significância
Y	0,130	26	0,200	0,946	26	0,183

FONTE: A autora (2018).

O teste ainda apresentou os gráficos de caixa sem *outliers* (Figura 12 (a)) e o diagrama Q-Q normal (Figura 12 (b)), que compara os dados observados com o diagrama normal (FIELD, 2009).

FIGURA 12 – TESTE DE NORMALIDADE, (a) GRÁFICO DE CAIXA E (b) GRÁFICO Q-Q NORMAL



a) b)

FONTE: A autora (2018).

A busca pela melhor estimativa de regressão foi realizada por meio da eliminação *forward*, na qual todas as variáveis são consideradas inicialmente e as menos significativas são excluídas do modelo (FIELD, 2009). A Tabela 6 apresenta as variáveis e sua significância. Destaque para as variáveis área construída (X1) e pavimentos (X2) no modelo 1, que possuem os maiores valores, ou seja, representam as variáveis menos significantes nesse modelo e, consequentemente, foram excluídas.

A Tabela 7 apresenta as correlações de Pearson, sendo possível verificar que a variável X1 também apresentou multicolinearidade com a variável unidades (X5) e área/cronograma (X9), o que quer dizer que quanto maior a área, maior o número de unidade e maior a área construída por mês, tendência esta notável.

As correlações de Pearson também mostraram a situação de multicolinearidade entre as variáveis X2 e blocos (X3), além de X2 e X9. Assim, os dados apresentaram situações que associaram o número de pavimentos ao número de blocos e à área construída por mês.

As correlações altas entre variáveis independentes podem significar a ocorrência de dependência entre os regressores e prejudicar as estimativas dos parâmetros (HAIR et al., 2009).

Na sequência, as variáveis organização do canteiro (X14) e Segregação do RCD no canteiro de obras (X15) foram excluídas devido à baixa significância (Tabela 6). A variável área construída por cronograma (X9) também foi deletada do modelo 2 devido à representação de multicolinearidade (Tabela 7) com as variáveis X1, X2 e unidades (X5), ou seja, quanto maior a área construída por mês, os dados apresentaram a tendência de a área construída, número de pavimentos e número de unidades serem maiores.

As variáveis bloco (X3) e unidades (X5) também apresentaram a situação de multicolinearidade. A primeira com a variável X2 e a segunda com as variáveis X1 e X9. Todavia, as significâncias das variáveis X3 e X5 com relação à variável dependente eram maiores. Portanto, foi optado por mantê-las no modelo para verificações posteriores.

No modelo 3 foram excluídas as variáveis pavimentos por blocos (X4), reutilização do RCD no canteiro de obras (X10) e tamanho da equipe de mão de obra compatível com a necessidade da obra (X19) devido à baixa significância para a variável dependente (Tabela 6).

A última variável deletada foi o armazenamento da matéria-prima no canteiro (X20) por apresentar pouca significância com a geração de RCD classe A (Tabela 6).

O ideal é que a significância apresentada pelas variáveis sejam menores que 0,05. Apesar da variável treinamento e experiência da mão de obra (X18) apresentar signifância pouco acima de 0,05, elas foram mantidas no modelo, pois ao testar a exclusão da variável X18, o modelo apresentou resultados piores, inclusive em termos de significância das variáveis. Portanto, o modelo 5 foi considerado o que apresenta forte poder de explicação na geração de resíduos classe A, em obras de empreendimentos localizados em Curitiba.

A tabela completa com os coeficientes de correlação de Pearson pode ser verificada no Apêndice B dessa dissertação.

TABELA 6 – SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS

	Significância				
	Modelo 1	Modelo2	Modelo3	Modelo4	Modelo5
Constante	0,561	0,446	0,181	0,019	0,024
X1	**0,904**				
X2	**0,909**				
X3	0,579	0,037	0,017	0,006	0,006
X4	0,607	0,415	**0,802**		
X5	0,707	0,405	0,004	0,001	0,001
X6	0,636	0,575	0,094	0,025	0,028
X7	0,545	0,294	0,059	0,031	0,033
X8	0,329	0,087	0,048	0,024	0,024
X9	0,799	**0,478**			
X10	0,558	0,453	**0,502**		
X11	0,204	0,106	0,048	0,026	0,022
X12	0,258	0,172	0,077	0,018	0,024
X13	0,473	0,384	0,147	0,04	0,042
X14	0,732	**0,688**			
X15	0,711	**0,659**			
X16	0,377	0,196	0,045	0,009	0,011
X17	0,257	0,136	0,029	0,002	0,003
X18	0,526	0,447	0,297	0,09	0,116
X19	0,461	0,368	**0,532**		
X20	0,530	0,418	0,370	**0,341**	

FONTE: A autora (2018).

TABELA 7 – CORRELAÇÃO DE PEARSON DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

Correlação de Pearson	Área construída (m3)	Pavimentos	Blocos	Pavimento/ Bloco	Unidades	Área/unidade	Unidade/Pavimento	Cronograma (meses)	Área/cronograma	Reuso (m3)
Área construída (m3)	1	0,523	0,321	0,467	**0,849**	-0,03	0,568	0,314	**0,818**	-0,126
Pavimentos	0,523	1	**0,963**	-0,183	0,655	-0,168	-0,01	-0,206	**0,847**	0,039
Blocos	0,321	**0,963**	1	-0,419	0,536	-0,223	-0,11	-0,372	0,739	0,122
Pavimento/Bloco	0,467	-0,183	-0,419	1	0,081	0,271	0,207	0,654	0,043	-0,295
Unidades	**0,849**	0,655	0,536	0,081	1	-0,371	0,719	0,079	**0,834**	-0,098
Área/unidade	-0,03	-0,168	-0,223	0,271	-0,371	1	-0,415	0,181	-0,065	-0,124
Unidade/Pavimento	0,568	-0,01	-0,11	0,207	0,719	-0,415	1	0,211	0,313	-0,165
Cronograma (meses)	0,314	-0,206	-0,372	0,654	0,079	0,181	0,211	1	-0,171	-0,223
Área/cronograma	**0,818**	**0,847**	0,739	0,043	**0,834**	-0,065	0,313	-0,171	1	-0,048
Reuso (m3)	-0,126	0,039	0,122	-0,295	-0,098	-0,124	-0,165	-0,223	-0,048	1

FONTE: A autora (2018).

A Tabela 8 apresenta os coeficientes de determinação de cada modelo, após a exclusão das variáveis que apresentaram baixa significância. Assim, pode-se afirmar que o modelo de regressão 5 explica 84,9% da geração de RCD classe A, em empreendimentos no município de Curitiba.

Durbin-Watson indica se a hipótese de interdependência do erros é satisfeita e não ocorre correlação entre os resíduos de regressão linear (FIELD, 2009). Quanto mais próximo de 2 for o valor, maior a probabilidade de a hipótese ser verificada e dos erros serem independentes. A recomendação é de que os valores não sejam menores que 1 ou maiores que 3. O modelo 7 apresenta o valor de 1,736, próximo de 2 e dentro dos limites indicados.

A análise da variância prova que o modelo de regressão é melhor que a opção de utilizar a média, comprovando que o modelo adere aos dados significativamente (FIELD, 2009). Nesse caso, também espera-se obter valores abaixo de 0,05.

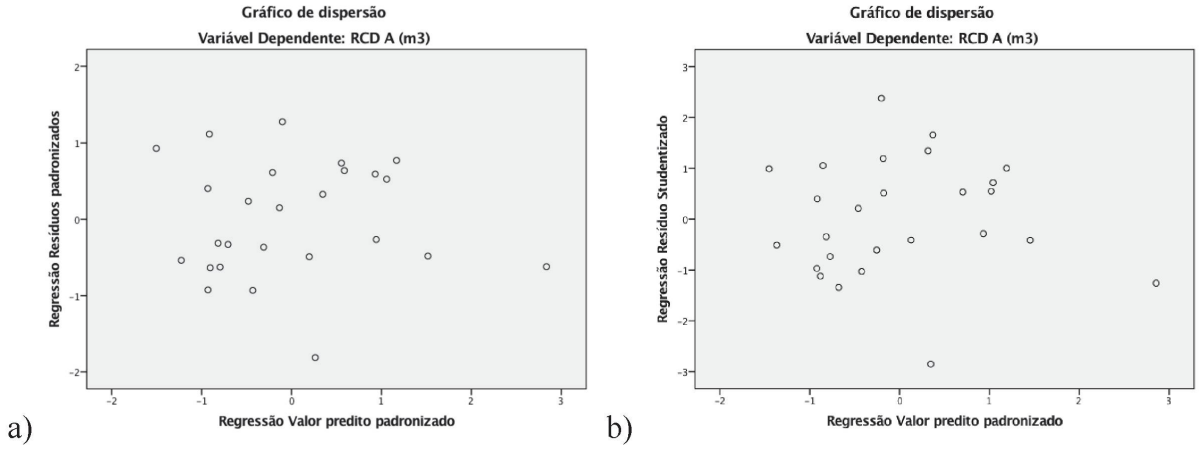
TABELA 8 – RESUMO DO MODELO DE REGRESSÃO E ANÁLISE DA VARIÂNCIA

Variáveis excluídas	Modelo	R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão de estimativa	Sig. Mudança F	Durbin-Watson	Variância	
								F	Sig
-	1	0,943	0,889	0,443	198,665	0,228	1,895	1,994	0,228
X1 e X2	2	0,942	0,888	0,600	168,31033	0,067	1,917	3,085	0,067
X9, X14 e X15	3	0,933	0,871	0,677	151,31532	0,011	1,781	4,491	0,011
X4, X10 e X19	4	0,927	0,860	0,730	138,2504	0,001	1,783	6,640	0,001
X20	5	0,922	0,849	0,731	138,13417	0,000	1,736	7,166	,000b

FONTE: A autora (2018).

A Figura 13 (a) apresenta o gráfico de resíduos padronizados e a Figura 13 (b) os resíduos estudentizados. Os resíduos são referente a regressão linear. Nos dois gráficos, os dados representados estão distribuídos de forma aleatória.

FIGURA 13 – (a) GRÁFICO DE RESÍDUOS PADRONIZADOS E (b) ESTUDENTIZADOS APRESENTANDO ALEATORIEDADE



FONTE: A autora (2018).

Assim, as variáveis excluídas do modelo de regressão são as expostas na Tabela 9.

