



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

EDUARDO JOSÉ MELO LINS

**PROPOSTA DE INDICADORES DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO (RCD) DE EDIFICAÇÕES NA CIDADE DO RECIFE**

Recife, Maio de 2020



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

EDUARDO JOSÉ MELO LINS

**PROPOSTA DE INDICADORES DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO (RCD) DE EDIFICAÇÕES NA CIDADE DO RECIFE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão

Recife, Maio de 2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco – Recife

L759p Lins, Eduardo José Melo
Proposta de indicadores de resíduos de construção e
demolição (RCD) de edificações na cidade do Recife. /
Eduardo José Melo Lins. – Recife: UPE, Escola Politécnica,
2020.

238 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão

Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade
de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil, 2020.

1. Indicadores. 2. RCD. 3. Edificações. 4. Banco de
Dados. I. Engenharia Civil – Dissertação. II. Gusmão,
Alexandre Duarte (orient.). III. Universidade de
Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção
Civil. IV. Título.

CDD: 690

EDUARDO JOSÉ MELO LINS

**PROPOSTA DE INDICADORES DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO (RCD) DE EDIFICAÇÕES NA CIDADE DO RECIFE**

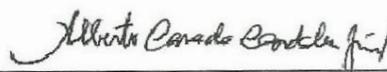
BANCA EXAMINADORA:

Orientador(a)



Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Universidade de Pernambuco

Examinadores



Prof. Dr. Alberto Casado Lordsleem Júnior
Universidade de Pernambuco



Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral
Universidade Federal de Pernambuco

Recife-PE
2020

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Marinete Lins, pelo incansável incentivo.
À minha esposa, Josiane Lins, pelo constante apoio.
À minha filha, M^a Eduarda Lins,
pela carinhosa compreensão nos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelos milagres concedidos durante todos os dias dessa jornada acadêmica, pela sabedoria, que de graça, me foi dada, bem como pelas incontáveis Graças, as quais levo em minha mente e coração, e aqui as deixo um pouco, frente à minha limitada sabedoria.

Ao Professor Dr. Alexandre Gusmão, mestre e amigo desde os anos da graduação, das mãos do qual recebi o diploma de engenheiro, ao qual agradeço a confiança, incentivo e pelos preciosos ensinamentos acadêmicos, profissionais e humanos, compartilhados durante a elaboração desta dissertação, sem os quais não teria êxito.

À minha família, pelo amor, apoio e compreensão da ausência do convívio durante o desenvolvimento dos estudos, sem os quais não teria forças suficientes para vencer essa preciosa etapa da vida acadêmica.

Ao Grupo de Trabalho GT PGRCD Recife, composto pela ADEMI-PE, SINDUSCON-PE, Prefeitura da Cidade do Recife e POLI-UPE, no qual foram discutidas e compartilhadas preciosas informações a respeito das reais dificuldades, desafios e das soluções em relação à gestão dos Resíduos de Construção e Demolição na cidade do Recife, tendo em vista, primordialmente, a preservação do meio ambiente natural. Parte das lições aprendidas no GT compõem essa dissertação.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PEC, por todos os ensinamentos compartilhados e constantes estímulos transmitidos durante a elaboração da dissertação, bem como, à Sra. Lúcia Rosani (Secretária do PEC), pelas orientações, atenção e zelo com os mestrandos.

Aos amigos cativados na Autarquia Municipal de Limpeza Urbana (EMLURB Recife), José Vassil Vieira da Costa, Ana Elisabete Cavalcanti Jucá, Paula Maria de Araújo Paschoal Boulitreau, Ricardo de Britto Maynard e Solange Pereira de Araújo, cujo apoio e orientações foram essenciais ao desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos amigos de atividade profissional, Tadeu Souza, Nilce Helena Gondim, Augusto Rodrigues, Ademar Marques e Eugênio Pacelli, pelo constante incentivo e apoio à conclusão deste trabalho.

Aos amigos e a todos pela colaboração direta e indireta, na execução deste trabalho.

“... os terrenos acidentados se tornarão planos;
as escarpas, serão niveladas.
A glória do Senhor será revelada, e,
juntos, todos a verão ...”.
Isaías 40:4,5

LINS, E. J. M. **Proposta de Indicadores de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) de Edificações na Cidade do Recife**. Recife: UPE, 2020. 000 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2020.

RESUMO

A indústria da construção civil é importante para a economia global, tendo em vista que gera milhares de empregos e renda. No entanto, a atividade é responsável pelo consumo de muitos recursos naturais e pela produção de expressiva quantidade de resíduos. A estimativa da geração de resíduos é uma valiosa informação para a gestão sustentável de obras. A variação entre o peso dos RCD informados no PGRCC e os efetivamente gerados tem implicado em um passivo ambiental de complexa justificativa. Os indicadores de RCD utilizados a mais de uma década no Recife são produtos de pesquisas pioneiras desenvolvidas na UPE. A pesquisa foi realizada com objetivo de revisar e ampliar estes indicadores. Foram analisadas informações reais de 368 obras do banco de dados de resíduos do Recife, sendo: 159 obras de demolição (82 edificações com laje; 48 edificações sem laje; 13 galpões; e 16 demolições parciais); 35 obras de escavação de solos (20 semienterrados; e 15 elementos de fundação); e 174 obras de construção (80 habitacionais; 73 comerciais; e 21 reformas). As informações foram consultadas nos processos físicos finalizados pela EMLURB, catalogadas, selecionadas e complementadas através de consultas ao ESIG Recife, *Google Earth Pro*, dentre outras ferramentas, bem como agrupadas e analisadas por meio de métodos estatísticos. Os dados foram discutidos no grupo de trabalho composto por técnicos da EMLURB, construtores (Sinduscon-PE e Ademi-PE) e pesquisadores da UPE. O indicador médio de geração de RCD de demolição de edificações de qualquer tipologia foi igual a 756 kg/m^2 . Para o peso específico de escavações de subsolo e fundação obteve-se um valor médio de 1.367 kg/m^3 . Os resultados apontaram indicadores médios de geração para resíduos classe A iguais a 63 e 88 kg/m^2 para construções com tecnologias não convencionais e convencionais, respectivamente. Os indicadores obtidos permitem previsões mais realistas dos RCD.

Palavras-chave: Indicadores. RCD. Edificações. Banco de Dados.

LINS, E. J. M. **Proposal for Construction and Demolition Waste (CDW) Indicators for Buildings in the City of Recife**. Recife: UPE, 2020. 000 p. Thesis (Master). Polytechnic School of Pernambuco University, Pernambuco University, Recife, 2020.

ABSTRACT

The construction industry is important for the global economy, given that it generates thousands of jobs and income. However, the activity is responsible for the consumption of many natural resources and for the production of a significant amount of waste. Estimating waste generation is valuable information for the sustainable management of works. The variation between the weight of the CDWs reported in the PGRCC and those actually generated has implied an environmental liability of complex justification. The CDW indicators used for over a decade in Recife are products of pioneering research developed at the UPE. The research was carried out with the objective of revising and expanding these indicators. Actual information from 368 works in Recife's waste database was analyzed, being: 174 construction works (80 housing; 73 commercial; and 21 renovations); 35 soil excavation works (20 semi-buried; and 15 foundation elements); and 159 demolition works (82 buildings with slab; 48 buildings without slab; 13 warehouses; and 16 partial demolitions). The information was consulted in the physical processes finalized by EMLURB, cataloged, selected and complemented through consultations with ESIG Recife, Google Earth Pro, among other tools, as well as grouped and analyzed using statistical methods. The data were discussed in the working group composed of EMLURB technicians, builders (Sinduscon-PE and Ademi-PE) and researchers from UPE. The average CDW generation indicator for demolition of buildings of any type was equal to 756 kg/m^2 . For the specific weight of subsoil and foundation excavations, an average value of $1,367 \text{ kg/m}^3$ was obtained. The results showed average generation indicators for class A waste equal to 63 and 88 kg/m^2 for constructions with unconventional and conventional technologies, respectively. Selected indicators can select more realistic from the CDW.

Keywords: Indicators. CDW. Buildings. Database.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Participação no valor total anual de obras e serviços por setor da construção civil no Brasil	28
Figura 2.2	Participação do setor público no valor total anual de obras e serviços por setor da construção civil no Brasil	29
Figura 2.3	Estrutura dos custos e despesas da indústria da construção no Brasil em 2008 e 2017	30
Figura 2.4	Instrumentos para a gestão municipal dos RCD (Resolução CONAMA 307/2002 e alterações promovidas pela Resolução CONAMA 448/2012)	39
Figura 2.5	Etapas que devem estar contempladas no PGRCC (Resolução CONAMA 307/2002 e CONAMA 448/2012)	40
Figura 2.6	Fluxograma do processo de análise e aprovação do PGRCC pela Prefeitura da Cidade do Recife (Resolução CONAMA 307/2002 e alterações)	40
Figura 2.7	Demolição manual seletiva com a recuperação de tijolos maciços	56
Figura 2.8	Demolição mecanizada, com escavadeira hidráulica, em atividade típica de demolição de edificações na Cidade do Recife	57
Figura 2.9	Escavação de blocos de fundação em obra de um Shopping Center na Cidade do Recife	58
Figura 2.10	Metodologia construtiva não convencional, adotada para construção de um edifício na Cidade do Recife	60
Figura 2.11	Caminhão poliguindaste (A) e caminhão caçamba basculante (B), usualmente utilizados para o transporte de RCD na cidade do Recife	67
Figura 2.12	Mapa dos bairros e Regiões Político-Administrativas da Cidade do Recife	69
Figura 3.1	Sequência metodológica de pesquisa para a revisão dos indicadores de Resíduos de Construção e Demolição da cidade do Recife	72
Figura 3.2	Taxonomia da pesquisa sobre o banco de dados de indicadores de RCD do Recife	74
Figura 3.3	Fluxograma de análise e cálculo dos indicadores de RCD baseados no banco de dados municipal	85
Figura 3.4	Diagrama do fluxo de análise e seleção das amostras	88
Figura 3.5	Condições conformes e não conformes na prestação de contas dos RCD gerados, segundo critérios da EMLURB	90
Figura 3.6	Metodologia de cálculo dos indicadores de custo RCD/CUB	101
Figura 4.1	Diagrama de Pareto dos RCD gerados na demolição de edificações em Recife, segundo as tipologias e características construtivas	112

Figura 4.2	RCD gerados na etapa de demolição e quantidade de edificações demolidas, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife	115
Figura 4.3	RCD gerados na etapa de demolição e rendimento dos domicílios, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife	116
Figura 4.4	Ano e idade de demolição de edificações, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife	117
Figura 4.5	Profundidade de escavação de edifícios com semienterrado, segundo o bairro e Região Político-Administrativa (RPA) da cidade do Recife	118
Figura 4.6	Diagrama de Pareto dos RCD gerados na construção de edifícios em Recife, segundo as tipologias e características	119
Figura 4.7	RCD gerados na etapa de construção e quantidade de edificações demolidas, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife	122
Figura 4.8	RCD gerados na etapa de construção e rendimento dos domicílios, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife	123
Figura 4.9	Ano de construção e quantidade de pavimentos dos edifícios habitacionais tipo conjunto de apartamentos construídos, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife	125
Figura 4.10	Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores da etapa de demolição (Li, Ls e Imed)	131
Figura 4.11	Ábaco para o cálculo gráfico dos indicadores de RCD na etapa de demolição (DEM-CL e DEM-SL)	134
Figura 4.12	Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores da etapa de escavação (Li, Ls e Imed)	138
Figura 4.13	Ábaco para o cálculo gráfico do indicador de RCD na etapa de escavação (ESC-SET1)	141
Figura 4.14	Ábaco para o cálculo gráfico dos indicadores de RCD na etapa de escavação (ESC-SEC1 e ESC-SEC0)	142
Figura 4.15	Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores da etapa de construção (Li, Ls e Imed)	147
Figura 4.16	Ábaco para o cálculo gráfico dos indicadores de RCD na etapa de construção (CON-EQT e CON-MCA)	151
Figura 4.17	Gráfico Box-Plot da distribuição do indicador de construção de obras modelos para RCD Classes A (Entulho), B (Gesso), B (Reciclável), C (Sacaria/EPS) e D (Perigosos) (Li, Ls e Imed)	160
Figura 4.18	Gráfico Box-Plot da distribuição dos coeficientes de transporte irregular de RCD (Ci, Cs e Cmed)	166
Figura 4.19	Gráfico Box-Plot da distribuição dos coeficientes de destinação irregular de RCD (Ci, Cs e Cmed)	170

Figura 4.20	RCD declarados no PGRCC, RCD apresentados no RFD/RFO e percentual de economia financeira proporcionada pelo pagamento de multas devidas a infrações às leis	174
Figura 4.21	Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores de transporte e destinação de RCD em relação ao Custo Unitário Básico (CUB) de construção (Li, Ls e Imed)	180
Figura 4.22	Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores de transporte e reutilização de RCD para obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção (Li, Ls e Imed)	185
Figura 4.23	Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores de transporte e reutilização de RCD para obras compostas pelas etapas de demolição e construção (Li, Ls e Imed)	189
Figura 4.24	Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores de transporte e reutilização de RCD para obras compostas pelas etapas de escavação e construção (Li, Ls e Imed)	193
Figura 4.25	Capa da Cartilha do PGRCC	196
Figura 4.26	Sumário da “Cartilha do PGRCC”	197

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Taxas médias de desperdício de materiais de construção no canteiro de obras, segundo alguns países	34
Tabela 2.2	Composição gravimétrica dos resíduos da fase de estruturas, alvenaria, acabamento e demolição, na cidade do Recife	35
Tabela 2.3	Composição gravimétrica dos RCD por fase de construção em Recife ...	35
Tabela 2.4	Normas jurídicas e documentos técnicos sobre os RCD	37
Tabela 2.5	Estimativa do quantitativo de RCD segundo as Diretrizes da Prefeitura da Cidade do Recife	53
Tabela 2.6	Principais características dos estudos selecionados sobre indicadores de RCD	62
Tabela 2.7	Regiões Político-Administrativas (RPA), bairros incluídos na pesquisa, população e rendimento nominal médio mensal dos domicílios da Cidade do Recife	70
Tabela 3.1	Variáveis independentes utilizadas nas análises sobre os RCD	79
Tabela 3.2	Variáveis dependentes utilizadas nas análises sobre os RCD	80
Tabela 3.3	Métrica de cálculo para a divisão proporcional do quantitativo total dos resíduos de demolição apresentados no RFD ou RFO	86
Tabela 3.4	Peso específico, para laje treliçada padrão, utilizada na construção de edificações na cidade do Recife	87
Tabela 3.5	Custos médios de transporte e destinação de RCD e valor da UFIR, data-base maio/2019	98
Tabela 3.6	Custo Unitário Básico ajustado (CUBx) de construção de edifícios, consoante projetos-padrão da ABNT NBR 12.721:2006 (data-base outubro/2019, sem desoneração)	104
Tabela 3.7	Coefficiente de Variação e classificação empírica da dispersão da amostra	110
Tabela 4.1	Características das edificações do banco de dados municipal de RCD	111
Tabela 4.2	Características das edificações construídas do banco de dados municipal de RCD	120
Tabela 4.3	Características médias dos edifícios tipo conjunto de apartamentos que compõem o banco de dados municipal de RCD gerados na etapa de construção	124
Tabela 4.4	Resumo das obras estudadas e respectivas massas de RCD geradas	126
Tabela 4.5	Estatística descritiva das amostras relativas aos resíduos da etapa de demolição, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)	130

Tabela 4.6	Análise de variância das amostras referentes aos resíduos da etapa de demolição, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)	130
Tabela 4.7	Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança, limites de confiança e média ponderada para os indicadores da etapa de demolição	131
Tabela 4.8	Síntese da análise comparativa entre os indicadores Li, Ls e Imed obtidos e os indicadores de outros estudos para a etapa de demolição	132
Tabela 4.9	Mediana, máximo e mínimo para os indicadores da etapa de demolição	133
Tabela 4.10	Síntese dos indicadores médios e medianos de resíduos da etapa de demolição	133
Tabela 4.11	Estatística descritiva das amostras relativas aos resíduos da etapa escavação, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)	137
Tabela 4.12	Análise de variância das amostras referentes aos resíduos da etapa de escavação, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)	137
Tabela 4.13	Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança, limites de confiança e média ponderada para os indicadores da etapa de escavação	138
Tabela 4.14	Síntese da análise comparativa entre os indicadores Li, Ls e Imed obtidos e os indicadores de outros estudos para a etapa de escavação de solos (peso específico)	139
Tabela 4.15	Mediana, máximo e mínimo para os indicadores da etapa de escavação	140
Tabela 4.16	Síntese dos indicadores médios e medianos de resíduos da etapa de escavação	140
Tabela 4.17	Estatística descritiva das amostras relativas aos resíduos da etapa de construção, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)	146
Tabela 4.18	Análise de variância das amostras referentes aos resíduos da etapa de construção, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)	147
Tabela 4.19	Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança, limites de confiança e média ponderada para os indicadores da etapa de construção	147
Tabela 4.20	Síntese da análise comparativa entre os indicadores Li, Ls e Imed obtidos e os indicadores de outros estudos para a etapa de construção	149
Tabela 4.21	Mediana, máximo e mínimo para os indicadores da etapa de construção	149
Tabela 4.22	Síntese dos indicadores médios e medianos de resíduos da etapa de construção	150
Tabela 4.23	Indicadores de RCD classe A adotados pela PCR	152

Tabela 4.24	Síntese da análise comparativa entre os indicadores Li, Ls e Imed obtidos e os indicadores PCR para as etapas de construção e demolição	155
Tabela 4.25	Resumo das obras modelo estudadas e respectivas massas de RCD geradas	156
Tabela 4.26	Composição dos RCD, segundo a classe e o tipo do resíduo, para as obras modelo	156
Tabela 4.27	Estatística descritiva das amostras relativas aos resíduos da etapa construção, para as obras do grupo 1 e obras do grupo 2	159
Tabela 4.28	Análise de variância das amostras referentes aos resíduos de construção, para as obras do grupo 1 e obras do grupo 2	159
Tabela 4.29	Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança, limites de confiança e média ponderada para os indicadores de construção obras modelo	159
Tabela 4.30	Mediana, máximo e mínimo para os indicadores de construção das obras modelo	161
Tabela 4.31	Processos com infração relativa a não apresentação do PGRCC, segundo o tipo de obra	162
Tabela 4.32	Processos com infração relativa a não apresentação do PGRCC, segundo a tipologia da edificação	163
Tabela 4.33	Processos incluídos na análise global dos transportes irregulares	164
Tabela 4.34	Estatística descritiva do coeficiente de transporte irregular de RCD para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)	166
Tabela 4.35	Análise de variância das amostras referentes ao transporte irregular de RCD, para as obras do grupo 1 e obras do grupo 2	166
Tabela 4.36	Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para o coeficiente de transporte irregular de RCD	166
Tabela 4.37	Mediana, máximo e mínimo para para o coeficiente de transporte irregular de RCD	167
Tabela 4.38	Processos incluídos na análise global da destinação irregular de RCD	167
Tabela 4.39	Estatística descritiva do coeficiente na destinação irregular de RCD para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)	169
Tabela 4.40	Análise de variância das amostras referentes à destinação irregular de RCD, para as obras do grupo 1 e obras do grupo 2	169
Tabela 4.41	Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para o coeficiente de destinação irregular de RCD	169
Tabela 4.42	Mediana, máximo e mínimo para para o coeficiente de destinação irregular de RCD	170

Tabela 4.43	Obras selecionadas para o estudo comparativo entre os custos de manejo dos RCD e os custos com infrações	173
Tabela 4.44	Custos diretos com o manejo dos RCD e custos diretos com infrações de “não PGRCC”, transporte irregular e destinação irregular dos resíduos	174
Tabela 4.45	Quadro resumo das obras estudadas e dados dos custos de construção e dos custos de transporte e destinação dos RCD gerados	176
Tabela 4.46	Estatística descritiva dos indicadores de custo de transporte e destinação de RCD em relação ao Custo Unitário Básico (CUB) de construção	179
Tabela 4.47	Análise de variância dos indicadores de custo de transporte e destinação de RCD em relação ao Custo Unitário Básico (CUB) de construção	179
Tabela 4.48	Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para os indicadores RCD/CUB construção	179
Tabela 4.49	Mediana, máximo e mínimo para os indicadores RCD/CUB	180
Tabela 4.50	Resumo das obras estudadas para o cálculo dos indicadores de transporte e reutilização de RCD e respectivas massas geradas	181
Tabela 4.51	Estatística descritiva do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção ..	184
Tabela 4.52	Análise de variância do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção ..	184
Tabela 4.53	Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para o indicador de transporte e destinação de RCD, obras de demolição, escavação e construção	185
Tabela 4.54	Mediana, máximo e mínimo dos indicadores de transporte e reutilização de RCD segundo as obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção demolição, escavação e construção	186
Tabela 4.55	Estatística descritiva do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de demolição e construção demolição, escavação e construção	188
Tabela 4.56	Análise de variância do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de demolição e construção	188
Tabela 4.57	Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para o indicador de transporte e destinação de RCD, obras demolição e construção	188
Tabela 4.58	Mediana, máximo e mínimo dos indicadores de transporte e reutilização de RCD segundo as obras compostas pelas etapas de demolição e construção .	190
Tabela 4.59	Estatística descritiva do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de escavação e construção	192
Tabela 4.60	Análise de variância do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de escavação e construção	192
Tabela 4.61	Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para o indicador de transporte e destinação de RCD, obras de escavação e construção	192

Tabela 4.62	Mediana, máximo e mínimo dos indicadores de transporte e reutilização de RCD segundo as obras compostas pelas etapas de escavação e construção .	194
Tabela 4.63	Distribuição da massa total de RCD gerada, segundo a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) de destino	195

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Classificação dos Resíduos Sólidos (ABNT NBR 1004:2004)	32
Quadro 2.2	Forma de apresentação dos Resíduos da Construção Civil segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002 e Resolução CONAMA nº 431/2011	33
Quadro 2.3	Planos de Resíduos Sólidos e respectivos responsáveis	41
Quadro 2.4	Proibições quanto à destinação e o uso dos Resíduos Sólidos	42
Quadro 2.5	Alterações da Resolução 307/2002 promovidas pela Resolução 448/2012	44
Quadro 2.6	Matriz de Monitoramento e Avaliação do Plano Estadual de Resíduos Sólidos	48
Quadro 2.7	Veículos, equipamentos e respectivos componentes e softwares que compõem a solução do monitoramento eletrônico de RCD em Recife	55
Quadro 2.8	Síntese das normas e respectiva aplicação à gestão dos RCD	55
Quadro 3.1	Sistemas e subsistemas construtivos utilizados nas edificações construídas com tecnologias não convencionais na cidade do Recife	91
Quadro 3.2	Sistemas e subsistemas construtivos utilizados nas edificações construídas com tecnologias convencionais na cidade do Recife	92

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas Limpeza Urbana e Resíduos Especiais
ADEMI	Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Pernambuco
ATT	Área de Transbordo e Triagem
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTR	Central de Tratamento de Resíduos
CUB	Custo Unitário Básico de Construção
EMLURB	Autorarquia Municipal de Limpeza Urbana
ESIG RECIFE	Sistema de Informações Geográficas do Recife
GBU	Google Busca
GEP	Google <i>Earth Pro</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PAIC	Pesquisa Anual da Indústria da Construção
PCR	Prefeitura da Cidade do Recife
PERS	Política Estadual [Pernambucana] de Resíduos Sólidos
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PMGRCC	Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
PRR	Posto de Recebimento de Resíduos
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RFD	Relatório Final de Demolição
RFO	Relatório Final de Obra
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Pernambuco
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	21
1.1 JUSTIFICATIVA	22
1.2 OBJETIVOS	24
1.2.1 Objetivo geral	24
1.2.2 Objetivos específicos	24
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	25
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL	27
2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO BRASIL	30
2.2.1 Definição dos Resíduos Sólidos	30
2.2.2 Definição e Classificação dos RCD	31
2.2.3 Caracterização dos RCD	33
2.3 BASE LEGAL	36
2.3.1 Legislação e Normas Federais	38
2.3.2 Legislação e Norma do Estado de Pernambuco	46
2.3.3 Legislação e Norma da Cidade do Recife	48
2.4 ETAPAS DE GERAÇÃO DE RCD	56
2.4.1 Demolição de Edificações	56
2.4.2 Escavação de Solos	57
2.4.3 Construção de Edifícios	58
2.5 INDICADORES DE RCD	60
2.5.1 Conceito sobre Indicadores de RCD	60
2.5.2 Estudos sobre indicadores de RCD	61
2.6 TRANSPORTE E REUTILIZAÇÃO DE RCD	66
2.6.1 Transporte de RCD	66
2.6.2 Reutilização de RCD	67
2.7 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS E POLÍTICO-ADMINISTRATIVOS DO RECIFE	68
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	71
3.1 ABORDAGEM DA PESQUISA	73
3.1.1 Natureza da Pesquisa	74
3.1.2 Objetivos da Pesquisa	75
3.1.3 Abordagem do Problema	76
3.1.4 Métodos de Pesquisa	76
3.1.5 Taxonomia da Pesquisa sobre RCD	77
3.2 COLETA DE DADOS DA AMOSTRAGEM	78
3.2.1 Coleta de Dados	78
3.2.2 Amostragem	80
3.2.3 Método de Seleção e Amostragem da Pesquisa sobre RCD	84

3.3	FLUXO DE ANÁLISE E CÁLCULO DOS INDICADORES DE RCD	85
3.4	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	92
3.4.1	Formulação Matemática	92
3.4.2	Análises Estatísticas	107
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO		111
4.1	EDIFICAÇÕES DEMOLIDAS	112
4.2	ESCAVAÇÃO DE SOLOS	118
4.3	EDIFICAÇÕES CONSTRUÍDAS E REFORMADAS	119
4.4	PROPOSTA DE INDICADORES DE RCD	126
4.4.1	Indicadores da Etapa Demolição	127
4.4.2	Indicadores da Etapa Escavação	135
4.4.3	Indicadores da Etapa Construção	143
4.5	ANÁLISE COMPARATIVA AOS INDICADORES PCR	152
4.5.1	Indicadores de Demolição	152
4.5.2	Indicadores de Escavação	153
4.5.3	Indicadores de Construção	153
4.6	INDICADORES DE OBRAS MODELO	155
4.6.1	Composição dos RCD de Obras Modelo	156
4.6.2	Indicadores de RCD de Obras Modelo	156
4.7	ANÁLISE DE INFRAÇÕES	161
4.7.1	Não Apresentação do PGRCC	162
4.7.2	Transporte Irregular dos RCD	163
4.7.3	Destinação Irregular dos RCD	167
4.7.4	Custo Comparado entre Manejo e Infrações	170
4.8	INDICADORES DE CUSTO RCD/CUB	175
4.8.1	Indicador de Custo RCD/CUB (DE&C)	176
4.8.2	Indicador de Custo RCD/CUB (D&C)	177
4.8.3	Indicador de Custo RCD/CUB (E&C)	177
4.8.4	Indicador de Custo RCD/CUB (C)	178
4.9	INDICADORES DE TRANSPORTE E REUTILIZAÇÃO DE RCD	181
4.9.1	Indicadores de Transporte e Reutilização de RCD (D,E&C)	182
4.9.2	Indicadores de Transporte e Reutilização de RCD (D&C)	186
4.9.3	Indicadores de Transporte e Reutilização de RCD (E&C)	190
4.10	DISTRIBUIÇÃO DOS RCD SEGUNDO A CTR	194
4.11	CARTILHA DO PGRCC	195
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO		198
5.1	CONCLUSÕES	198
5.2	RECOMENDAÇÕES	203
REFERÊNCIAS		206
APÊNDICE A - RESUMO DO CURRÍCULO <i>LATTES</i> DO AUTOR E ORIENTADOR ...		214

ANEXO A - AUTORIZAÇÕES DA EMLURB PARA ACESSO AO BANCO DE DADOS MUNICIPAL DE RCD	217
ANEXO B – AMOSTRA DO BANCO DE DADOS MUNICIPAL DE RCD	221
ANEXO C – TABELA DE DISTRIBUIÇÕES F PARA O NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,05	237

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados aspectos referentes à importância global da construção civil, os resíduos gerados por esta, as implicações ambientais da geração não controlada dos RCD, as justificativas da produção da presente pesquisa, bem como os objetivos traçados para o estudo.

A indústria da construção civil é de grande importância para a economia em escala global, tendo em vista que gera milhares empregos diretos e indiretos, renda e riquezas, bem como é responsável por materializar os projetos de edificações e infraestrutura que dão estímulo à economia mundial, em contrapartida esta atividade de transformação da paisagem natural é responsável pelo consumo de um grande volume de matérias-primas naturais e pela geração de expressiva quantidade de resíduos.

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), coletados pelos municípios brasileiros no ano de 2017, corresponderam a cerca de 45 milhões de toneladas, dos quais 52% foram coletados na Região Sudeste, 20% na Região Nordeste, 13% na Região Sul, 11% na Região Centro-Oeste e 4% na Região Norte (ABRELPE, 2017).

Nos Estados Unidos da América os RCD são reconhecidos como um dos maiores componentes do fluxo de resíduos sólidos, com uma produção de 548 milhões de toneladas em 2015, sendo 44% de obras rodoviárias, pontes e viadutos, 29% de edifícios e 27% de outros tipos de obras (USEPA, 2018).

Na China, a produção de RCD mostra uma tendência de crescimento a cada ano, com atuais 1,5 bilhão de ton/ano e uma projeção de 2,5 bilhões de toneladas para o ano de 2020 (PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, 2018).

Os RCD correspondem ao maior fluxo de resíduos na União Europeia (UE), os quais representam cerca de um terço de todos os resíduos sólidos produzidos na região (EUROPEAN COMMISION, 2016).

A compreensão da dinâmica temporal da geração de RCD durante a implantação de edifícios, inclusive da influência das fases de construção na composição e quantidade de geração dos

resíduos, é essencial para o desenvolvimento de um plano detalhado para a gestão dos RCD, desde a coleta, até o manuseio e destinação final (BAKCHAN e FAUST, 2019), no qual a estimativa precisa dos quantitativos de Resíduos de Construção e Demolição é vital para garantir que medidas de redução específicas sejam desenvolvidas (XU et al., 2019).

Segundo Arshad et al. (2017), alguns fatores influenciam a produção de RCD durante a implantação de edifícios, os quais podem ser atribuídos ao: (i). Construtor – devido a falhas na gestão, manuseio de materiais e operação, que estão vinculados à falta de habilidade dos operários, à falta de supervisão do canteiro de obras, à ausência de planejamento de gerenciamento das obras, inclusive de gerenciamento de resíduos, bem como da contribuição de falhas no processo de aquisição de materiais; (ii). Projetista – por conta de projetos e especificações inadequados; e (iii). Cliente – em função de pedidos de alteração do projeto, com consequentes retrabalhos.

Os dados referentes à geração de RCD, quais sejam as informações qualitativas e quantitativas, podem auxiliar o Poder Público na proposição e no estabelecimento de leis e políticas mais realistas, bem como na implantação de infraestrutura para a reciclagem e destinação dos resíduos, ou ainda, na organização dos recursos de mão de obra e equipamentos (caminhões, caçambas estacionárias, etc.) necessários ao adequado manejo dos RCD (WU, YU e LIU, 2014).

Sobretudo, a estimativa do quantitativo de Resíduos de Construção e Demolição, com base nas informações reais do projeto de um edifício, é deveras importante para a adequada gestão ambiental de obras construção e demolição, uma vez que a quantificação dos mesmos através de índices com frágil embasamento científico pode resultar em uma previsão divergente da realidade, tendo em vista que cada projeto de construção tem características próprias, tornando-o único (LAM et al., 2019).

1.1 JUSTIFICATIVA

Quase a totalidade dos RCD são materiais inertes, no entanto, são caracterizados por grande volume e peso e, por conseguinte, têm um significativo impacto sobre o meio ambiente natural, devido à logística de transporte envolvida e à ocupação do solo urbano (KAMINO; GOMES; BRAGANÇA, 2019).

Os RCD são gerados, durante a construção de edificações, segundo três fases distintas, quais sejam, demolição, escavação e construção, sendo as duas primeiras fases responsáveis pela produção da maior parte do volume e peso dos resíduos, em um curto espaço de tempo e, por consequência, exigem um rigoroso planejamento da estocagem no canteiro de obras, do transporte externo e da destinação final dos resíduos, ambientalmente correta.

Segundo Ortiz, Pasqualino e Castells (2010), a contribuição da fase de construção para a geração de resíduos é baixa, quando comparada às fases de demolição e escavação. Mas a fase de construção não pode ser negligenciada, tendo em vista os impactos ambientais negativos derivados do consumo excessivo de materiais de construção, do consumo de água e da produção de resíduos perigosos.

A estimativa da geração de resíduos é uma importante informação para o planejamento da gestão sustentável de obras da construção civil. A mensuração do volume ou peso dos RCD, constante no Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), é elaborada pelo empreendedor, através de fórmulas paramétricas, nas quais os indicadores estão previamente estabelecidos pelo ente público.

A variação do quantitativo de resíduos gerados pelos construtores, resultante da comparação entre o volume inicialmente informado no PGRCC e o efetivamente gerado, tem implicado em um passivo ambiental de complexa justificativa, tendo em vista que há diversas variáveis envolvidas, dentre as quais, o método construtivo, as novas tecnologias e materiais de construção, o padrão de acabamento do edifício, a eficiência do construtor, dentre outros fatores, que influenciam na diminuição ou aumento do quantitativo de RCD produzido durante as etapas de execução da obra.

No caso particular da Cidade do Recife, as diretrizes para a elaboração do PGRCC, especificamente quanto às regras para a quantificação do volume dos resíduos, contemplam indicadores pré-estabelecidos referente às etapas de construção, demolição e escavação. Os indicadores de RCD, utilizados a mais de uma década pela autoridade municipal do Recife e mercado da construção, são produtos de pesquisas pioneiras desenvolvidas na Universidade de Pernambuco (UPE).

Há uma necessidade de revisão e atualização dos indicadores de RCD, haja vista a dinâmica natural de inovação dos materiais de construção e dos métodos e tecnologias construtivas. Portanto, este trabalho tem como objetivo revisar e ampliar os indicadores totais de geração dos RCD utilizados na cidade do Recife para a previsão dos resíduos, através da estruturação, incremento quali-quantitativo e análise crítica do banco de dados municipal de Resíduos da Construção e Demolição. O estudo tem como base um banco de dados com mais de 300 obras civis de demolição e construção de edifícios de usos diversos, os quais foram executados na capital do Estado de Pernambuco.

A significativa quantidade de dados estudados da cidade do Recife e o escopo pesquisado, os resíduos de classe A, gerados nas fases de demolição, escavação e construção de edifícios, as tipologias de edificações e as tecnologias construtivas verificadas, dentre outras informações, diferencia essa pesquisa das anteriores.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo propor indicadores de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), a serem utilizados na cidade do Recife, para a previsão de resíduos de obras de edifícios.

1.2.2 Objetivos específicos

Com o propósito de atingir o objetivo principal, são contemplados os seguintes objetivos específicos:

- Coletar e catalogar os dados referentes aos Resíduos de Construção e Demolição, gerados em obras de construção, escavação e demolição, através de consulta no banco de dados de RCD da Cidade do Recife, especificamente, para os edifícios com o processo de licenciamento urbanístico finalizados pela Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB) em 2018 e 2019;
- Calcular os indicadores totais de geração de RCD, resíduos de classe A, para as etapas de construção, escavação e demolição de edificações, inclusive os indicadores para construção não convencional;

- Comparar os indicadores totais de RCD obtidos, com os indicadores atualmente adotados pela EMLURB Recife;
- Calcular os indicadores de não cumprimento à legislação, pelos geradores, especificamente, quanto à elaboração do PGRCC, transporte dos resíduos e destinação ambientalmente correta dos RCD; e
- Divulgar e transferir à sociedade os resultados do estudo sobre os indicadores de construção, escavação e demolição, em linguagem não científica, por meio da elaboração de uma cartilha.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação está dividida em 5 capítulos, descritos a seguir.

No capítulo 1, é apresentada a INTRODUÇÃO do estudo, no qual é realizada uma contextualização do tema tratado, bem como a justificativa da pesquisa e os objetivos propostos.

No capítulo 2, é apresentado o REFERENCIAL TEÓRICO das principais temáticas a respeito dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e da sua definição, classificação, caracterização qualitativa e quantitativa, base legal, métodos de quantificação e estudos sobre indicadores de RCD.

No capítulo 3, é apresentada a METODOLOGIA aplicada à realização da pesquisa, na qual é descrita a abordagem e tipo da pesquisa, a coleta de dados e amostragem, o fluxo de análise e cálculo dos indicadores de RCD e o tratamento estatístico dos dados.

No capítulo 4, são apresentados os RESULTADOS E DISCUSSÃO relativos às características das edificações estudadas, à proposta de indicadores de RCD, à análise comparativa dos indicadores propostos aos indicadores PCR, aos indicadores de obras modelo, à análise das infrações, aos indicadores de transporte e reutilização de RCD, aos indicadores de custos com manejo de resíduos em relação ao Custo Unitário Básico de Construção (CUB) e à “Cartilha do PGRCC”.

No capítulo 5, são apresentadas as CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES da pesquisa, a partir de um resumo dos resultados obtidos, e sugestões para pesquisas futuras sobre a temática de indicadores de RCD.

CAPÍTULO 2

REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, é traçado um breve panorama da indústria da construção civil no Brasil, e ainda, são percorridos os principais temas relacionados aos RCD, especificamente, a sua definição, classificação, caracterização qualitativa e quantitativa, a situação atual dos resíduos na cidade do Recife, a base legal que rege a temática, os métodos de quantificação, bem como, os estudos sobre indicadores de resíduos já produzidos, em especial, na Região Nordeste do Brasil.

2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

A indústria da construção civil é de grande importância para a economia do Brasil, tendo em vista que gera milhares empregos, renda e riquezas, bem como é responsável por materializar os projetos de edifícios e de infraestrutura que dão estímulo à economia nacional, em contrapartida, esta atividade de transformação da paisagem natural é responsável pelo consumo de grande volume de matérias-primas naturais e pela geração de expressiva quantidade de resíduos (LINS, LINS e BURGOS, 2018).

A construção civil brasileira apresenta, dentre os diversos desafios de gestão, a necessidade de conciliar a preservação do meio ambiente natural e a diminuição do déficit de habitação e infraestrutura, tanto para o transporte e comunicação, quanto para o abastecimento de água, esgotamento sanitário, energia, indústria, comércio, dentre outras, sendo tal problemática agravada pela concepção de projetos de engenharia conservadores e técnicas construtivas ultrapassadas, as quais estimulam o consumo excessivo de insumos naturais, bem como o aumento da geração de RCD e poluentes, fatores que acabam por impactar o meio ambiente natural e o urbano (PASCHOALIN FILHO et al., 2017).

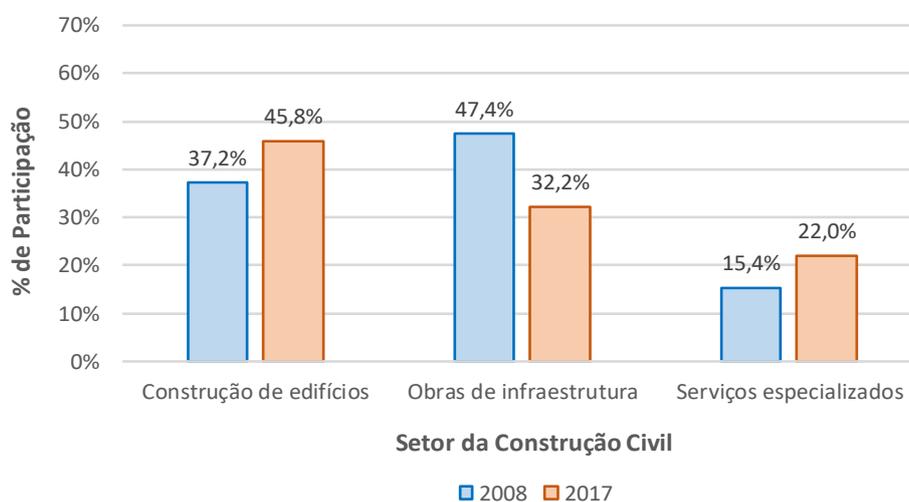
Em relação aos resíduos gerados na indústria da construção civil nacional, Gusmão (2008), ensina que:

“A cadeia da construção civil é um dos setores mais importantes da economia brasileira, sendo responsável por um grande número de empregos diretos e indiretos. Por outro lado, é o setor produtivo que mais gera resíduos sólidos, representando mais de 50% dos resíduos produzidos nas grandes cidades. Esses resíduos são gerados na etapa de construção das obras, uso e manutenção, e na sua demolição (ou desconstrução).”

Segundo dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, através da Pesquisa Anual da Indústria da Construção – PAIC, edição referente ao ano de 2017, a indústria da construção civil gerou naquele ano um valor total de R\$ 280 bilhões, dos quais R\$ 128,1 bilhões se referem ao setor da construção de edifícios, inclusos R\$ 15,6 bilhões em valor de incorporações, R\$ 90,3 bilhões ao setor de obras de infraestrutura e R\$ 61,6 bilhões ao setor de serviços especializados da construção.

Segundo dados publicados pelo IBGE (2018) na PAIC, na última década houve uma significativa mudança na estrutura de valor e importância dos três setores que compõem a indústria da construção civil, visto que, o setor da construção de edifícios passou a ser o segmento mais representativo, com 45,8% do valor total em 2017, enquanto as obras de infraestrutura, que geravam a maior parcela do valor de obras em 2008, ficaram em segundo lugar, com 32,2% em 2017, já os serviços especializados da construção mantiveram o terceiro lugar, mas ampliaram sua participação para 22,0% do total em 2017 (Figura 2.1).

Figura 2.1– Participação no valor total anual de obras e serviços por setor da construção civil no Brasil

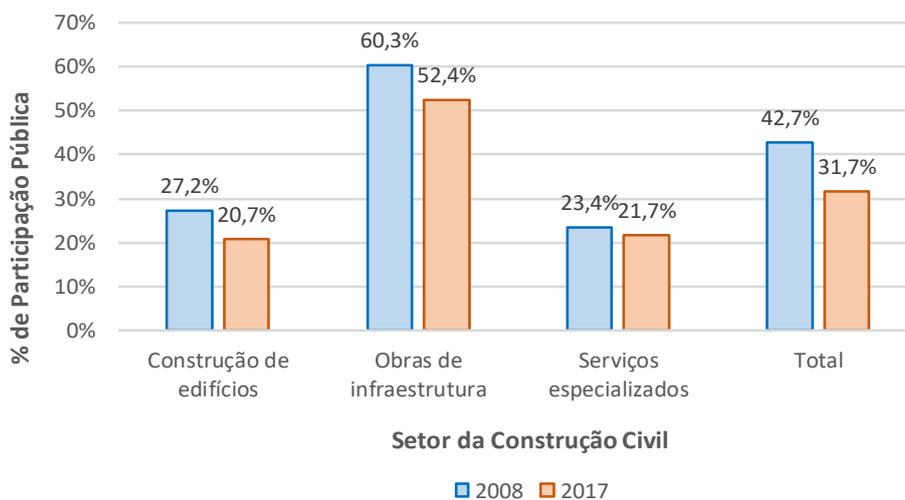


Fonte: IBGE (2018)

Quanto à evolução na última década da participação do setor público no valor de obras e serviços, dados da PAIC 2017, apontam que o setor público perdeu representatividade para o setor privado no total da indústria da construção civil, passando de 42,7% para 31,7%, entre os anos de 2008 e 2017, o que representa um declínio no período de 11,0%. (Figura 2.2). Esta perda de importância relativa do setor público na construção civil nacional foi observada nos

três setores, quais sejam, da construção de edifícios (de 27,2% para 20,7%), obras de infraestrutura (de 60,3% para 52,4%) e serviços especializados (de 23,4% para 21,7%), com uma queda mais acentuada para as obras de infraestrutura (- 7,9%).

Figura 2.2 – Participação do setor público no valor total anual de obras e serviços por setor da construção civil no Brasil



Fonte: IBGE (2018)

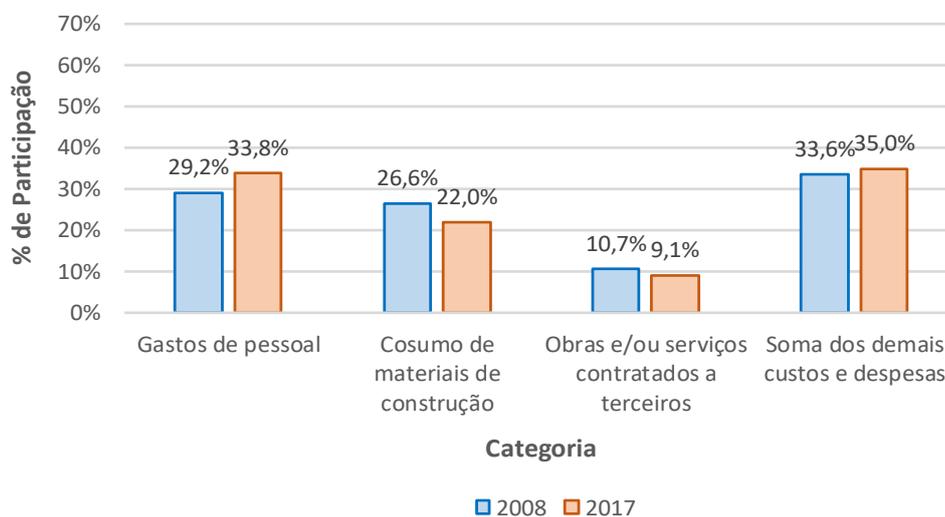
A PAIC 2017 (IBGE, 2018), também abrangeu a evolução na última década da estrutura dos custos e despesas da indústria da construção (Figura 2.3), a qual é composta por quatro categorias: gastos de pessoal; consumo de materiais de construção; obras e/ou serviços contratados a terceiros; e a soma dos demais custos e despesas.

A parcela referente aos gastos de pessoal, primeira categoria mais representativa, apresentou aumento no período compreendido entre 2008 e 2017 (de 29,2% para 33,8%), fato que pode ser explicado pelo incremento dos preços e salários no período. A categoria referente ao consumo de materiais de construção, segunda parcela em representatividade, apresentou diminuição ao longo da série da pesquisa, uma vez que em 2008 correspondia a 26,6%, decrescendo em 2017 para 22,0%.

Já a categoria de obras e/ou serviços contratados a terceiros, terceira parcela mais representativa, também apresentou diminuição no período, visto que em 2008 representava 10,7% e decresceu em 2017 para 9,1%. As demais categorias somadas apresentaram pequena

elevação ao longo da série da pesquisa, tendo em vista que em 2008 correspondia a 33,6%, passando para 35,0% em 2017.

Figura 2.3 – Estrutura dos custos e despesas da indústria da construção no Brasil em 2008 e 2017



Fonte: IBGE (2018)

Os resultados publicados pelo IBGE na Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2017, particularmente quanto à categoria de consumo de materiais de construção, segunda parcela mais representativa da estrutura de custos e despesas da indústria da construção civil, corroboram com a importância do uso racional dos materiais de construção, traduzido através da diminuição das perdas quando do seu emprego, bem como da reutilização e/ou reciclagem dos RCD no canteiro de obras, ou ainda, da destinação dos resíduos para aterro de inertes ou aterro sanitário, tendo em vista eliminação ou diminuição dos impactos ambientais provocados pelas atividades da construção civil.

2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO BRASIL

2.2.1 Definição dos Resíduos Sólidos

De acordo com a ABNT NBR 1004:2004, a qual versa sobre a classificação dos resíduos sólidos, os resíduos sólidos correspondem aos:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas

de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

Segundo a Lei nº 12305/2010, a qual instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, entende-se por 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”

2.2.2 Definição e Classificação dos RCD

Os Resíduos de Construção e Demolição, correspondem a uma categoria particular de resíduos, tendo em vista terem grande diversidade de tipos e significativos volumes gerados. Alguns resíduos, a exemplo do gesso, podem ser reprocessados e reaproveitados, no entanto, deve-se evitar ao máximo a mistura dos diferentes tipos de matérias, sob pena de inviabilizar o processo de reciclagem (LUNA, 2018).

Caso particular são os resíduos da construção civil a base de gesso, os quais tiveram nova classificação dada através da Resolução CONAMA 431/2011, tendo em vista terem sido reclassificados da classe C para a classe B, uma vez que há tecnologia que permite a reciclagem dos mesmos para outras destinações. O novo enquadramento classificatório para os resíduos de gesso é fruto de um trabalho desenvolvido pela Associação Brasileira do *Drywall* (ABD), no qual foi demonstrado que os resíduos desse material de construção podem ser reaproveitados de diversas maneiras (ABD, 2012).

Os Resíduos de Construção e Demolição, de acordo com as classes previstas na ABNT NBR 1004:2004, norma que trata sobre os resíduos sólidos, podem ser enquadrados como resíduos Classe IIB resíduos inertes, como resíduos Classe II não perigosos, ou ainda como Classe I resíduos perigosos (Quadro 2.1):

Quadro 2.1 – Classificação dos Resíduos Sólidos (ABNT NBR 1004:2004)

Classe	Tipo	Descrição
Resíduos Classe I	Perigosos	Aqueles que apresentam periculosidade, que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar risco à saúde pública e /ou riscos ao meio ambiente
Resíduos Classe II	Não perigosos	Resíduos listados no Anexo H, tais como: Resíduo de restaurante (restos de alimentos); Sucata de metais ferrosos; Sucata de metais não ferrosos (latão etc.); Resíduo de papel e papelão; Resíduos de plástico polimerizado; Resíduos de borracha; Resíduo de madeira; Resíduo de materiais têxteis; Resíduos de minerais não-metálicos; Areia de fundição; Bagaço de cana; Outros resíduos não perigosos
Resíduos Classe II A	Não inertes	Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos Classe II B - Inertes. Os resíduos classe II A – não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Resíduos Classe II B	Inertes	Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G.

Fonte: ABNT NBR 1004:2004

De acordo com Gusmão (2008) e segundo a ABNT NBR 1004:2004, os Resíduos da Construção Civil (RCC), também conhecidos como Resíduos de Construção e Demolição (RCD), são em geral classificados como inertes, Classe II-B, visto que, quando submetidos a testes de solubilização, os mesmos não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores ao padrão de potabilidade da água.

RCD Classe A Resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de obras de pavimentação e obras de edificações, reutilizáveis ou recicláveis como agregados, a exemplo dos solos provenientes de terraplanagem, componentes cerâmicos, argamassa e concreto, ou ainda, resíduos gerados no processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto, produzidas no canteiro de obras.

- RCD Classe B Resíduos recicláveis para outras destinações, a exemplo dos plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
- RCD Classe C Resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem/recuperação.
- RCD Classe D Resíduos perigosos oriundos do processo de construção civil, a exemplo das tintas, solventes, óleos, resíduos contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Conforme estipulado no artigo 3º da Resolução CONAMA 307/2002, os Resíduos de Construção e Demolição são agrupados segundo quatro classes: A, B, C e D. A forma de apresentação de cada uma das classes de RCD é apresentada no Quando 2.2.

Quadro 2.2 – Forma de apresentação dos Resíduos da Construção Civil segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002 e Resolução CONAMA nº 431/2011

Classe	Forma de Apresentação
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: (a) solos provenientes de terraplenagem; (b) componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.); armassa; e concreto; (c) peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios, etc.).
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e gesso.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, a exemplo dos blocos em EPS (isopor), dentre outros, não enquadrados na Classe C.
D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos que contenham amianto e outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Brasil (2011) e Brasil (2002)

2.2.3 Caracterização dos RCD

Para Paz (2014), a significativa quantidade dos RCD gerados em obras da construção civil são provenientes de perdas de materiais de construção nos canteiros de obras, derivadas da falta de

habilidade da mão de obra no transporte e uso dos insumos. Esse contexto também pode ser explicado por problemas na gestão da obra, bem como na compatibilização dos projetos, dentre outros fatores. Na Tabela 2.1 são apresentadas as taxas médias de desperdício, para alguns materiais de construção, segundo cinco países.

Tabela 2.1 – Taxas médias de desperdício de materiais de construção no canteiro de obras, segundo alguns países

Material	Desperdício médio (%)					
	Brasil	USA	China	UK	Korea	Hong Kong
Blocos/tijolos	17,5	3,5	2,0	4,5	3,0	ND
Concreto	7,0	7,5	2,5	2,5	1,5	6,7
Drywall	ND	7,5	ND	5,0	ND	9,0
Forma	ND	10,0	7,5	ND	16,7	4,6
Vidro	ND	ND	0,8	ND	6,0	2,3
Argamassa	46,0	3,5	5,0	ND	0,3	3,2
Pregos	ND	5,0	ND	ND	ND	ND
Vergalhão (Aço)	21,0	5,0	5,0	ND	ND	8,0
Telhas	87,0	6,5	ND	5,0	2,5	6,3
Papel de Parede	ND	10,0	ND	ND	11,0	ND
Madeira	32,0	16,5	ND	6,0	ND	45,0

ND = Não Disponível

Fonte: Chen, Li e Wong (2002)

Em relação à composição dos resíduos de demolição gerados na União Europeia, Mália et al. (2013), certificam que o volume de resíduos da demolição de edifícios em concreto armado corresponde a mais de 60% da massa total de resíduos gerados, ou ainda, 80% dos resíduos totais gerados para edifícios construídos em estrutura de concreto e alvenaria.

A separação dos RCD deve ser realizada no canteiro de obras, onde os mesmos são gerados, de maneira que seja evitada a mistura dos resíduos, visto que uma vez misturados, ficam incapacitados de serem separados após o transporte. Quando os resíduos de construção, reformas ou demolições corresponderem a pequenos volumes, deve-se providenciar o acondicionamento dos mesmos em sacos e o transporte até o Posto de Recebimento de Resíduos mais próximo do local de geração, visando a destinação ambientalmente adequada.

Para volumes maiores de RCD, é imprescindível a contratação de empresas especializadas para o transporte e destinação ambientalmente adequada, as quais devem estar registradas no Poder Público Municipal e licenciadas pelo Órgão Ambiental (LUNA, 2018).

Resultados de estudos desenvolvidos por Lafayette et al. (2018), a respeito da composição gravimétrica dos RCD, gerados em obras de construção de edifícios, executadas em Recife, apontam, que na execução das fases de estruturas, alvenaria, acabamento e demolição, há a predominância da geração de resíduos compostos por concreto, argamassa e tijolos (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Composição gravimétrica dos resíduos da fase de estruturas, alvenaria, acabamento e demolição, na cidade do Recife

Componente	% Participação			
	Estrutura	Alvenaria	Acabamento	Demolição
Concreto	41,0	4,0	3,0	14,0
Argamassa	25,9	26,0	27,1	24,0
Tijolo	8,0	44,0	7,0	10,0
Cerâmica			2,0	12,0
Cerâmica, Argamassa e Concreto				14,9
Gesso			2,0	
Madeira	1,0			
Metal	1,0	2,0		
Materiais pequenos	16,0	17,0	54,0	13,0
Material composto	7,0	7,0	5,0	12,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Lafayette et al. (2018).

Segundo Carneiro (2005), a composição gravimétrica dos Resíduos da Construção Civil na cidade do Recife é aquela apresentada na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Composição gravimétrica dos RCD por fase de construção em Recife

Componente do RCC	% Participação			
	Fundação	Estrutura	Alvenaria	Acabamento
Concreto	0,0	53,6	4,6	0,0
Argamassa	8,2	12,8	30,3	52,2
Brita	17,7	0,6	14,0	0,0
Solo	71,8	9,3	0,0	0,0
Tijolo	0,2	16,0	38,9	12,3
Cerâmica	1,0	0,0	0,0	8,0
Areia	0,0	0,7	10,2	6,3
Madeira	0,0	5,8	0,0	0,0
Metal	0,0	1,2	0,0	0,0
Outros (gesso, etc)	1,0	0,0	2,1	21,1
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Carneiro (2005).

De acordo os dados da autora, para as fases da etapa de construção, quais sejam, fundação, estrutura, alvenaria e acabamento, o solo de fundação, concreto estrutural, tijolos estruturais e não estruturais, bem como, as argamassas de assentamento e revestimento, correspondem as parcelas mais representativas da composição total dos RCD gerados. Portanto, a predominância de resíduos inertes (classe A), demonstra a necessidade de ações efetivas do poder público e da iniciativa privada, para a diminuição das perdas, ou ainda, para o aproveitamento do alto potencial de reutilização e reciclagem dos resíduos da construção civil.

2.3 BASE LEGAL

Tendo em vista uma melhor compreensão a respeito das normas jurídicas brasileiras e documentos técnicos que ordenam e regem a temática dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), no âmbito dos três entes federados (União, Estado de Pernambuco e Município do Recife), a seguir estão sistematizados e sintetizados os principais pontos atinentes ao assunto, abordados pelas respectivas normas e documentos (Tabela 2.4).

No Brasil as políticas públicas voltadas para a gestão dos Resíduos de Construção e Demolição avançaram nas últimas décadas através da proposição e aprovação de diversas normas, as quais inicialmente estabeleceram apenas sanções pecuniárias aos geradores infratores e recentemente abordaram aspectos relacionados ao reuso, reciclagem, participação social, empreendedorismo, emprego e renda, dentre outros aspectos (LINS et al., 2017).

A publicação da Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), proporcionou a aceleração do interesse da indústria da construção civil pela gestão dos RCD, visto que os geradores começaram a ser responsabilizados pelos resíduos gerados.

Outrossim, obrigou a elaboração do Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC) pelos Municípios e Distrito Federal, no qual deve constar as diretrizes técnicas e procedimentos para os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCD) a serem elaborados pelos grandes geradores, dentre outros requisitos.

No ano de 2010 foi publicada a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), legislação que promoveu importante marco para o setor de resíduos da

construção civil e deu nova força para a correta gestão e reciclagem dos RCD. Tal legislação brasileira deixou evidente a obrigação de os municípios elaborarem o PMGRCC com medidas concretas para a gestão dos RCD, dentre as quais a realização de previsões, pelos grandes geradores privados, com o objetivo de classificar e quantificar os resíduos gerados durante a implantação de edificações.

Tabela 2.4 – Normas jurídicas e documentos técnicos sobre os RCD

Item	Ano de Publicação	Número	Origem	Assuntos
1	1986	Lei 14.903	Municipal	Dispõe sobre as sanções aplicáveis aos atos ofensivos à limpeza urbana
2	1998	Lei 16.377	Municipal	Introduz modificações na Lei nº 14.903, de 03 de outubro de 1986. Regra, no âmbito do município do Recife, o recolhimento, transporte e disposição de lixos [resíduos] provenientes de construção, demolição, terraplenagem, desaterro, podaço e jardinagem, dentre outras temáticas
3	1998	Decreto 18.082	Municipal	Regulamenta a Lei nº 16.377/98, no que tange ao transporte e disposição de resíduos de construção civil, no município do Recife-PE
4	2002	Resolução CONAMA 307	Federal	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil em todo o território nacional
5	2005	Lei 17.072	Municipal	Estabelece as diretrizes e critérios para o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) no âmbito do município do Recife
6	2010	Lei 12.305	Federal	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em todo o território nacional
7	2010	Lei 14.236	Estadual	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) para todo o território do Estado de Pernambuco
8	2011	Resolução CONAMA 431	Federal	Estabelece nova classificação para os resíduos de gesso. Reclassificados da Classe C (s/ tecnologia p/ reciclagem) para Classe B (recicláveis p/ outras destinações)
9	2012	Resolução CONAMA 448	Federal	Altera artigos da Resolução CONAMA 307
10	2012	-	Estadual	Plano Estadual de Resíduos Sólidos - Pernambuco
11	2012	Decreto 26.688	Municipal	Estabelece procedimento para o requerimento e expedição, por via eletrônica, do alvará de habite-se, no âmbito do município do Recife-PE
12	2015	Resolução CONAMA 469	Federal	Altera o artigo 3º da Resolução CONAMA 307. Submete as embalagens vazias de tintas imobiliárias à sistema de logística reversa
13	2019	-	Municipal	Diretrizes para elaboração do PGRCC
14	2020	Instrução Normativa nº 1	Municipal	Cria o sistema eletrônico de monitoramento e supervisão das atividades de logística de transporte de RCD

Fonte: Compilação do autor

Isto posto, a seguir são apresentados breves comentários a respeito das leis e normas publicadas pela União, pelo Estado de Pernambuco e pela Cidade do Recife sobre os RCD.

2.3.1 Legislação e Normas Federais

2.3.1.1 Resolução CONAMA 307/2002 – Gestão dos RCD

A Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos Resíduos da Construção Civil, disciplinando as ações necessárias para minimizar os impactos ambientais promovidos pelo inadequado manejo dos resíduos.

As principais questões estabelecidas neste instrumento são:

Objetivos e Cuidados

Os geradores de RCD deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos, bem como, de maneira secundária, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final, ambiental adequada. Os resíduos não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota-fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei.

Destinação dos RCD

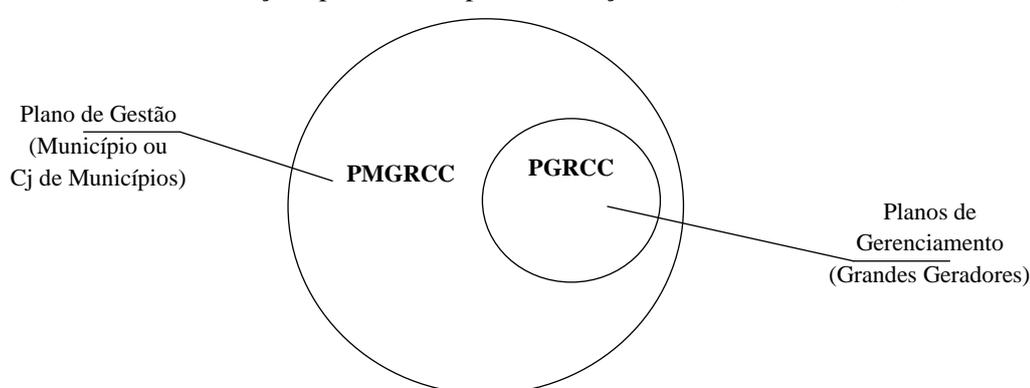
A forma e o local de destinação, segundo a classe dos RCD, correspondem a:

- Classe A Reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
- Classe B Reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
- Classe C Armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
- Classe D Armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Instrumentos para Gestão dos RCD

Conforme alterações contidas na Resolução CONAMA 448/2012, os Municípios e o Distrito Federal, devem elaborar o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC), com a finalidade de orientar a implementação da gestão dos RCD, ao qual devem ser incorporados os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Instrumentos para a gestão municipal dos RCD (Resolução CONAMA 307/2002 e alterações promovidas pela Resolução CONAMA 448/2012)



Fonte: Elaborado pelo autor

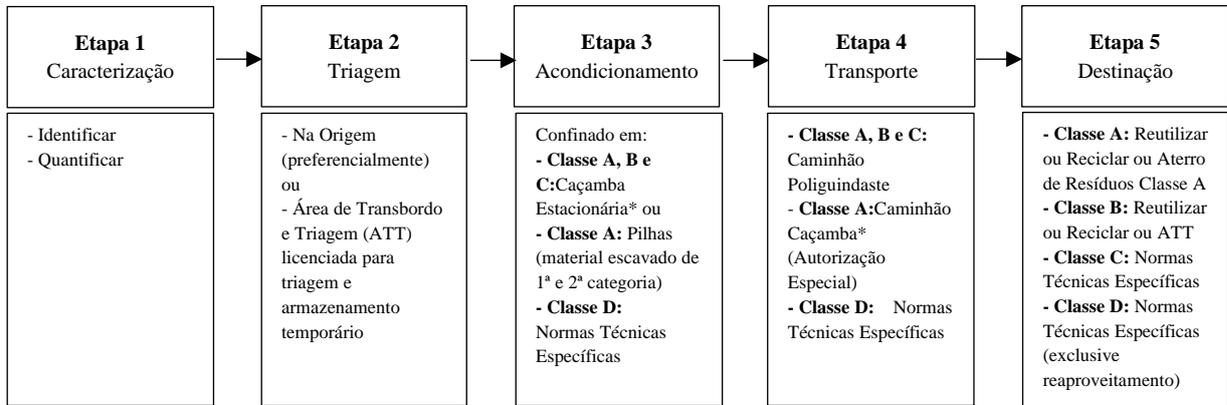
O Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil deve conter, dentre outras questões, as diretrizes técnicas e procedimentos para os PGRCC a serem elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores.

Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC)

O PGRCC, deverá contemplar o detalhamento da etapa de geração dos RCD até a destinação final dos resíduos (Figura 2.5). O PGRCC foi alterado pela Resolução CONAMA 448/2012.

O gerenciamento dos RCD é iniciado a partir da elaboração do projeto do edifício, o qual deve ser pensado com o objetivo primordial de redução dos resíduos. Concluído o projeto, deve ser desenvolvido o PGRCC, o qual deve ser embasado nas informações constantes no projeto do edifício. Posteriormente, PGRCC e projeto são apresentados ao órgão ambiental, quando objeto de licenciamento ambiental, ou caso contrário, ao órgão municipal responsável, visando a análise e aprovação dos documentos, e a consequente execução da obra e gerenciamento dos RCD. O fluxo de análise do PGRCC adotado pela PCR é apresentado na Figura 2.6.