TABELA 9 – VARIÁVEIS EXCLUÍDAS DO MODELO DE REGRESSÃO

Variável / Dados	Dependente RCD_A (m^3)	X1 Área (m^2)	X2 Pavimentos (un)	X4 Pavimentos/ Blocos	X9 Área/Cronograma (m^2/mês)	X10 Reuso (m^3)	X14 Organização do canteiro	X15 Segregação do RCD	X19 Tamanho equipe	X20 Armazenamento dos materiais
1	29,00	4388,41	11	11	199,47	1,00	2	2	1	1
2	50,00	3740,14	14	3,5	196,85	10,00	2	2	1	1
3	95,00	3512,32	8	8	270,18	0,00	1	1	1	1
4	123,41	2945,93	9	9	122,75	123,41	2	1	1	1
5	157,50	5592,06	12	6	243,13	59,60	1	2	2	2
6	160,00	4069,14	5	5	169,55	160,00	1	2	1	1
7	172,00	16503,75	56	4	825,19	130,00	1	2	1	1
8	181,50	12382,06	16	16	515,92	0,00	1	1	1	1
9	225,00	9620,65	17	17	213,79	0,00	1	2	1	1
10	228,00	7582,01	10	10	280,82	40,00	2	1	1	1
11	277,75	9793,15	11	5,5	337,69	0,00	2	1	2	1
12	316,80	10976,81	36	4	498,95	83,20	1	2	1	1
13	328,00	7353,96	32	4	490,26	0,00	1	1	1	1
14	386,00	2808,39	7	7	87,76	0,00	2	2	1	1
15	390,60	24773,35	112	4	1376,30	0,00	1	1	1	1
16	433,55	4620,60	8	8	243,19	0,00	1	2	1	1
17	533,00	33879,77	27	27	705,83	30,00	1	1	1	1
18	550,00	14031,48	15	15	318,90	0,00	1	2	1	1
19	600,00	6157,05	11	11	139,93	15,00	2	2	1	1
20	634,20	7485,78	9	9	187,14	0,00	2	2	1	1
21	639,00	5933,76	10	10	329,65	0,00	1	2	1	1
22	712,40	22588,81	26	13	806,74	0,00	1	2	1	1
23	712,52	13653,99	21	21	341,35	0,00	1	2	1	1
24	735,00	7419,23	20	10	168,62	20,00	2	2	1	1
25	795,00	3950,78	9	9	98,77	0,00	2	2	1	1
26	1018,85	34593,05	23	11,5	864,83	0,00	1	2	1	1
27	2035,00	48331,48	51	25,5	986,36	80,00	1	1	1	1
28	2257,50	16890,75	10	5	383,88	0,00	1	2	1	1
29	2280,42	10594,50	13	13	407,48	0,00	1	2	1	1
30	3339,87	73753,76	42	14	2107,25	0,00	1	2	1	1

FONTE: A autora (2018).

A variável segregação do RCD (X15) para a maioria dos dados foi realizada por classe e em nove empreendimentos por subclasse. No entanto, essa diferença não demonstrou influência significativa na geração de RCD.

A realização da segregação por classe ou subclasse exige treinamento da mão de obra. Ainda que o canteiro possua baias de separação com indicação, se os funcionários não entendem o porquê da separação, a tendência é que não ocorra a preocupação com a geração do RCD no canteiro e/ou segregação dos resíduos. Nenhum canteiro relatou não separar o RCD.

Dos trinta dados levantados, vinte responderam que o canteiro possuía condição ótima de organização (X14) e os demais avaliaram a organização como regular, justificando que é muito difícil ter espaço suficiente para se manter a organização durante a execução de obra. O exemplo que merece destaque quanto à organização foi de empreendimento que teve que realizar o deslocamento de maquinários e materiais, construir escritório, depósito e demais áreas de descanso da mão de obra somente nos cinco metros de recuo frontal do terreno.

O relato citado remete ao quanto o tamanho do terreno pode influenciar na questão de organização, deslocamento dos materiais e estoque destes, consequentemente, na geração de RCD classe A. Nenhum canteiro relatou apresentar organização ruim.

Na pergunta relacionada à estocagem dos insumos virgens (X20), apenas um empreendimento relatou manter os materiais em locais descobertos. Aparentemente, as respostas tendem a alegar canteiros de obras com situações ideais.

A variável tamanho da equipe (X19) teve apenas duas respostas informando que o número de funcionários era abaixo do necessário para o porte da obra. Uma delas explicou que devido à crise econômica atual, não foi possível contratar o número ideal de funcionários. Contudo, devido à redução no número de funcionários, foi possível escolher a mão de obra mais qualificada.

A variável reuso do RCD (X10) não apresentou alta significância com a variável dependente, sendo que 60% dos dados não reutilizaram o resíduo e talvez, por esse motivo, a significância obtida foi baixa.

5.3.2 Análise das Variáveis Independentes

Os gráficos de resíduos parciais ou diagramas de dispersão dos resíduos representam o efeito que a variável independente exerce sobre a dependente.

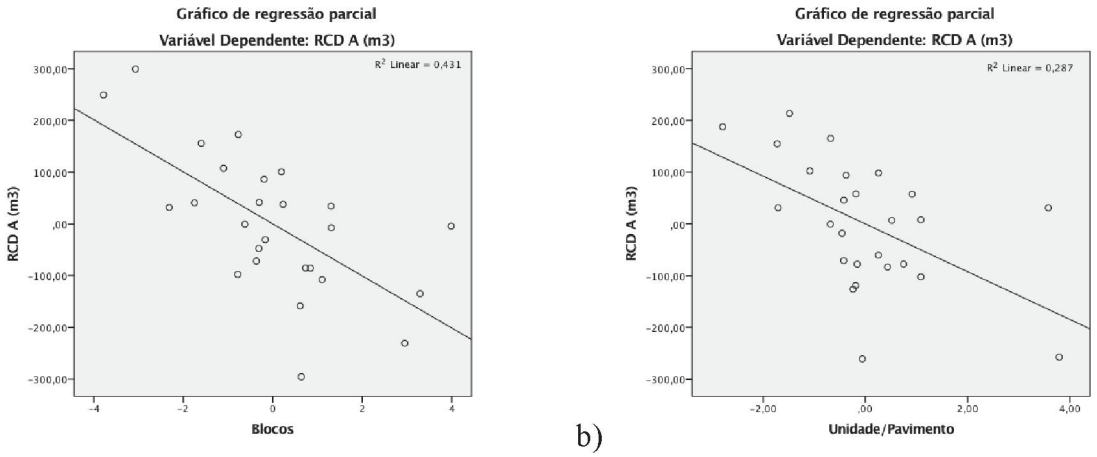
As definições de curva de aprendizado e economia de escala podem ser uma possível explicação para as variáveis blocos (X3) e unidade/pavimento (X7) apresentarem relação

negativa quanto à geração de resíduos, ou seja, quanto maior o número de blocos ou unidades/pavimentos no empreendimento, menor a geração de RCD classe A.

Economia de escala faz referência à evolução na habilidade de executar certa atividade a baixo custo por ela ser realizada em larga escala por determinado período. Por sua vez, a curva de aprendizado atribui a redução do custo à experiência acumulada, independentemente da atividade (BESANKO et al., 2013).

A repetição dos pavimentos ou dos blocos tende a treinar a mão de obra, fazendo com que ocorra a redução de geração de RCC ao longo do cronograma da obra. As Figuras 14 (a) e 14 (b) demonstram a tendência decrescente no acúmulo de resíduos quanto maior for o número de blocos ou unidades/pavimentos.

FIGURA 14 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS APRESENTANDO RELAÇÃO DECRESCENTE



a) b)

FONTE: A autora (2018).

As variáveis área/unidade (X6), unidades (X5) e cronograma (X8) apresentaram relação fortemente positiva, ou seja, quanto maior a área da unidade, o número de unidades no empreendimento e o prazo de execução da obra, denominada de cronograma, a tendência é de que a geração de RCD no empreendimento seja crescente.

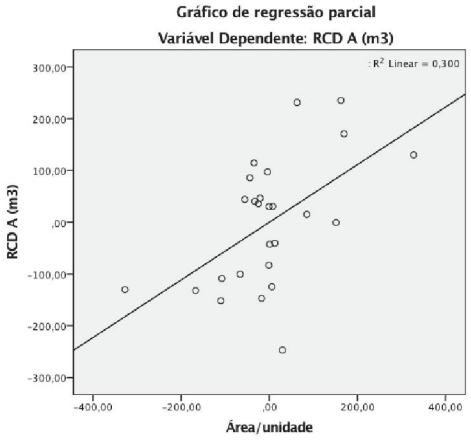
A área por unidade e o cronograma apresentam crescimento positivo, pois quanto mais longo o prazo de execução e a área executada, a tendência é de que os resíduos sejam gerados proporcionalmente. A exceção pode ocorrer quando ações pontuais são aplicadas no canteiro de obras. Todavia, no banco de dados desse estudo, essa proporção aparenta relação crescente.

O número de unidades no empreendimento estar apresentando crescimento positivo pode ser explicada pela exigência de execução de mais paredes divisórias nas delimitações de

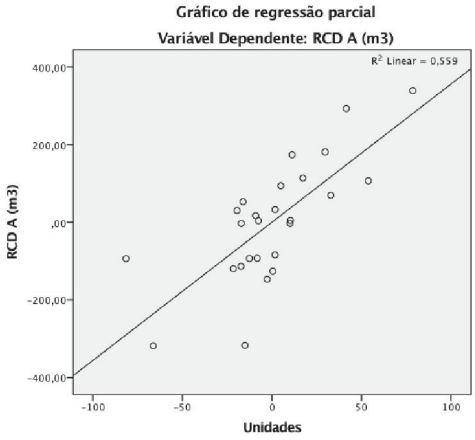
cada unidade. De acordo com as informações obtidas no levantamento do banco de dados, todos os dados amostrais executaram alvenaria estrutural ou convencional no fechamento das paredes.

As Figuras 15 (a), 15 (b) e 15 (c) demonstram a tendência crescente no acúmulo de resíduos quanto maior for o número de unidades, meses de cronograma de execução ou área por unidade construída no empreendimento.

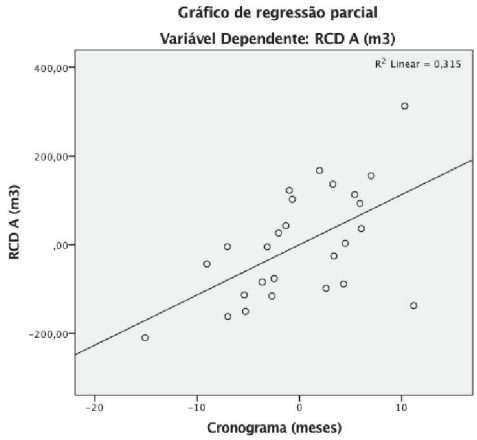
FIGURA 15 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS APRESENTANDO RELAÇÃO CRESCENTE



a)



b)



c)

FONTE: A autora (2018).

O sistema construtivo (X16) foi classificado em alvenaria estrutural (1) e alvenaria convencional (2). A publicidade da alvenaria estrutural numera como um dos seus pontos positivos a menor geração de RCC quando comparada à alvenaria convencional. Contudo, a disperção dos resíduos apresentou resultado oposto.

Talvez a explicação para esse decréscimo seja que dos onze dados que utilizaram alvenaria estrutural, oito são empreendimentos de uso residencial, o que representaria aumento

de execução de parede e divisórias e área linear executada, possivelmente gerando aumento no volume de RCC gerado.

A variável padrão construtivo (X12) apresentou relação fortemente negativa, demonstrando que quanto mais alto o padrão do empreendimento, mais resíduo classe A é gerado no canteiro. Uma hipótese para essa característica pode ser a baixa preocupação com o custo dos insumos instalados no edifício, uma vez que o empreendimento está considerando o investimento alto para a execução do serviço, ou, pela maior diversidade de materiais no canteiro de obras.

A classificação da variável X12 seguiu a classificação padrão luxo ou alto (1), padrão normal ou médio (2) e padrão baixo ou popular (3).

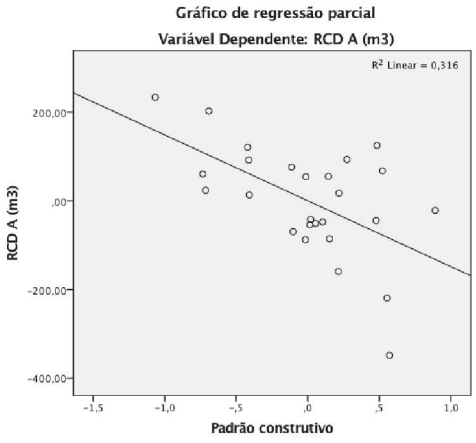
A variável fiscalização (X13) apresentou forte relação negativa. Quando a fiscalização ocorreu de forma permanente (1), o empreendimento gerou mais resíduos do que quando a fiscalização ocorreu esporadicamente (2). A opção de que não havia fiscalização no canteiro (3) não obteve resposta.

O fato da fiscalização estar sendo realizada constantemente pode representar maior controle e consequentemente os dados de geração de resíduos podem apresentar volume maior do que os canteiros que não estão sendo ativamente fiscalizados.

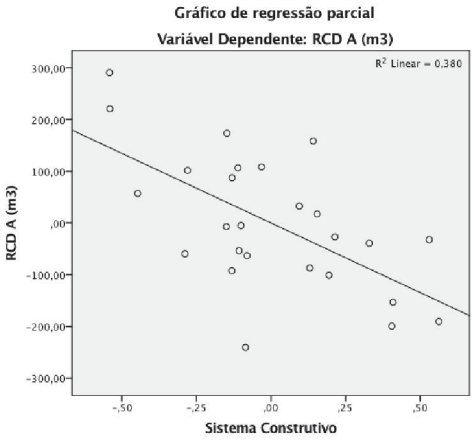
A fiscalização é apenas a ferramenta para verificar se a mão de obra está executando a tarefa corretamente. As ações que são tomadas após a fiscalização verificar problemas na execução é que podem gerar melhora na redução de volume de RCD acumulado.

As Figuras 16 (a), 16 (b) e 16 (c) demonstram a tendência decrescente no acúmulo de resíduos quanto mais alto for o padrão construtivo ao utilizar alvenaria estrutural em vez de alvenaria convencional e quando a fiscalização é permanente.

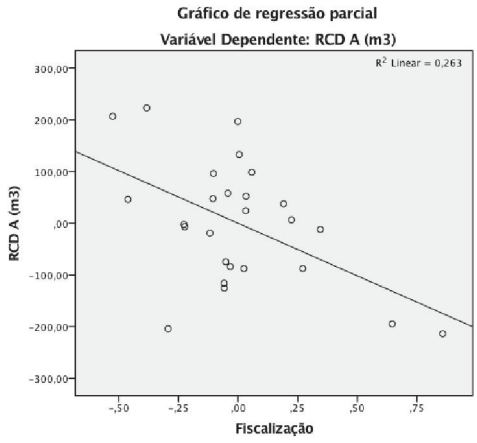
FIGURA 16 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUALITATIVAS APRESENTANDO RELAÇÃO DECRESCENTE



a)



b)



c)

FONTE: A autora (2018).

A opção pela variável uso do empreendimento (X11) ocorreu pela dificuldade de as empresas fornecerem os dados de metro linear de paredes executadas de cada empreendimento. Assim, foi optado por utilizar uma variável não métrica, mas que pudesse comparar, teoricamente, empreendimentos com metro linear de parede maior que outros.

A variável uso do empreendimento foi classificada de acordo com a finalidade, ou seja, comercial (1), residencial e comercial (2) e residencial (3). A distribuição apresentou uma característica crescente. Os imóveis residenciais tendem a ter mais paredes divisórias, consequentemente, uma tendência a gerar mais RCC.

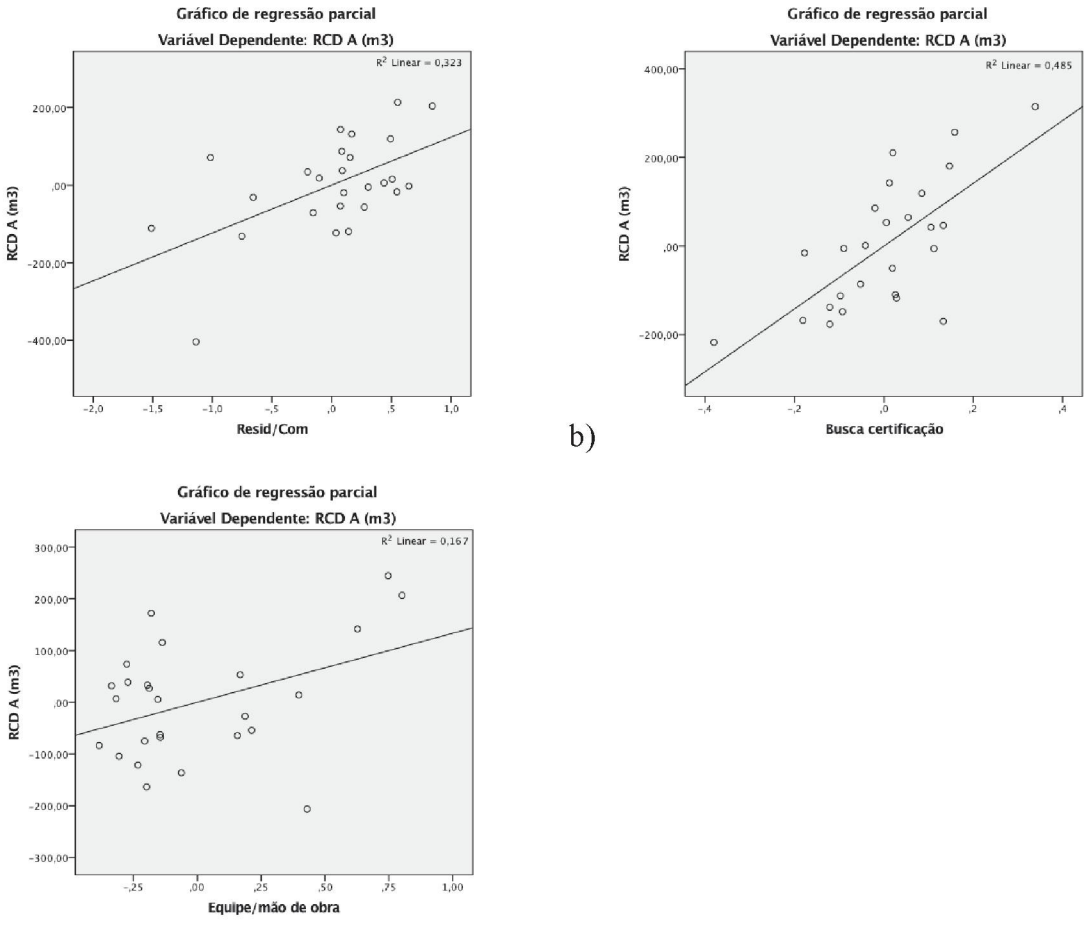
A variável certificação verde é do tipo dicotômica, não métrica, a qual compreendia duas possibilidades de classificação, a busca por certificação (1) e empreendimentos que não a objetivavam (2). A distribuição demonstra que os empreendimentos que objetivaram alguma certificação verde geraram menos RCD no canteiro.

A variável "equipe/mão de obra" apresentou crescimento crescente. Se a equipe era treinada e experiente (1), a geração de RCD foi menor do que quando a equipe não passava por treinamento ou não possuía experiência (2). Essa variável é do tipo dicotômica (sim e não), com apenas duas opções de resposta, não métrica.

Esse resultado pode significar que, a opção por funcionários experientes e/ou o treinamento aplicado à mão de obra estão apresentando os resultados esperados quanto à geração de resíduos dentro do canteiro de obras.

As Figuras 17 (a), 17 (b) e 17 (c) demonstram a tendência crescente no acúmulo de resíduos quando a mão de obra for treinada e/ou experiente, o empreendimento possuir a finalidade de uso residencial e quando o empreendimento não busca obter certificação verde.

FIGURA 17 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUALITATIVAS APRESENTANDO RELAÇÃO CRESCENTE



FONTE: A autora (2018).

O Quadro 13 apresenta um resumo das variáveis efetivamente utilizadas no modelo de regressão com as respectivas tendências.

QUADRO 13 - RESUMO DAS TENDÊNCIAS APRESENTADAS PELAS VARIÁVEIS EFEITVAMENTE UTILIZADAS NO MODELO DE REGRESSÃO

Característica	Variável	Tendência
Quanto maior	Nº de blocos no empreendimento (X3)	Menor a geração de RCD
Quanto maior	Nº de unidade no empreendimento (X5)	Maior a geração de RCD
Quanto maior	Área/Unidade no empreendimento (X6)	Maior a geração de RCD
Quanto maior	Unidades/Pavimentos no empreendimento (X7)	Menor a geração de RCD
Quanto mais	Longo cronograma da obra, em meses (X8)	Maior a geração de RCD
Quanto mais	Residencial for o empreendimento (X11)	Maior a geração de RCD
Quanto mais	Alto for o padrão construtivo do empreendimento (X12)	Maior a geração de RCD
Quanto maior	A fiscalização no canteiro de obras (X13)	Maior a geração de RCD
Quanto mais	Convencional for o sistema construtivo (X16)	Menor a geração de RCD
Quanto mais	Treinada for a equipe de mão de obra (X18)	Menor a geração de RCD
Quanto mais	A construtora buscar certificações verdes e/ou qualidade (X20)	Menor a geração de RCD

FONTE: A autora (2018).

5.4 DESENVOLVIMENTO DA EQUAÇÃO DE REGRESSÃO PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM OBRAS EMPREENDIMENTOS RESIDENCIAIS OU COMERCIAIS NO MUNICÍPIO DE CURITIBA

5.4.1 Modelo de Estimativa de Geração de RCC Classe A em Empreendimentos Construídos em Curitiba

Após as verificações de normalidade, ausência de *outliers*, coeficiente de determinação variância, colinearidade, significância, *Durbin-Watson*, correlações e resíduos foram obtidos os coeficientes do modelo que apresentou a melhor adequação às exigências da regressão multivariada.