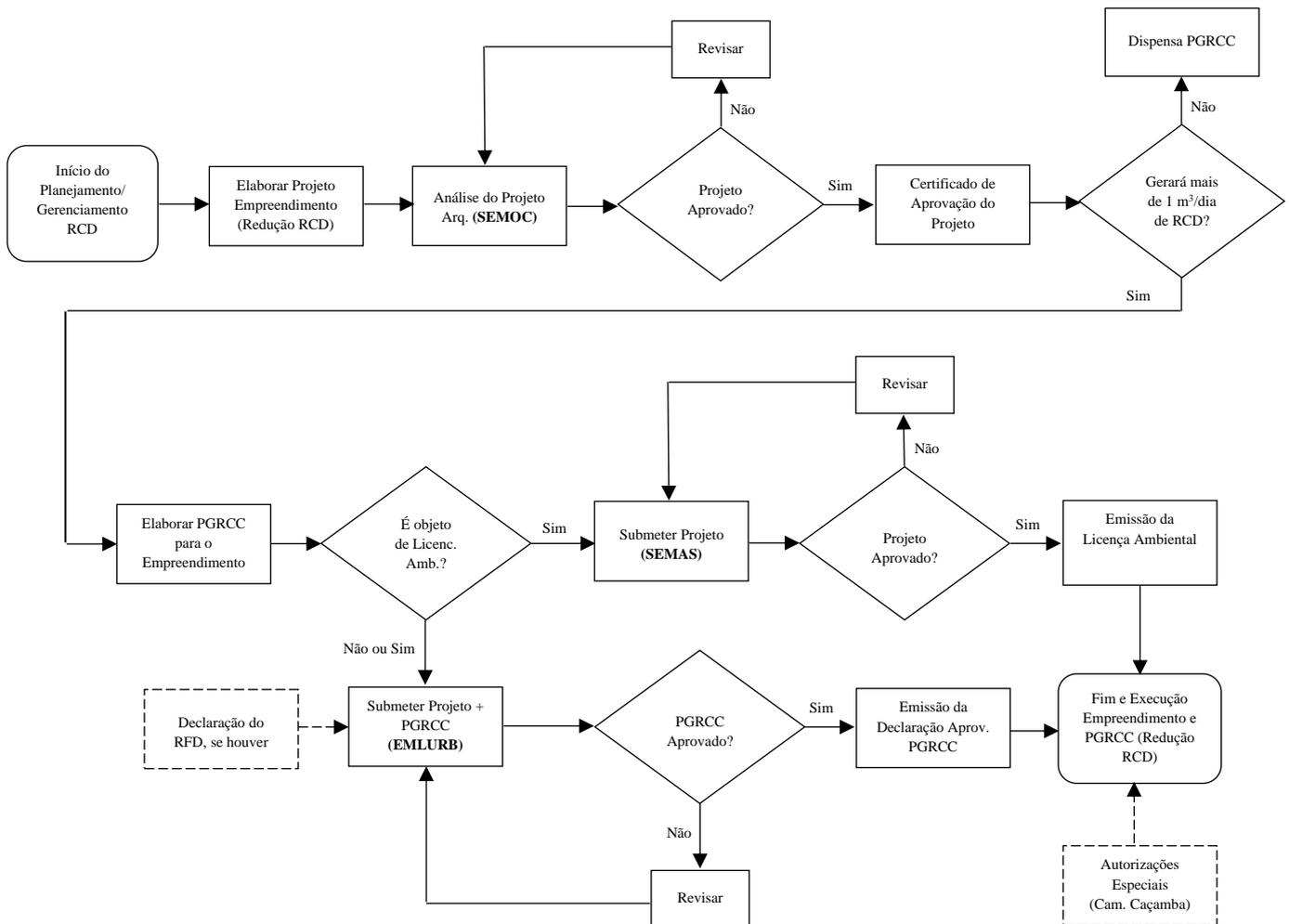
Figura 2.5 – Etapas que devem estar contempladas no PGRCC (Resolução CONAMA 307/2002 e CONAMA 448/2012)



* Condições de acondicionamento e transporte admitidas pela Prefeitura da Cidade do Recife (PCR).

Fonte: Compilação do autor

Figura 2.6 – Fluxograma do processo de análise e aprovação do PGRCC pela Prefeitura da Cidade do Recife (Resolução CONAMA 307/2002 e alterações)



Fonte: Elaborado pelo autor

2.3.1.2 Lei 12305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, bem como, as responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis.

Dentre os objetivos da Política, merece destaque a prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para as obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis. Os responsáveis pela elaboração dos Planos de Resíduos Sólidos e as proibições no manejo dos resíduos sólidos, estão sintetizadas no Quadro 2.3 e Quadro 2.4, respectivamente:

Quadro 2.3 – Planos de Resíduos Sólidos e respectivos responsáveis

Artigo PNRS	Plano de Resíduos Sólidos	Responsável pela Elaboração
Artigo 15	Plano Nacional de Resíduos Sólidos	União, sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente
Artigos 16, 17	Planos Estaduais de Resíduos Sólidos	Cada um dos 26 Estados
Artigo 18, 19	Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	Distrito Federal e cada um dos 5.570 Municípios
Artigos 17, 18	Planos Microrregionais de Resíduos Sólidos	Estado, com a participação obrigatória dos Municípios abrangidos (elaboração não obrigatória)
Artigos 11, 17	Planos de Resíduos Sólidos de Regiões Metropolitanas ou Aglomerações	Estado, com a participação obrigatória dos Municípios abrangidos (elaboração não obrigatória)
Artigos 18, 19	Planos Intermunicipais de Resíduos Sólidos	Todos os Municípios abrangidos (elaboração não obrigatória)
Artigos 20, 21, 22, 23, 24	Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (integra o processo de licenciamento ambiental do empreendimento ou atividade)	Geradores de Resíduo Sólido: empresas de construção civil; empresas de serviços públicos de saneamento básico; indústrias; estabelecimentos de serviços de saúde; mineradoras (resíduos de pesquisa, extração e beneficiamento de minérios); estabelecimentos comerciais, cujos resíduos não estejam equiparados aos resíduos domiciliares; atividades agropecuárias e silviculturais; os responsáveis pelos terminais portuários, aeroportuários, alfandegários, rodoviários e ferroviários, bem como as passagens de fronteira

Fonte: Compilação do autor

continua ...

Quadro 2.3 – Planos de Resíduos Sólidos e respectivos responsáveis (continuação)

Artigo PNRS	Plano de Resíduos Sólidos	Responsável pela Elaboração
Artigos 37, 38, 39, 40	Plano de Gerenciamento de Resíduos Perigosos (integra o processo de licenciamento ambiental do empreendimento ou atividade)	Pessoas jurídicas que operam com resíduos perigosos, em qualquer fase do seu gerenciamento

Fonte: Compilação do autor

Quadro 2.4 – Proibições quanto à destinação e o uso dos Resíduos Sólidos

Artigo PNRS	Proibições
Artigo 47	Quanto à Destinação ou Disposição
	Lançamento dos resíduos sólidos em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos*
	Lançamento dos resíduos sólidos, <i>in natura</i> a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração
	Queima a céu aberto ou em recipientes ou instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade
	Outras formas vedadas pelo poder público
Artigo 48	Quanto ao Uso das Áreas de Disposição Final
	Fixação de habitações temporárias ou permanentes
	Utilização dos rejeitos dispostos como alimentação
	Catação, cuja proibição deve estar associada à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis
	Criação de animais domésticos
Outras atividades vedadas pelo poder público	

* Não são considerados corpos hídricos, assegurada a devida impermeabilização, as bacias de decantação de resíduos ou rejeitos industriais ou de mineração, devidamente licenciadas pelo órgão competente do SISNAMA

Fonte: Compilação do autor

Instrumento da PNRS

Instrumento previsto na PNRS, ao qual está ancorada, o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), serve de apoio à gestão ambiental dos Estados, Municípios e Distrito Federal. O SINIR é alimentado pelos Estados, Municípios e Distrito Federal, com dados sobre o planejamento e a execução da gestão dos resíduos sólidos, bem como, com informações sobre a realidade da geração e coleta dos resíduos (MMA, 2019).

A PNRS e os aspectos relacionados aos RCD

Na PNRS são abordadas questões relativas aos RCD, especificamente quanto à gestão destes que deve estar integrada aos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos, cuja elaboração, está vinculada ao acesso pelos Estados e Municípios aos recursos da União, ou por ela controlados.

2.3.1.3 Resolução CONAMA 431/2011 – Reclassificação dos Resíduos de Gesso

A Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece nova classificação para o gesso, modificando o artigo 3º da Resolução CONAMA nº 307/2002. A Resolução 307/2002 enquadrava os resíduos de gesso na Classe C, a qual corresponde aos resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.

Com a nova classificação estabelecida na Resolução 431/2011, os resíduos de gesso passam a fazer parte da Classe B, relativa aos resíduos recicláveis para outras destinações, tais como os plásticos, papel, papelão, metais, vidros e madeiras.

2.3.1.4 Resolução CONAMA 448/2012 – Alterações da Resolução CONAMA 307/2002

A Resolução CONAMA nº 448, de 18 de janeiro de 2012, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), altera os artigos 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307/2002. No Quadro 2.5 consta uma síntese comparativa das modificações promovidas.

2.3.1.5 Resolução CONAMA 469/2015 – Embalagens de Tintas Imobiliárias

A Resolução CONAMA nº 469, de 30 de julho de 2015, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), altera a Resolução CONAMA nº 307/2002, e inclui as embalagens vazias de tintas imobiliárias na Classe B e as submete à sistema de logística reversa.

São classificadas como resíduos de Classe B, as embalagens vazias de tintas imobiliárias, que apresentem apenas o filme seco de tinta em seu revestimento interno, sem o acúmulo de resíduo de tinta líquida.

Quadro 2.5 – Alterações da Resolução 307/2002 promovidas pela Resolução 448/2012

Artigo	Parágrafo ou Inciso	Comentários às Principais Alterações	
		Resolução CONAMA 307	Resolução CONAMA 448
2º	IX	Denominava "Aterro de resíduos da construção civil" Era definido, sem mencionar a necessidade do licenciamento ambiental da área	Passa a denominar "Aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros" Passa a ter nova definição, com a exigência do licenciamento ambiental da área pelo órgão ambiental competente
2º	X	Denominava "Áreas de destinação de resíduos" Eram definidas, como áreas destinadas ao beneficiamento ou à disposição final dos resíduos	Passa a denominar "Área de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos (ATT)" Passam a ser definidas, com a exclusão da finalidade de disposição final dos resíduos, bem como, com o detalhamento da finalidade, qual seja, o recebimento, triagem, armazenamento temporário de materiais segregados, eventual transformação e posterior remoção para destinação adequada
2º	XI	Não contemplava	É incluída a definição para "Gerenciamento de resíduos sólidos"
2º	XII	Não contemplava	É incluída a definição para "Gestão integrada de resíduos sólidos"
4º	<i>caput</i>	Eram elencados os objetivos dos geradores de resíduos sólidos, quais sejam, a não geração e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final dos resíduos	É incluído, aos demais objetivos inicialmente exigidos dos geradores, o tratamento dos resíduos sólidos. É substituído o termo "destinação final" pelo termo "disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos"
4º	§ 1º	Determinava que os resíduos da construção civil não poderiam ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei	É substituído o termo "aterros de resíduos domiciliares" por "aterros de resíduos sólidos urbanos", permanecendo válidas as demais determinações inicialmente exigidas para os resíduos da construção civil
5º	<i>caput</i>	Previa como instrumento para a implementação da gestão dos RCC o "Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil [...]"	Dá nova redação ao texto, o qual substitui o instrumento para a implementação da gestão dos RCC, qual seja o "Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil", pelo "Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil, [...], em consonância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos"
6º	<i>caput</i>	Previa o "Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil"	O "Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil" é substituído pelo "Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil"
6º	I	Incluía ao escopo das "diretrizes técnicas e procedimentos" o "Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil" e os "Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil"	É incluído ao escopo das "diretrizes técnicas e procedimentos" os pequenos geradores e, é excluído o "Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil", bem como, permanecem os "Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil"

Fonte: Elaborado pelo autor

continua ...

Quadro 2.5 – Alterações da Resolução 307/2002 promovidas pela Resolução 448/2012 (continuação)

Artigo	Parágrafo ou Inciso	Comentários às Principais Alterações	
		Resolução CONAMA 307	Resolução CONAMA 448
6º	III	Previa o estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e de disposição final de resíduos	É substituído o termo "áreas de beneficiamento e de disposição final de resíduos" por "áreas de beneficiamento e reservação de resíduos e de disposição final de rejeitos"
8º	Caput	Previa a responsabilidade pela elaboração e implementação dos Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil aos "geradores não enquadrados no artigo anterior"	É substituído o termo "geradores não enquadrados no artigo anterior" pelo termo "grandes geradores", permanecendo as demais condições inalteradas
8º	§ 1º	Previa o "Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil" em conformidade com "Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil"	É substituído o termo "Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil" pelo termo "Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil", permanecendo as demais regras inalteradas
8º	§ 2º	Previa que o "Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de atividades e empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental, deverá ser analisado dentro do processo de licenciamento, junto ao órgão ambiental competente"	É substituído o termo "Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil" pelo termo "Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil", bem como, o termo "junto ao órgão ambiental competente" pelo termo "junto aos órgãos ambientais competentes", permanecendo as demais regras inalteradas
9º	Caput	Previa como objeto os "Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil"	É substituído o objeto "Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil" pelos "Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil"
10º	Caput	Previa que "Os resíduos da construção civil deverão ser destinados [...]"	É incluído ao termo "Os resíduos da construção civil deverão ser destinados" o termo "após triagem", ficando que "Os resíduos da construção civil, após triagem, deverão ser destinados [...]"
10º	I	Previa que os resíduos Classe A deveriam ser encaminhados a "áreas de aterros de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura"	Prevê que os resíduos Classe A devem ser encaminhados a "aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros"
10º	IV	Previa que os resíduos Classe D deveriam ser "reaproveitados", dentre outras determinações, quais sejam, armazenagem, transporter e destinação	Exclui a previsão de reaproveitamento para os resíduos Classe D, permanecendo inalteradas as demais determinações
11º	Caput	Previa como objeto os "Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil"	É substituído o objeto "Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil" pelos "Planos Municipais de Gestão de Resíduos de Construção Civil"
11º	Parágrafo único	Não contemplava	Prevê que "os Planos Municipais de Gestão de Resíduos de Construção Civil poderão ser elaborados de forma conjunta com outros municípios"
7º, 12, 13	Caput	Os arts 7º e 12, tratavam sobre "O Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil"; e o art 13, sobre "aterros de resíduos domiciliares e áreas de bota-fora"	Ficam revogados

Fonte: Elaborado pelo autor

2.3.2 Legislação e Norma do Estado de Pernambuco

2.3.2.1 Lei 14236/2010 – Política Estadual de Resíduos Sólidos

A Lei estadual nº 14236, de 13 de dezembro de 2010, dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), a qual estabelece as diretrizes gerais aplicáveis aos resíduos sólidos, no âmbito do Estado de Pernambuco, bem como os seus princípios, objetivos, instrumentos de gestão e gerenciamento, responsabilidades e instrumentos econômicos.

As principais questões estabelecidas neste instrumento são:

A responsabilidade administrativa, no caso da ocorrência de danos ambientais ou risco à saúde da população, causados pelos resíduos, recairá sobre os estabelecimentos geradores, especificamente, a responsabilidade pelo transporte, tratamento e destinação final dos produtos e embalagens que comprometam o meio ambiente e coloquem em risco a saúde pública.

Também serão responsabilizados, o gerador, nos casos de acidentes ocorridos em suas instalações, bem como o transportador, durante o percurso. A responsabilidade dar-se-á desde a geração até a disposição final dos resíduos.

Aos municípios cabe a organização e o gerenciamento dos sistemas de segregação, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento, destinação e disposição final dos resíduos sólidos; e a elaboração e implementação do Plano Municipal de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos (PMGIRS).

Já ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, qual seja a Prefeitura Municipal, cabe disponibilizar postos de coleta para os resíduos sólidos e dar disposição final ambientalmente adequada aos rejeitos.

2.3.2.2 Plano Estadual de Resíduos Sólidos

O Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), elaborado pelo Governo do Estado de Pernambuco, e publicado em julho de 2012, constitui-se em um documento que integra o Sistema Estadual de Resíduos Sólidos.

Diretrizes e Estratégias

No tocante aos Resíduos da Construção Civil, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos é norteado segundo as seguintes diretrizes e estratégias.

Diretrizes:

Erradicação das áreas irregulares de disposição final de resíduos de construção civil.

Incentivo ao reaproveitamento econômico dos resíduos da construção civil.

Assegurar a participação dos geradores dos resíduos da construção civil na sua gestão.

Estratégias:

Incentivar as práticas de combate ao desperdício, reutilização e reciclagem de materiais.

Intensificar a fiscalização (estadual e municipal) visando coibir o estabelecimento de novas áreas de “bota-fora”.

Fomentar a implantação de destinação final ambientalmente adequada de resíduos da construção civil (Classe A).

Apoiar a capacitação e difusão tecnológica visando incrementar as ações de combate ao desperdício, reutilização e reciclagem de RCD.

Priorizar a reutilização e a reciclagem de RCD nas obras e empreendimentos do governo estadual e nas compras públicas.

Apoiar a utilização dos resíduos da construção civil na cogeração de energia

Fomentar a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico destinado à busca de soluções para redução da geração de rejeitos e resíduos da construção civil em empreendimentos.

Fortalecer o órgão ambiental competente, visando o controle dos resíduos sólidos da construção civil gerados no Estado.

As metas e os respectivos indicadores, estabelecidos no Plano Estadual de Resíduos Sólidos, particularmente para os Resíduos da Construção Civil, são aquelas relacionadas no Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Matriz de Monitoramento e Avaliação do Plano Estadual de Resíduos Sólidos

Metas	Indicadores
Erradicação das áreas irregulares de disposição final de resíduos da construção civil	Inexistência de áreas irregulares de disposição final de resíduos da construção civil
Fomento à implantação de destinação final, ambientalmente adequada, de resíduos da construção civil (Calsse A)	Redução do número de novas áreas de "bota fora"
Apoio à capacitação e difusão tecnológica, visando incrementar as ações de combate ao desperdício, reutilização e reciclagem de RCC	Redução do índice de desperdício de RCC
Priorização da reutilização e da reciclagem de RCC nas obras e empreendimentos do governo estadual e nas compras públicas	
Incentivo à conscientização e motivação às práticas de combate ao desperdício e reutilização de materiais	

Fonte: Pernambuco (2012)

2.3.3 Legislação e Norma da Cidade do Recife

2.3.3.1 Lei 14903/1986 – Atos Ofensivos à Limpeza Urbana

A Lei municipal nº 14903, de 3 de outubro de 1986, dispõe sobre as sanções aplicáveis aos atos ofensivos à limpeza urbana. Este diploma legal corresponde ao primeiro instrumento legislativo municipal de combate às práticas de degradação do meio ambiente natural e construído.

No caso particular do lixo (resíduo), com volume de até 1 m³, proveniente de construção, demolição, terraplanagem, desterro, podaço, jardinagem, ou similar, são previstas condutas e ações infracionais passíveis de sanção ao agente infrator, quais sejam:

- (i). Enviar o resíduo para coleta especial em local não previamente indicado pelo poder público municipal.
- (ii). Depositar os resíduos para coleta especial sem obediência às exigências de condicionamento (embalamento, empacotamento etc.) previstos nos regulamentos municipais e nas regras técnicas do órgão municipal encarregado pela limpeza urbana.

Quando o volume dos resíduos ultrapassar 1 m³, o usuário deverá pagar pelo serviço especial de remoção, através de solicitação ao órgão municipal encarregado da limpeza urbana, ou

promover o transporte dos resíduos por sua conta e responsabilidade e, em conformidade com as exigências do órgão municipal.

Em relação ao transporte dos resíduos, há duas infrações passíveis de sanções:

- (i). Transportar os resíduos a granel com derramamento nas vias ou logradouros públicos.
- (ii). Transportar os resíduos em carrocerias não estanques, que permitam a liberação de odores desagradáveis, a exemplo daqueles provenientes de fossas ou poços absorventes, dentre outros resíduos.

As sanções para as irregularidades no transporte de resíduos correspondem ao pagamento de multas e na apreensão do veículo por um período de cinco a trinta dias, quando da reincidência na mesma infração.

Quanto à obstrução de dispositivos de drenagem urbana por resíduos sólidos, a infração é passível de multa ao agente infrator. Tal obstrução, está relacionada ao depósito irregular de material de qualquer natureza, em bocas-de-lobo, sarjetas, valas, e outras passagens de águas pluviais, bem como à redução de vazão dos mencionados dispositivos de drenagem pelo uso de tubulações ou outros elementos.

Em relação ao meio ambiente natural, consta, que o depósito de resíduos de diversas naturezas, realizado no leito de rios, canais, lagos, córregos e depressões, é infração passível da aplicação de multa ao agente infrator, a qual poderá ter gradação até cinco vezes maior quando comparada aos casos da deposição de resíduos em áreas ou terrenos.

2.3.3.2 Lei 16377/1998 – Condicionamento e Transporte dos RCD

O diploma legal, Lei 16377, de 15 de janeiro de 1998, introduz modificações na Lei 14903/1986 e dá outras providências. Tais modificações, representam um importante avanço nos requisitos para o condicionamento e transporte dos RCD.

Embora, a gestão dos resíduos urbanos estivesse em uma fase de incipiência na década de 90, a Lei municipal nº 16377/1998 trouxe uma importante contribuição à gestão dos resíduos sólidos, no âmbito do município do Recife, visto que estabelece a obrigatoriedade do cadastro das empresas executoras dos serviços de recolhimento, transporte e disposição dos resíduos.

Outrossim, o diploma legal trouxe para o licenciamento das obras de construção, demolição, reforma ou similar, a obrigatoriedade da disponibilização, pelo proprietário da obra ou construtor, de contenedores, caçambas metálicas ou outros recipientes apropriados, tendo como finalidade o acúmulo dos RCD para posterior destinação. Contudo, não trouxe a previsão de recipientes distintos para cada tipo de RCD.

2.3.3.3 Decreto 18082/1998 – Transporte e Disposição dos RCD

O Decreto municipal nº 18082, de 13 de novembro de 1998, regulamenta a Lei nº 16377/98, no que tange ao transporte e disposição de resíduos de construção civil e outros resíduos não abrangidos pela coleta regular.

A Lei 18082/1998 regulamenta os RCD gerados em quantidade menor ou igual a 0,30 m³, a utilização de áreas particulares para a destinação dos RCD e os critérios para o transporte dos resíduos. Estabelece que a coleta regular dos resíduos sólidos oriundos da construção civil, inclusive de obras e ou reformas, com volume máximo de 0,30 m³, é de responsabilidade do poder público municipal, após a qual, serão transportados e dispostos em aterro sanitário ou ponto de descarga autorizados pelo município.

A norma também estabelece que o acondicionamento dos RCD deve ser providenciado pelo usuário gerador, em recipientes de no máximo 0,05 m³, os quais ficarão dispostos para a coleta em dias e horários estabelecidos pela administração pública municipal.

Necessidade corrente nas obras de construção de edifícios urbanos, a utilização de área particular para a destinação final dos resíduos de construção classe A, deve atender aos seguintes critérios:

“Art. 6º – A utilização de áreas de particulares para o destino final dos resíduos oriundos da construção civil e outros, dependerá de prévia autorização da EMLURB, mediante estudo detalhado das implicações do uso de imóvel para tal finalidade.

§ 1º Para efeito do disposto no "caput" deste artigo, é indispensável a apresentação de requerimento do proprietário da área, acompanhado de projeto com indicação da cota de coroamento do aterro, licença do órgão controlador do Meio Ambiente (CPRH) e ouvida a Secretaria de Planejamento da Prefeitura da Cidade do Recife – SEPLAM/PCR.

§ 2º A cota de coroamento referida no parágrafo anterior, em áreas urbanas, deverá ser compatível com o greide da via mais próxima.” (RECIFE, 1998)

A responsabilidade pela remoção e destinação final dos RCD, com volume superior a 0,30 m³, até as áreas operadas e ou autorizadas pelo poder público municipal, caberá ao gerador, o qual deverá contratar empresas licenciadas para o transporte dos mesmos.

O transporte dos RCD deve ser realizado por empresa cadastrada e licenciada pela autoridade municipal, inclusive o cadastro da quantidade e identificação dos veículos, o qual está limitado aos caminhões do tipo poliguindaste, com uso de caixas coletoras (containers e/ou caçambas estacionárias), com capacidade máxima de 7m³.

Também é estipulada a aplicação de multas por disposição irregular dos RCD, segundo as seguintes situações: (i). Disposição de resíduos em logradouros públicos municipais; (ii). Disposição de resíduos em áreas de interesse ambiental (margens de rios, lagoas, manguezais e outros; e (iii). Disposição de resíduos em terrenos particulares sem prévia autorização da autoridade municipal.

2.3.3.4 Lei 17072/2005 – PGRCC

A Lei municipal nº 17072, de 3 de janeiro de 2005, estabelece as diretrizes e critérios para o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

As principais questões estabelecidas neste instrumento são:

- Proíbe a disposição dos RCD, em qualquer volume, para a coleta domiciliar, medida que evita a contaminação de resíduos potencialmente reutilizáveis ou recicláveis, bem como aumenta a vida útil dos aterros sanitários.
- Prevê a isenção de cadastramento no órgão municipal do transportador dos resíduos com volume inferior a 1,0 m³, medida que viabiliza o transporte pelos pequenos geradores para os Postos de Recebimento de Resíduos (PRR).
- Tipifica como infração o depósito de RCD, em qualquer quantidade, em vias, passeios, canteiros, jardins, áreas e logradouros públicos e corpos d'água, bem como estabelece, que uma vez cometida a infração, o veículo de transporte será multado, apreendido e removido para um depósito da Prefeitura, o qual é liberado após o pagamento das despesas e multas. Tal medida desencoraja o cometimento da infração e, por conseguinte, diminui a ocorrência

de desastres naturais (enchentes, escorregamento de taludes e encostas, bem como, potencializa a preservação do meio ambiente natural.

- Estabelece a obrigatoriedade de separação e identificação visual dos resíduos no local de origem, obedecendo à classificação preconizada pela legislação em vigor, fato que contribui sobremaneira para o reuso e reciclagem dos resíduos, uma vez que minimiza a mistura e contaminação dos mesmos;
- Obriga os grandes geradores, aqueles que geram RCD em quantidade superior a 1 m³/dia, a obterem licença de operação junto ao poder público municipal, tendo como objetivo estabelecer os procedimentos necessários ao manejo e destinação ambientalmente adequada dos RCD gerados na atividade;
- Prevê a instalação de Postos de Recebimento de Resíduos (PRR), pelo poder executivo municipal, tendo em vista atender aos pequenos geradores. Os PRR devem ser instalados em locais com facilidade de acesso e boas condições de tráfego e, devem estar distribuídos de forma a abrangerem todas as Regiões Político-Administrativas (RPA).
- Obriga os grandes geradores, ao final da obra, a apresentarem Relatório comprovando o cumprimento do estipulado no Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), após aprovação do qual será expedida certidão pelo poder público municipal, a qual comporá o acervo de documentos para solicitação do Alvará.

2.3.3.5 Diretrizes para elaboração do PGRCC

As diretrizes para elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), consiste em um documento técnico-normativo, formulado pela Prefeitura do Recife, visando orientar os profissionais da indústria da construção civil para a elaboração do PGRCC.

Dentre as diversas orientações contidas nas diretrizes, merecem destaque:

- O documento deve ser elaborado por profissional devidamente habilitado, sob responsabilidade do gerador dos resíduos e, é objeto de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) junto ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia.

- O Plano deve contemplar procedimentos a serem executados visando a não geração de resíduos, minimização da geração, reutilização, reciclagem, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento e destinação final adequada, observando a normatização referente à saúde pública e proteção ambiental.
- No PGRCD deverão constar os seguintes itens:
 - (i). Identificação do empreendedor.
 - (ii). Identificação do profissional responsável técnico, autor do PGRCC.
 - (iii). Identificação e caracterização do empreendimento
 - (iv). Identificação da atividade geradora de RCD e sua classificação CONAMA. Construção (classes A, B, C e D); Demolição (classes A e B); Escavação (classe A)
 - (v). Quantificação dos RCD, segundo os índices propostos para cada etapa: Construção (75 kg/m^2); Demolição (800 kg/m^2); e Escavação (1400 kg/m^3), realizada conforme modelo constante na Tabela 2.5.
 - (vi). Identificação do transportador.
 - (vii). Indicação da área estabelecida para a destinação final (autorizada e licenciada).
- Os RCD declarados no PGRCC, inicial ou retificador, deverá ser comprovado através de tíquetes de pesagem, manifestos de transporte e ou controle de resíduos, ou ainda por meio de certificados dos aterros ou, caso os RCD tenham sido reutilizados na obra, através de justificativa técnica com registros fotográficos.

Tabela 2.5 – Estimativa do quantitativo de RCD segundo as Diretrizes da Prefeitura da Cidade do Recife

Item	Etapa	Área	Altura	Índice	Duração	Resíduo
		m^2	m	PCR	dias	kg/dia
		A	H	I	D	R
1	Construção	A_1	-	75 kg/m^2	D_1	$R_1 = (A_1 \times I_1)/D_1$
2	Demolição	A_2	-	800 kg/m^2	D_2	$R_2 = (A_2 \times I_2)/D_2$
3	Escavação	A_3	H	1.400 kg/m^3	D_3	$R_3 = (A_3 \times H \times I_3)/D_3$
Total kg/dia						$R_t = R_1 + R_2 + R_3$

Observação 1: Índice, para cada etapa, conforme diretrizes da PCR

Observação 2: A duração corresponde ao número de dias efetivamente utilizados para a etapa

Fonte: Compilação do autor

2.3.3.6 Decreto 26688/2012 – Habite-se Eletrônico

O Decreto municipal nº 26688, de 5 de outubro de 2012, estabelece procedimento para o requerimento e a expedição, por via eletrônica, do Alvará de Habite-se.

As principais questões estabelecidas neste instrumento são:

O Alvará de Habite-se consiste no documento hábil para a comprovação da regularidade da edificação. O pedido e a concessão do Habite-se eletrônico, tem como requisito a inexistência de multas incidentes sobre o imóvel e a obra, dentre outras condicionantes.

Realizadas a análise e a vistoria da edificação, e constatada a existência de pendências de ordem documental e/ou física da obra, serão formuladas exigências, que deverão ser cumpridas no prazo de trinta dias, prorrogável por igual período.

2.3.3.7 Instrução Normativa EMLURB nº 1 – Sistema Monitoramento Eletrônico PCR

A Prefeitura da Cidade do Recife (PCR), publicou em 12 de fevereiro de 2020 a Instrução Normativa da Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB) nº 1, que cria o sistema eletrônico de monitoramento e supervisão das atividades de logística de transporte de resíduos sólidos, dentre os quais os Resíduos de Construção e Demolição.

Conforme previsto na Instrução Normativa EMLURB nº 1/2020, os componentes e *softwares* que compõem a solução de monitoramento eletrônico dos RCD devem ser instalados pelas empresas de transporte nos veículos (caminhão poliguindaste e caminhão basculante) e em equipamentos (caixa coletora, caçamba basculante e balança de pesagem).

No caminhão poliguindaste e caminhão basculante devem constar os equipamentos de rastreamento e monitoramento, via *Global Positioning System* (GPS) do tipo MCC com leitor de chip RFiD. Nas caixas coletoras é necessária a instalação de chip tipo RFiD de identificação. Nos computadores, *smartphones* e balanças de pesagem deve ser disponibilizado pelo transportador e receptor dos resíduos o sistema web de gestão e monitoramento (Quadro 2.7).

Quadro 2.7– Veículos, equipamentos e respectivos componentes e softwares que compõem a solução do monitoramento eletrônico de RCD em Recife

Veículo ou Equipamento	Componente/Softwares
Caminhão Poliguindaste (CP) e/ou Caminhão Basculante (CB)	Equipamentos de rastreamento/monitoramento via GPS (MCC) com leitor de chip RFiD
Caixas Coletoras	Chip RFiD de identificação
Computador, Smartfone e Balança de Pesagem	Sistema WEB de gestão e monitoramento

Fonte: RECIFE (2020)

2.3.3.8 Síntese da Aplicação das Normas à Gestão dos RCD

As normas anteriormente comentadas, publicadas pela União, Estado de Pernambuco e Cidade do Recife, estão a seguir sintetizadas segundo a sua aplicação ao planejamento do PGRCC (elaboração), execução do Plano e comprovação final dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) gerados durante a execução das obras por meio do Relatório Final de Obra (RFO) e/ou Relatório Final de Demolição (RFD) (Quadro 2.8).

Quadro 2.8 – Síntese das normas e respectiva aplicação à gestão dos RCD

Norma	Origem	Planejamento PGRCC	Execução do PGRCC					Comprovação Final RFO/RFD
			Caracterização	Triagem	Acondicionamento	Transporte	Destinação Final	
Lei 12.305/2010	Federal	x	-	-	-	-	x	-
Resolução 307/2002*	Federal	x	x	x	x	x	x	-
Resolução 431/2011*	Federal	x	x	-	-	-	-	-
Resolução 448/2012*	Federal	x	-	x	-	-	x	-
Resolução 469/2015*	Federal	x	x	-	-	-	x	-
Lei 14.236/2010	Estadual	x	-	-	-	x	x	-
Lei 16.377/1998	Municipal	x	-	-	x	x	x	-
Lei 18.082/1998	Municipal	x	-	-	-	x	x	-
Lei 17.072/2005	Municipal	x	-	x	-	x	x	x
Decreto 26.688/2012	Municipal	-	-	-	-	-	-	x
Inst. Normat. 1/2020**	Municipal	x	-	-	-	x	x	-

* Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)

** Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB)

Fonte: Compilação do autor

2.4 ETAPAS DE GERAÇÃO DE RCD

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), podem ser gerados, durante a execução de obras de edifícios, segundo três etapas distintas: demolição; escavação de solos; e construção.

2.4.1 Demolição de Edificações

Gusmão (2008), ensina que a etapa de demolição representa uma grande fonte geradora de resíduos, visto que, em regra, é realizada sem planejamento e, por consequência, sem segregação dos resíduos, inviabilizando seu reuso e reciclagem.

A demolição seletiva é considerada uma solução eficaz para reduzir e reciclar resíduos de demolição (KOURMPANIS et al., 2008). Segundo Couto, Couto e Cardoso (2006), a demolição seletiva consiste em um processo que se caracteriza pelo desmonte cuidadoso de uma edificação, visando a recuperação de materiais e componentes da construção, seja para reutilização ou reciclagem, bem como para a máxima valorização dos RCD.

Para Lima et al. (2015), a demolição seletiva é uma alternativa para a maximização do reaproveitamento dos RCD (Figura 2.7). Segundo Wu, Yu e Liu (2014), nos países em desenvolvimento, a demolição por explosivos é frequentemente empregada, tendo em vista que esse método requer menos tempo, trabalho e dinheiro. As informações disponíveis da geração de resíduos de demolição são menores, quando comparadas as de resíduos de construção (WU, YU e LIU, 2014).