Após o tratamento de dados por regressão linear multivariada, foi obtida a equação de regressão, a qual é apresentada pela Equação 7.

$$\begin{aligned} RCD\ A = &- 600{,}697 + (-45{,}963 \cdot X3) + 3{,}352 \cdot X5 + 0{,}564 \cdot X6 + \\ &(-41{,}741 \cdot X7) + 12{,}655 \cdot X8 + 126{,}934 \cdot X11 + (-159{,}505 \cdot X12) + \\ &(-226{,}445 \cdot X13) + (-270{,}283 \cdot X16) + 711{,}483 \cdot X17 + 103{,}032 \cdot X18 \end{aligned} \quad (7),$$

Em que:

"RCD A" é o volume estimado de resíduos a ser gerado em uma obra;

"X3" é o total de blocos construídos, em unidades;

"X5" é o total de unidades construídas, em unidades;

"X6" é a área construída total por unidade, em m^2;

"X7" é o total de unidades por pavimento;

"X8" é cronograma de execução, em meses;

"X11" é o uso do empreendimento, onde 1 é uso comercial, 2 é uso comercial e residencial (misto) e 3 é uso residencial;

"X12" é o padrão construtivo do empreendimento, onde 1 é padrão alto ou luxo, 2 é padrão normal ou médio e 3 é padrão popular ou baixo;

"X13" é a ocorrência de fiscalização no canteiro de obras, onde 1 é permanente, 2 é esporádica e 3 é quando não ocorre fiscalização;

"X16" é referente ao sistema construtivo do empreendimento, onde 1 é alvenaria estrutural e 2 é alvenaria convencional;

"X17" é referente a busca de certificação verde para o empreendimento, onde 1 é quando o empreendimento busca certificar e 2 é quando não há interesse na certificação;

"X18" é referente a equipe de mão de obra, onde 1 é treinada e experiente e 2 é sem treinamento e inexperiente.

O modelo foi utilizado para estimar a geração de RCD classe A dos dados amostrais efetivamente utilizados no modelo de regressão. A Tabela 10 apresenta os resultados calculados com a Equação 7.

TABELA 10 – GERAÇÃO DE RCD FORNECIDA E CALCULADA COM MODELO DE REGRESSÃO

Dado	Real	Estimado	Erro
1	29,00	68,06	**-135%**
2	50,00	187,15	**-274%**
3	95,00	177,42	**-87%**
4	123,41	213,84	**-73%**
5	157,50	47,14	**70%**
6	160,00	203,01	-27%
7	172,00	299,83	**-74%**
8	185,00	236,90	-28%
9	225,00	488,57	**-117%**
10	228,00	178,59	22%
11	277,75	341,05	-23%
12	316,80	290,60	8%
13	328,00	194,36	**41%**
14	386,00	434,53	-13%
15	390,60	360,09	8%
16	433,55	358,49	17%
17	533,00	480,94	10%
18	550,00	353,76	36%
19	600,00	632,07	-5%
20	634,20	576,06	9%
21	639,00	494,08	23%
22	712,40	653,61	8%
23	712,52	759,98	-7%
24	735,00	658,44	10%
25	795,00	695,38	13%
26	1018,85	1104,03	-8%

FONTE: A autora (2018).

O modelo de regressão obtido apresentou sete dados amostrais com diferença menor que 10% entre os valores calculados e fornecidos pelas empresas, enquanto doze dados apresentaram diferença menor que 17% e dezoito dados apresentaram diferença menor que 36%, ou seja, 70% dos elementos.

Ao observar os dados da Tabela 11, pode-se notar os dados em negrito, que são os que apresentaram variância maiores entre os valores reais e os calculados. Desses dados, os valores calculados foram maiores que os reais, com exceção do dado 5.

Os coeficientes que colaboraram para que o valor final seja menor que o real são: blocos (X3), unidade/pavimento (X7), padrão construtivo (X12), fiscalização (X13) e sistema construtivo (X16). As características do dado 5 para essas variáveis tendem a intensificar a

redução no valor final obtido com a equação de regressão, pois os dados das variáveis X3, X7, X12 e X16 estão entre os mais altos do banco.

As variáveis efetivas do modelo possuem significância alta, assim, sugere-se que o conjunto de variáveis influenciou na discrepância entre os valores reais e calculado. Contudo, a variável busca certificação verde (X17) deve ter sido a que mais influenciou nos valores calculados muito acima dos reais, considerando que possuem o maior coeficiente e com tendência a aumentar o valor calculado.

Dos dados com variância acima do esperado, todos não buscam certificação verde. A variável certificação verde é a que provoca a maior diferença nos valores finais quando analisados os coeficientes, pois a característica de buscar (1) ou não o certificado (2) é multiplicado pelo coeficiente de maior valor (711,483). Esse contexto colabora para que os valores calculados estejam acima dos valores esperados, de alguns empreendimentos.

TABELA 11 – COMPARATIVO ENTRE OS DADOS QUE APRESENTARAM MAIOR VARIÂNCIA ENTRE OS VALORES CALCULADOS E OS REAIS

	Variável	X3	X5	X6	X7	X8	X11	X12	X13	X16	X17	X18
Dado	RCD A (m3)	Blocos	Unidades	Área/unidade	Unidade/Pavimento	Cronograma (meses)	Resid/Com	Padrão construtivo	Fiscalização	Sistema Construtivo	Busca certificação	Equipe/mão de obra
1	**29,00**	**1**	**31**	**141,56**	**2,82**	**22**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**
2	**50,00**	**4**	**64**	**58,44**	**4,57**	**19**	**3**	**3**	**1**	**1**	**2**	**1**
3	**95,00**	**1**	**96**	**36,59**	**12,00**	**13**	**3**	**2**	**1**	**1**	**2**	**1**
4	**123,41**	**1**	**36**	**81,83**	**4,00**	**24**	**3**	**2**	**1**	**2**	**2**	**1**
5	**157,50**	**2**	**62**	**90,19**	**5,17**	**23**	**3**	**3**	**1**	**2**	**2**	**1**
6	160,00	1	22	184,96	4,40	24	3	2	1	2	2	1
7	**172,00**	**14**	**224**	**73,68**	**4,00**	**20**	**3**	**3**	**1**	**1**	**2**	**1**
8	185,00	1	16	967,35	1,00	24	1	1	1	1	1	1
9	**225,00**	**1**	**105**	**91,63**	**6,18**	**45**	**1**	**2**	**1**	**2**	**2**	**2**
10	228,00	1	46	164,83	4,60	27	2	2	1	2	2	1
11	277,75	2	64	153,02	5,82	29	3	2	2	1	2	1
12	316,80	9	144	76,23	4,00	22	3	3	1	1	2	1
13	**328,00**	**8**	**128**	**57,45**	**4,00**	**15**	**3**	**3**	**1**	**1**	**2**	**1**
14	386,00	1	28	100,30	4,00	32	3	1	1	2	2	1
15	390,60	28	448	55,30	4,00	18	3	3	1	1	2	1
16	433,55	1	30	154,02	3,75	19	1	1	1	1	2	1
17	533,00	1	240	141,17	8,89	48	1	1	1	1	1	1
18	550,00	1	244	57,51	16,27	44	1	2	1	2	2	1
19	600,00	1	14	439,79	1,27	44	3	1	2	2	2	1
20	634,20	1	30	249,53	3,33	40	3	1	2	2	2	2
21	639,00	1	29	204,61	2,90	18	3	3	1	1	2	2
22	712,40	2	288	78,43	11,08	28	2	2	1	2	2	1
23	712,52	1	64	213,34	3,05	40	3	1	1	2	2	1
24	735,00	2	14	529,95	0,70	44	3	1	2	2	2	1
25	795,00	1	35	112,88	3,89	40	3	1	1	2	2	2
26	1018,85	2	539	64,18	23,43	40	2	2	1	2	2	1

FONTE: A autora (2018).

A dificuldade de adaptação do modelo de regressão para os empreendimentos que mediram baixo volume de geração de RCD classe A é notável. A partir do dado 10 percebe-se a melhora na proximidade dos dados calculados para os reais.

Importante ressaltar que o modelo testado explica 84,9% da geração de RCD classe A, nos canteiros de obras em Curitiba. Assim, dentro dos aproximadamente 15% restante podem estar influências determinantes para a variação apresentada entre os valores calculados e reais.

Mesmo com o modelo de regressão apresentando resultados abaixo do esperado, pode-se considerar a metodologia denominada modelo com variáveis para estimar a geração de RCC classe A de empreendimentos em fase de projeto e pode ser utilizada como ferramenta para desenvolvimento do PGRCC.

Provavelmente, ao reduzir o número de variáveis, o que quer dizer que o banco de dados seria elaborado a partir de características em comum, a tendência é obter equações de regressão mais precisas. Além disso, a regressão multivariada é uma técnica que permite analisar diversos fatores influentes e que muitas vezes não são perceptíveis.

Não foram obtidos mais dados amostrais completos, além dos utilizados na análise multivariada. Contudo, foram levantados mais cinco elementos incompletos, ou seja, sem os dados de duas variáveis significativas no modelo de regressão descrito na Equação 7. Assim, as variáveis Fiscalização (X13) e Treinamento e experiência da mão de obra (X18) foram excluídas desse modelo e foram realizados os testes de regressão novamente, a fim de testar a nova equação com dados extras.

5.4.2 Modelo de Estimativa de Geração de RCC Classe A em Empreendimentos Construídos em Curitiba para validação com dados extras

Após a exclusão das variáveis X13 e X18 (modelo 5), as variáveis área/unidade (X6), cronograma (X8), uso do empreendimento (X11) e sistema construtivo (X16) apresentaram as menores significância para a variável dependente e foram retiradas do modelo. Nenhuma variável apresentou situação de multicolinearidade após as exclusões.

A Tabela 12 apresenta as significâncias das variáveis deletadas, destacadas em negrito, e as finais, obtidas no modelo 7. Os passos realizados no item anterior foram mantidos na tabela.

TABELA 12 – SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS DO MODELO PARA VALIDAÇÃO COM DADOS EXTRAS

	Significância						
	Modelo 1	Modelo2	Modelo3	Modelo4	Modelo5	Modelo 6	Modelo 7
Constante	0,561	0,446	0,181	0,019	0,024	0,687	0,857
X1	**0,904**						
X2	**0,909**						
X3	0,579	0,037	0,017	0,006	0,006	0,006	0,089
X4	0,607	0,415	**0,802**				
X5	0,707	0,405	0,004	0,001	0,001	0,001	0,002
X6	0,636	0,575	0,094	0,025	0,028	**0,271**	
X7	0,545	0,294	0,059	0,031	0,033	0,025	0,084
X8	0,329	0,087	0,048	0,024	0,024	**0,165**	
X9	0,799	**0,478**					
X10	0,558	0,453	**0,502**				
X11	0,204	0,106	0,048	0,026	0,022	**0,165**	
X12	0,258	0,172	0,077	0,018	0,024	**0,126**	
X13	0,473	0,384	0,147	0,04	**0,042**		
X14	0,732	**0,688**					
X15	0,711	**0,659**					
X16	0,377	0,196	0,045	0,009	0,011	0,009	0,000
X17	0,257	0,136	0,029	0,002	0,003	0,024	0,004
X18	0,526	0,447	0,297	0,09	**0,116**		
X19	0,461	0,368	**0,532**				
X20	0,530	0,418	0,370	**0,341**			

FONTE: A autora (2018).

Após a exclusão das variáveis com baixa significância destacadas no modelo 6, o dado 21 apresentou condição de resíduo (regressão linear) atípico dos demais, conforme apresentado na Tabela 13.

TABELA 13 – DADO EXCLUÍDO POR INDICAÇÃO DE RESÍDUO ATÍPICO

Número do caso	Resíduo Padrão	RCD A (m3)	Valor predito	Resíduo
21	2,352	639	212,84	426,16

FONTE: A autora (2018).

A Tabela 14 apresenta as informações dos dados amostrais referente às variáveis que foram efetivamente mantidas no modelo, com destaque para o dado 21.

A variável padrão construtivo (X16) pode ter influenciado na característica atípica detectada pelos resíduos (regressão linear), considerando que sua significância representa valor

menor que 0,001, o que retrata que a variável X16 é provisor significativo na geração de RCD classe A (FIELD, 2009).

De acordo com os coeficientes de correlação de Pearson, a variável X16 é a que apresenta a maior correlação com a variável dependente (0,407), correspondendo ao efeito forte (HAIR et al., 2009).

Ao observar os dados da Tabela 13, nota-se que entre os que apresentaram as maiores taxas de resíduo classe A gerado, o item 21 é o único que indicou padrão construtivo baixo ou popular (3). Esse aspecto pode ter influenciado a característica de dado atípico quanto aos resíduos.

TABELA 14 – COMPARATIVO ENTRE O DADO 21 E OS DEMAIS DADOS

ID	RCD A (m3)	Blocos	Unidades	Unidade/Pavimento	Padrão construtivo	Busca certificação
1	29,00	1	31	2,82	2	2
2	50,00	4	64	4,57	3	2
3	95,00	1	96	12,00	2	2
4	123,41	1	36	4,00	2	2
5	157,50	2	62	5,17	3	2
6	160,00	1	22	4,40	2	2
7	172,00	14	224	4,00	3	2
8	185,00	1	16	1,00	1	1
9	225,00	1	105	6,18	2	2
10	228,00	1	46	4,60	2	2
11	277,75	2	64	5,82	2	2
12	316,80	9	144	4,00	3	2
13	328,00	8	128	4,00	3	2
14	386,00	1	28	4,00	1	2
15	390,60	28	448	4,00	3	2
16	433,55	1	30	3,75	1	2
17	533,00	1	240	8,89	1	1
18	550,00	1	244	16,27	2	2
19	600,00	1	14	1,27	1	2
20	634,20	1	30	3,33	1	2
21	**639,00**	**1**	**29**	**2,90**	**3**	**2**
22	712,40	2	288	11,08	2	2
23	712,52	1	64	3,05	1	2
24	735,00	2	14	0,70	1	2
25	795,00	1	35	3,89	1	2
26	1018,85	2	539	23,43	2	2

FONTE: A autora (2018).

Na sequência, a normalidade foi verificada novamente e os resultados obtidos são os indicados na Tabela 15, os quais sugerem semelhança com a curva normal. Também não foram indicados *outliers* no gráfico de caixa (FIELD, 2009).

TABELA 15 – TESTES PARA VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DA AMOSTRA APÓS A EXCLUSÃO DO DADO 21

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estatística	Graus de liberdade	Significância	Estatística	Graus de liberdade	Significância
Y	0,133	25	0,200	0,941	25	0,159

FONTE: A autora (2018).

Os resultados referentes ao coeficiente de determinação Durbin-Watson e variância são os apresentados na Tabela 16, nos modelos 6, 7 e 8, destacados em negrito.

TABELA 16 – RESUMO DO MODELO DE REGRESSÃO E ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA VALIDAÇÃO COM DADOS EXTRAS

Variáveis excluídas	Modelo	R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão de estimativa	Sig. Mudança F	Durbin-Watson	Variância	
								F	Sig
-	1	0,943	0,889	0,443	198,665	0,228	1,895	1,994	0,228
X1 e X2	2	0,942	0,888	0,600	168,310	0,067	1,917	3,085	0,067
X9, X14 e X15	3	0,933	0,871	0,677	151,315	0,011	1,781	4,491	0,011
X4, X10 e X19	4	0,927	0,860	0,730	138,250	0,001	1,783	6,640	0,001
X20	5	0,922	0,849	0,731	138,134	0,000	1,736	7,166	,000b
X13 e X18	**6**	**0,897**	**0,805**	**0,707**	**144,575**	**0,000**	**1,682**	**8,248**	**0,000**
X6, X8, X11 e X12	**7**	**0,793**	**0,629**	**0,537**	**181,207**	**0,001**	**1,301**	**6,789**	**0,001**
Dado 21	**8**	**0,872**	**0,761**	**0,698**	**146,920**	**0,000**	**1,371**	**12,077**	**0,000**

FONTE: A autora (2018).

Apesar do R^2 apresentar valor abaixo do que o apresentado no modelo 6, foi optado por testar os coeficientes obtidos com o modelo 8 devido a todas as variáveis independentes demonstrarem ser previsores significativos na geração de RCD classe A (FIELD, 2009).

Após o tratamento de dados por regressão linear multivariada, foi obtida a equação de regressão, a qual é apresentada na Equação 8.

$$RCD\ A = 40{,}238 + (-26{,}495 \cdot X3) + 2{,}817 \cdot X5 + (-34{,}869 \cdot X7) + (-248{,}092 \cdot X12) + 405{,}149 \cdot X17 \quad (8),$$

Em que:

"RCD A" é o volume estimado de resíduos a ser gerado em uma obra;

"X3" é o total de blocos construídos, em unidades;

"X5" é o total de unidades construídas, em unidades;

"X7" é o total de unidades por pavimento;

"X12" é o padrão construtivo do empreendimento, onde 1 é padrão alto ou luxo, 2 é padrão normal ou médio e 3 é padrão popular ou baixo;

"X17" é referente à busca de certificação verde para o empreendimento, onde 1 é quando o empreendimento busca certificar e 2 é quando não há interesse na certificação.

O modelo foi utilizado para estimar a geração de RCD classe A dos dados amostrais dos cinco dados extras levantados e descritos na Tabela 17.

TABELA 17 – DADOS LEVANTADOS PARA VALIDAÇÃO EXTRA

ID	RCD A (m3)	Blocos	Unidades	Unidade/Pavimento	Padrão construtivo	Busca certificação
1	32,50	4	64	4,00	3	2
2	39,75	2	60	7,50	3	2
3	151,66	1	123	17,57	2	2
4	273,20	1	42	5,25	2	2
5	846,00	1	174	11,60	2	2

FONTE: A autora (2018).

A Tabela 18 apresenta os resultados calculados com os dados da Tabela 17, na Equação 8, os valores reais e o erro relativo.

TABELA 18 – VALORES REAIS, CALCULADOS E ERRO RELATIVO

Dado	Real	Estimado	Erro
1	32,50	41,09	-26%
2	39,75	39,23	1%
3	**151,66**	**64,14**	**58%**
4	273,20	263,11	4%
5	**846,00**	**413,53**	**51%**

FONTE: A autora (2018).

Os dados 3 e 5 apresentaram variância acima de 50% e os valores calculados abaixo dos reais. Provavelmente, a variável unidade/pavimento (X7) pode ser a maior responsável pelas diferenças apresentadas entre os valores reais e calculados.

O coeficiente de correlação de Pearson da variável apresenta valor –0,374, que representa influência média à grande sobre a variável dependente.

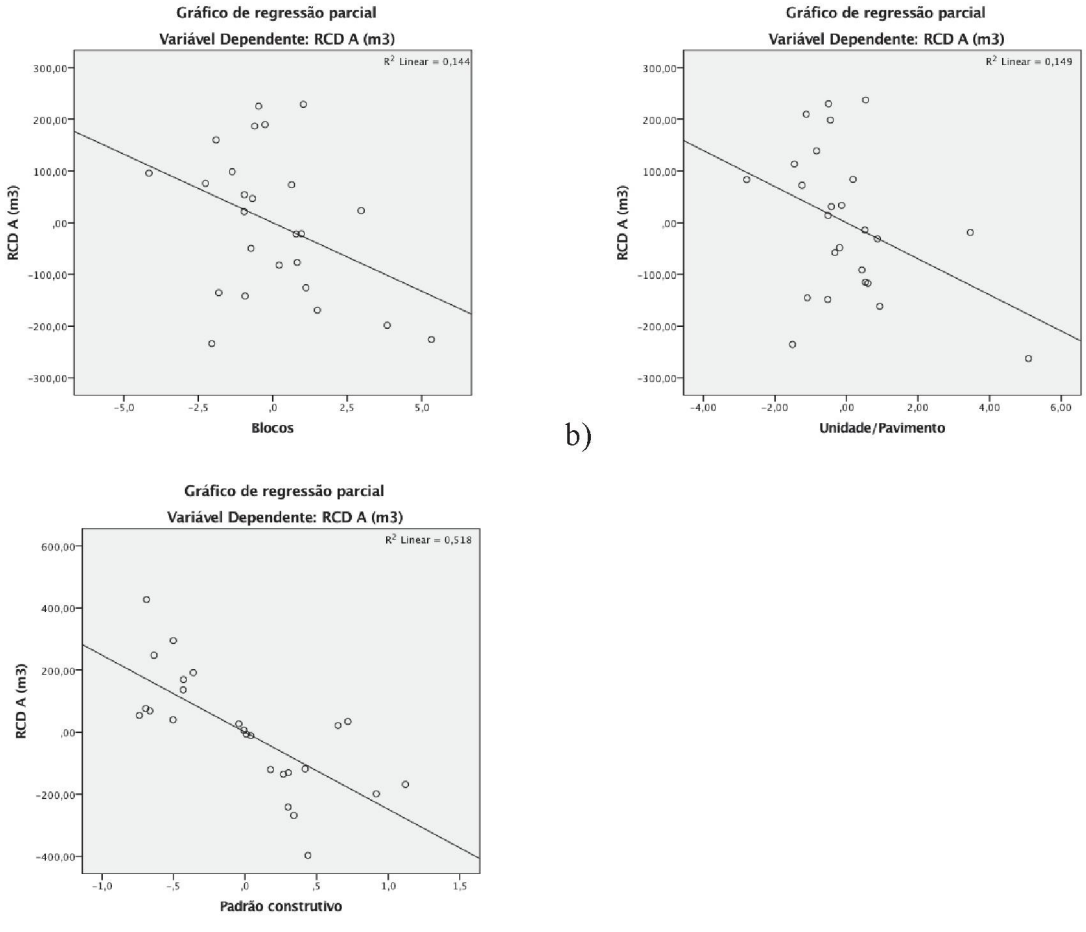
Os coeficientes da equação também auxiliam na análise dos possíveis pontos que causaram as diferenças maiores. Nota-se que o coeficiente da variável X7 é negativo e que

quando multiplicado pelos valores dos dados 3 e 5, que são os maiores entre os cinco dados amostrais, representa significativo decréscimo na geração de RCD classe A.