Figura 2.7 – Demolição manual seletiva com a recuperação de tijolos maciços



Fonte: Martins, Reis e Fabrício (2019)

Martins, Reis e Fabrício (2019), estudaram a demolição seletiva para edificações unifamiliares, em alvenaria de tijolos maciços e coberta em telhas cerâmicas, e apontam que os materiais e componentes mais recuperados, correspondem às madeiras, telhas em fibrocimento, tijolos, lavatórios, portas e janelas.

Na Cidade do Recife, a tecnologia mais utilizada para a demolição de edificações, em empreendimentos imobiliários de grande porte, consiste no uso de escavadeiras hidráulicas (equipamentos pesados), equipadas com implemento para demolição (martelo hidráulico) (Figura 2.8).

Figura 2.8 – Demolição mecanizada, com escavadeira hidráulica, em atividade típica de demolição de edificações na Cidade do Recife



Fonte: O autor (2019)

Para empreendimentos imobiliários de menor porte (construção de edificação unifamiliar ou conjunto de casas), ou ainda para a reforma de edificações, prevalece o uso de ferramentas manuais, a exemplo de picaretas e marretas.

Os resíduos da etapa de demolição de edificações, são gerados de maneira concentrada no tempo, em um prazo que pode variar de 15 a 90 dias, a depender do porte da estrutura. Os RCD gerados nesta etapa são de classes A, B, C e D, com predominâncias de resíduos de classe A.

2.4.2 Escavação de Solos

A escavação de solos em obras de edifícios, geralmente está associada à escavação em campo aberto, para a conformação de caixas, visando a implantação de subsolos (pavimentos

enterrados ou semienterrados), reservatórios enterrados e piscinas, bem como, à escavação de cavas e valas para permitir a construção de elementos de fundação (blocos, sapatas, baldrames etc.).

Os resíduos da etapa de escavação de subsolos e elementos de fundação, são gerados de maneira concentrada no tempo, em um prazo que pode variar de 1 a 6 meses, a depender do porte da estrutura (Figura 2.9). Em relação à classificação, nesta etapa são gerados resíduos de classe A.

Figura 2.9 – Escavação de blocos de fundação em obra de um Shopping Center na Cidade do Recife



Fonte: Oliveira (2018).

A etapa de escavação de solos, apresenta a peculiaridade de produzir resíduos de classe A, com alto potencial de reutilização, seja na área de implantação do edifício, ou ainda, entre terrenos. No entanto, os solos oriundos de escavação podem estar contaminados ou corresponderem à solos orgânicos (lama), contexto que exige uma destinação especial e onerosa.

Uma importante medida, a ser adotada antes das operações de escavação com grande volume (escavação de pavimento enterrado ou semienterrado), consiste na realização de uma investigação do subsolo, através de furos de sondagem, com profundidade maior ou igual a cota final de escavação. Tal procedimento permitirá a prévia identificação do tipo de RCD a ser gerado e destinado.

2.4.3 Construção de Edifícios

De acordo com Mokhtar et al. (2011), o método de construção, tamanho do projeto, tipologia da construção, modo de armazenamento dos materiais de construção, erro humano e problemas

de especificação técnica, são os principais fatores que potencializam a geração de RCD durante a construção de edifícios.

Para Gusmão (2008), boa parte dos RCD gerados durante a execução de edifícios são provenientes do desperdício de materiais de construção, motivado pela utilização de técnicas e procedimentos ultrapassados, ou ainda, à incompatibilidade dos projetos de engenharia e falta de capacitação dos operários. Pesquisas revelaram que a atitude e o comportamento dos operários no canteiro de obras, podem desempenhar um papel decisivo para a produção de resíduos (AL-SARI et al., 2012).

A geração dos RCD, dentre diversos fatores, está atrelada às tecnologias construtivas adotadas, as quais, podem ser classificadas como tecnologias convencionais e tecnologias não convencionais, que podem estar associadas em maior ou menor proporção.

As tecnologias convencionais, variáveis de uma localidade para outra, consistem em sistemas construtivos compostos por soluções predominantemente artesanais e projetos não racionalizados, executadas com planejamento precário e por mão de obra com baixa qualificação prática. As obras executadas com tecnologias convencionais, têm um alto potencial de geração de RCD.

Um bom exemplo de construção com tecnologias convencionais, ainda verificadas na cidade do Recife, são os edifícios construídos com estruturas em concreto armado moldadas *in loco*, argamassas para usos diversos, preparadas com insumos misturados no canteiro de obras e alvenaria de tijolos cerâmicos não racionalizada.

As tecnologias não convencionais, variáveis de uma região para outra, implicam em sistemas construtivos compostos por soluções predominantemente industrializadas e projetos racionalizados, executadas com planejamento detalhado e por mão de obra treinada. Os edifícios construídos com tecnologias não convencionais, têm um baixo potencial de geração de resíduos. Edifícios construídos com estruturas pré-fabricadas em concreto armado (tipo vãos livres), alvenarias racionalizadas e fachadas em pele de vidro, correspondem a um bom exemplo de uso de tecnologias não convencionais (Figura 2.10).

Figura 2.10 – Metodologia construtiva não convencional, adotada para construção de um edifício na Cidade do Recife



Fonte: RVE (2019).

Os resíduos da etapa de construção de edifícios, são gerados de maneira dispersa no tempo, em um prazo que pode variar entre 24 a 48 meses, a depender do porte do empreendimento imobiliário. Quanto à classificação, nesta etapa são produzidos RCD de classes A, B, C e D, com a predominância em massa da classe A.

2.5 INDICADORES DE RCD

2.5.1 Conceito sobre Indicadores de RCD

Segundo Costa, Athayde Júnior e Oliveira (2014), o indicador ou taxa de geração de RCD, corresponde a razão entre o quantitativo de resíduos gerados, em massa ou volume, e a área (m^2), o tempo (h), ou ainda, a quantidade de habitantes.

Os resíduos derivados das perdas não incorporadas à construção de uma edificação e os consumos ou sobreconsumos, dos materiais de construção e de componentes, podem ser traduzidos por meio de indicadores, os quais podem ser subdivididos em indicadores globais ou totais, aqueles que correspondem aos recursos utilizados em todo o processo construtivo, por exemplo na etapa da construção, e indicadores parciais, aqueles que se referem a parte do processo, a exemplo da fase de estruturas (LORDSLEEM JÚNIOR e PINHO, 2015).

Lordsleem Júnior e Pinho (2015), ainda ensinam, que os indicadores de materiais residuais (perdas), expresso em percentagem (%) ou quantidade (kg/m^2), segundo uma unidade do Sistema Internacional de Unidades (SI), representam a variação entre o consumo real e o consumo referencial para execução de um serviço de construção.

Gusmão (2008), certifica que não há uma metodologia consagrada no meio técnico para a construção de indicadores sobre a geração de Resíduos da Construção e Demolição nos municípios, contudo, a metodologia proposta por Pinto (1999), é a mais adotada no Brasil, a qual adota três bases para a estimativa de RCD, quais sejam: a estimativa da área construída no município; o volume de resíduos transportados pelas empresas de limpeza urbana; e o quantitativo de resíduos registrados nas áreas utilizadas como destino final para os mesmos.

Quanto aos solos de escavação, Mália et al. (2013), destacam que diversas publicações apontam para a escassez e a importância dos indicadores referentes aos resíduos desta etapa, uma vez que o solo escavado corresponde a uma alta porcentagem de RCD. Os autores enfatizam que os solos de escavação, quase nunca são incluídos nos estudos relativos aos resíduos de construção, visto que não são considerados um grande problema ambiental.

2.5.2 Estudos sobre indicadores de RCD

Na Tabela 2.6 são apresentadas as principais características dos estudos selecionados sobre indicadores de RCD, os quais integram as discussões a respeito dos indicadores adiante calculados. Dos dez estudos incluídos, há pesquisas sobre indicadores de geração de resíduos referentes às etapas de construção de edifícios, escavação de solos e demolição de edificações. As tipologias das obras de construção civil, correspondem a edifícios residenciais novos, edifícios não residenciais novos, escavação de solos, demolição de edifícios residenciais e demolição de edifícios não residenciais.

As pesquisas nacionais foram selecionadas levando-se em consideração a Região Nordeste do Brasil, na qual está inserida a cidade do Recife, haja vista, que os indicadores, refletem as peculiaridades das construções regionais. No entanto, também foram utilizados estudos desenvolvidos nos Estado de São Paulo e Rio de Janeiro.

Os estudos desenvolvidos por Gusmão (2008), apontam que os empreendimentos habitacionais executados na cidade do Recife, correspondem, em regra, à demolição de edificações unifamiliares com 400 m² de área construída, e por conseguinte, à execução de edifício, constituído pela escavação de 1 pavimento semienterrado, implantado a 1,50 m de profundidade, e construção composta por 20 pavimentos, com 350 m² e 2 apartamentos por andar.

Tabela 2.6 – Principais características dos estudos selecionados sobre indicadores de RCD

Estudo	País/ Região	Tipologia do Edifício/Solo	Tecnologia	Indicador	Vinculação			(*) Classes
					AD	AC	VE	
Demolição, Residencial								
Mália et al. (2013)	União Europeia	Residencial em concreto armado	TCC	805,00 a 1.371,00	kg/m ²	x		A e B
		Residencial em alvenaria	TCC	302,00 a 664,00	kg/m ²	x		A e B
		Residencial em estruturas de madeira	TCC	195,00 a 795,00	kg/m ²	x		A e B
Coelho e Brito (2011b)	Portugal	Residencial	TCC	1.129,00 a 1.759,00	kg/m ²	x		A e B
	Portugal	Residencial	TCC	315,30	kg/m ²	x		A e B
Solís-Guzmán et al. (2009)	Espanha	Residencial em concreto armado	TCC	1.053,00	kg/m ²	x		A e B
Gusmão (2008)	Brasil, PE	Residencial	TCC	800,00 a 1.000,00	kg/m ²	x		A e B
Demolição, Não Residencial								
Mália et al. (2013)	União Europeia	Não residencial em concreto armado	TCC	742,00 a 1.637,00	kg/m ²	x		A e B
		Não residencial em em alvenaria	TCC	664,00 a 825,00	kg/m ²	x		A e B
Coelho e Brito (2011b)	Portugal	Não residencial	TCC	1.637,00 a 2.410,00	kg/m ²	x		A e B
	Portugal	Não residencial	TCC	258,10 a 379,40	kg/m ²	x		A e B
Escavação								
PCRJ (2020)	Brasil, RJ	Terra silicosa (material solto)		1.400,00	kg/m ³		x	A
		Terra arenosa (material solto)		1.700,00	kg/m ³		x	A
Gusmão (2008)	Brasil, PE	Solos diversos do Recife		1.300,00 a 1.400,00	kg/m ³		x	A
Construção, Residencial								
Costa, Athayde Júnior e Oliveira (2014)	Brasil, PB	Residenciais e públicos	TCC	86,27	kg/m ²	x		A
		Residenciais e públicos	TCC	93,89	kg/m ²	x		A, B, C e D
Paz (2014)	Brasil, PE	Residencial AC ≤ 8.000 m ²	TCC	194,00	kg/m ²	x		A, B, C e D
		Residencial 8.000 m ² < AC ≤ 20.000 m ²	TCC	94,00	kg/m ²	x		A, B, C e D
		Residencial 15.000 m ² < AC ≤ 25.000 m ²	TCC	66,00	kg/m ²	x		A, B, C e D
		Residencial AC > 20.000 m ²	TCC	117,00	kg/m ²	x		A, B, C e D
Mália et al. (2013)	União Europeia	Residencial em concreto armado	TCC	44,00 a 115,00	kg/m ²	x		A, B, C e D
		Residencial em estruturas de madeira	TCC	10,00 a 39,00	kg/m ²	x		A, B, C e D
Solís-Guzmán et al. (2009)	Espanha	Residencial em concreto armado	TCC	89,37	kg/m ²	x		A, B, C e D

(*) Classes dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), conforme Resolução CONAMA nº 307.

TCC = Tecnologia Construtiva Convencional. TNC = Tecnologia Construtiva Não Convencional. ND = Não Definida.

AD = Área Demolida. AC = Área Construída. VE = Volume Escavado.

Fonte: Elaborado pelo autor

continua ...

Tabela 2.6 – Principais características dos estudos selecionados sobre indicadores de RCD (continuação)

Estudo	País/ Estado	Tipologia do Edifício/Solo	Tecnologia	Indicador	Vinculação			(*) Classes
					AD	AC	VE	
Gusmão (2008)	Brasil, PE	Residencial	TCC	100,00 a 150,00	kg/m ²	x		A, B, C e D
Kelly e Hanahoe (2008)	Irlanda	Residencial	TNC	70,27	kg/m ²	x		A, B, C e D
Carneiro (2005)	Brasil, PE	Residencial	TCC	69,28 a 86,41	kg/m ²	x		A, B, C e D
Construção, Não Residencial								
Paschoalin Filho, Duarte e Faria (2016)	Brasil, SP	Empresarial em estrutura mista de concreto/aço, lajes steel deck	TNC	126,00	kg/m ²	x		A e B
Mália et al. (2013)	União Europeia	Não residencial em concreto armado	TCC	48,00 a 135,00	kg/m ²	x		A, B, C e D
		Não residencial em estruturas de madeira	TCC	12,00 a 41,00	kg/m ²	x		A, B, C e D
Kelly e Hanahoe (2008)	Irlanda	Não residencial	TNC	86,82	kg/m ²	x		A, B, C e D

(*) Classes dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), conforme Resolução CONAMA nº 307.

TCC = Tecnologia Construtiva Convencional. TNC = Tecnologia Construtiva Não Convencional. ND = Não Definida.

AD = Área Demolida. AC = Área Construída. VE = Volume Escavado.

Fonte: Elaborado pelo autor

Dados da pesquisa de Gusmão (2008), ainda indicam que a implantação de empreendimentos residenciais típicos no Recife é responsável pela geração de: 800 a 1.000 kg/m² de resíduos por área de demolição (classes A e B); 1.300 a 1.400 kg/m³ de massa de solos de escavação por volume escavado (classe A); e 100 a 150 kg/m² de resíduos de construção por área edificada (classes A, B, C e D).

A Fundação Getúlio Vargas FGV, sob a encomenda da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (PCRJ, 2020), elaborou o Sistema de Custos de Obras e Serviços de Engenharia (SCO). A PCRJ (2020), considera o peso específico para os solos de escavação (material solto), igual a: (i) Terra silicosa = 1.400 kg/m³; e (ii) Terra arenosa = 1.700 kg/m³. Os indicadores do peso específico podem ser utilizados para a estimativa dos resíduos oriundos de escavações de solos para semienterrados e elementos de fundação de edifícios.

Na pesquisa desenvolvida por Costa, Athayde Júnior e Oliveira (2014), foram estudados os indicadores de geração de RCD em 35 canteiros de obras na cidade de João Pessoa, especificamente, 15 edificações residenciais e 20 edifícios públicos. Contudo, para o cálculo dos indicadores foram utilizados os dados de 22 obras finalizadas à época da conclusão do estudo, sendo 12 edificações residenciais e 10 edifícios públicos. As 22 obras foram

subdivididas em dois grupos, quais sejam, referente às 6 obras controladas pelos pesquisadores (grupo 1), e às 16 obras, com os dados fornecidos pelos construtores (grupo 2).

Os dados da pesquisa realizada em João Pessoa foram testados por meio de análises estatísticas, após as quais, foi concluído que não houve diferença significativa entre os indicadores do grupo 1 e grupo 2, ou ainda, que as informações dos construtores (grupo 2) não são imprecisas. Os indicadores de geração de resíduos de construção obtidas pelos autores, corresponde ao indicador médio de RCD igual a 93,89 kg/m² (classes A, B, C e D) e igual a 86,27 kg/m² (classe A). O intervalo, com nível de confiança igual a 90%, corresponde aos limites inferior e superior iguais a 62,31 e 136,02 kg/m², respectivamente.

Paschoalin Filho, Duarte e Faria (2016), desenvolveram um estudo a respeito dos RCD gerados durante as obras de um edifício empresarial na cidade de São Paulo, composto por 15 pavimentos tipo e 20.000 m² de área útil, em estrutura mista de concreto e aço, inclusive com lajes do tipo *steel deck*. Os resíduos gerados, classe A e B, implicam em um indicador de geração igual a 126 kg/m².

Mália et al. (2013), quantificaram os RCD gerados e propuseram indicadores, com base em dados de estudos anteriores, e segundo as fases de demolição e construção, para obras executadas em diversos países na União Europeia (UE). Foram pesquisadas obras de construção de edifícios de uso habitacional e não habitacional, demolição de edificações habitacionais e não habitacionais, bem como, reforma de edificações habitacionais e não habitacionais. Compararam os resultados para as tecnologias construtivas mais frequentes na UE, quais sejam: estruturas em concreto armado; estruturas em concreto e madeira; estruturas em alvenaria e concreto armado; e estruturas em alvenaria e madeira.

Os indicadores globais propostos pelos autores, para as obras executadas na EU, correspondem a: (i) Edificações residenciais (demolição) – 805 a 1.371 kg/m², para estruturas em concreto armado; 302 a 664 kg/m², estruturas em alvenaria; e 195 a 795 kg/m², estruturas em madeira; (ii) Edificações não residenciais (demolição) – 742 a 1.637 kg/m², estruturas em concreto armado; e 664 a 825 kg/m², para estruturas em alvenaria; (iii) Edifícios residenciais (construção) – 10 a 39 kg/m², estruturas em madeira; 44 a 115 kg/m², estruturas em concreto armado; (iv) Edifícios não residenciais (construção) – 48 a 135 kg/m², estruturas em madeira; 12 a 41 kg/m², estruturas em concreto armado.

Kelly e Hanahoe (2008), analisaram os dados referentes à 54 obras executadas na Irlanda, dentre as quais, edificações residenciais e não residenciais, com o objetivo de calcular os indicadores de produção de resíduos. Os dados foram declarados pelos construtores à autoridade de licenciamento. Os resultados da pesquisa correspondem a um indicador de 70,27 kg/m² de área de construção, edifícios residenciais, e 86,82 kg/m², edifícios não residenciais.

Carneiro (2005), estimou a quantidade de RCD gerados na construção de edifícios na cidade do Recife, segundo duas metodologias. A primeira levou em conta o somatório das cargas de todos os pilares de uma obra visitada (1.060,29 kg/m²), destes subtraindo a parcela relativa à sobrecarga (150 kg/m²). A segunda metodologia, considerou a carga adotada pelos engenheiros calculistas do Recife (850 kg/m²). Logo, considerando-se o índice de perdas não incorporadas igual a 8,15%, e multiplicando este pelo valor da carga, autora chegou ao indicador de RCD igual a 86,41 kg/m² e 69,28 kg/m².

A pesquisa desenvolvida por Paz (2014), analisou os dados de 14 obras de edifícios residenciais, construídos na cidade do Recife, os quais correspondem a uma área média construída, por edifício, igual a 22.232 m². O autor calculou os indicadores de construção, consoante quatro faixas de área construída (AC), os quais correspondem: $AC \leq 8.000 \text{ m}^2$ (194 kg/m²); $8.000 \text{ m}^2 < AC \leq 20.000 \text{ m}^2$ (94 kg/m²); $15.000 \text{ m}^2 < AC \leq 25.000 \text{ m}^2$ (66 kg/m²); $AC > 20.000 \text{ m}^2$ (117 kg/m²).

Solís-Guzmán et al. (2009), quantificaram os resíduos construção e demolição para um edifício residencial na Espanha, com 1.600 m² de área total construída. A edificação é composta por 4 pavimentos, sendo 4 apartamentos por andar, e corresponde a uma estrutura aporticada em concreto armado. Os autores calcularam e compararam o volume total de resíduos de demolição (2.028,19 m³), ao volume total de resíduos de construção (492,20 m³), para o mesmo edifício, e concluíram que o quantitativo de resíduos de demolição corresponde a quatro vezes ao volume de construção. Os indicadores de resíduos totais de construção e resíduos totais de demolição, para o projeto espanhol, correspondem a 89,37 kg/m² e 1.053 kg/m², respectivamente.

Os estudos de caso desenvolvidos em Portugal por Coelho e Brito (2011b), tiveram como objetivo a quantificação de resíduos de demolição, segundo 9 edifícios, sendo 5 edificações residenciais e 4 edificações comerciais, por meio de consultas aos desenhos e especificações, para parte da amostra, bem como, através de dados reais fornecidos pelos proprietários das

obras. As estimativas foram realizadas com o uso da densidade dos materiais de construção. Os indicadores revelados pelos autores, correspondem a: (i) Edificações residenciais: 315,30 kg/m² a 1.759 kg/m². (ii) Edificações comerciais: 35,20 kg/m² a 2.410 kg/m².

Na prática, os construtores geralmente assumem que o indicador de desperdício equivale de 1 a 10% dos materiais de construção comprados (SHEN et al., 2005). A porcentagem específica é determinada pelas experiências anteriores, derivadas de apropriações no canteiro de obras (WU, YU e LIU, 2014).

2.6 TRANSPORTE E REUTILIZAÇÃO DE RCD

2.6.1 Transporte de RCD

Conforme Decreto municipal nº 18.082/1998, o transporte externo dos RCD deve ser realizado por meio de caminhões do tipo poliguindaste, com uso de caixas coletoras (containers e/ou caçambas estacionárias), com capacidade máxima de 7m³. No entanto, a Prefeitura da Cidade do Recife admite o transporte de resíduos em caminhão basculante, mediante solicitação de autorização especial pelo gerador à autoridade municipal.

A autorização especial consiste em um documento administrativo, emitido pela EMLURB, com a finalidade de permitir o transporte externo dos RCD em caminhões caçamba basculante até a Central de Tratamento de Resíduos (CTR). Na autorização são indicados, o local da obra/empreendimento, o transportador, placas dos caminhões, local de destino final e período de validade e o quantitativo a ser transportado, tendo em vista o que consta no Decreto Municipal nº 18.082/98 (EMLURB, 2020).

Outrossim, a autorização especial deve ser solicitada pelo gerador à PCR, quando não for viável o transporte dos RCD de escavação e demolição em caminhão poliguindaste, tendo em conta a grande quantidade de resíduos a serem gerados e transportados em um curto intervalo de tempo. A solicitação da autorização especial, pelo gerador à EMLURB, deve ocorrer no mínimo em 5 dias antes do início da execução dos serviços de transporte e destinação dos resíduos (EMLURB, 2020).

A Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana também estabelece que o período de validade máximo para uma autorização especial é de 5 dias corridos, após o qual será necessário um

novo pedido para uma autorização especial complementar. Tal autorização complementar é automaticamente concedida pela EMLURB ao empreendedor, após a entrega pelo gerador à autoridade municipal dos tíquetes originais referentes à autorização especial anterior.

Cabe lembrar que a capacidade gravimétrica de uma caçamba estacionária, transportada por meio de caminhão poliguindaste (Figura 2.11), corresponde à massa de RCD igual a 9,8 ton (volume = 7 m³).

Figura 2.11 – Caminhão poliguindaste (A) e caminhão caçamba basculante (B), usualmente utilizados para o transporte de RCD na cidade do Recife



Fonte: RH Guindastes (2020) e Equipe Demolição (2020)

Já a capacidade gravimétrica rasa (no nível do topo) de uma carroceria caçamba basculante fixa, que integra o caminhão do tipo basculante, é variável. Os caminhões do tipo caçamba basculante mais usuais na cidade do Recife (Figura 2.11), correspondem à capacidade em massa de RCD igual a 14,0 ton, 16,8 ton e 19,6 ton (volume = 10 m³, 12 m³ e 14 m³, respectivamente). De outro modo, o caminhão basculante é mais sustentável do ponto de vista ambiental, quando comparado ao caminhão poliguindaste, uma vez que aquele permite o transporte de uma massa maior de RCD e menor emissão de CO₂ quando comparado a este.

2.6.2 Reutilização de RCD

De acordo com Mália, Brito e Bravo (2011), os RCD não reutilizados são frequentemente dispostos em aterros sem a prévia segregação no canteiro de obras e sem qualquer tipo controle. Os autores alertam que uma quantidade significativa de resíduos é destinada para áreas irregulares, com consequentes impactos negativos para o meio ambiente e saúde. Tal contexto

reforça a importância da reutilização e reciclagem dos RCD, bem como dos cuidados que deve ter o gerador no manejo dos resíduos, necessários à sua viabilidade.

Gusmão (2008) enfatiza, que mesmo havendo vantagens econômicas e técnicas para os empreendedores, a reutilização dos RCD ainda é obstaculizada pela desconfiança do setor da construção civil. O autor destaca, que além do tradicional uso dos entulhos como massa para aterro, eles podem ter outras aplicações, dentre as quais: agregados reciclados para camadas de pavimentação rodoviária de tráfego com $N \leq 10^6$; fabricação de blocos de vedação; estacas de compactação para melhoramento de solos de fundação; resíduos de gesso reciclado adicionados à pasta de gesso para revestimento; resíduos de madeira e sacarias de cimento para geração de energia térmica; dentre outras aplicações.

De acordo com a EMLURB (2020), além da reutilização dos RCD dentro do próprio canteiro de obras, é admitida a destinação de resíduos de escavação, entre terrenos, situados dentro do município do Recife, desde que sejam cumpridos os seguintes requisitos:

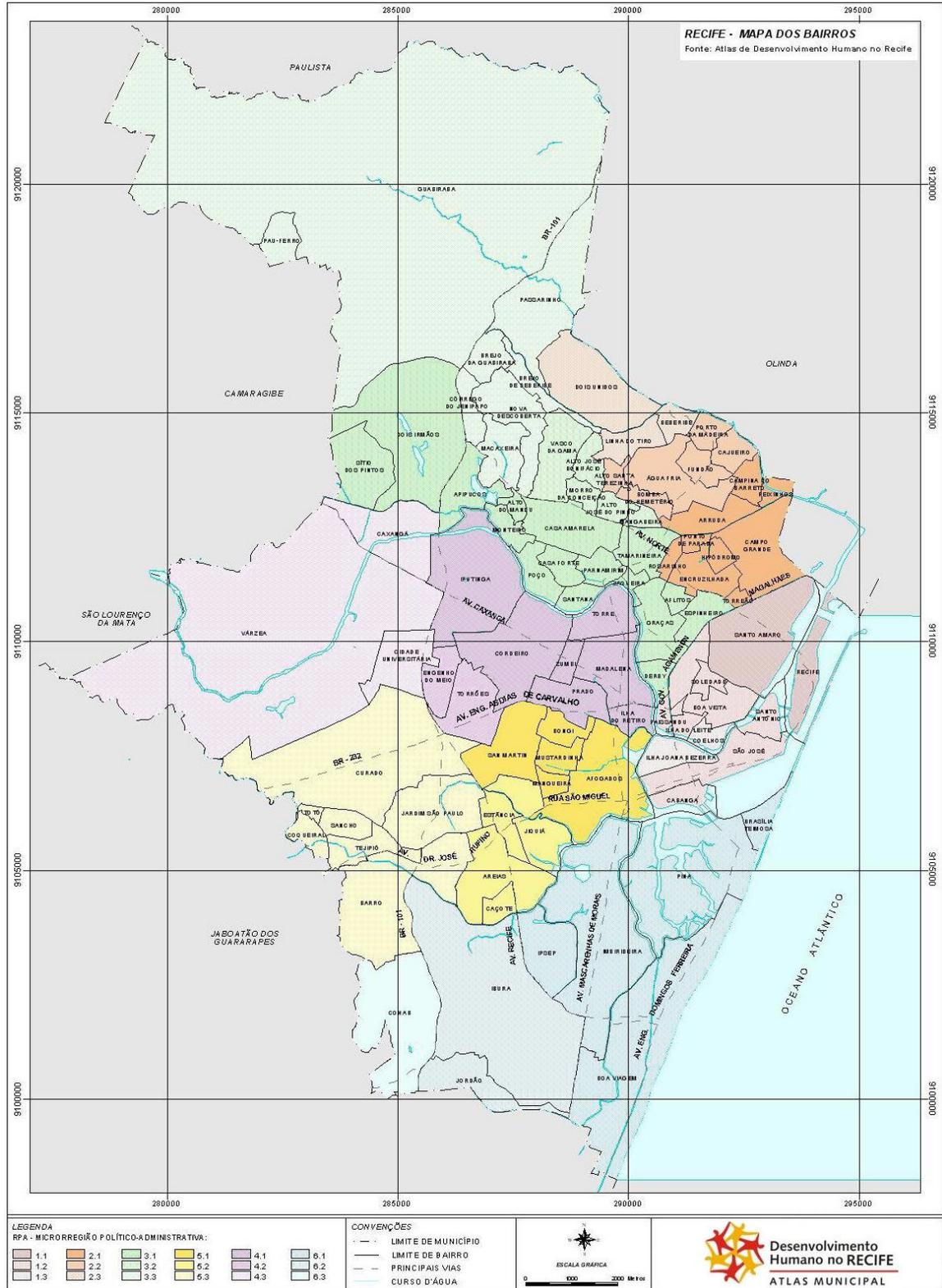
(i). Os resíduos de escavação, a serem destinados do terreno de origem, sejam comprovadamente de Classe A (resíduos inertes) e não contaminados; (ii). Os resíduos de escavação tenham a Classe A, comprovada através da apresentação de furos de sondagem, a razão de 2 (dois) furos de sondagem para cada 1.000 m² de área a ser escavada e com profundidade igual a cota final de escavação; (iii). O terreno de destino tenha projeto de aterro aprovado pelo órgão ambiental da PCR, com indicação do volume máximo de aterro admitido; e (iv). A Prefeitura da Cidade do Recife autorize *in loco* o início da escavação/aterro e, ao final do movimento de terra, aprove os volumes utilizados mediante vistoria no local da execução do aterro.

2.7 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS E POLÍTICO-ADMINISTRATIVOS DO RECIFE

Recife possui uma área de 210 km² e está localizada no centro do litoral do nordeste brasileiro e possui ambientes naturais integrados por praias, rios, mangues, matas e mananciais, atributos a diferencia das demais cidades do Brasil (GASPAR, 2020; RECIFE, 2020). Instituídas por meio da Lei Municipal nº. 16.293/97, as 6 (seis) Regiões Político-Administrativas (RPA) subdividem a cidade do Recife visando a formulação, execução e avaliação permanente das políticas e do planejamento de governo (Figura 2.12). Por consequência, as atividades de

geração de RCD tem a sua gestão municipal orientada segundo as características e peculiaridades presentes em cada RPA e bairro.

Figura 2.12 – Mapa dos bairros e Regiões Político-Administrativas da Cidade do Recife



Fonte: RECIFE (2020)

Recife possui 94 bairros, dos quais 47 abrigam as edificações que foram incluídas no estudo. Logo, adiante estão especificadas a RPA, população e rendimento médio destes (Tabela 2.7).

Tabela 2.7– Regiões Político-Administrativas (RPA), bairros incluídos na pesquisa, população e rendimento nominal médio mensal dos domicílios da Cidade do Recife

RPA	Bairro	População IBGE	Rendimento IBGE
RPA1	1 Boa Vista	14.778	3.618,45
	2 Ilha do Leite	1.007	3.024,11
	3 Recife	602	567,00
	4 Santo Amaro	27.939	1.892,10
	5 São José	8.688	1.402,11
	6 Soledade	2.495	3.747,16
RPA2	7 Água Fria	43.529	1.189,92
	8 Campo Grande	32.149	2.132,00
	9 Encruzilhada	11.940	5.692,93
	10 Ponto de Parada	1.554	3.248,99
	11 Rosarinho	4.077	6.547,75
	12 Torreão	1.083	6.007,59
RPA3	13 Aflitos	5.773	1.028,96
	14 Casa Amarela	29.180	4.236,69
	15 Casa Forte	6.750	11.318,97
	16 Derby	2.071	7.785,05
	17 Espinheiro	10.438	7.299,96
	18 Graças	20.538	9.484,01
	19 Guabiraba	6.330	1.159,26
	20 Jaqueira	1.591	11.339,79
	21 Monteiro	5.917	7.106,75
	22 Parnamirim	7.636	10.712,06
	23 Poço	4.615	9.346,35
	24 Tamarineira	14.124	7.904,04
RPA4	25 Caxangá	9.634	2.231,32
	26 Cordeiro	41.164	2.812,73
	27 Engenho do Meio	10.211	2.594,45
	28 Ilha do Retiro	3.740	4.771,70
	29 Iputinga	52.200	2.045,08
	30 Madalena	22.082	5.521,52
	31 Prado	11.694	2.617,33
	32 Torre	17.903	4.827,09
	33 Várzea	70.453	2.049,33
	RPA5	34 Afogados	36.265
35 Areias		29.894	1.941,97
36 Barro		31.847	1.353,95
37 Bongü		8.097	1.860,98
38 Estância		9.240	1.469,82
39 Jardim São Paulo		31.648	1.973,10
40 San Martín		25.414	2.080,85
41 Tejipió		8.918	2.118,10
RPA6	42 Boa Viagem	122.922	7.108,00
	43 Ibura	50.617	1.180,16
	44 Imbiribeira	48.512	2.108,44
	45 Ipsep	25.029	2.454,22
	46 Pina	29.176	2.446,83
	47 Setúbal = Boa Viagem	122.922	7.108,00

Fonte: RECIFE (1997) e IBGE (2012)

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

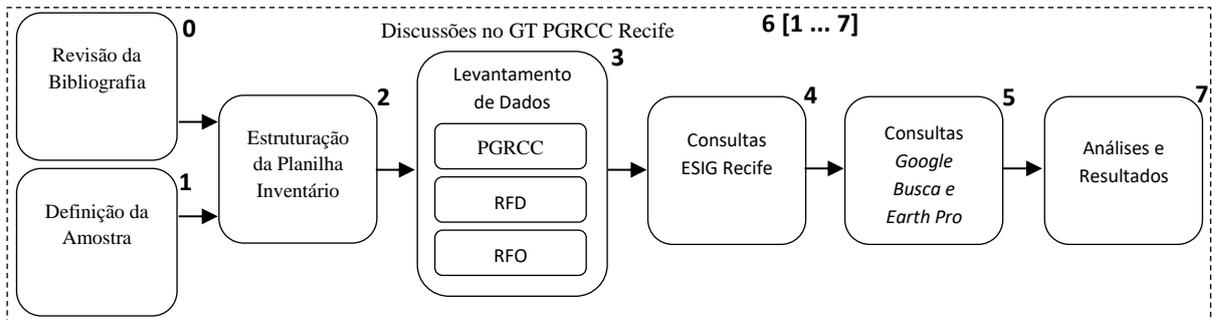
Neste capítulo são apresentadas as etapas realizadas para o estudo, a respeito dos indicadores totais de resíduos de construção, escavação e demolição, oriundos de obras de edifícios, executadas na cidade do Recife, cujas informações foram extraídas do banco de dados de RCD da Autarquia Municipal de Limpeza Urbana (EMLURB Recife). Também são descritas a abordagem adotada, o tipo de pesquisa realizada, o processo de coleta e seleção de dados, e ainda, são detalhadas a amostragem definida com a EMLURB e o fluxo de cálculo dos indicadores de resíduos, inclusive, o tratamento estatístico aplicado às amostras selecionados.

A pesquisa e consistiu na realização das seguintes etapas (Figura 3.1):

0. Revisão prévia da bibliografia, através da sistemática baseada nas diretrizes do PRISMA – *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, bem como, consulta aos artigos e livros não incluídos na revisão PRISMA;
1. Definição da amostra da pesquisa;
2. Estruturação da planilha para o inventário de dados;
3. Levantamento de dados, através da consulta aos processos físicos de licenciamento urbanístico, cujas obras encontravam-se concluídas e os processos analisados pela autoridade municipal, particularmente os dados contidos no: (i). Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), inicial e eventual versão de atualização e/ou revisão; (ii). Relatório Final de Demolição (RFD); e (iii) Relatório Final de Obra (RFO).
4. Consulta aos dados qualitativos e quantitativos complementares, através do portal ESIG Informações Geográficas do Recife;
5. Consulta aos dados qualitativos e quantitativos complementares, através da aplicação *Google Earth Pro* e *Google Busca*;
6. Discussões de questões técnicas sobre os indicadores dos RCD, no plano do Grupo de Trabalho PGRCC Recife, integrado pela Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Autarquia Municipal de Limpeza Urbana (EMLURB Recife), Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Pernambuco (ADEMI-PE) e Sindicato da Construção Civil no Estado de Pernambuco; e

7. Análises dos dados e validação dos resultados, por meio de testes estatísticos (análise de variância).

Figura 3.1 – Sequência metodológica de pesquisa para a revisão dos indicadores de Resíduos de Construção e Demolição da cidade do Recife



Fonte: Elaborado pelo autor

O levantamento bibliográfico prévio, foi desenvolvido através de revisão sistemática baseada nas diretrizes do PRISMA, bem como, de maneira complementar, por meio de revisão da bibliografia nacional e internacional através de artigos científicos e livros não incluídos na revisão PRISMA. Para uma adequada compreensão dos regramentos legais vigentes, no tocante à temática dos Resíduos da Construção e Demolição, foram consultadas as legislações nacional, do estado de Pernambuco e do município do Recife.

A amostragem, definida juntamente com a autoridade municipal, correspondeu à consulta ao conjunto de dados constantes em 208 processos de licenciamento urbanístico da cidade do Recife, finalizados pela autoridade municipal nos anos de 2018 (97 processos) e 2019 (111 processos). A etapa de amostragem é melhor detalhada no item 3.2, referente à COLETA DE DADOS E AMOSTRAGEM.

O inventário das edificações construídas, inclusive os solos escavados, e demolidas, foi estruturado com o apoio do *software* editor de planilhas *Microsoft Office Excel*, o qual foi inicialmente baseado na planilha de acompanhamento processual da autoridade municipal, cujos dados foram posteriormente confirmados, através de consultas aos processos físicos finalizados e aprovados pela prefeitura municipal, assim como, aprimorados e expandidos através de consultas a fontes secundárias, quais sejam, ESIG Recife, Google Busca e *Google Earth Pro*.

Através do portal ESIG Informações Geográficas do Recife, foram consultados dados complementares relativos às: (i). Edificações construídas (área do terreno); e (ii). Edificações demolidas (área de demolição; quantidade de pavimentos; e ano de construção). Por meio da aplicação *Google Earth Pro*, foram consultadas as informações complementares relativas às: (i). Edificações construídas (características construtivas externas); e (ii). Edificações demolidas (área de demolição, quando não disponível no ESIG; e características construtivas externas). Para a pesquisa das informações relativas às certificações da qualidade ISO 9001 e ambiental ISO 14001, relativas às empresas construtoras, foi utilizado o Google Busca.

No segundo semestre de 2019, foi criado um grupo de trabalho formado por técnicos da Autarquia Municipal de Limpeza Urbana do Recife (EMLURB Recife), construtores (Sinduscon e Ademi-PE) e pesquisadores da UPE, cujo plano contemplou discussões técnicas sobre as problemáticas dos RCD na cidade do Recife, inclusive com a definição de ações para a revisão das diretrizes municipais do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), dentre as quais: (i) A análise das edificações construídas com tecnologias convencionais e não convencionais, e os respectivos indicadores totais de geração de resíduos; (ii) O estudo dos indicadores de RCD relativos às edificações demolidas com laje e sem laje; e (iii) A elaboração da “Cartilha do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil”, na qual constará as informações básicas para a elaboração do PGRCC, dentre as quais, os indicadores de resíduos pesquisados no presente estudo.

Os dados, referentes aos edifícios, foram analisados conforme as seguintes etapas: (i). Divisão das informações em grupos, segundo a composição da edificação (características construtivas ou área); (ii). Agrupamento, segundo a(s) tipologia(s) das edificações (tipo de uso); (iii). Cálculo do indicador (em função da área de demolição e construção, ou ainda, em função da área do terreno e volume escavado, no caso específico dos solos de escavação). As etapas de cálculo dos indicadores de RCD são melhor detalhadas no item 3.4, referente ao FLUXO DE CÁLCULO DOS INDICADORES DE RCD.

3.1 ABORDAGEM DA PESQUISA

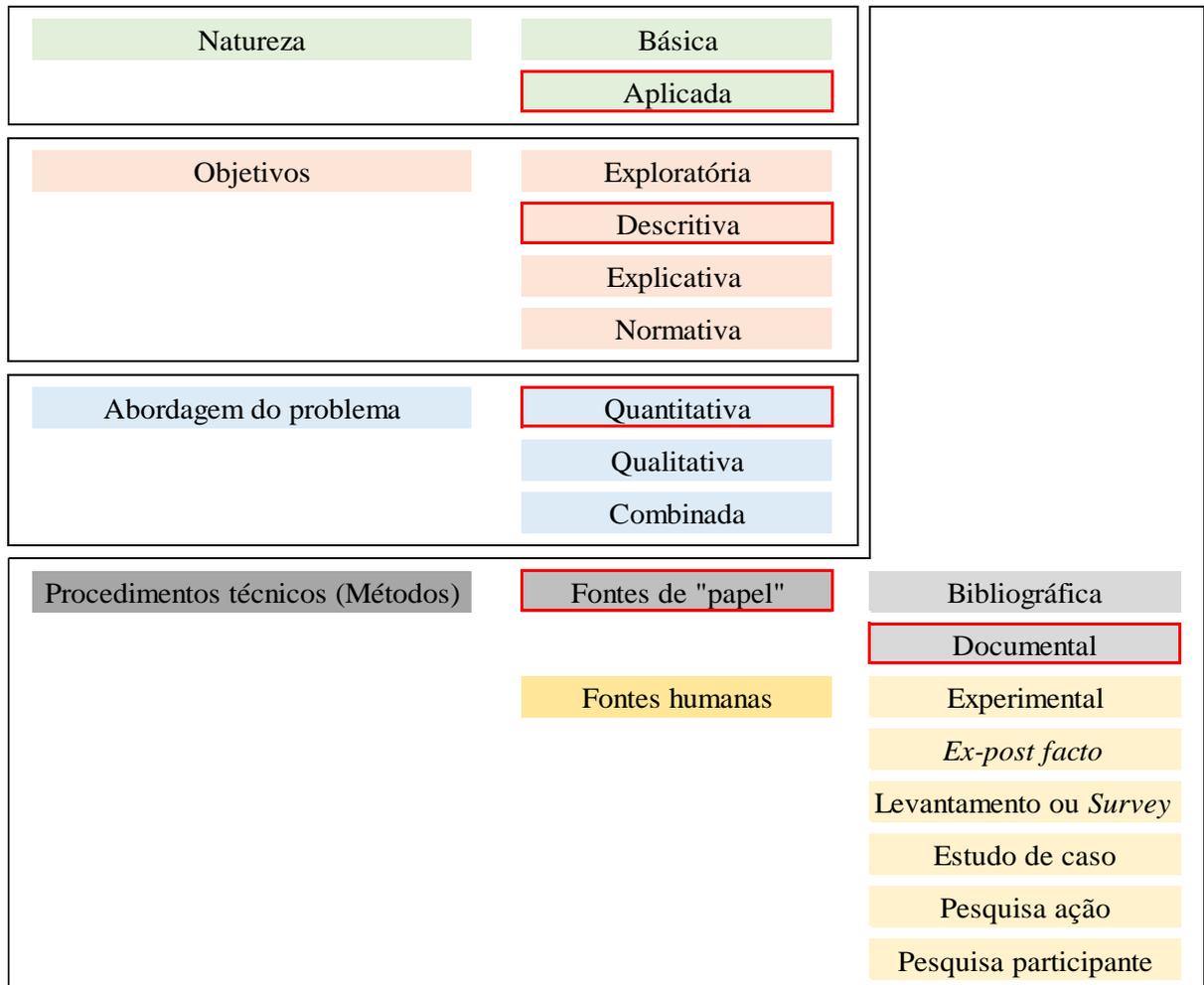
Gil (2010) e Miguel (2010), orientam que as pesquisas científicas podem ser classificadas consoante a natureza, objetivos, abordagem do problema e método empregado (Figura 3.2).

Portanto, adiante é apresentada uma síntese dos conceitos a respeito da natureza, objetivos, abordagem e método de pesquisa, após os quais é definida a taxonomia do presente estudo.

3.1.1 Natureza da Pesquisa

Segundo Appolinário (2011), quanto à natureza, a pesquisa pode ser classificada como básica ou aplicada. A primeira, consiste naquela que objetiva o progresso da ciência, a ampliação de conhecimentos teóricos, no entanto, sem o cuidado da aplicação prática. A segunda, se caracteriza por interesses práticos, qual seja, a obtenção de resultados que sejam aplicados ou utilizados de imediato, visando a solução de problemas reais.

Figura 3.2 – Taxonomia da pesquisa sobre o banco de dados de indicadores de RCD do Recife



Fonte: Adaptado de Gil (2010) e Miguel (2010).

3.1.2 Objetivos da Pesquisa

Quanto aos objetivos de uma pesquisa científica, Gil (2010) e Miguel (2010), ensinam que há quatro direções possíveis: exploratória; descritiva; explicativa; e normativa.

A pesquisa exploratória objetiva tornar um problema mais explícito ou viabilizar a construção de hipóteses, principalmente, o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. O estudo exploratório pode envolver o levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que possuem experiências práticas com o problema estudado, ou ainda, a análise de exemplos que permitam uma melhor compreensão (GIL, 2010).

O estudo descritivo tem como objetivo principal a determinação de uma população ou fenômeno, ou ainda, o estabelecimento das relações entre variáveis, tendo como característica principal o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados, a exemplo de questionário e observação sistemática, e geralmente assume a forma de levantamento (GIL, 2010).

A pesquisa explicativa, segundo Gil (2010), tem a preocupação principal de “identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos”, bem como, proporciona a compreensão da razão das coisas, através do aprofundamento do conhecimento da realidade.

O autor salienta, que o conhecimento científico está baseado nos resultados alcançados pelos estudos explicativos. No entanto, destaca que as pesquisas exploratórias e descritivas também possuem valor, uma vez, que são etapas preparatórias às explicações científicas. O estudo explicativo, aplicado aos estudos das ciências da natureza, demanda o uso do método experimental (ALVES, 2013).

Segundo Bertrand e Fransoo (2002), o estudo normativo visa, de início, desenvolver políticas, estratégias e ações, tendo como fim o aperfeiçoamento e a otimização dos resultados existentes na bibliografia, seja através da proposição de novas definições ou da comparação de estratégias relacionadas a um problema.

3.1.3 Abordagem do Problema

A pesquisa pode exigir uma abordagem quantitativa, qualitativa ou combinada, em relação ao problema objeto do estudo. A abordagem quantitativa, considera tudo aquilo que pode ser quantificado e, por conseguinte, é traduzida em números, opiniões e informações, visando a sua classificação e análise, com uso de recursos e técnicas estatísticas (ALVES, 2013).

A pesquisa qualitativa, consiste naquela que não pode ser traduzida por números, onde a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas para o processo (ALVES, 2013). A autora destaca que a pesquisa combinada é aquela onde o pesquisador pode combinar os aspectos qualitativos e quantitativos, em todas ou algumas das etapas do processo da pesquisa.

3.1.4 Métodos de Pesquisa

Os métodos de pesquisa são classificados em dois grupos de delineamento: as fontes de “papel” e as fontes humanas. A primeira está relacionada à análise de livros, artigos, relatórios, dentre outros, com o emprego da pesquisa bibliográfica e/ou da pesquisa documental. A segunda, refere-se ao estudo de dados fornecidos por pessoas, com uso da pesquisa experimental, da pesquisa *ex post facto*, do levantamento ou do estudo de caso (GIL, 2010). O autor assim define a pesquisa bibliográfica e a pesquisa documental:

A pesquisa bibliográfica consiste naquela desenvolvida com base em material já elaborado, em especial os livros – de literatura e técnico-científicos, ou ainda, em artigos científicos, e tem como vantagem permitir uma ampla cobertura de fenômenos, quando comparada à pesquisa direta com dados primários. No entanto, o estudo bibliográfico possui a desvantagem de envolver o risco de ser baseado em dados primários incorretos ou imprecisos, sob pena de reproduzi-los ou ampliá-los. Um bom exemplo de pesquisa bibliográfica são os estudos exploratórios.

A pesquisa documental é semelhante à pesquisa bibliográfica, diferenciando-se desta em razão da natureza da fonte, uma vez que “vale-se de materiais que não receberam ainda um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa” (GIL, 2010).

As fontes da pesquisa documental são diversificadas e dispersas, uma vez que correspondem à documentos conservados em arquivos de órgãos públicos e instituições privadas, a exemplo das prefeituras municipais – são os denominados “documentos de primeira mão”. Os “documentos de segunda mão”, referem-se aos documentos “que de alguma forma já foram analisados, tais como: relatórios de pesquisa, relatórios de empresas, tabelas estatísticas etc.”.

A pesquisa documental apresenta algumas vantagens, dentre as quais: (i) A riqueza, estabilidade e longevidade dos dados; (ii) O baixo custo da pesquisa, uma vez que esta depende, quase que exclusivamente, da disponibilidade de tempo e da capacidade intelectual do pesquisador; (iii) O distanciamento do pesquisador do sujeito da pesquisa, tendo em vista, a potencial dificuldade ou impedimento do contato com o sujeito, ou ainda, o eventual prejuízo que o estreitamento com o sujeito pode trazer, a exemplo das dúvidas em relação à qualidade e quantidade da informação.

Segundo Gil (2010), a pesquisa documental apresenta algumas limitações, tal como, a não representatividade e a subjetividade contida nos documentos, contexto, que pode ser vencido pelo pesquisador mediante à consulta a um grande número de documentos, os quais podem ser selecionados de forma aleatória.

A pesquisa, com emprego do método documental e/ou método bibliográfico, pode ser delimitada por um estudo de corte. Para Gil (2010), o estudo de corte, ou *cross section*, compreende à delimitação de um espaço no tempo, no qual a amostra será observada e analisada, o qual, pode referir-se a uma pesquisa prospectiva ou contemporânea, ou ainda, retrospectiva ou histórica.

3.1.5 Taxonomia da Pesquisa sobre RCD

Considerando a natureza da pesquisa, o presente estudo pode ser considerado de natureza aplicada, uma vez, que os indicadores de RCD poderão ser utilizados, pela administração pública local e regional, bem como pelo mercado da construção civil, para a estimativa e análise dos Resíduos de Construção e Demolição gerados.

Quanto aos objetivos, esta pesquisa pode ser classificada, como predominantemente descritiva, tendo em vista que o objetivo geral deste estudo é o de calcular as relações entre as variáveis

massa de RCD e área ou volume, no caso particular da escavação, e por consequência, estabelecer indicadores de geração de resíduos para as etapas de construção, escavação e demolição.

No tocante à abordagem, o estudo pode ser enquadrado, como de abordagem quantitativa, pois as análises realizadas, para determinação dos indicadores de resíduos, demandaram uma pesquisa com prevalência da análise das relações entre a massa de resíduos e as áreas de construção e demolição, ou ainda, entre a massa de RCD e as áreas ou volumes referentes à escavação.

Na presente pesquisa houve a necessidade da coleta de dados, de forma presencial, através de consultas aos processos de licenciamento urbanístico, os quais estavam disponíveis em uma unidade da administração pública municipal. O espaço no tempo, que compreendeu a amostra do estudo, foi previamente definido com a autoridade municipal. Logo, tal delimitação da pesquisa assemelha-se bastante ao método de pesquisa documental definido por Gil (2010), com estudo de corte retrospectivo, visto que foram incluídos na amostra os processos analisados e finalizados pela prefeitura em anos anteriores.

Em síntese, de acordo com as classificações anteriormente enumeradas, a presente pesquisa pode ser descrita como (Figura 3.1), uma investigação científica de natureza aplicada, com objetivo descritivo, e em menor grau, explicativo, utilizando-se de uma abordagem predominantemente quantitativa, e em menor escala qualitativa, com uso do método documental, delimitado por um estudo de corte retrospectivo baseada em fontes de “papel”, especificamente em um grande número de “documentos de segunda mão”, previamente analisados e finalizados pela autoridade municipal, quais sejam os Relatórios Final de Demolição (RFD), Relatórios Final de Obra (RFO) e Planos de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (PGRCC).

3.2 COLETA DE DADOS DA AMOSTRAGEM

3.2.1 Coleta de Dados

A coleta de dados corresponde à primeira fase de um estudo estatístico, na qual as informações devem ser obtidas com um grau satisfatório de precisão, sob pena da invalidação das fases subsequentes (MARTINS e DOMINGUES, 2014).

Na Tabela 3.1 são apresentadas as variáveis independentes empregadas no estudo.

Tabela 3.1 – Variáveis independentes utilizadas nas análises sobre os RCD

Variáveis Independentes		Und	Fonte	CON	ESC	DEM
VI1	Nome do construtor/empreendedor	-	RFO/RFD/GBU	x	x	x
VI2	Bairro	-	RFO/RFD	x	x	x
VI3	Área do terreno	m ²	RFO/RFD	x	x	x
VI4	Área edificada	m ²	RFO/RFD	x	x	x
VI5	Área escavada	m ²	RFO/RFD	-	x	-
VI6	Profundidade de escavação	m ²	RFO/RFD	-	x	-
VI7	Ano de Construção	ano	RFO/RFD/ESIG	x	-	x
VI8	Ano de Demolição	ano	ESIG	-	-	x
VI9	Torres de Edifícios ou Cj de Casas	und	RFO/ESIG/GEP	x	-	x
VI10	Pavimentos	und	ESIG/GEP/GBU	x	-	x
VI11	Pavimentos tipo	und	ESIG/GEP/GBU	x	-	-
VI12	Unidades autônomas (Ap/SI/Casa)	und	ESIG/GEP/GBU	x	-	x
VI13	Área útil média (Ap/SI/Casa)	m ²	ESIG/GEP/GBU	x	-	-
VI14	Tecnologia Construtiva (CV e NCV)	-	RFO/RFD	x	-	-
VI15	Prazo de execução previsto	mês	PGRCC	x	x	x
VI16	Prazo de execução realizado	mês	PGRCC	x	x	x
VI17	RCD a gerar	t	PGRCC	x	x	x
VI18	RCD a reutilizar	t	PGRCC	x	x	x
VI19	RCD gerado	t	RFO/RFD	x	x	x
VI20	RCD reutilizado	t	RFO/RFD	x	x	x
VI21	RCD C Basculante (Aut Especial)	t	RFO/RFD	x	x	x
VI22	RCD Aterro controlado de destinação	t	RFO/RFD	x	x	x
VI23	RCD Histograma (ano 1 a ano n)	t	RFO/RFD	x	x	x
VI24	Data de início do transporte	data	RFO/RFD	x	x	x
VI25	Data de fim do transporte	data	RFO/RFD	x	x	x
VI26	Infração não PGRCC	und	RFO/RFD	x	x	x
VI27	RCD Infração transporte irregular	t	RFO/RFD	x	x	x
VI28	RCD Infração destinação irregular	t	RFO/RFD	x	x	x
VI29	RCD Custo Unitário Transporte	R\$	RFO/RFD	x	x	x
VI30	RCD Custo Unitário Destinação	R\$	RFO/RFD	x	x	x
VI31	Custo Unitário Básico (CUB) construção	R\$/m ²	Sinduscon-PE	x	x	x

Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação à coleta de dados do presente estudo, as variáveis independentes (Tabela 3.1), foram extraídas dos processos físicos de licenciamento urbanístico, finalizados pela prefeitura municipal, especificamente, as informações contidas no Relatório Final de Obra (RFO), Relatório Final de Demolição (RFD) e Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção

Civil (PGRCC), ou ainda, quando da incompletude das informações, através do Sistema de Informações Geográficas ESIG Recife, da aplicação Google *Earth Pro* (GEP) e Google Busca (GBU).

As variáveis dependentes (Tabela 3.2), foram calculadas por meio de relações entre as variáveis independentes, exclusive os dados relacionados à certificação ISO 9.001 e ISO 14.001 das empresas construtoras, os quais foram pesquisados com uso do Google Busca. O acesso ao banco de dados, para a realização do presente estudo, foi devidamente autorizado pela Autarquia Municipal de Limpeza Urbana – EMLURB Recife (Anexo 3.1).

Tabela 3.2 – Variáveis dependentes utilizadas nas análises sobre os RCD

Variáveis Dependentes	Und	Relação VD	Fonte	CON	ESC	DEM
VD1 Certificação ISO 9.001/14.001 construtor	-	VI1	GBU	x	x	x
VD2 Indicador RCD (função área edificada)	kg/m ²	VI19/VI4	-	x	x	x
VD3 Indicador RCD (função área terreno)	kg/m ²	VI19/VI3	-	-	x	-
VD4 Indicador RCD (função volume escavado)	kg/m ³	VI19/VI5.VI6	-	-	x	-
VD5 Área edificada equivalente	m ²	VI4	-	x	-	-
VD6 Indicador custo construção	R\$/m ²	VI4.VI31	-	x	-	-
VD8 Indicador RCD irregular	%	VI27+28/VI19	-	x	x	x
VD9 Indicador custo transporte RCD	R\$/ton	VI29/VI19	-	x	x	x
VD10 Indicador custo destinação RCD	R\$/ton	VI30/VI19	-	x	x	x
VD7 Indicador RCD (função custo construção)	%	VD9+10/VD6.VI4	-	x	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

No entanto, é importante destacar, que a pesquisa foi concebida com seis variáveis independentes (VI3, VI4, VI5, VI6, VI14 e VI19), e quatro variáveis dependentes (VD1, VD2, VD3 e VD4). As demais variáveis, coletadas no presente estudo, serão objeto de uma outra etapa de pesquisa.

3.2.2 Amostragem

A amostragem, consiste no processo de determinação de uma amostra a ser pesquisada, sendo a amostra uma porção dos elementos selecionados de uma população. A população estatística, corresponde ao conjunto de indivíduos ou objetos que possuem em comum algumas características definidas para o estudo (MARTINS e DOMINGUES, 2014).

De acordo com Martins e Domingues (2014), dentre as técnicas utilizadas para coletar dados, a amostragem é a mais frequente. A amostragem pode ser obtida, segundo especialidades e métodos. Morettin e Bussab (2017), apontam que as especialidades, dentro da estatística, mais

conhecidas para a obtenção da amostra são os levantamentos amostrais e o planejamento de experimentos. Quanto aos métodos, podem ser utilizados o método probabilístico ou o método não probabilístico.

3.2.2.1 Especialidades de Amostragem

(i). Levantamento Amostrais

Segundo Morettin e Bussab (2017), os levantamentos amostrais, correspondem às amostras obtidas de uma população bem definida, com emprego de processos bem protocolados e controlados pelo pesquisador, os quais podem ser subdivididos em levantamentos probabilísticos e não probabilísticos.

Os levantamentos probabilísticos, implicam no uso de técnicas com mecanismos de seleção aleatória dos elementos de uma amostra, no qual é atribuída “a cada um deles uma probabilidade, conhecida a priori, de pertencer à amostra” (MORETTIN e BUSSAB, 2017).

Os autores comentam, que os levantamentos não probabilísticos, correspondem à seleção dos elementos de uma amostra, com o uso de outros procedimentos, tais como as amostras intencionais, onde os elementos são escolhidos com o auxílio de especialistas, ou ainda, através da amostra de voluntários, a exemplo dos procedimentos utilizados em testes sobre novas vacinas.

(ii). Planejamento de Experimentos

Quanto ao planejamento de experimentos, Morettin e Bussab (2017), destacam que este tem o principal objetivo de analisar o efeito de uma variável sobre a outra, e exige a interferência do pesquisador sobre a população em estudo e o controle de fatores externos. O procedimento é bastante utilizado nas ciências médicas e farmacêuticas.

3.2.2.2 Métodos de Seleção e Amostragem

O método de seleção da amostra define o tipo de amostragem, as quais, podem corresponder a uma amostragem probabilística ou amostragem não probabilística.

(i). Método probabilístico

A amostragem é dita probabilística, quando os elementos amostrais são escolhidos com probabilidades conhecidas (MORETTIN e BUSSAB, 2017). O método probabilístico consiste em uma ferramenta que garante, cientificamente, a aplicação das técnicas de estatísticas de inferência. Com base nas amostragens probabilísticas são realizadas inferências ou induções sobre a população a partir do conhecimento da amostra (FONSECA e MARTINS, 2011).

O método probabilístico envolve os seguintes processos de amostragem: (i.1). Amostragem aleatória simples; (i.2). Amostragem aleatória sistemática; (i.3). Amostragem por conglomerados; (i.4). Amostragem aleatória estratificada proporcional; e (i.5). Amostragem aleatória estratificada não proporcional.

(ii). Método não probabilístico

O método não probabilístico consiste nas amostras em que há uma escolha deliberada dos elementos que as compõem. Não é possível generalizar os resultados das pesquisas para a população, pois as amostras não probabilísticas não garantem a representatividade da população (FONSECA e MARTINS, 2011).

O método não probabilístico envolve os seguintes processos de amostragem:

(ii.1). Amostragem por cotas

Segundo Massukado-Nakatani (2009), a amostragem por cotas apresenta maior rigor dentre as amostragens não probabilísticas. De acordo com Fonseca e Martins (2011), a amostragem por cotas consiste em uma técnica estatística realizada em três etapas: (a) Classificação da população em termos de propriedades que se sabe, ou presume, serem relevantes para a característica a ser estudada; (b) Determinação da proporção para cada característica, com base na constituição conhecida, presumida ou estimada, da população; e (c) Fixação de cotas para cada observador ou entrevistador, a quem tocará a responsabilidade de selecionar interlocutores ou entrevistados, de modo que a amostra total observada ou entrevistada contenha a proporção de cada classe.

É mais comumente usada em levantamentos de mercado e em prévias eleitorais.

(ii.2). Amostragem por conveniência

A amostragem por conveniência, consiste em uma técnica de amostragem na qual a amostra é identificada primeiramente por conveniência. Elementos são incluídos na amostra sem probabilidades previamente especificadas ou conhecidas de serem selecionados (OLIVEIRA et. al, 2012). A seleção das unidades amostrais é deixada a cargo do pesquisador (MALHOTRA, 2020).

(ii.3). Amostragem intencional

A amostragem intencional, ou amostragem por julgamento, consiste em uma técnica estatística na qual, de acordo com um determinado critério, é escolhido intencionalmente um grupo de elementos que irão compor a amostra. O pesquisador se dirige intencionalmente a grupos de elementos dos quais se deseja saber a opinião (FONSECA e MARTINS, 2011).

Segundo Costa Neto (1997), nas amostras intencionais enquadram-se os diversos casos em que o pesquisador deliberadamente escolhe certos elementos para pertencer à amostra, por julgar tais elementos bem representativos da população.

(ii.4). Amostragem acidental

A amostragem acidental consiste em uma técnica estatística na qual a amostra é formada pelos elementos que vão aparecendo, aqueles que são possíveis de se obter, até completar o número de elementos da amostra. Geralmente é utilizada em pesquisas de opinião, em que os entrevistados são acidentalmente escolhidos (FONSECA e MARTINS, 2011). Na amostragem acidental, os elementos da amostra são escolhidos por serem os mais acessíveis ou fáceis de serem avaliados.

(ii.5). Amostragem bola de neve

A amostragem bola de neve, consiste em uma técnica estatística na qual, um grupo inicial de entrevistados são selecionados, selecionam-se entrevistados subsequentes, com base em informações fornecidas pelos entrevistados iniciais, sendo o processo executado em ondas sucessivas, obtendo-se referências ou informações, a partir de referências ou informações (MALHOTRA, 2017).

3.2.3 Método de Seleção e Amostragem da Pesquisa sobre RCD

O presente estudo corresponde a um levantamento amostral não probabilístico, uma vez que os elementos da amostra (os edifícios), não foram selecionados de forma aleatória, com a atribuição de uma probabilidade a priori.

A pesquisa, no entanto, apresenta as características de um levantamento amostral, pois as edificações estudadas, foram bem definidas (obras de construção, escavação e demolição), e adequadamente controladas e registradas pelo pesquisador, com uso do *software* editor de planilhas *Microsoft Excel*.

Os edifícios, que compõem a amostra, foram inicialmente eleitos pelo pesquisador, em conjunto com o corpo técnico da EMLURB, segundo conveniência, relacionada à qualidade dos dados. Ou ainda, os processos de licenciamento urbanístico, finalizados pela autoridade municipal no triênio 2017, 2018 e 2019, foram classificados pelos técnicos da EMLURB como aqueles que possuem a melhor qualidade das informações, uma vez que foram rigorosamente analisados, e por conta disto foram selecionados para o estudo.

O período de corte trienal, coincide com o início da aplicação de sanções pecuniárias aos geradores com a prestação de contas dos RCD não conforme. Logo, é possível compreender que, para o desenvolvimento do estudo, foi adotado o método de seleção não probabilístico, por meio de processo de amostragem por conveniência.

Em síntese, baseado nos conceitos anteriormente citados, bem como, nas condições reais de execução da pesquisa, é possível afirmar que o presente estudo pode ser classificado como um levantamento amostral, com uso do método de seleção não probabilístico, através do processo de amostragem por conveniência.

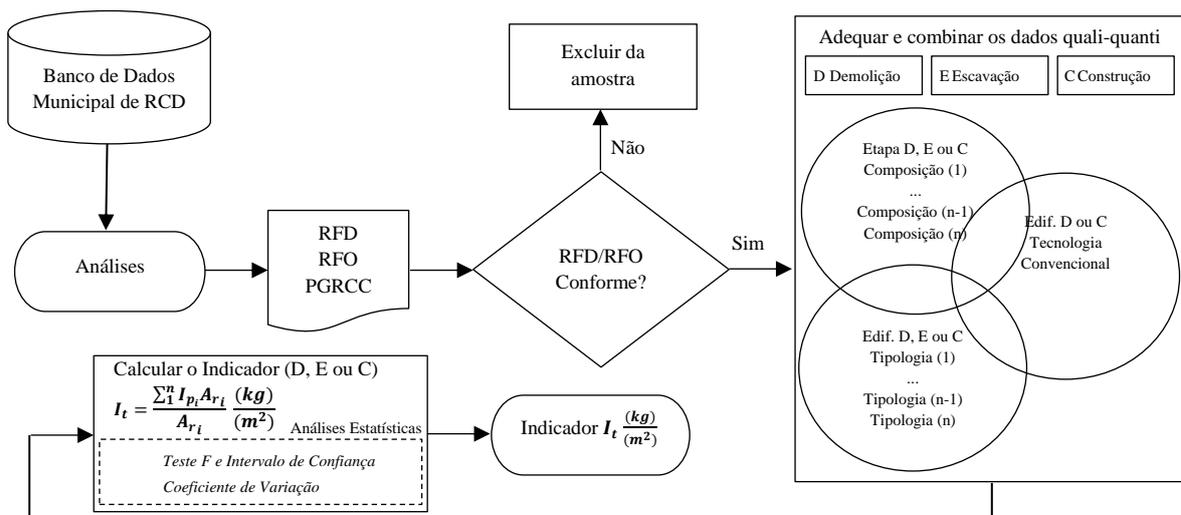
No entanto, é importante destacar, que a pesquisa foi desenvolvida com os dados dos processos finalizados em 2018 e 2019. Os dados de 2017, serão levantados e analisados em uma outra etapa de pesquisa.