O dado 1 foi o único a apresentar o dado calculado acima do real. Nesse caso, além da variável X7 não representar decréscimo tão significativo quanto aos dados 3 e 5, ela também possui o menor valor para o dado 1.

A Figura 18 (a), 18 (b) e 18 (c) mostram as variáveis blocos (X3), X7 e padrão construtivo (X12), respectivamente, com a característica de crescimento negativo, ou seja, quanto maior o número de blocos no empreendimento, mais alto o padrão construtivo e maior o número de unidade por pavimento, menor a geração de RCD.

FIGURA 18 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES APRESENTANDO RELAÇÃO DECRESCENTE PARA O TESTE COM DADOS EXTRAS



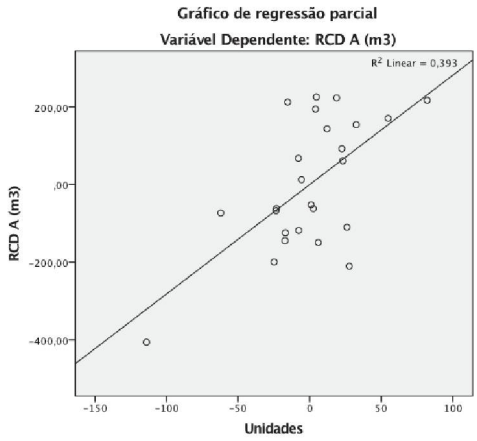
FONTE: A autora (2018).

Já as Figuras 19 (a) e 19 (b) representam o crescimento positivo das variáveis unidades (X5) e busca de certificação verde para o empreendimento (X17).

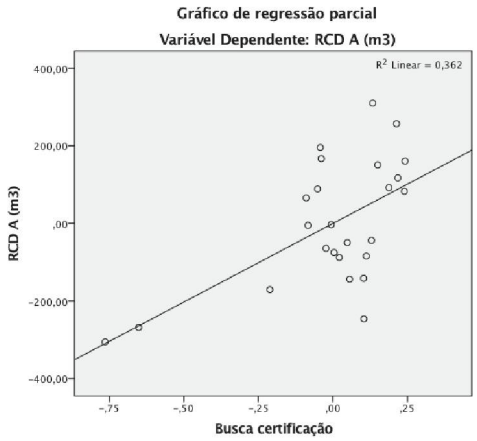
A análise dos gráficos de regressão parcial demonstra que os crescimentos de cada variável independente não mudou com a exclusão do dado 21 ou das outras variáveis.

FIGURA 19 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES APRESENTANDO RELAÇÃO CRESCENTE PARA O TESTE COM DADOS EXTRAS

a)



b)



FONTE: A autora (2018).

Mesmo com os erros, a regressão multivariada pode ser considerada ferramenta de auxílio para analisar os fatores que influenciam significativamente a geração de RCD classe A, no canteiro de obras de empreendimentos em Curitiba.

A equação de regressão pode ser utilizada como ferramenta de estimativa de valores. Contudo, a sugestão é que o número de variáveis seja reduzido e que para algumas características distintas, sejam elaborados banco de dados específicos. O ideal é que cada construtora tenha a rotina de manutenção do banco de dados, para que quanto mais elementos amostrais o integre, mais específico ele possa ser.

6 CONCLUSÃO

A primeira conclusão, após a realização desse trabalho, é que existem algumas metodologias para estimar a geração de RCD e que estão publicadas na literatura. A metodologia denominada modelo com variáveis considera diversos fatores influentes e pode ser utilizada para estimar os resíduos a serem gerados, ou seja, funcionar como ferramenta de auxílio no planejamento do gerenciamento de resíduos em diversos canteiros de obras.

O principal desafio enfrentado no desenvolvimento dessa dissertação foi a elaboração do banco de dados, principalmente quando considerado que a legalização de obras municipais é condicionada à entrega de documentos com dados do gerenciamento de RCD, em vias físicas. A inexistência de banco de dados público e no formato digital pode ser vista como ponto a ser melhorado na gestão dos resíduos, no âmbito municipal.

Esse trabalho levantou trinta dados amostrais, por meio de sete empresas diferentes e atuantes na área de gerenciamento de resíduos de construção e/ou em canteiro de obras. Apesar de o número de elementos amostrais estar abaixo do ideal, foi possível analisar as variáveis independentes e o setor da construção civil, que era o objetivo principal do trabalho.

A técnica de regressão linear multivariada indicou ser boa opção de ferramenta de análise das variáveis significativas e do cenário dos canteiros de obras, do município de Curitiba. No entanto, ainda é possível melhorar a equação de regressão obtida após o tratamento dos dados, para que apresente maior precisão nos resultados de estimativa.

Dentre os principais pontos verificados na análise, os que se destacam são: a não adaptação da variável reuso do RCD no canteiro de obras, os empreendimentos com padrão construtivo alto apresentarem maior geração de resíduos que os de padrão médio e baixo, a fiscalização das obras, aparentemente, não estar sendo aplicada da melhor maneira e, por conseguinte, não obtendo o resultado esperado, uma vez que as obras com fiscalização permanente geraram volume maior de RCD do que as obras com fiscalização esporádica.

O gerenciamento de RCD, aliado ao reuso e à reciclagem do resíduo, é uma prática sustentável na indústria da construção civil, pois permite que os custos do empreendimento com reciclagem, reuso e destinação final do RCD sejam previstos; a logística do canteiro pode ser articulada para que os espaços sejam otimizados; a redução na necessidade de insumos pode ser reduzida e o RCD que não pode ser reciclado tem a correta destinação final. Por fim, a programação para o gerenciamento de RCD permite que se extraia menos do meio ambiente e que o resíduo não seja depositado em áreas inadequadas.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A sugestão para trabalhos futuros é trabalhar com maior número de dados amostrais, que eles sejam mais específicos para algumas características do empreendimento e/ou canteiro. O acompanhamento pessoalmente do andamento das obras também é indicado para que não ocorra dúvidas quanto à confiabilidade da informação repassada ou quanto a conflitos de informação devido a julgamento pessoal individual. Quando a mesma pessoa avalia todos os dados, a tendência é que o banco apresente características mais pertinentes.

Em relação às variáveis, a primeira recomendação é que a área construída seja substituída pela massa do insumo adquirido. A variável massa pode ser mais interessante que o volume, pois não apresenta taxa de empolamento ou vazios entre as peças descartadas.

O metro linear de parede executada é a variável que não foi utilizada no estudo devido à dificuldade no repasse dessa informação. No entanto, pode apresentar resultados mais precisos que a variável uso da edificação, ou ainda, podem ser mantidas as duas no modelo de regressão se apresentarem correlação forte com a dependente.

A variável área do terreno pode ser testada para verificar se apresenta significante influência sobre a variável dependente, assim como o banco de dados pode ser composto somente por empreendimentos que reutilizaram o RCD nos canteiros. Como a maior parte dos dados não reutilizou o resíduo, pode ser que isso tenha causado a baixa significância da variável no modelo. Se todos os dados apresentarem valores de reutilização, provavelmente, a variável se adequaria à equação de regressão e sua análise seria possível.

Na gestão dos resíduos nos municípios, a sugestão é o desenvolvimento de programas ou o teste de programas, se já desenvolvidos, para auxiliar os setores responsáveis pela verificação da destinação final do RCD, a fim de evitar os arquivos físicos e dados em papéis.

REFERÊNCIAS

ABRAINC. **Abrainc apresenta estudo sobre a importância socioeconômica da Incorporação Imobiliária no Brasil.** Disponível em: <http://abrainc.org.br/wp-content/uploads/2017/11/PR-Estudo-Abrainc-com-Fipe.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2017.

AGUDO, R. A. **Retirada selectiva de residuos**: modelo de presupuestación. 1. ed. Sevilla: Fundación Cultural del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla, 2002.

AJAYI, S. O.; OYEDELE, L. O.; BILAL, M.; AKINADE, O. O.; ALAKA, H. A.; OWOLABI, H. A. **Critical management practices influencing on-site waste minimization in construction projects.** Waste Management 59, p. 330-339, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016.** Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>. Acesso em: 03 out. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BAKSHAN, A.; SROUR, I.; CHEHAB, M. E-F.; KARAZIWAN, J. **Behavioral determinants towards enhancing construction waste management**: A Bayesian Network analysis. Resources, Conservation and Recycling 117, p. 174-184, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). **Relatório Pesquisa Setorial 2014/2015.** São Paulo, 2015. Disponível em: <https://abrecon.org.br/pesquisa_setorial>. Acesso em: 03 out. 2017.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO (BNDES). Classificação de porte dos clientes. Brasil, 2018. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home /financiamento/guia/quem-pode-ser-cliente/>. Acesso em: 01 abr. 2018.

BERNARDO, M.; GOMES, M. C.; BRITO, J. **Demolition waste generation for development of a regional management chain model**. Waste Management 49, p. 156-169, 2016.

BESANKO, D.; DRANOVE, D.; SHANLEY, M.; SCHAEFER, S. **Economics of Strategy**. 6.ed. Hoboken: Wiley, 2013.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 147, 03 ago.2010. Seção 1, p. 1-4. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=03/08/2010&jornal=1&pagina=3>. Acesso em: 14 set. 2017.

CAETANO, M. O.; FAGUNDES, A. B.; GOMES, L. P. Modelo de regressão linear para estimativa de geração de RCD em obras de alvenaria estrutural. **Ambiente Construído** 18/2, p. 309-324, 2018.

CAIXA. **Caderno de Orientação Técnicas – Avaliação**. Brasil: CAIXA, 2018.

CARPIO, M.; FONTANA, J. R.; TORRES, R. P.; ORDÓNES, J. Construction waste estimation depending on urban planning options in the design stage of residential buildings. **Construction and Building Materials**, 113, p. 561-570, 2016.