3.3 FLUXO DE ANÁLISE E CÁLCULO DOS INDICADORES DE RCD

As amostras coletadas, contidas em 208 processos de licenciamento urbanístico, correspondem a 394 obras civis, sendo 183 construção de edifícios, 46 obras de escavação de solos e 165 demolições de edificações.

Após a fase de coleta de dados, foram realizadas as seguintes etapas: (i). Divisão da massa dos resíduos de demolição, para cada amostra catalogada (caso aplicável); (ii). Análises das amostras, visando a: (ii.1). Detecção de deficiências latentes; (ii.2). Constatação de inconsistência na razão RCD/área ou RCD/volume; e (ii.3). Elegibilidade das amostras; (iii). Combinações entre as amostras elegíveis; (iv). Cálculo dos indicadores de RCD, inclusive análises estatísticas (Figura 3.3).

Figura 3.3 – Fluxograma de análise e cálculo dos indicadores de RCD baseados no banco de dados municipal



Fonte: Elaborado pelo autor

(i). Divisão da massa dos resíduos de demolição

Tendo em vista que os quantitativos gerados para os resíduos de demolição foram apresentados pelos empreendedores, através do Relatório Final de Demolição (RFD) ou Relatório Final de Construção (RFC), invariavelmente, somados da primeira à n-ésima edificação demolida, foi adotada uma métrica de cálculo para a divisão do quantitativo total de demolição aprovado, proporcional à área de demolição e à tipologia construtiva, de cada uma do conjunto de

edificações demolidas (edificação com laje, edificação sem laje e galpão), tudo conforme o modelo demonstrado na Tabela 3.3.

A métrica não foi aplicada para os empreendimentos com déficit do quantitativo total de resíduos de demolição – processos de licenciamento não conformes, sendo admitida a divisão dos quantitativos de demolição proporcional à área de demolição de cada edificação que compõe o grupo.

Tabela 3.3 – Métrica de cálculo para a divisão proporcional do quantitativo total dos resíduos de demolição apresentados no RFD ou RFO

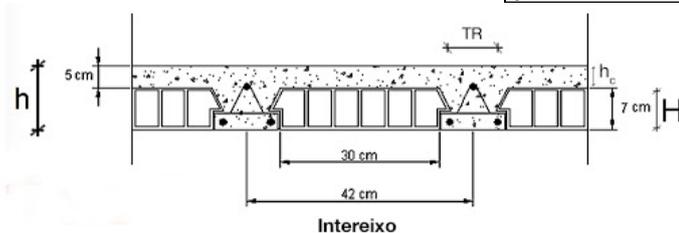
Edif Demolida	Composição da Demolição (a)	Área Estratificada ESIG (m ²) (b)	Proporção da Área Total de Demolição % (c) = $b/(b_1+...+b_n)$	Demolição Total (t) (d) = qtd RFD ou RFO	Peso da Laje a Subtrair (t) (e) = se, (a) = s/ laje (b) x 0,15m x 2,40 t/m ³ se, (a) = c/ laje ou galpão (e) = 0	Proporção da Área Total com Laje % (f) = se, (a) = s/ laje (f) = 0% se, (a) = c/ laje ou galpão (f) = $b'/(b'+...+b'_n)$	Parcela da Demolição (t) (g) = (d) x (c) - (e) se, (a) = c/ laje ou galpão (g) = (d) x (c) + (e+...+e_n)x(f)
Formulário							
1	Demolição Total de Edificação em Concreto Armado e/ou Alvenaria, com Laje	350,00	35,00%	800,00	0,00	43,75%	311,50
2	Demolição Total de Edificação em Concreto Armado e/ou Alvenaria, sem Laje	200,00	20,00%	800,00	72,00	0,00%	88,00
n-1	Demolição Total de Galpão	150,00	15,00%	800,00	0,00	18,75%	133,50
n	Demolição Total de Edificação em Concreto Armado e/ou Alvenaria, com Laje	300,00	30,00%	800,00	0,00	37,50%	267,00
	Total	1.000,00	100,00%			100,00%	800,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Um dos tipos de laje frequentemente utilizada na cidade do Recife para construção de edificações de pequeno porte, corresponde à laje constituída por vigotas de concreto armado e lajotas cerâmicas, popularmente denominada laje volterrana. Portanto, para o cálculo do peso da laje a subtrair das edificações demolidas sem laje (parcela “e” da métrica de cálculo), foi considerada uma laje padrão, conforme a composição, geometria e peso específicos ilustrados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Peso específico, para laje treliçada padrão, utilizada na construção de edificações na cidade do Recife

Item	Composição	Esp. (cm) (a)	Peso Específico (kg/m ³) (b)	Consumo (kg/m ²) (c)	Peso (t/m ²) (d)	Peso Específico p/ Laje H7 γ (t/m ³) (e)=(d)/(a ₁ +...+a _n)
1	AGJ Argamassa de rejunte e=10mm		1.900	0,7000	0,0007	0,0040
2	RC Cerâmica esmaltada 34x34	0,74	2.600	14,5980	0,0192	0,1099
3	AGA Argamassa de assentamento	0,20	1.900	5,5000	0,0146	0,0834
4	AGR Argamassa de regularização	2,00	1.900	38,0000	0,0380	0,2171
5	hc Capa de concreto H7	5,00	2.400	120,0000	0,1200	0,6857
6	TD Tela de distribuição Q61		7.800	0,9700	0,0010	0,0055
7	TR Treliza em concreto armado		2.400	29,8800	0,0299	0,1707
8	H Lajota (tabela) cerâmica H7 (30x7x20)	7,00	1.250	57,7500	0,0875	0,5000
9	CH Chapisco	0,56	1.900	10,6400	0,0106	0,0608
10	MU Massa única	2,00	1.900	38,0000	0,0380	0,2171
Total		17,50			0,3595	2,3969
					γ adotado (t/m³)	2,4000



Fonte: Elaborado pelo autor

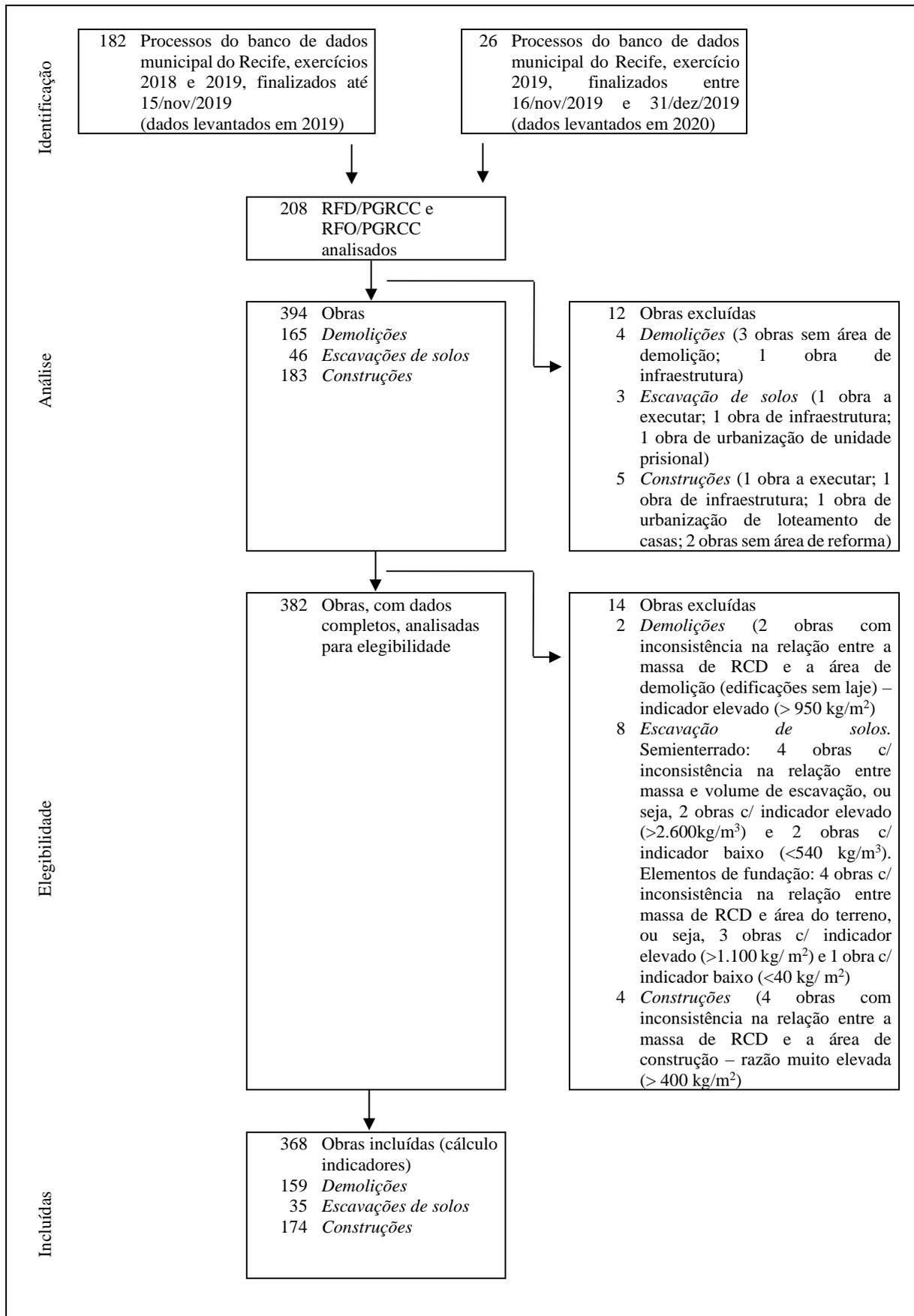
(ii). Análises das Amostras

O diagrama do fluxo de análises e seleção das amostras, está detalhado na Figura 3.4.

(ii.1). Detecção de deficiências latentes

Nesta etapa, foram analisadas 394 obras, cujos critérios de exclusão correspondem às: (a). Obras díspares aos edifícios (p.ex. obras de infraestrutura urbana, obras de infraestrutura para loteamento, dentre outras); (b). Edificações com área de demolição, escavação ou construção não declaradas no RFD ou RFO; e (c). Edifícios com a fase de escavação e/ou construção não executadas. Nesta etapa foram excluídas 12 obras, sendo, 4 edificações demolidas, 3 escavações de solos e 5 construções.

Figura 3.4 – Diagrama do fluxo de análise e seleção das amostras



Fonte: Elaborado pelo autor

(ii.2). Constatação de inconsistência na razão

Nesta etapa, foram analisadas 382 obras. O critério de exclusão das obras da amostra, está relacionado a inconsistências na relação entre a massa de RCD (kg) e área de construção ou demolição (m^2) ou entre a massa de RCD (kg) e o volume de escavação (m^3), quando comparadas aos indicadores verificados para as demais edificações da amostra.

Com base nos critérios, foram excluídas 14 obras, sendo 2 demolições de edificações, 8 escavações de solos e 4 construções de edifícios, após as quais, restaram 368 obras (159 demolições de edificações, 35 escavações de solos e 174 construções de edifícios).

(ii.3). Elegibilidade das amostras

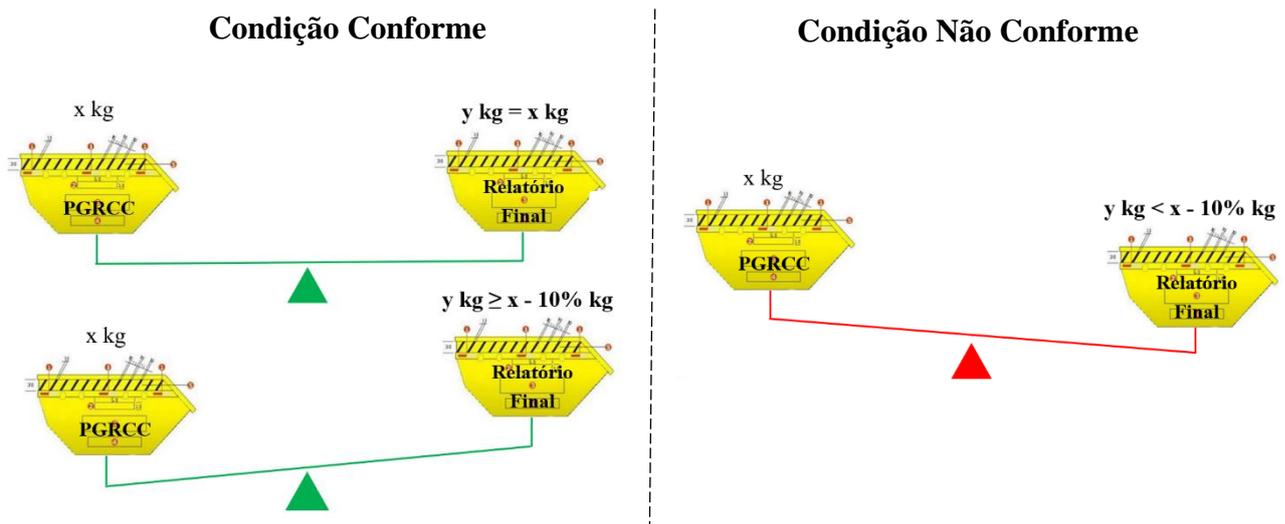
A elegibilidade das amostras, para a etapa de cálculo dos indicadores totais de RCD, correspondente às 368 obras selecionadas na etapa anterior, está relacionada à conformidade ou não do RFD ou RFO.

Os relatórios conformes, correspondem aqueles cujos resíduos foram adequadamente manejados pelos empreendedores, ou ainda, implicam naqueles nos quais as informações relativas aos RCD foram comprovadas através dos tíquetes de transporte, emitidos por empresas transportadoras cadastradas na prefeitura municipal, bem como por meio dos tíquetes de destinação final dos resíduos emitidos por aterro licenciado pelo órgão ambiental e cadastrado pela autoridade municipal, ou ainda, dos resíduos comprovadamente reutilizados dentro do canteiro de obras, através de memórias de cálculo de quantidades e registros fotográficos.

Outrossim, os RFD ou RFO considerados conformes pela EMLURB (2020), correspondem aos empreendimentos cujos resíduos tenham sido corretamente comprovados, transportados e destinados, ou ainda, aqueles com déficit menor ou igual a 10 % (dez por cento) da massa dos RCD previstos no Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) e demonstrados no relatório (Figura 3.5). Em última análise, os relatórios conformes referem-se aos processos para os quais a EMLURB emitiu a Declaração de Comprovação da Destinação Final dos Resíduos.

As demais amostras, relativas aos processos urbanísticos não conformes, foram utilizadas para as análises qualitativas, visando a compreensão dos fatos e/ou condições que motivaram a não conformidade na prestação de contas final dos resíduos gerados.

Figura 3.5 – Condições conformes e não conformes na prestação de contas dos RCD gerados, segundo critérios da EMLURB



Fonte: Elaborado pelo autor

(iii). Combinações entre as amostras elegíveis

As amostras elegíveis (edifícios incluídos na amostra), tiveram os seus dados qualitativos combinadas (composição, tecnologia construtiva e tipologia do edifício), e foram posteriormente agrupadas e analisadas, com o intuito de calcular os indicadores (taxas) de resíduos de construção, escavação e demolição.

A composição das edificações, está relacionada às características construtivas (p.ex. estrutura aporticada em concreto armado) ou faixa de área construída (p.ex. área construída maior do que 20.000 m^2). A tecnologia construtiva pode ser convencional (p.ex. revestimento cerâmico) ou não convencional (p.ex. revestimento em material composto de alumínio ACM). Já o agrupamento dos edifícios, foi efetuado segundo o tipo de uso do edifício (p.ex. uso habitacional multifamiliar, uso não habitacional etc.).

As edificações construídas na cidade do Recife, foram enquadradas como edificadas com tecnologias não convencionais, segundo as informações declaradas no PGRCC ou verificadas através do *Google Earth Pro*, e os critérios constantes no Quadro 3.1, podendo as inovações

estarem combinadas para um mesmo edifício. As tecnologias convencionais identificadas para os edifícios pesquisados, estão sintetizadas no Quadro 3.2.

Quadro 3.1 – Sistemas e subsistemas construtivos utilizados nas edificações construídas com tecnologias não convencionais na cidade do Recife

Sistemas	Subsistemas	Tecnologia Utilizada
Estruturais	Superestrutura	NC Estruturas aporticadas pré-fabricadas em concreto armado, inclusive lajes, vigas e pilares (exceto estruturas para galpão)
		NC Estruturas aporticadas em perfis metálicos, sem laje ou com laje pré-fabricada em concreto armado
		NC Estruturas aporticadas em perfis metálicos, com laje tipo <i>Steel Deck</i>
		NC Estrutura em <i>Light Steel Framing</i>
		CV Alvenaria estrutural de tijolos, inclusive estruturas em concreto armado
		CV Estruturas aporticadas em concreto armado, moldadas <i>in loco</i> , inclusive lajes, vigas e pilares
De Pisos	Internos	NC Piso elevado industrial
		CV Revestimento cerâmico
De Vedações	Internas	NC Paredes em alvenaria estrutural racionalizada de tijolos
		NC Paredes em <i>Drywall</i>
		CV Paredes em alvenaria de tijolos não estrutural
		NC Emboço ou reboco em argamassa de cimento e areia estabilizada
		CV Emboço ou reboco com argamassa de cimento e areia
		CV Revestimento cerâmico (áreas molhadas)
		NC Forro industrializado
		CV Forro de gesso em placas
	Externas	NC Emboço ou reboco em argamassa de cimento e areia estabilizada
		NC Revestimento em Alumínio Composto (ACM), em uma ou mais fachadas
		NC Revestimento em pele de vidro ou equivalente (p.e. fachada completa com esquadrias em alumínio, inclusive vidro)
		CV Revestimento cerâmico

NC = Não Convencional. CV = Convencional.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 3.2 – Sistemas e subsistemas construtivos utilizados nas edificações construídas com tecnologias convencionais na cidade do Recife

Sistemas	Subsistemas	Tecnologia Utilizada
Estruturais	Superestrutura	CV Estruturas aporricadas em concreto armado, moldadas <i>in loco</i> , inclusive lajes, vigas e pilares
		CV Estruturas aporricadas pré-fabricadas em concreto armado, inclusive lajes, vigas e pilares (estruturas para galpão)
		CV Alvenaria resistente de tijolos, inclusive estruturas em concreto armado
De Pisos	Internos	CV Revestimento cerâmico
De Vedações	Internas	CV Paredes em alvenaria de tijolos não estrutural
		CV Emboço ou reboco com argamassa de cimento e areia ⁽¹⁾
		CV Reboco em argamassa de gesso ⁽¹⁾
		CV Revestimento cerâmico (áreas molhadas)
		CV Forro de gesso em placas
	Externas	CV Paredes em alvenaria de tijolos não estrutural
		CV Emboço ou reboco com argamassa de cimento e areia
		CV Revestimento cerâmico

NC = Não Convencional. VC = Convencional.

⁽¹⁾ Foi considerado o uso de revestimento em argamassa de gesso para os casos nos quais foi declarado no RFO ou PGRCC, contudo, o uso na cidade do Recife é maior do que o registrado. Tal questão também afeta o quantitativo para a argamassa de cimento e areia, o qual é menor do que o registrado nos RFO e PGRCC.

Fonte: Elaborado pelo autor

3.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

3.4.1 Formulação Matemática

3.4.1.1 Cálculo dos Indicadores de RCD

No presente estudo, não foi necessário o cálculo da massa unitária dos resíduos, visando a conversão de volume (m³) para massa (kg), tendo em vista que os quantitativos comprovados pelos empreendedores à autoridade municipal e, analisados e atestados por esta, correspondem à massa dos RCD em toneladas.

O indicador parcial de geração de RCD, o qual se refere a cada uma das edificações selecionadas para a amostra, foi calculado através da razão entre a massa de resíduos gerados e a respectiva área de referência (Equação 3.1). Isto é, os indicadores parciais referentes à etapa demolição e construção, correspondem à divisão da massa de resíduos pela área de demolição ou área de construção, respectivamente, ou ainda, no caso dos solos de escavação, à razão entre a massa de solo escavado e a área do terreno ou área de construção. Para o cálculo do peso específico

dos solos de escavação, foi procedida a divisão da massa de solo pelo volume escavado, sendo o segundo resultante da multiplicação da área escavada pela profundidade de escavação.

$$I_p = \frac{M_{RCD} \text{ (kg)}}{A_r \text{ (m}^2\text{)}} \quad (3.1)$$

Onde:

I_p : indicador parcial de geração de RCD da primeira à enésima edificação selecionada (kg/m^2);

M_{RCD} : massa de RCD gerada (kg); e

A_r : área de referência, a qual pode ser a área de demolição, área construção ou área do terreno (m^2).

O indicador total de geração de RCD, o qual se refere ao conjunto das edificações selecionadas para a amostra, foi calculado segundo a metodologia proposta no estudo desenvolvido por Costa, Athayde Júnior e Oliveira (2014), na qual, o indicador total corresponde à média ponderada, segundo as áreas, dos indicadores parciais, quais sejam, da primeira até a enésima edificação selecionada para a etapa em estudo (Equação 3.2).

$$I_t = \frac{\sum_1^n I_{p_i} A_{r_i} \text{ (kg)}}{A_{r_i} \text{ (m}^2\text{)}} \quad (3.2)$$

Onde:

I_t : indicador total ponderado de geração de RCD (kg/m^2);

I_p : indicador parcial de geração de RCD da primeira à enésima edificação selecionada (kg/m^2);

A_r : área de referência, a qual pode ser a área de demolição, área construção ou área do terreno (m^2).

3.4.1.2 Cálculo do Percentual do Não PGRCC

Previsto na Resolução CONAMA 307/2002, a não apresentação do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) – “não PGRCC”, pelo gerador à autoridade municipal antes do início da obra de construção, demolição ou reforma, corresponde a ato infracional passível da aplicação de multa financeira.

O PGRCC é apresentado pelo gerador à EMLURB, através dos processos de licenciamento urbanístico, consoante as obras constituídas pelas etapas de: (a). Construção; (b). Construção/Demolição; (c). Demolição; e (d). Reforma.

O cálculo da representação da não apresentação do PGRCC, baseado nas informações contidas nos processos de licenciamento urbanístico finalizados pela EMLURB, foi realizado por meio da Equação 3.3 e segundo duas composições: (i). Não PGRCC parcial de acordo com os processos compostos por (a+b), (c) e (d); e (ii). Não PGRCC global constituído por todos os processos (a+b+c+d).

$$N_{PGRCC} = \frac{PP-PA}{PP} = \frac{PD}{PP} \quad (3.3)$$

Onde:

N_{PGRCC} : não apresentação do PGRCC (%);

PP: processos do PGRCC previstos (und);

PA: processos do PGRCC apresentados (und); e

PD: processos do PGRCC deficitários (und).

3.4.1.3 Cálculo do Coeficiente de Transporte Irregular de RCD

O transporte irregular dos RCD corresponde à operação de transporte que não foi comprovada ou não foi adequadamente comprovada pelo gerador à autoridade municipal através de manifesto de transporte emitido por transportador cadastrado e autorizado pela EMLURB. A operação de transporte irregular repercute em uma diferença (déficit) entre a massa de resíduos efetivamente comprovada no RFO/RFD e a massa de RCD declarada pelo empreendedor no

PGRCC. Sobre o quantitativo de RCD deficitário, relacionado ao transporte irregular, é aplicada uma multa pecuniária ao gerador infrator pela autoridade municipal.

A análise do transporte irregular dos RCD foi realizada em dois níveis. O primeiro nível de estudo, análise global das infrações de transporte, está relacionado ao conjunto de processos com déficit e sem déficit de RCD de maneira que seja obtido o coeficiente global de infração de transporte e respectivos limites inferior e superior com 95% de confiança. O segundo nível de pesquisa corresponde à análise apartada das infrações no transporte e diz respeito ao conjunto de processos tão somente com déficit de RCD de modo que seja calculado o coeficiente segregado de infração de transporte, bem como os coeficientes segregados inferior e superior com 95% de confiança.

Além disto, para os dois níveis de estudo, o conjunto de dados foi subdividido em dois grupos. O grupo 1, está relacionado aos processos cujas obras foram executadas por construtor com certificação ISO 9001 e/ou ISO 14001. O grupo 2, refere-se aos processos com obras executadas por construtor sem certificação.

O coeficiente parcial de transporte irregular dos RCD foi calculado através da razão entre a massa de resíduos transporta não comprovada no RFD e/ou RFO (MT_{NC}) e massa total declarada no PGRCC (M_{PGRCC}) (Equação 3.4).

$$CTI_p = \frac{MT_{NC} \text{ (kg)}}{M_{PGRCC} \text{ (kg)}} \quad (3.4)$$

Onde:

CTI_p : coeficiente parcial de transporte irregular dos RCD;

MT_{NC} : massa dos RCD transportados não comprovados no RFD e/ou RFO (kg); e

M_{PGRCC} : massa dos RCD previstos no PGRCC (kg).

A massa de resíduos transportados e não comprovados é calculada por meio da Equação 3.5:

$$MT_{NC} = M_{PGRCC} - MT_{RF} \quad (3.5)$$

Onde:

MT_{NC} : massa dos RCD transportados não comprovados no RFD e/ou RFO (kg);

M_{PGRCC} : massa dos RCD previstos no PGRCC (kg); e

MT_{RF} : massa dos RCD transportados comprovados no relatório final RFD e/ou RFO (kg).

O coeficiente total de transporte irregular dos RCD (segregado ou global), implica na média aritmética dos coeficientes parciais, do primeiro ao enésimo processo incluído no estudo, e pode ser obtido através da Equação 3.6.

$$CTI_t = \frac{\sum_1^n CTI_{p_i}}{n} \quad (3.6)$$

Onde:

CTI_t : coeficiente total de transporte irregular dos RCD;

CTI_p : coeficiente parcial de transporte irregular dos RCD; e

n: quantidade de processos que compõem a amostra.

3.4.1.4 Cálculo do Coeficiente de Destinação Irregular de RCD

A destinação irregular dos RCD corresponde à operação de disposição final que não foi comprovada ou não foi adequadamente comprovada pelo gerador à autoridade municipal, através de tíquetes de pesagem e certificados de destinação emitidos por Central de Tratamento de Resíduos (CTR) cadastrada e autorizada pela EMLURB. A operação de destinação irregular repercute em uma diferença (déficit) entre a massa de resíduos efetivamente comprovada no RFO/RFD e a massa de RCD declarada pelo empreendedor no PGRCC. Sobre o quantitativo de RCD deficitário, relacionado à destinação irregular, é aplicada uma multa pecuniária ao gerador infrator pela autoridade municipal.

A análise da destinação irregular de resíduos foi realizada em dois níveis. O primeiro nível de estudo, análise global das infrações de destinação, está relacionado ao conjunto de processos com déficit e sem déficit de RCD, de maneira que seja obtido o coeficiente global de infração na destinação e respectivo intervalo com 95% de confiança. O segundo nível de pesquisa, corresponde à análise segregada das infrações na destinação e diz respeito ao conjunto de processos unicamente com déficit de RCD, de modo que seja calculado o coeficiente segregado

de infração na destinação, bem como os coeficientes segregados inferior e superior com 95% de confiança.

Além disto, para os dois níveis de estudo, o conjunto de dados foi subdividido em dois grupos. O grupo 1 está relacionado aos processos cujas obras foram executadas por construtor com certificação ISO 9001 e/ou ISO 14001. O grupo 2 se refere aos processos com obras executadas por construtor sem certificação.

O coeficiente parcial de destinação irregular dos RCD foi calculado por meio da razão entre a massa de resíduos destinada não comprovada no RFD e/ou RFO (MD_{NC}) e massa total declarada no PGRCC (M_{PGRCC}) (Equação 3.7).

$$CDI_p = \frac{MD_{NC} \text{ (kg)}}{M_{PGRCC} \text{ (kg)}} \quad (3.7)$$

Onde:

CDI_p : coeficiente parcial de destinação irregular dos RCD;

MD_{NC} : massa dos RCD destinados não comprovados no RFD e/ou RFO (kg); e

M_{PGRCC} : massa dos RCD previstos no PGRCC (kg).

A massa dos RCD destinados e não comprovados é calculada através da Equação 3.8:

$$MD_{NC} = M_{PGRCC} - MD_{RF} \quad (3.8)$$

Onde:

MD_{NC} : massa dos RCD destinados não comprovados no RFD e/ou RFO (kg);

M_{PGRCC} : massa dos RCD previstos no PGRCC (kg); e

MD_{RF} : massa dos RCD destinados comprovados no relatório final RFD e/ou RFO (kg).

Ademais, o coeficiente total de destinação irregular dos RCD (segregado ou global), consiste na média aritmética dos coeficientes parciais, do primeiro ao enésimo processo incluído no estudo, e pode ser obtido através da Equação 3.9.

$$CDI_t = \frac{\sum_1^n CDI_{p_i}}{n} \quad (3.9)$$

Onde:

CDI_t : coeficiente total de destinação irregular dos RCD;

CDI_p : coeficiente parcial de destinação irregular dos RCD; e

n: quantidade de processos que compõem a amostra.

3.4.1.5 Cálculo dos Custos de Manejo e Infrações

Para a comparação dos custos de manejo, com os custos de infrações, devem ser realizados os seguintes passos. Primeiro, é calculado o Custo Direto de Manejo (CDMJ), custos com transporte e destinação dos RCD, através da Equação 3.10.

Depois, é calculado o Custo Direto com Infrações (CDIF), com uso da Equação 3.11. As três parcelas que compõem o CDIF, quais sejam, custo de não apresentação do PGRCC, custo de transporte irregular e custo de destinação irregular, são obtidas através das Equações 3.12, 3.13 e 3.14, respectivamente. Por fim, os custos obtidos para uma e outra situação, são comparados.

Os custos unitários de transporte e destinação de RCD (custos médios), utilizados para os cálculos, correspondem aqueles praticados na Região Metropolitana do Recife (RMR). O transporte e a destinação dos RCD, são realizados por empresas de transporte e Central de Tratamento de Resíduos (CTR), licenciadas e cadastradas pela administração pública municipal. Já a Unidade Fiscal de Referência (UFIR), implica no valor atualizado todos os anos pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), conforme estabelecido na Lei Estadual nº 11.922/2000. Tais custos são os constantes na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Custos médios de transporte e destinação de RCD e valor da UFIR, data-base maio/2019

	Descrição	Und	Custo R\$
1	Coleta e Transporte de Resíduo (Custo Médio)	ton	124,10
2	Tratamento de Resíduo Classe IIB (Custo Médio)	ton	39,04
3	Unidade Fiscal de Referência	UFIR	3,27

Fonte: Compilação do autor

Custo Direto de Manejo (CDMJ)

O Custo Direto de Manejo (CDMJ), é realizado por meio da Equação 3.10.

$$CDMJ = M_{RCD} \times (CTr + CDe) \quad (3.10)$$

Onde:

CDMJ: Custo Direto de Manejo (R\$);

M_{RCD} : massa de RCD gerada (ton);

CTr: custo unitário de transporte de RCD por empresa licenciada e cadastrada na PCR (R\$/ton);

CDe: custo unitário de destinação de RCD para CTR licenciada e cadastrada na PCR (R\$/ton).

Custo Direto com Infrações (CDIF)

O cálculo do Custo Direto com Infrações (CDIF), é obtido através da Equação 3.11.

$$CDIF = CDN_{PGRCC} + CDTr_i + CDDe_i \quad (3.11)$$

Onde:

CDIF: Custo Direto com Infrações (R\$);

CDN_{PGRCC} : Custo direto com a infração de não apresentação do PGRCC (R\$);

$CDTr_i$: Custo direto com a infração de transporte irregular de RCD (R\$); e

$CDDe_i$: Custo direto com a infração de destinação irregular de RCD (R\$).

(i). *Custo Direto de Não Apresentação do PGRCC (CDN_{PGRCC})*

A parcela referente à infração de não apresentação do PRGCC, é calculada através da Equação 3.12. No entanto, o valor está limitado ao intervalo compreendido entre R\$ 300,00 a R\$ 5.000 (inciso III, do art. 12 da Lei 17.072/2005).

$$CDN_{PGRCC} = M_{RCD} \times (CTr + CDe), \quad 300,00 \leq CDN_{PGRCC} \leq 5.000,00 \quad (3.12)$$

Onde:

CDN_{PGRCC} : Custo direto com a infração de não apresentação do PGRCC (R\$);

M_{RCD} : massa de RCD gerada (ton);

CTr : custo unitário de transporte de RCD por empresa licenciada e cadastrada na PCR (R\$/ton);

CDe : custo unitário de destinação de RCD para CTR licenciada e cadastrada na PCR (R\$/ton).

(ii). Custo Direto de Transporte Irregular de RCD ($CDTr_i$)

A parcela referente à infração de transporte irregular de RCD, é calculada por meio da Equação 3.13, e não possui valor imitado. A capacidade da caçamba estacionária, utilizada no cálculo, corresponde à massa de RCD igual a 9,8 ton (volume = 7 m³).

$$CDTr_i = \frac{M_{RCD}}{CAP_{cx}} \times 140 UFIR \quad (3.13)$$

Onde:

$CDTr_i$: Custo direto com a infração de transporte irregular de RCD (R\$);

M_{RCD} : massa de RCD gerada (ton);

CAP_{cx} : capacidade da caixa, tipo caçamba estacionária (ton); e

$UFIR$: Unidade Fiscal de Referência.