COCHRAN, K.; TOWNSEND, T. Estimating construction and demolition debris generation using a material flow analysis approach. **Waste Management** 30, p. 2247-2254, 2010.

COEMA. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução nº 04, de 12 de abril de 2012. Dispõe sobre a atualização dos procedimentos, critérios, parâmetros e custos aplicados aos processos de licenciamento e autorização ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **DOE nº 83**, p. 36, 03 mai. 2012.

COMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Comission Decision 2001/118/EC of 16 January 2001 amending Decision 2000/532/EC as regards the list of wastes. Europa, 16/01/2001. **Official Journal of the European Union**, L47, p. 1-31.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 17 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. **DOU nº 136**, p. 95-96, 17 jul. 2002.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera o inciso IV do art. 3º da Resolução CONAMA nº 307/2002. **DOU nº 158**, p. 70, 17 ago. 2004.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10º e 11º da Resolução CONAMA nº 307/2002. **DOU nº 99**, p. 123, 25 maio 2011.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10º e 11º da Resolução CONAMA nº 307/2002. **DOU nº 14**, 19 jan. 2012.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 469, de 30 de julho de 2015. Altera art. 3º da Resolução CONAMA nº 307/2002. **DOU nº 144**, p. 109-110, 30 jul. 2015.

COSTA, N.; JUNIOR, N.C.; LUNA, M.; SELIG, P.; ROCHA, J. Planejamento de programas de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: Uma Análise Multivariada. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 446-456, out/dez. 2007.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Curitiba, 2010. Disponível em: < http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00084142.pdf>. Acesso em: 20 out. 2017.

CURITIBA. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Portaria nº 007, de 04 de março de 2008. Institui o Relatório de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. **Secretaria Municipal do Meio Ambiente**, Curitiba, PR, 11 mar. 2008. Disponível em: <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2011/00104675.pdf>. Acesso em: 25 set. 2017.

CURITIBA. Secretaria Municipal do Urbanismo. Portaria nº 80 – Caderno de Anexos, de 15 de julho de 2013. Regulamenta o disposto nos arts. 1º e 2º do decreto 1020/2013, quanto aos parâmetros construtivos relevantes. **Secretaria Municipal do Urbanismo**, Curitiba, PR, 15 jul.

2013. Disponível em: <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2013/00134264.pdf>. Acesso em: 25 out. 2017.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. Decreto nº 1.120, de 24 de novembro de 1997. Regulamenta o transporte e disposição de resíduos de construção civil, e dá outras providências. **Legislação do Município de Curitiba**, Curitiba, PR, 24 nov. 1997. Disponível em: <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00086371.pdf>. Acesso em: 25 set. 2017.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. Lei nº 9.380, de 30 de setembro de 1998. Dispõe sobre a normatização para o transporte de resíduos no Município de Curitiba. **Legislação do Município de Curitiba**, Curitiba, PR, 30 set. 1998. Disponível em: <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00086309.pdf>. Acesso em: 25 set. 2017.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. Decreto nº 983, de 26 de outubro de 2004. Dispõe sobre a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final de resíduos sólidos no Município de Curitiba. **Legislação do Município de Curitiba**. Curitiba, PR, 26 out. 2004. Disponível em: <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00086367.pdf>. Acesso em: 25 set. 2017.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. Decreto nº 1.068, de 18 de novembro de 2004. Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do Município de Curitiba. **Legislação do Município de Curitiba**, Curitiba, PR, 18 nov. 2004. Disponível em: <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00086370.pdf>. Acesso em: 25 set. 2017.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. Decreto nº 852, de 15 de agosto de 2007. Dispõe sobre a obrigatoriedade da utilização de agregados reciclados, oriundos de resíduos sólidos da construção civil classe A, em obras e serviços de pavimentação das vias públicas, contratadas pelo Município de Curitiba. **Legislação do Município de Curitiba**, Curitiba, PR, 16 ago. 2007. Disponível em: < http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00086363.pdf>. Acesso em: 25 set. 2017.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. Decreto nº 609, de 02 de julho de 2008. Regulamenta o Modelo do Manifesto de Transporte de Resíduos e dá outras providências. **Legislação do Município de Curitiba**, Curitiba, PR, 08 jul. 2008. Disponível em: <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00086353.pdf>. Acesso em: 25 set. 2017.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. Decreto nº 816, de 02 de julho de 2010. Altera o Art. 17 do Decreto nº 1.120, de 24 de novembro de 1997. **Legislação do Município de Curitiba**, Curitiba, PR, 02 jul. 2010. Disponível em: <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00086361.pdf>. Acesso em: 25 set. 2017.

CURITIBA. Secretaria Municipal de Trânsito. Portaria SETRAN nº 106, de 02 de outubro de 2013. Regulamenta a emissão de autorização pela SETRAN para colocação de caçambas em vias urbanas e calçadas no Município de Curitiba. **Secretaria Municipal de Trânsito**, Curitiba, PR, 02 out. 2013. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=260313>. Acesso em: 25 set. 2017.

CURITIBA. Lei Complementar nº 97, de 21 de dezembro de 2015. **Diário Oficial do Município**, Curitiba, PR, 21 dez. 2015. p. 36-37.

DIAS, M. F. **Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais.** 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

DING, T.; XIAO, J. **Estimation of building-related construction and demolition waste in Shanghai**. Waste Management 34, p. 2327-2334, 2014.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Directive 2008/98/EC of the European Parlamient and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.** Europa, 22/11/2008. **Official Journal of the European Union**, L312, p. 3-30.

FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURE CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY (BMU). **Waste Management in Germany 2018.** Berlin, 2018. Disponível em: <https://www.bmu.de/en/publication/waste-management-in-germany-2018/>. Acesso em: 20 maio 2018.

FIELD, A. **Descobrindo a estatística usando o SPSS**. 2. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FINEP. **Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras**. São Paulo: Departamento de Engenharia da Construção/EPUSP, 1998. Relatório técnico.

FORMOSO, C. T.; CESARE, C. M.; LANTELME, E. M. V.; SOIBELMAN, L. **As perdas na construção civil**: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor. Trabalho apresentado no Seminário Desperdício na Construção, SINDUSCON/SP, São Paulo, 1996.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAO, J. L.; HILL, M. J.; SHEN, L. Y. Managing construction waste on-site through system dynamics modelling: the case of Hong Kong**. Engineering, Construction and Archtectural Management** 15 (2), p. 103-113, 2008.

IBM, **IBM SPSS Statistics**, versão 23. IBM, 2015.

KERN, A. P.; DIAS, M. F.; KULAKOWSKI, M. P.; GOMES, L. P. Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management** 39, p/ 35-44, 2015.

KOFOWOROLA, O. F.; GHEEWALA, S. H. Estimation of construction waste generation and management in Thailand. **Waste Management** 29, p. 731-738, 2009.

LACHIMPADI, S. K.; PEREIRA, J. J.; TAHA, M. R.; MOKHTAR, M. Construction waste minimisation comparing conventional and precast construction (Mixed System and IBS) methods in high-rise buildings: A Malaysia case study. **Resources, Conservation and Recycling** 68, p. 96-103, 2012.

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** 74, p. 20-26, 2013.

LIMA, L. F. **Acesso a proposta de metodologia da SEIL-PR**. Curitiba, 2014.

LU, W.; YUAN, H.; LI, J; HAO, J. J. L.; MI, X; DING, Z. An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China. **Waste Management** 31, p. 680-687, 2011.

LU, W.; CHEN, X.; PENG, Y.; SHEN, L. Benchmarking construction waste management performance using big data. **Resources, Conservation and Recycling** 105, p. 49-58, 2015.

MALIA, M.; BRITO, J.; PINHEIRO, M. D.; BRAVO, M. Construction and demolition waste indicators. **Waste Management & Research** 31, p. 241-255, 2013.

MARIANO, L. S. **Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil com reaproveitamento estrutural**: Estudo de caso de uma obra com 4.000 m^2. 108 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MATHIAS, A. L.; FISCHER, K. M.; LUCCA, P. V. Avaliação Comparativa da Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil e na Alemanha. In: AMARAL, K. J.; ERBE, M. C. L.; NEUFFER, D.; KOLICHESKI, M. B.; FEILSTRECKER, M. **Meio Ambiente Urbano e Industrial**: Desafios, Tecnologias e Soluções. 1. ed. Curitiba: UFPR: SENAI; Stuttgart: Universidade de Stuttgart, 2017. p. 15-40.

MICROSOFT, **EXCEL**, versão 16.13.1. Office 365, 2018.

MOYANO, P. M.; AGUDO, A. R. A. Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction. **Waste Management & Research** 31, p. 458-474, 2013.

NAGALLI, A. Quantitative method for estimating construction waster generation. **The Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 17, p. 1157-1162, 2012.

NAGALLI, A.; BERTOL, A. C.; RAFFLES, A.; SANTOS, J. P. **Analysis of correlation between Works characteristics and construction waste generation**. Sardinia, 2013. Fouteenth International Waste Management and Landfill Symposium, 2013.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NELLES, M.; GRÜNES, J. MORSCHECK, G. Management in Germany – Development to Sustainable Circular Economy? **Procedia Environmental Sciences** 35, p. 6-14, 2016.

OSMANI, M. Design waste mapping: a project life cycle approach. **Waste and Resource Management** 166, p. 114-127, 2013.

PARANÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Paraná. Lei nº 12.493, de 22 de janeiro de 1999. Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná. **Legislação do Estado do Paraná**. Curitiba, PR, 22 jan. 1999. Disponível em: <http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=2334&codItemAto=15988>. Acesso em: 25 set. 2017.

PARANÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Paraná. Lei nº 17.321, de 25 de setembro de 2012. Estabelece que a emissão do certificado de conclusão, expedido pelo órgão competente, seja condicionada à comprovação de que os resíduos (entulhos) remanescentes do processo construtivo tenham sido recolhidos e depositados em conformidade com as exigências da legislação aplicável à espécie. **Legislação do Estado do Paraná**. Curitiba, 25 set. 2012. Disponível em: <http://leisestaduais.com.br/pr/lei-ordinaria-n-17320-2012-parana-fica-instituido-o-dia-estadual-de-prevencao-a-acidentes-de-transito>. Acesso em: 25 set. 2017.

PINTO, T. P. **Perda de materiais em processos construtivos tradicionais**. São Carlos, Departamentos de engenharia civil da Universidade Federal de São Carlos, 1989. /datilografado/

PINTO, T. P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Setor de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P.; GONZÁLEZ, J. L. R. **Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil**. 1.ed. Brasília: Caixa, 2005.

POON, C. S.; YU, A. T. W.; WONG, S.W.; CHEUNG, E. Management of construction waste in public housing projects in Hong Kong. **Construction Management and Economics**, 22, p. 675-689, 2004.