(iii). Custo Direto de Destinação Irregular de RCD ($CDDe_i$)

A parcela referente à infração de destinação irregular de RCD, é obtida através da Equação 3.14. O valor da infração é limitado ao intervalo compreendido entre R\$ 1.000,00 e R\$ 5.000 (inciso IV, do art. 12 da Lei 17.072/2005):

$$CDDe_i = M_{RCD} \times CDe, \quad 1.00,00 \leq CDDe_i \leq 5.000,00 \quad (3.14)$$

Onde:

$CDDe_i$: Custo direto com a infração de destinação irregular de RCD (R\$);

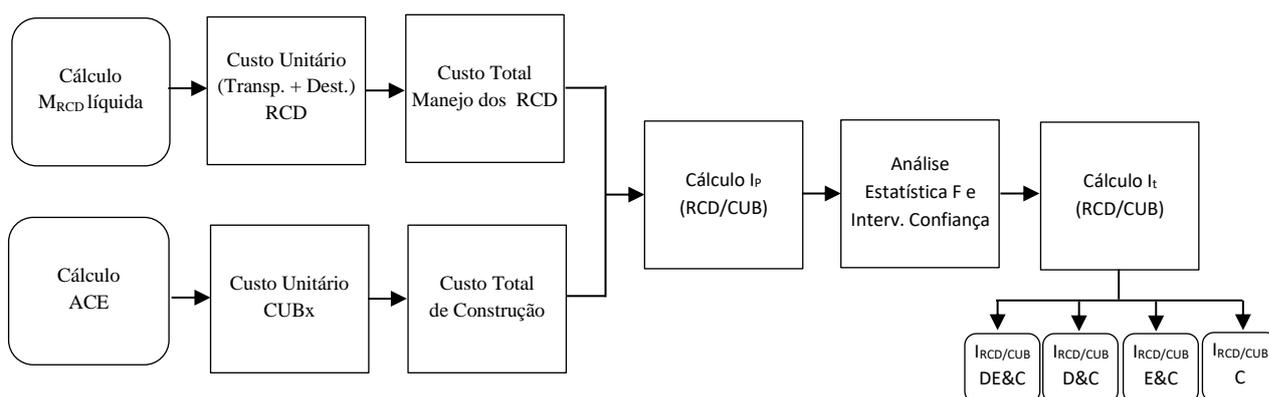
M_{RCD} : massa de RCD gerada (ton); e

CDe : custo unitário de destinação de RCD para CTR licenciada e cadastrada na PCR (R\$/ton).

3.4.1.6 Cálculo dos Indicadores de Custo RCD/CUB

O indicador de custo RCD/CUB (coeficiente) para empreendimentos imobiliários, segundo os dados de edifícios do tipo conjunto de apartamentos, corresponde à razão entre o custo necessário para o transporte externo e destinação ambientalmente adequados dos RCD e o Custo Unitário Básico (CUB). Para o cálculo dos indicadores (coeficientes) de custo RCD/CUB, é necessário seguir os passos constantes na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Metodologia de cálculo dos indicadores de custo RCD/CUB



Fonte: Elaborado pelo autor

Custo Total de Manejo dos RCD

Primeiro foi calculada a massa líquida de RCD (Equação 3.15), que consiste na subtração da massa de resíduos reutilizados no canteiro de obras da massa de RCD gerados, para um determinado edifício da amostra e segundo as etapas de demolição e/ou escavação e/ou construção. Todos os resíduos reutilizados foram utilizados como massa de aterro dentro do canteiro de obras no qual foram gerados.

$$Ml_{RCD} = (M_{RCD} - Mr_{RCD}) \text{ ton} \quad (3.15)$$

Onde:

Ml_{RCD} : massa líquida de RCD (ton);

M_{RCD} : massa dos RCD gerados (ton); e

Mr_{RCD} : massa dos RCD reutilizados no canteiro de obras (ton).

Depois foi definido o custo unitário (R\$/ton) para o transporte e destinação dos RCD. O custo adotado para o transporte e a destinação dos RCD (Tabela 3.5), contempla exclusivamente o custo de transporte externo dos resíduos, executado por empresas de transporte, bem como o custo de destinação ambientalmente adequada dos RCD, para Centrais de Tratamento de Resíduos (CTR), ambas cadastradas e autorizadas pela autoridade municipal. Por conseguinte, o custo considerado não contempla o transporte horizontal interno, entre o local de geração e o ponto de despejo ou estocagem, o transporte vertical de entulhos (sistema de dutos coletores), recipientes de acondicionamento, dentre outros custos.

Em seguida foi calculado o custo de manejo RCD (CM), o qual corresponde a multiplicação da massa líquida de resíduos (Ml_{RCD}) pelo custo unitário de transporte e destinação dos resíduos. O Custo de Manejo (CMJ_x), é calculado por meio da Equação 3.16.

$$CMJ_x = Ml_{RCD} \times (CTr + CDe) \quad (3.16)$$

Onde:

CMJ_x : custo de manejo (R\$);

Ml_{RCD} : massa líquida de RCD (ton);

CTr: custo unitário de transporte de RCD por empresa licenciada e cadastrada na PCR (R\$/ton);

CDe: custo unitário de destinação de RCD para CTR licenciada e cadastrada na PCR (R\$/ton).

Custo Total de Construção

Conforme conceito difundido pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2020), o Custo Unitário Básico (CUB), ou melhor, o custo por metro quadrado de construção do projeto-padrão considerado (CUB/m²) representa o custo parcial da obra e não o custo

global, uma vez que não abrange os demais custos adicionais, a exemplo dos custos relacionados às fundações e elevadores (SINDUSCON-MG, 2020).

Inicialmente foi efetuado o cálculo da Área de Construção Equivalente (ACE). A metodologia de cálculo da ACE consta no item 5.7.3 (coeficientes médios) da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 12.721:2006, a qual versa sobre a avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária. A Área de Construção Equivalente é calculada por meio da Equação 3.17.

$$ACE = (AMP \times (QPV + PTR)) \times CGR + (AMP \times QPT) \times CAP \quad (3.17)$$

Onde:

ACE: área de construção equivalente;

AMP: área média dos pavimentos;

QPV: quantidade de pavimentos vazados;

PTR: pavimento térreo;

CGR: coeficiente de garagem;

QPT: quantidade de pavimentos tipo; e

CAP: coeficiente de área privativa.

Logo, visando a definição de cada variável que compõe a Equação 3.10, foram adotados os seguintes critérios: (i). AMP = área total construída dividida pela quantidade de pavimentos; (ii). QPV = quantidade de pavimentos menos a quantidade de pavimentos tipo; (iii). CGR = 0,75 (limite superior constante na alínea “a” do item 5.7.3 da ABNT NBR 12.721:2006); e (iv). CAP = 1,00 (coeficiente constante na alínea “b” do item 5.7.3 da ABNT NBR 12.721:2006).

Em seguida foi calculado o Custo Unitário Básico de Construção ajustado (CUBx), o qual consiste no CUB com a inclusão das parcelas referentes às fundações do edifício e elevadores (Tabela 3.6). Ou melhor, ao Custo Unitário Básico (CUB) de construção, data-base out./2019 sem desoneração, disponível no sítio eletrônico do Sindicato da Indústria da Construção Civil

no Estado de Pernambuco (SINDUSCON-PE), para cada padrão de acabamento previsto na norma ABNT NBR 12721:2006 (Tabela 3.6), foram adicionadas as parcelas referentes às fundações (4,0%) e aos elevadores (3,3%), caso aplicável, cujos percentuais adotados constam nos estudos desenvolvidos por Mattos (2014).

Tabela 3.6 – Custo Unitário Básico ajustado (CUB_x) de construção de edifícios, consoante projetos-padrão da ABNT NBR 12.721:2006 (data-base outubro/2019, sem desoneração)

Código	Descrição	CUB/m ² a	Fundações	Elevadores	CUB _x /m ² d=a+b+c
			4,0% b=ax4,0%	3,3% c=ax3,3%	
Projetos - Padrão Residencial					
Padrão Baixo					
R-1B	Residência Padrão Baixo (R1-B)	1.498,95	59,96	-	1.558,91
PP-4B	Prédio Popular Padrão Baixo (PP - B)	1.323,32	52,93	-	1.376,25
R-8B	Residência Multifamiliar Padrão Baixo (R8 - B)	1.246,44	49,86	-	1.296,30
PIS	Projeto de Interesse Social (PIS)	992,95	39,72	-	1.032,67
Padrão Normal					
R-1N	Residência Padrão Normal (R1-N)	1.826,62	73,06	-	1.899,68
PP-4N	Prédio Popular Padrão Normal (PP - N)	1.721,82	68,87	-	1.790,69
R-8N	Residência Multifamiliar Padrão Normal (R8 - N)	1.445,13	57,81	47,69	1.550,63
R-16	Residência Multifamiliar Padrão Normal (R16 - N)	1.409,07	56,36	46,50	1.511,93
Padrão Alto					
R-1A	Residência Padrão Alto (R1-A)	2.303,65	92,15	76,02	2.471,82
R-8A	Residência Multifamiliar Padrão Alto (R8 - A)	1.833,87	73,35	60,52	1.967,74
R-16A	Residência Multifamiliar Padrão Alto (R16 - A)	1.787,42	71,50	58,98	1.917,90
Projetos-Padrão Comercial: Comercial Andares Livres (CAL) e Comercial Salas e Lojas (CSL)					
Padrão Normal					
CAL-8N	Edificação Comercial Andar Livre Padrão Normal (CAL- 8)	1.625,33	65,01	53,64	1.743,98
CSL-8N	Edificação Comercial Salas e Lojas Padrão Normal (CSL - 8)	1.395,85	55,83	46,06	1.497,74
CSL-16N	Edificação Comercial Salas e Lojas Padrão Normal (CSL -16)	1.850,92	74,04	61,08	1.986,04
Padrão Alto					
CAL-8A	Edificação Comercial Salas e Lojas Padrão Alto (CSL - 8)	1.764,63	70,59	58,23	1.893,45
CSL-8A	Edificação Comercial Salas e Lojas Padrão Alto (CSL -16)	1.578,41	63,14	52,09	1.693,64
CSL-16A	Edificação Comercial Andar Livre Padrão Alto (CAL- 8)	2.092,35	83,69	69,05	2.245,09
Projetos-Padrão: Galpão Industrial (GI) e Residência Popular (RP1Q)					
RP1Q	Residência Popular (RP1Q)	1.422,77	56,91	-	1.479,68
GI	Galpão Industrial (GI)	766,79	30,67	-	797,46
CUB _x utilizado para o cálculo dos indicadores					

Fonte: SINDUSCON-PE (2020)

Portanto, o custo de construção (CCT_x) para cada uma das edificações que compõe a amostra, corresponde à multiplicação da Área de Construção Equivalente (ACE) pelo Custo Unitário Básico ajustado (CUB_x) (Equação 3.18).

$$CCT_x = ACE \times CUB_x \quad (3.18)$$

Onde:

CCT_x : custo total de construção;

ACE: área de construção equivalente; e

CUB_x : Custo Unitário Básico ajustado.

Indicadores RCD/CUB

O cálculo do indicador total (I_{RCD/CUB_t}) é precedido pelo cálculo dos indicadores parciais (I_{RCD/CUB_p}) de cada obra da amostra selecionada. O indicador RCD/CUB parcial foi calculado através da razão entre o custo de manejo dos RCD (transporte e destinação) e o custo de construção CCT de cada edifício componente da amostra (Equação 3.19).

$$I_{RCD/CUB_p} = \frac{CMJ_x \text{ (R\$)}}{CCT_x \text{ (R\$)}} \quad (3.19)$$

Onde:

I_{RCD/CUB_p} : indicador parcial da relação entre o custo de manejo dos RCD e custo de construção da edificação selecionada;

CMJ_x : custo de manejo dos RCD gerados (R\$); e

CCT_x : custo de construção da edificação (R\$).

Já o indicador total RCD/CUB é calculado por meio da Equação 3.13. O I_{RCD/CUB_t} corresponde à média das relações entre o custo de manejo dos RCD e custo de construção do conjunto de edificações analisadas, o qual corresponde à média dos indicadores parciais, quais sejam, da primeira até a n ésima edificação selecionada para a associação de etapas em estudo (Equação 3.20).

$$I_{RCD/CUB_t} = \frac{\sum_1^n I_{RCD/CUB_p_i}}{n} \quad (3.20)$$

Onde:

I_{RCD/CUB_t} : indicador total médio da relação entre o custo de manejo dos RCD e o custo de construção do edifício;

I_{RCD/CUB_p} : indicador parcial da relação entre o custo de manejo dos RCD e custo de construção da edificação selecionada; e

n: quantidade de edifícios que compõem a amostra.

3.4.1.7 Cálculo dos Indicadores de Transporte e Reutilização de RCD

O indicador parcial de transporte ou reutilização dos RCD, o qual se refere a cada uma das edificações selecionadas para a amostra, foi calculado através da razão entre a massa de resíduos transportada ou reutilizada (M') e a massa total gerada (M_{RCD}) (Equação 3.21).

$$I_p = \frac{M' \text{ (kg)}}{M_{RCD} \text{ (kg)}} \quad (3.21)$$

Onde:

I_p : indicador parcial de transporte ou reutilização dos RCD da primeira à enésima edificação selecionada;

M' : massa dos RCD gerados (kg), segundo o tipo de destinação (transporte ou reutilização); e

M_{RCD} : massa dos RCD gerados (kg).

O indicador total de transporte ou reutilização dos RCD, o qual se refere ao conjunto das edificações selecionadas para a amostra, corresponde à média aritmética dos indicadores parciais, da primeira até a enésima edificação selecionada (Equação 3.22). Ou ainda, corresponde ao indicador total das edificações compostas pelas mesmas etapas de execução: (i.) Demolição, escavação e construção; (ii.) Demolição e construção; e (iii.) Escavação e construção.

$$I_t = \frac{\sum_1^n I_{p_i}}{n} \quad (3.22)$$

Onde:

I_t : indicador total de transporte ou reutilização dos RCD;

I_p : indicador parcial de transporte ou reutilização dos RCD da primeira à enésima edificação selecionada; e

n : quantidade de edificações que compõem a amostra.

3.4.2 Análises Estatísticas

O banco de dados municipal de resíduos é composto por obras de edifícios executadas por empresas construtoras diversas, algumas com a gestão da construção baseada em princípios da qualidade e do desenvolvimento sustentável, enquanto, outras construtoras, em regra, são direcionadas por práticas e técnicas de execução e controle inadequados.

Baseado neste panorama, visando validar os dados do banco de dados municipal de Resíduos de Construção e Demolição, foi realizada a análise estatística de variância, com o emprego do Teste F, através da divisão das obras em dois grupos: construtor com certificação (grupo 1), qual seja, a certificação ISO 9001 e/ou ISO 14001; e construtor sem certificação (grupo 2).

Procedimento semelhante foi adotado na pesquisa desenvolvida por Costa, Athayde Júnior e Oliveira (2014), no qual foi utilizado o Teste F, com o objetivo de validar a amostra dos volumes de resíduos de RCD gerados em canteiros de obras na cidade de João Pessoa, segundo dois grupos, o grupo 1, formado pelas obras controle, com medição *in loco* dos resíduos gerados, e o grupo 2, composto pelas demais obras.

Em relação ao Teste F, Lapponi (2005) mostra que o teste de hipóteses permite determinar se duas amostras conhecidas, com qualquer tamanho, pertencem à mesma população, através da análise comparativa das médias dos grupos amostrais, ou ainda, se é ou não razoável concluir que as médias das duas populações são diferentes.

As equações matemáticas do teste de hipóteses F, apresentadas na obra de Lapponi (2005), estão adiante detalhadas na Equação 3.23, Equação 3.24 e Equação 3.25.

$$F_o = \frac{S_b^2}{S_w^2} \quad (3.23)$$

Onde:

F_o : F observado;

S_b^2 : variância entre os grupos; e

S_w^2 : variância dentro dos grupos.

Cálculo da variância entre os grupos (Equação 3.17):

$$S_b^2 = \frac{\sum_1^k n_j (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2}{k-1} \quad (3.24)$$

Onde:

S_b^2 : variância entre os grupos;

n: número de elementos do grupo;

\bar{X} : média do grupo; e

$\bar{\bar{X}}$: média dos grupos.

Cálculo da variância dentro dos grupos (Equação 3.18):

$$S_w^2 = \frac{\sum_1^k (n_j - 1) S_j^2}{n_T - k} \quad (3.25)$$

Onde:

S_w^2 : variância dentro dos grupos;

n: número de elementos do grupo;

S^2 : variância do grupo;

n_T : número total de observações; e

k: número de grupos.

Foi adotado o nível de significância $\alpha = 5\%$, para o estudo em apreço, e calculados os graus de liberdade do numerador ν_1 , igual a $\nu_1 = k - 1$, e os graus de liberdade do denominador ν_2 , através da igualdade $\nu_2 = n_T - k$. O F crítico F_c é obtido por meio de consulta à tabela da

distribuição F. O resultado do teste de hipótese é obtido da comparação do F_o observado com o F crítico, de tal maneira que, se $F_o < F_c$, a hipótese de haver diferença significativa entre as médias dos indicadores de resíduos do grupo 1 e grupo 2 deverá ser rejeitada, isto é, as médias amostrais não são significativamente diferentes entre si, caso contrário, a hipótese deve ser aceita (LAPPONI, 2005).

Em relação ao Teste F com o intervalo de confiança, Laponi (2005), mostra que a média e o desvio padrão da amostra escolhida, e o intervalo de confiança adotado, determinam o intervalo de valores para o qual está incluída a média da população. Tal procedimento foi adotado no presente estudo, visando calcular o intervalo de confiança da amostra, para cada indicador analisado, segundo um nível de confiança igual a 95%. Ou seja, há condições de afirmar que a probabilidade de a média do indicador de resíduos estar incluída no intervalo estimado da média é 95%.

A obtenção de faixas de variação, através do cálculo do intervalo de confiança da amostra ou dos valores máximos e mínimos, permite uma adequada compreensão dos limites nos quais os indicadores de RCD são válidos, tendo em vista que as obras de demolição, escavação e construção são únicas.

Enquanto a variância (S^2) e o desvio-padrão (S) correspondem a medidas absolutas de dispersão, o coeficiente de variação (CV) implica em uma medida relativa de dispersão (MARTINS e DOMINGUES, 2014). Embora a análise de variância permita validar estatisticamente os indicadores médios, foi realizada uma análise secundária tendo como base o coeficiente de variação (CV).

Portanto, após a obtenção do indicador médio de RCD foi realizado o cálculo do coeficiente de variação de Pearson (CV) com o objetivo de checar a dispersão relativa dos indicadores médios calculados. O CV compara a variação entre o desvio padrão (S) e a média aritmética (\bar{X}) da distribuição por meio da razão entre S e \bar{X} (MARTINS e DOMINGUES, 2014; COSTA, 2011). A análise estatística com emprego do coeficiente de variação permite determinar o quanto é representativa a média obtida para cada indicador de RCD. No entanto, os resultados da análise de dispersão relativa, através do coeficiente de variação, não invalidam aqueles obtidos com a análise de dispersão absoluta com emprego da análise de variância.

Cálculo do coeficiente de variação (Equação 3.26):

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad (3.26)$$

Onde:

CV: coeficiente de variação;

S: desvio-padrão amostral;

\bar{X} : média amostral.

Segundo Martins e Domingues (2014), o coeficiente de variação (CV) pode ser interpretado segundo os intervalos percentuais e regras empíricas contidas na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Coeficiente de Variação e classificação empírica da dispersão da amostra

Coeficiente de Variação (CV)	Classificação Empírica
$CV < 15\%$	Há baixa dispersão: boa representatividade para a média aritmética como medida de posição
$15\% \leq CV < 30\%$	Há média dispersão: a representatividade da média aritmética como medida de posição é apenas regular
$CV \geq 30\%$	Há elevada dispersão: a representatividade da média aritmética como medida de dispersão é ruim

Fonte: Martins e Domingues (2014)

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos para os indicadores de geração de RCD, referentes aos resíduos oriundos de edifícios construídos e demolidos na cidade do Recife. Também é efetuada uma análise comparativa dos indicadores obtidos, com aqueles admitidos pela PCR. Ademais, são apresentados os indicadores de geração de RCD para obras modelo, não apresentação do PGRCC, transporte e destinação irregulares, custo comparado entre manejo e infrações, custo RCD/CUB, reutilização de resíduos, dentre outros resultados.

As características das edificações incluídas no estudo, estão detalhadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Características das edificações do banco de dados municipal de RCD

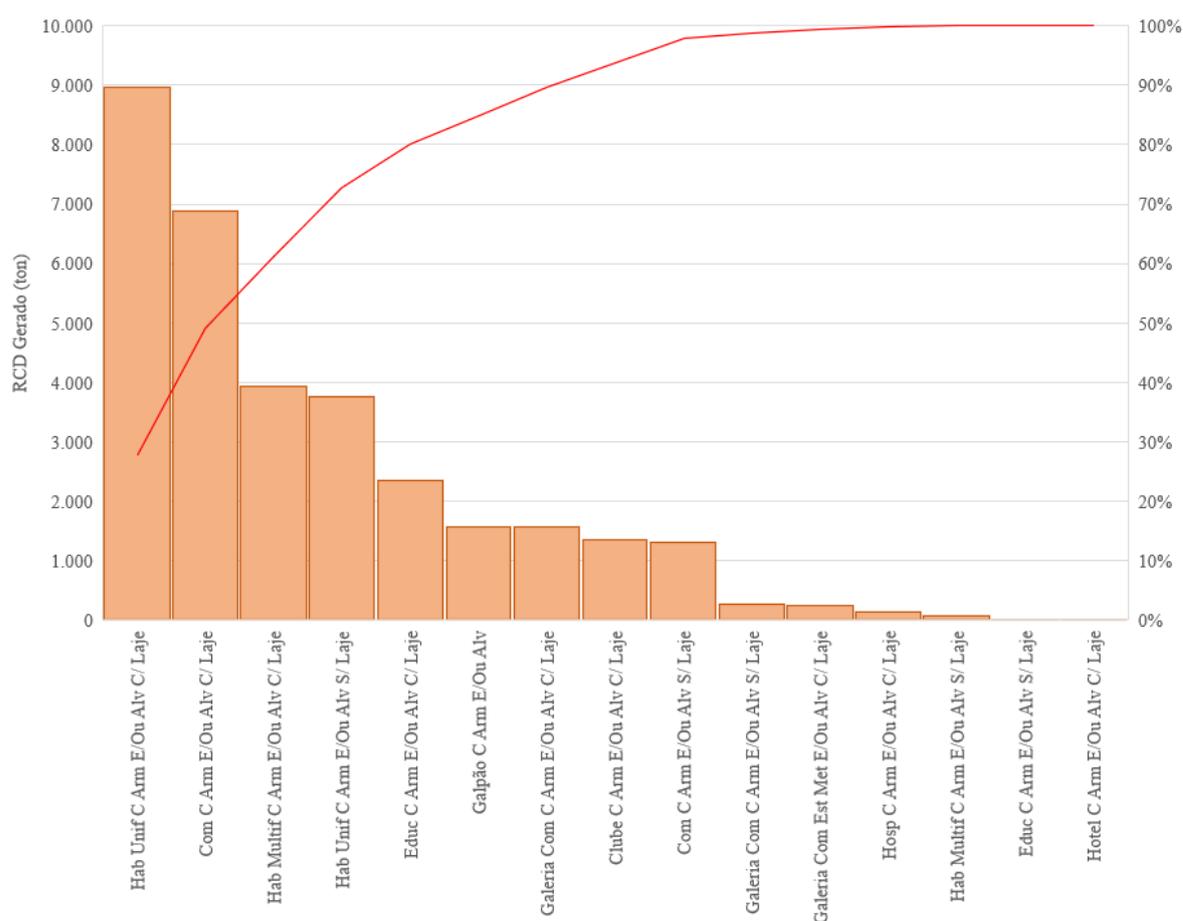
Tipologia da Edificação	RFD ou RFO		
	Conforme	Não Conforme	Total
Demolição			
Demolição Total			
Edificações com Laje	32	50	82
Edificações sem Laje	20	28	48
Edificações Tipo Galpão	8	5	13
Demolição Parcial			
Elementos Isolados (Reforma)	6	10	16
<i>Subtotal Demolição</i>	66	93	159
Escavação			
Edificações com Semienterrado e Elementos de Fundação	9	11	20
Edificações com Elementos de Fundação	13	2	15
<i>Subtotal Escavação</i>	22	13	35
Construção e Reforma			
Edificações de Uso Habitacional Multifamiliar (Cj de Apartamentos)	38	21	59
Edificações de Uso Misto, Hab. Mult. e Hotel (Cj de Apart. e Cj de Quartos)	0	1	1
Edificações de Uso Misto, Hab. Mult. e Empresarial (Cj de Apart. e Cj de Salas)	1	0	1
Edificações de Uso Habitacional Multifamiliar (Cj de Casas)	5	8	13
Edificações de Uso Habitacional Unifamiliar (Casa)	5	1	6
Edificações de Uso Não Habitacional (Cj de Salas)	3	7	10
Edificações de Uso Não Habitacional (Educativo)	2	4	6
Edificações de Uso Não Habitacional (Hospitalar)	2	0	2
Edificações de Uso Não Habitacional (Galpão)	2	6	8
Edificações de Uso Não Habitacional (Comércio)	8	34	42
Edificações de Uso Não Habitacional (Hotel)	0	1	1
Edificações de Uso Não Habitacional (Templo Religioso)	1	0	1
Edificações de Uso Não Habitacional (Prisional)	1	0	1
Edificações de Uso Não Habitacional (Subestação Elétrica)	1	1	2
Edificações Reformadas com Acréscimo de Área	7	7	14
Edificações Reformadas sem Acréscimo de Área	5	2	7
<i>Subtotal Construção e Reforma</i>	81	93	174
Total Geral	169	199	368

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 EDIFICAÇÕES DEMOLIDAS

As 143 obras de demolição de edificações (demolição total), exclusive as obras de demolição de elementos isolados (reformas), as quais foram selecionadas para análise dos RCD gerados, estão sumarizadas no gráfico de Pareto (Figura 4.1), e correspondem aos edifícios com RFD ou RFO conformes e não conformes. De acordo com as tipologias e características das edificações demolidas em Recife, as maiores parcelas de resíduos de demolição gerados correspondem: 28% edificações habitacionais unifamiliares com laje (8.968 ton); 21% edifícios comerciais com laje (6.872 ton); 12% edificações habitacionais multifamiliares com laje (3.935 ton); 12% edificações habitacionais unifamiliares sem laje (3.752 ton); e 27% outras tipologias (8.803 ton).

Figura 4.1 – Diagrama de Pareto dos RCD gerados na demolição de edificações em Recife, segundo as tipologias e características construtivas



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resíduos de demolição gerados (60.550 ton) e a quantidade de edificações demolidas (143 und) integrantes da amostra pesquisada, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e o bairro da Cidade do Recife, estão sintetizados na Figura 4.2. A estratificação dos dados revela que a massa total de RCD gerada está distribuída da seguinte forma: 29% na RPA1 (17.658 ton); 26% na RPA6 (15.663 ton); 19% na RPA3 (11.710 ton); 17% na RPA4 (10.377 ton); 5% na RPA5 (2.815 ton); e 4% na RPA2 (2.327 ton).

A liderança na geração de resíduos verificada na RPA1 (Figura 4.2) se deve à execução da demolição total de 13.540 m² de galpões de armazenagem em alvenaria e concreto armado, que correspondeu à geração, transporte e destinação ambientalmente adequada de 12.798 ton de RCD, visando a posterior construção de um complexo de edifícios no Cais José Estelita, bairro de São José, região central da Cidade do Recife.

Quanto à distribuição dos RCD segundo os bairros (Figura 4.2), é possível compreender que há três localidades que concentram quase a metade dos resíduos de demolição gerados, quais sejam: 21% São José (conjunto de galpões; 12.798 ton); 15% Imbiribeira (4 edificações; 9.079 ton); e 10% Boa Viagem (14 edifícios; 6.041 ton).

A demolição das edificações no bairro de São José representa uma nova estratégia de expansão do mercado da construção civil em Recife, uma vez que é dotado de localização central, boa infraestrutura urbana e vista panorâmica para a bacia do Pina. No bairro da Imbiribeira se destaca a demolição de um hotel com 10.628 m² e 8.503 ton de RCD gerados, sendo a área destinada a edifícios residenciais. O bairro da Boa Viagem tem a peculiaridade de ser o segundo com a maior quantidade de edificações demolidas (14 und), ficando atrás apenas do bairro da Madalena (17 und). Os bairros da Imbiribeira e Boa Viagem são localidades de tradicional atuação do mercado imobiliário por meio da construção de prédios habitacionais.

Partindo do rendimento nominal médio mensal dos domicílios, segundo os bairros da Cidade do Recife, obtido junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020), foi analisada a relação entre o rendimento e resíduos de demolição gerados (Figura 4.3). Dos resultados alcançados é possível compreender que os 3 (três) bairros mais ricos do Recife que compõem o estudo localizados na RPA3, quais sejam Casa Forte (766 ton), Parnamirim (2.392 ton) e Graças (2.445 ton), ocupam a 18^a, 7^a e 6^a colocação entre as localidades nas quais foram gerados RCD, respectivamente. Logo, os resultados revelam que não há uma relação

diretamente proporcional entre a renda do bairro e os resíduos de demolição de demolição produzidos.

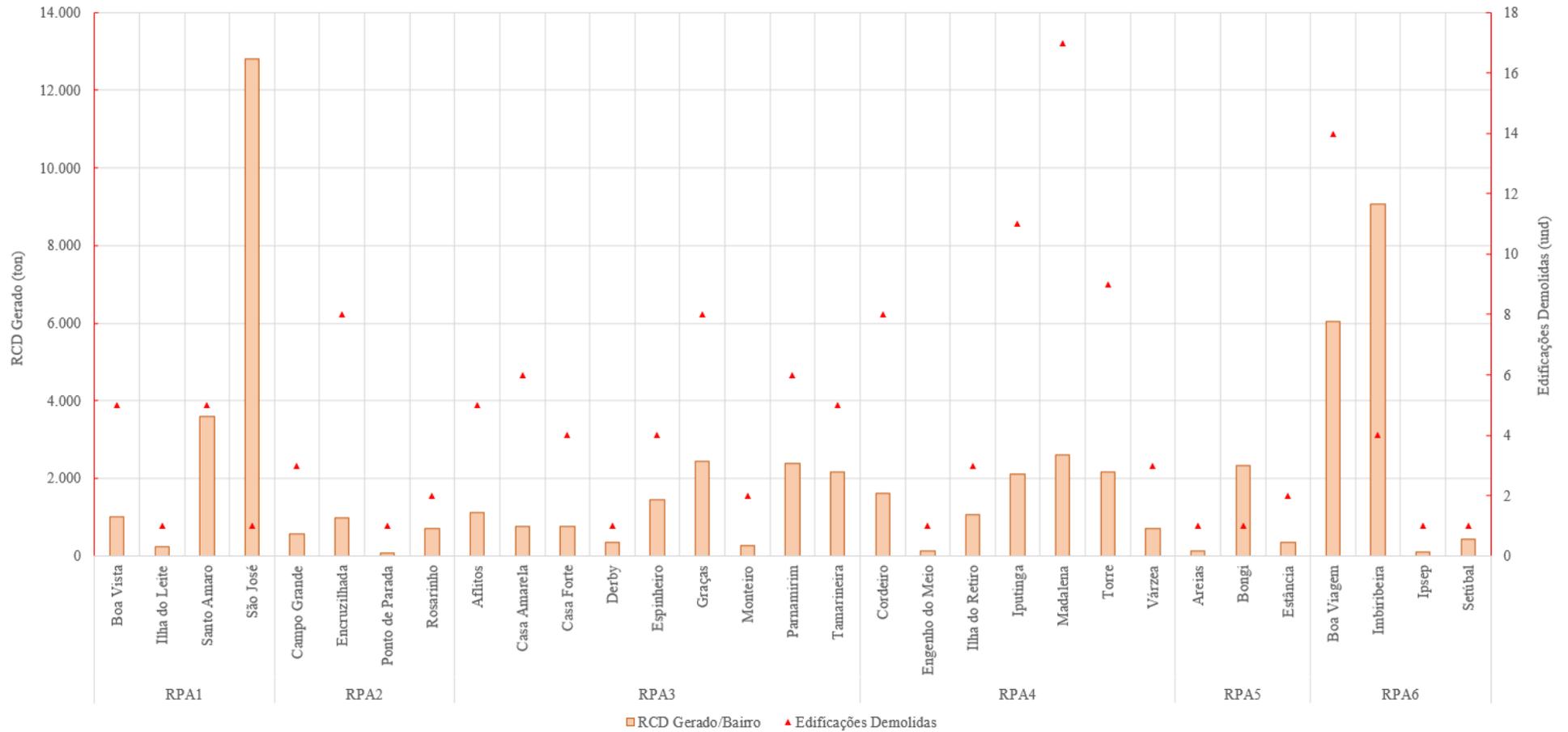
No entanto, os 3 (três) bairros que mais geraram resíduos de demolição (Figura 4.3), quais sejam São José (12.798 ton), Imbiribeira (9.079 ton) e Boa Viagem (6.041), correspondem ao 41^a, 31^a e 9^a colocação de rendimento médio mensal dos domicílios, dentre os 47 bairros que compõem a cidade do Recife.