SENAI – PARANÁ. **Relatório Técnico – Plano de Logística Reversa Resíduos de Construção Civil**. Curitiba: SENAI, 2014.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Empresa de pequeno porte**. Brasil, 2018. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/estudos_pesquisas/empresa-de-pequeno-portedetalhe8,8e5713074c0a3410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: 01 abr. 2018.

SHI, J.; XU, Y. Estimation and forecasting of concrete debris amount in China. **Resources, Conservation and Recycling** 49, p. 147-158, 2006.

SILVA, C. A. R. **Estudo do agregado reciclado de construção civil em misturas betuminosas para vias urbanas**. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Setor de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

SKOYLES, E. R.; SKOYLES, J. R. **Waste prevention on site**. London: Mitchell Publishing, 1987.

SOARES, F.B. **Estudo dos fatores limitantes para a significativa reciclagem e reutilização de resíduos de construção civil e demolição no estado do Paraná.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), UFPR, Curitiba, 2017.

SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; AGOPYAN, V.; ANDRADE, A. C. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído** 4 (4), p. 33-46, 2004.

ULUBEYLI, S.; KAZAZ, A.; ARSLAN, V. Construction and demolition waste recycling plants revisited: management issues. **Procedia Engineering** 172, p. 1190-1197, 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **The Resource Conservation Challenge:** Campaigning Against Waste. EPA 530. 2002.

WATERMAN, R. Wharton University of Penssylvania. **Fundamentals of Quantitative Modeling. Module 4**: Regression Models. Disponível em: <https://www.coursera.org/>. Acesso em: 20 jul. 2018.

WIMALASENA, B. A. D. S.; RUWANPURA, J. Y.; HETTIARATCHI, J. P. A. Modeling Construction Waste Generation towards Sustainability. **Construction Research Congress** 2010, p. 1498-1507, 2010.

WON, J.; CHENG, J. C. P. Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization. **Automation in Construction** 79, p. 3-18, 2017.

WU, Z.; YU, A. T. W.; SHEN, L.; LIU, G. Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. **Waste Management** 34, p. 1683-1692, 2014.

YOST, P. A.; HALSTEAD, J. M. A methodology for quantifying the volume of construction waste. **Waste Management & Research** 14, p. 453-461, 1996.

ZANNA, C. D.; FERNANDES, F.; GASPARINE, J. C. Solid construction waste management in large civil construction companies through use of specific software – case study. **Acta Scientiarum Technology** 39 (2), p. 169-176, 2017.

ZENG, L.; WU, H.; ZHANG, H.; DUAN, H.; WANG, J.; JIANG, W.; DONG, B.; LIU, G.; ZUO, J.; SONG, Q. Characterizing the generation and flows of construction and demolition waste in China. **Construction and Building Materials** 136, p. 405-413, 2017.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESENVOLVIDO PARA BANCO DE DADOS

1. Identificação da obra:
2. Localização da obra:
3. Início e término da obra:
4. Área construída total:
5. Número de pavimentos:
6. Número de blocos:
7. Número de unidades:
8. Porcentagem concluída da obra:

Nos itens abaixo, indicar as respostas de acordo com a legenda.

PERGUNTA	LEGENDA
9 - Sistema construtivo da obra:	1 – Maior parte da obra com elementos pré-fabricados e industrializados 2 – Obra com elementos pré-fabricados e convencionais 3 – Obra com sistema convencional
10 - Ocorre o reuso de resíduos na própria obra?	1 – Sim 2 – Não
11 - Como é a organização do canteiro:	1 – Ótima, com sinalizações e espaços determinados, sem problemas para o deslocamento dos materiais. 2 – Regular, com alguns espaços sinalizados, alguns espaços reduzidos e com alguns obstáculos para o deslocamento de materiais. 3 – Ruim, sem sinalização, pouco espaço para o trabalho e para o deslocamento de materiais.
12 - Como ocorre o armazenamento dos materiais no canteiro de obras:	1 – Em lugar coberto e reservado para o material em questão.

	2 – Em lugar descoberto, exposto a intempéries.
13 - Como é a separação dos resíduos:	1 – Ótima, os resíduos são separados por classe e subclasse, conforme a Res. CONAMA nº 307/2002. 2 – Regular, os resíduos são separados, mas é visível a presença de outras subclasses de resíduos. 3 – Ruim, os resíduos não são separados, ou não é possível determinar qual subclasse é dominante.
14 - Como é a equipe da obra:	1 – Experiente e/ou treinada. 2 – Inexperiente ou pouco treinada
15 - Como é o tamanho da equipe com relação a necessidade da obra:	1 – Compatível ou superior à necessidade. 2 – Inferior à necessidade.
16 - Como é a fiscalização interna da obra com relação a geração de resíduos:	1 – Permanente. 2 – Esporádica 3 – Não acontece.
17 - Como é o cronograma da obra:	1 – Curto – até 1 ano de obra. 2 – Longo – Mais de 1 ano de obra.
18 - O empreendimento busca algum tipo de certificação ambiental (LEED ou similar):	1 – Sim 2 – Não
19 – Padrão do empreendimento	1 – Alto (Luxo) 2 – Médio (Normal) 3 – Popular

APÊNDICE B – TABELA COMPLETA DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

Correlação de Pearson	Área construída (m3)	Pavimentos	Blocos	Pavimento/ Bloco	Unidades	Área/unidade	Unidade/Pavimento	Cronograma (meses)	Área/cronograma	Reuso (m3)
Área construída (m3)	1	0,523	0,321	0,467	**0,849**	-0,03	0,568	0,314	**0,818**	-0,126
Pavimentos	0,523	1	**0,963**	-0,183	0,655	-0,168	-0,01	-0,206	**0,847**	0,039
Blocos	0,321	**0,963**	1	-0,419	0,536	-0,223	-0,11	-0,372	0,739	0,122
Pavimento/Bloco	0,467	-0,183	-0,419	1	0,081	0,271	0,207	0,654	0,043	-0,295
Unidades	**0,849**	0,655	0,536	0,081	1	-0,371	0,719	0,079	**0,834**	-0,098
Área/unidade	-0,03	-0,168	-0,223	0,271	-0,371	1	-0,415	0,181	-0,065	-0,124
Unidade/Pavimento	0,568	-0,01	-0,11	0,207	0,719	-0,415	1	0,211	0,313	-0,165
Cronograma (meses)	0,314	-0,206	-0,372	0,654	0,079	0,181	0,211	1	-0,171	-0,223
Área/cronograma	**0,818**	**0,847**	0,739	0,043	**0,834**	-0,065	0,313	-0,171	1	-0,048
Reuso (m3)	-0,126	0,039	0,122	-0,295	-0,098	-0,124	-0,165	-0,223	-0,048	1
Resid/Com	-0,393	0,118	0,266	-0,63	-0,193	-0,2	-0,332	-0,302	-0,149	0,277
Padrão construtivo	0,007	0,427	0,535	-0,556	0,316	-0,491	0,102	-0,633	0,346	0,291
Fiscalização	-0,213	-0,187	-0,17	-0,056	-0,314	0,318	-0,292	0,296	-0,297	-0,2
Organização do canteiro	-0,473	-0,35	-0,262	-0,205	-0,475	0,11	-0,359	0,206	-0,545	-0,085
Segregação do RCD	-0,171	-0,235	-0,225	-0,059	-0,086	-0,107	0,027	0,284	-0,303	0,025
Sistema Construtivo	-0,147	-0,377	-0,435	0,216	-0,114	-0,016	0,129	0,564	-0,416	0,053
Busca certificação	-0,451	-0,012	0,121	-0,601	-0,024	-0,561	0,046	-0,181	-0,271	0,069
Equipe/mão de obra	-0,256	-0,214	-0,204	0,111	-0,258	-0,04	-0,19	0,169	-0,298	-0,275
Tamanho equipe	-0,105	-0,123	-0,071	-0,218	-0,116	-0,081	-0,014	-0,089	-0,096	0,025
Armazenamento materiais	-0,12	-0,08	-0,049	-0,142	-0,082	-0,088	-0,023	-0,118	-0,098	0,148

Correlação de Pearson	Resid/ Com	Padrão construtivo	Fiscalização	Organização do canteiro	Segregação do RCD	Sistema Construtivo	Busca certificação	Equipe/mão de obra	Tamanho equipe	Armazenamento materiais
Área construída (m3)	-0,393	0,007	-0,213	-0,473	-0,171	-0,147	-0,451	-0,256	-0,105	-0,12
Pavimentos	0,118	0,427	-0,187	-0,35	-0,235	-0,377	-0,012	-0,214	-0,123	-0,08
Blocos	0,266	0,535	-0,17	-0,262	-0,225	-0,435	0,121	-0,204	-0,071	-0,049
Pavimento/Bloco	-0,63	-0,556	-0,056	-0,205	-0,059	0,216	-0,601	0,111	-0,218	-0,142
Unidades	-0,193	0,316	-0,314	-0,475	-0,086	-0,114	-0,024	-0,258	-0,116	-0,082
Área/unidade	-0,2	-0,491	0,318	0,11	-0,107	-0,016	-0,561	-0,04	-0,081	-0,088
Unidade/Pavimento	-0,332	0,102	-0,292	-0,359	0,027	0,129	0,046	-0,19	-0,014	-0,023
Cronograma (meses)	-0,302	-0,633	0,296	0,206	0,284	0,564	-0,181	0,169	-0,089	-0,118
Área/cronograma	-0,149	0,346	-0,297	-0,545	-0,303	-0,416	-0,271	-0,298	-0,096	-0,098
Reuso (m3)	0,277	0,291	-0,2	-0,085	0,025	0,053	0,069	-0,275	0,025	0,148
Resid/Com	1	0,305	0,208	0,336	0,073	0,008	0,53	-0,038	0,195	0,135
Padrão construtivo	0,305	1	-0,327	-0,327	-0,066	-0,384	0,341	-0,077	0,213	0,276
Fiscalização	0,208	-0,327	1	0,617	0,114	0,22	0,141	0,257	0,225	-0,098
Organização do canteiro	0,336	-0,327	0,617	1	0,013	0,357	0,228	0,216	0,068	-0,158
Segregação do RCD	0,073	-0,066	0,114	0,013	1	0,441	0,433	0,325	-0,12	0,133
Sistema Construtivo	0,008	-0,384	0,22	0,357	0,441	1	0,337	0,22	-0,045	0,171
Busca certificação	0,53	0,341	0,141	0,228	0,433	0,337	1	0,141	0,083	0,058
Equipe/mão de obra	-0,038	-0,077	0,257	0,216	0,325	0,22	0,141	1	-0,141	-0,098
Tamanho equipe	0,195	0,213	0,225	0,068	-0,12	-0,045	0,083	-0,141	1	0,693
Armazenamento materiais	0,135	0,276	-0,098	-0,158	0,133	0,171	0,058	-0,098	0,693	1