Dentre as 143 obras de demolição que compõem a amostra foram selecionados 74 edifícios dos quais foi possível catalogar as datas de construção e demolição (Figura 4.4). A data de construção foi obtida por meio da ficha de cadastro do imóvel da Prefeitura da Cidade do Recife. O ano de demolição foi obtido através das informações contidas no RFD ou RFO. O tempo decorrido entre a construção e demolição de cada edificação (idade de demolição) foi calculado por meio da diferença entre o ano de demolição e ano de construção. Já a idade média de demolição corresponde à média aritmética dos 74 edifícios selecionados.

Os prédios demolidos foram construídos entre os anos de 1939 e 2013 e correspondem a idade máxima e mínima de demolição igual a 80 anos e 3 anos, respectivamente. As edificações que compõem a análise da idade de demolição tiveram os serviços de demolição executados em 2019 (11%), 2018 (28%), 2017 (16%), 2016 (8%), 2015 (19%), 2014 (14%) e 2011 (4%). Os serviços de demolição mais antigos implicam, em regra, em processos de licenciamento urbanísticos cuja etapa de construção demorou a ser iniciada ou concluída, sendo a prestação de contas da parcela de RCD da demolição realizada junto à autoridade municipal quando da finalização da construção do edifício.

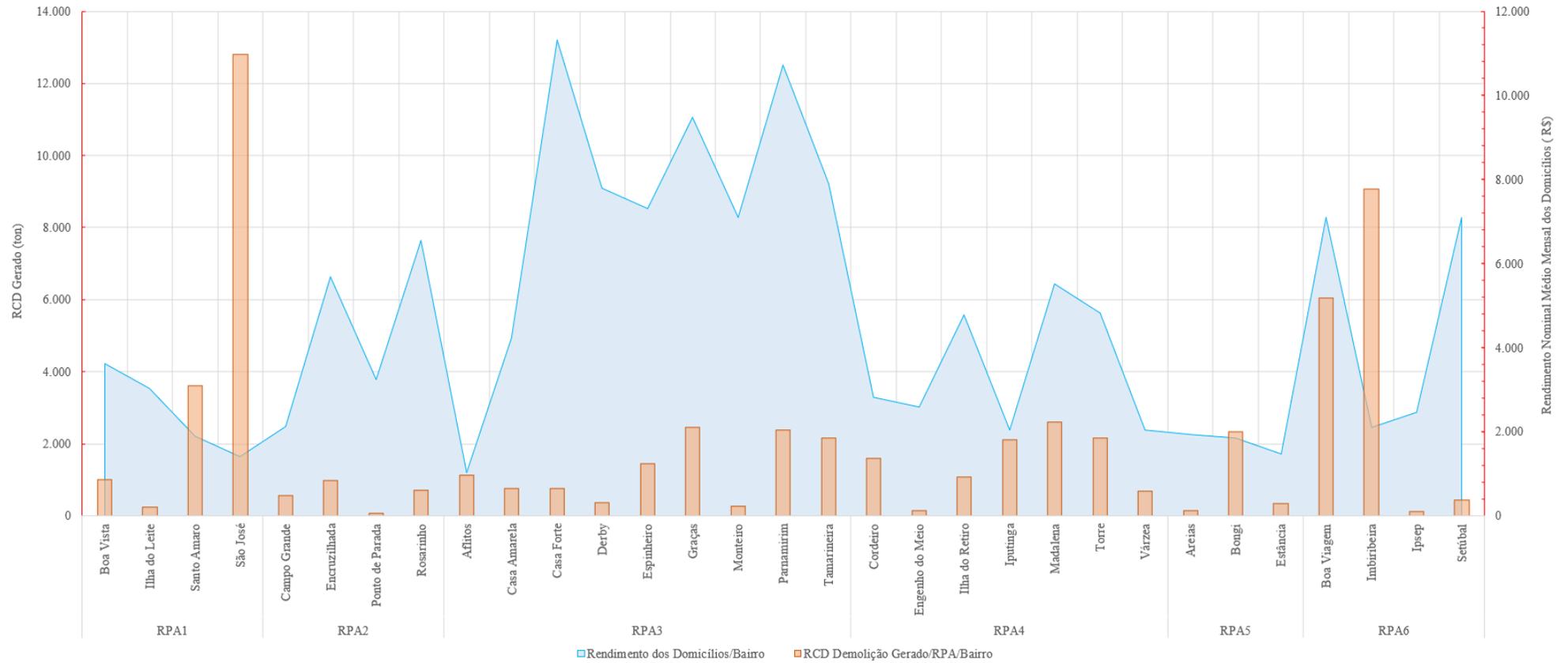
O estudo revelou que a idade média de demolição das edificações localizadas em Recife corresponde a 48 anos (Figura 4.4). Logo, dada a idade média de demolição dos edifícios igual a 48 anos, é possível inferir que eles cumpriram, em potencial, com sua finalidade de maneira exitosa, tendo em vista que a vida útil de projeto para uma edificação corresponde a 50 anos, a qual tem como base a norma técnica de cálculo de concreto armado ABNT NBR 6118:2014 (SILVA FILHO, 2020).

Figura 4.2 – RCD gerados na etapa de demolição e quantidade de edificações demolidas, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife



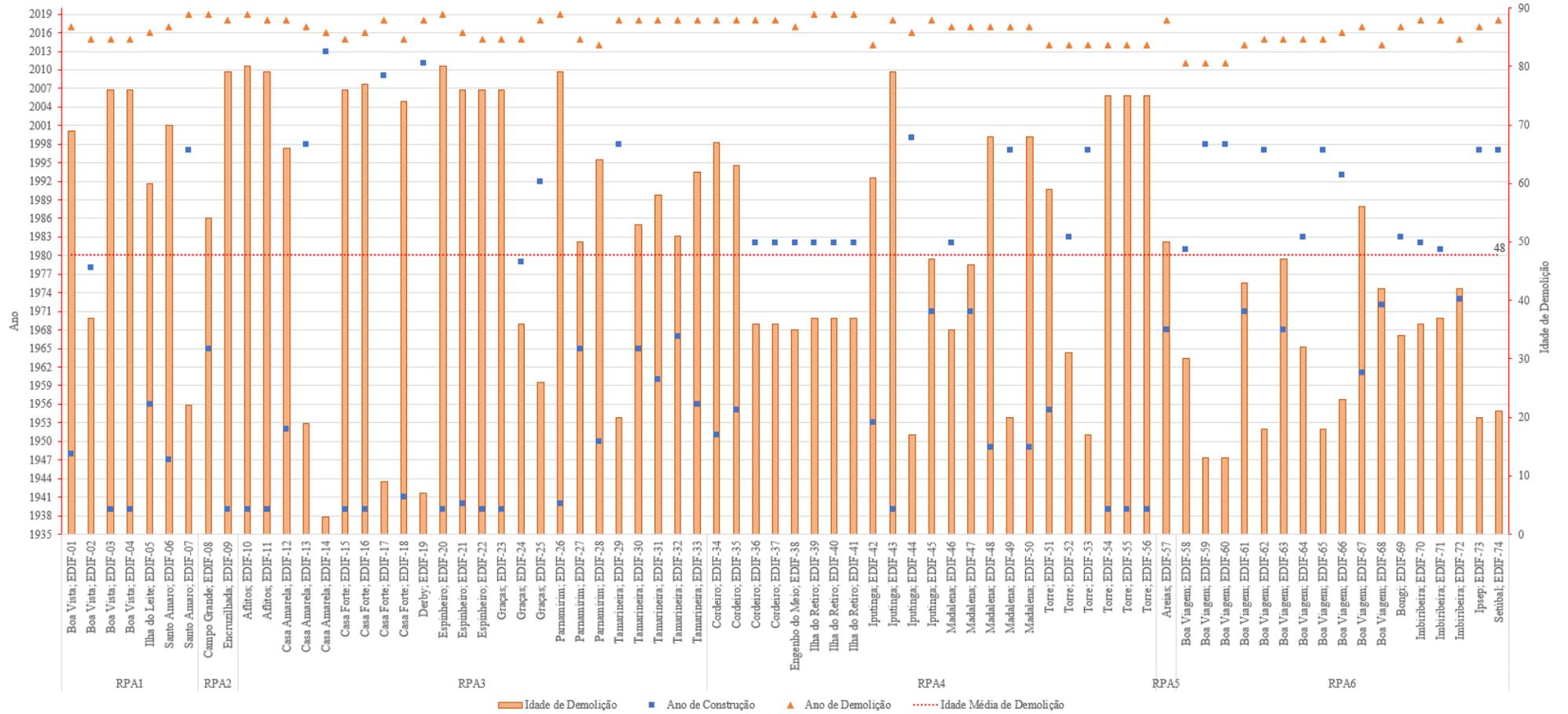
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.3 –RCD gerados na etapa de demolição e rendimento dos domicílios, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.4 – Ano e idade de demolição de edificações, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife



Fonte: Elaborado pelo autor

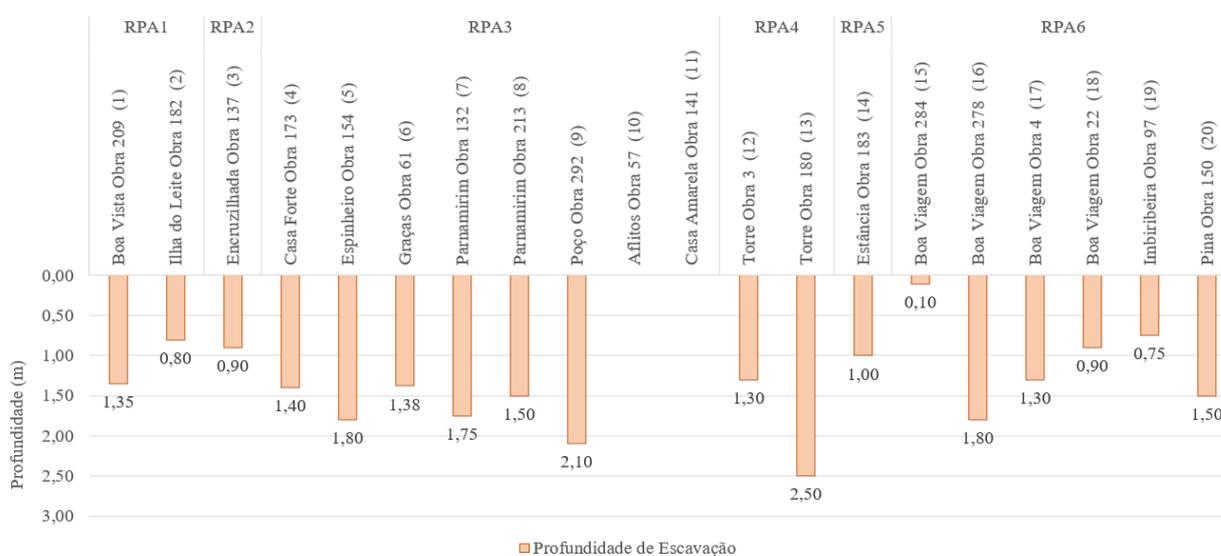
4.2 ESCAVAÇÃO DE SOLOS

Os 20 edifícios selecionados para a análise da escavação de semienterrados (subsolos) e elementos de fundação, correspondem aqueles constantes no gráfico da Figura 4.5. As obras de escavação correspondem a uma massa total de RCD igual a 15.842 ton, que estão assim distribuídas de acordo com a Região Político-Administrativa do Recife: 44% na RPA4 (6.963 ton); 28% na RPA3 (4.358 ton); 13% na RPA1 (2.043 ton); 10% na RPA6 (1.623); e 5% na RPA2 (855 ton).

Os semienterrados, para todas as edificações do estudo, implicam em um único pavimento abaixo do nível do meio fio. Desconsiderando a Obra 57 e Obra 141, obras com dimensões de escavação não declaradas pelo construtor, a profundidade média de escavação corresponde a 1,34 m, e valores mínimo e máximo iguais a 0,10 m e 2,50 m, respectivamente. Segundo o bairro e RPA (Figura 4.5), as escavações de semienterrados são mais recorrentes no bairro de Boa Viagem (20%; RPA6), Parnamirim (10%; RPA3) e Torre (10%; RPA4).

Os subsolos executados nos bairros da Torre (2,50 m), Poço (2,10 m), Espinheiro (1,80 m) e Boa Viagem (1,80), possuem as maiores profundidades de escavação para posterior construção de semienterrado.

Figura 4.5 – Profundidade de escavação de edifícios com semienterrado, segundo o bairro e Região Político-Administrativa (RPA) da cidade do Recife

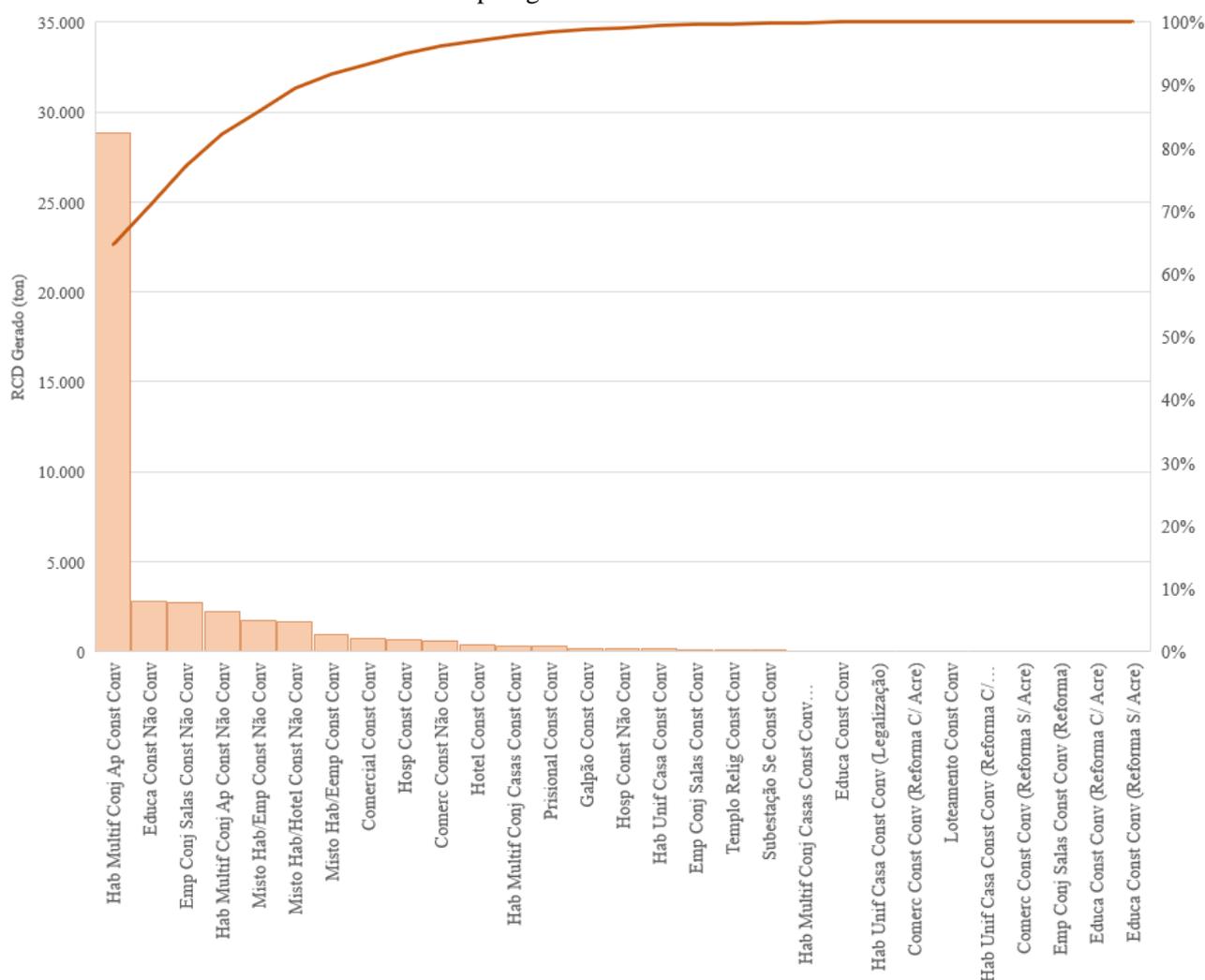


Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 EDIFICAÇÕES CONSTRUÍDAS E REFORMADAS

As 174 obras de construção e reforma de edifícios selecionadas para a análise dos RCD gerados, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e o bairro do Recife, implicam naquelas plotadas no diagrama de Pareto da Figura 4.6. De outro modo, as tipologias de edificações construídas e reformadas em Recife, tecnologias construtivas e massa de RCD gerado correspondem aquelas indicadas na Tabela 4.2. Portanto, é possível compreender que os edifícios habitacionais multifamiliares construídos com tecnologia convencional, correspondem a maior parcela da massa total de resíduos incluídos neste estudo (61%), seguido dos edifícios educacionais (6%), edifícios habitacionais multifamiliares construídos com tecnologia não convencional (5%), dentre outros.

Figura 4.6 – Diagrama de Pareto dos RCD gerados na construção de edifícios em Recife, segundo as tipologias e características



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.2 – Características das edificações construídas do banco de dados municipal de RCD

Tipo de Edificação	Tecnologia Construtiva	RCD Gerado (ton)	%
Edifício Hab. Multif. (Cj. Ap.)	Convencional	28.818	61%
Edifício Não Hab. (Educativo)	Convencional/Não Convencional	2.797	6%
Edifício Hab. Multif. (Cj. Ap.)	Não Convencional	2.248	5%
Edifício Misto (Cj. Ap./Cj. Salas)	Não Convencional	1.718	4%
Edificação Comercial	Convencional/Não Convencional	1.318	3%
Edifício Misto (Cj. Ap./Hotel)	Não Convencional	1.663	4%
Edifício Misto (Cj. Ap./Cj. Salas)	Convencional	955	2%
Demais Tipologias	Convencional/Não Convencional	7.936	17%
	Total	47.453	100%

Fonte: Elaborado pelo autor

Os RCD de construção produzidos (47.453 ton) e a quantidade de edifícios construídos (174 und), os quais compõem a amostra estudada segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairros do Recife, estão sintetizados na Figura 4.7.

A estratificação das informações da etapa construção revela que a massa total de resíduos gerada está distribuída da seguinte forma: 34% na RPA4 (16.032 ton); 27% na RPA6 (12.777 ton); 18% na RPA1 (8.718 ton); 11% na RPA3 (5.073 ton); 8% na RPA2 (3.710 ton); e 2% na RPA5 (1.143 ton).

A primeira colocação na geração de RCD observada na RPA4 (Figura 4.7) é consequência dos 35 edifícios predominantemente habitacionais construídos e respectivas 10.540 ton de resíduos gerados nos bairros próximos ao campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), polo indutor do mercado imobiliário, especificamente nas seguintes localidades: Iputinga (16 edificações; 6.090 ton); Cordeiro (8 edificações; 1.835 ton); Várzea (6 edificações; 1.392 ton); Caxangá (1edifício; 1.118 ton); e Engenho do Meio (4 edificações; 106 ton).

Quanto à distribuição dos resíduos de construção segundo os bairros (Figura 4.7), é possível inferir que há quatro localidades que concentram quase a metade dos RCD gerados, quais sejam: 22% Boa Viagem (23 edificações; 10.375 ton); 13% Iputinga (16 edificações; 6.090 ton); 7% Torre (3 edifícios; 3.365 ton) ; e 5% Boa Vista (10 edificações; 2.543 ton).

O bairro da Boa Viagem representa aquele com a maior quantidade de edificações construídas e RCD gerados, bem como mantém a tradição de liderança no mercado imobiliário. O bairro da Iputinga apresenta a singularidade de estar próximo à Cidade Universitária. O bairro da Torre

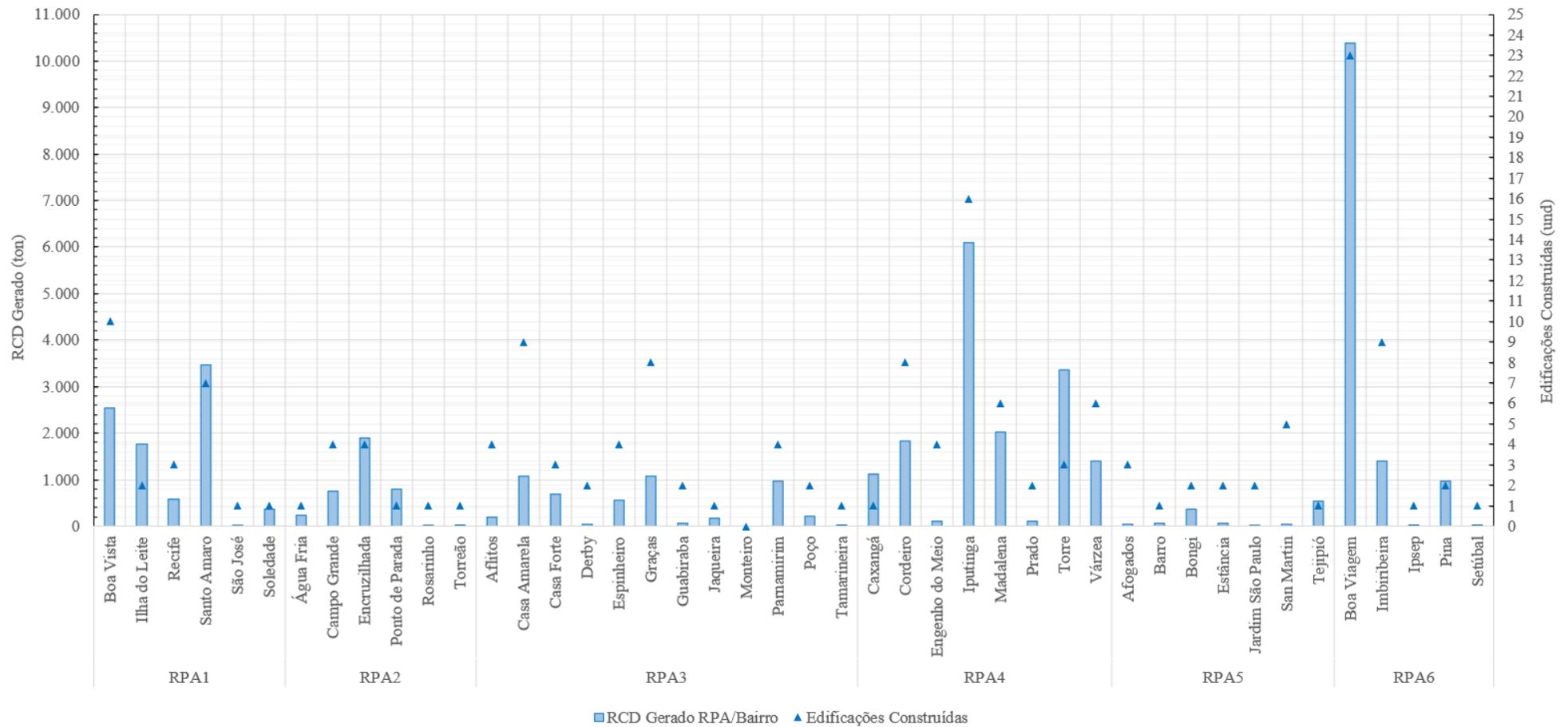
é foco de empreendimentos da construção civil por estar próximo ao polo médico do Recife. Já o bairro da Boa Vista tem sido abordado pelo mercado imobiliário por estar próximo ao polo universitário do centro do Recife.

Com base no rendimento nominal médio mensal dos domicílios para os bairros do Recife publicado pelo IBGE (2020) e dados levantados nesta pesquisa relativos à geração de resíduos de construção, foi realizado um estudo a respeito da relação entre o rendimento e a geração (Figura 4.8).

Os resultados revelados pelo estudo permitem inferir que os 4 (quatro) bairros mais ricos do Recife localizados na RPA3, quais sejam Jaqueira (164 ton), Casa Forte (694 ton), Parnamirim (960 ton) e Graças (1.086 ton), ocupam a 28^a, 19^a, 16^a e 13^a colocação entre as localidades nas quais foram gerados resíduos de construção, respectivamente (Figura 4.8). Logo, os resultados demonstram que não há relação direta entre a renda do bairro e a massa de resíduos de construção gerados.

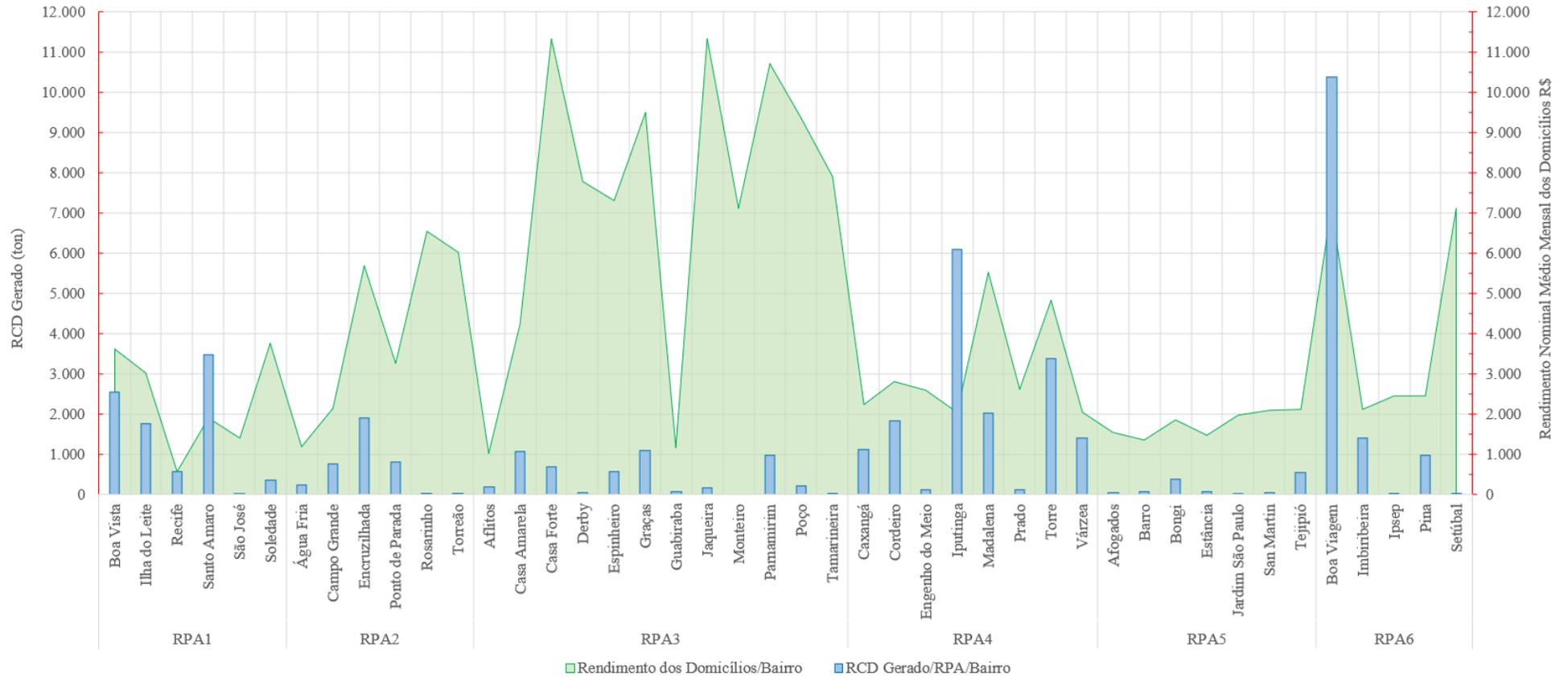
Contudo, os 4 (quatro) bairros que mais geraram RCD de construção (Figura 4.8), quais sejam Boa Viagem (10.375 ton), Iputinga (6.090 ton), Santo Amaro (3.461 ton) e Torre (3.365 ton), implicam na 9^a, 34^a, 37^a e 16^a colocação em relação ao rendimento médio mensal dos domicílios, dentre os 47 bairros que compõem a amostra pesquisada.

Figura 4.7 – RCD gerados na etapa de construção e quantidade de edificações demolidas, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.8 – RCD gerados na etapa de construção e rendimento dos domicílios, segundo a Região Político-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife



Fonte: Elaborado pelo autor

Tendo em vista que 47% da amostra utilizada para o cálculo dos indicadores de geração de RCD da etapa de construção, em termos de quantidades de edificações, implicam em edifícios do tipo conjunto de apartamentos, estes estão adiante detalhados quanto ao ano de construção e quantidade pavimentos (Figura 4.9), bem como a quantidade de pavimentos e RCD gerados (Figura 4.10).

Os edifícios construídos em Recife nos anos de 2018 (50%) e 2019 (50%) e incluídos no estudo, habitacionais de uso multifamiliar do tipo conjunto de apartamentos, possuem em média 6.365 m² de área construída, 16 pavimentos, sendo 1 pavimento térreo, 1 pavimento vazado e 14 são pavimentos tipo constituídos por 5 apartamentos por andar e área útil da unidade autônoma igual 65 m² (Tabela 4.3 e Figura 4.9).

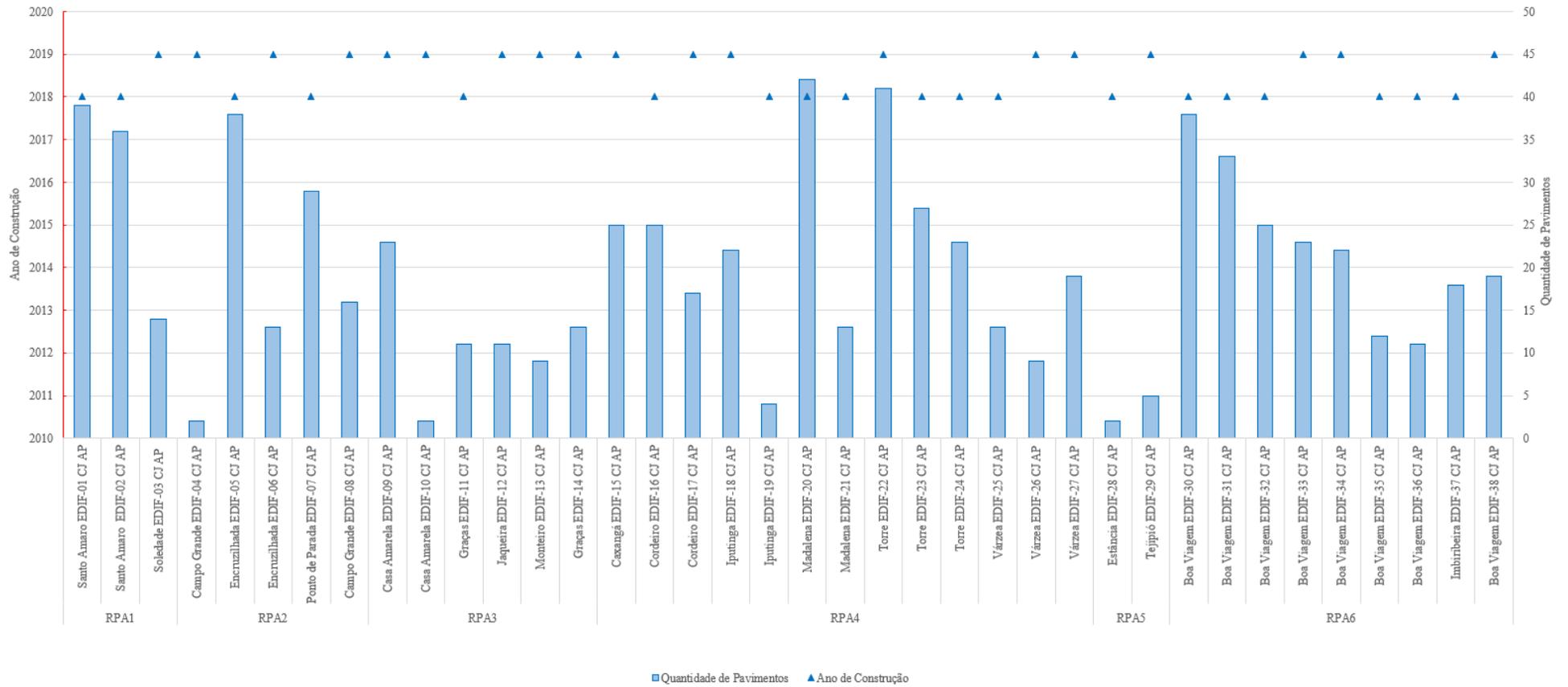
Tabela 4.3 – Características médias dos edifícios tipo conjunto de apartamentos que compõem o banco de dados municipal de RCD gerados na etapa de construção

Tipologia do Edifício	Área Construída m ²	Quantidade de Pav. und	Quantidade Pav. Tipo und	Quantidade de Apart. und	Quantidade de Apart. und/pav.	Área Útil do Apart. m ²
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos	6.365	16	14	76	5	65

Fonte: Elaborado pelo autor

Os 5 (cinco) edifícios com a maior quantidade de pavimentos estão localizados na Madalena/RPA4 (42 pavimentos), Torre/RPA4 (41 pavimentos), Santo Amaro/RPA1 (39 pavimentos), Boa Viagem/RPA6 (38 pavimentos) e Encruzilhada/RPA2 (38 pavimentos). Já os 5 (cinco) edifícios com a menor quantidade de pavimentos constam em Campo Grande/RPA2 (2 pavimentos), Casa Amarela/RPA3 (2 pavimentos), Estância/RPA5 (2 pavimentos), Iputinga/RPA4 (4 pavimentos) e Tejipló/RPA5 (5 pavimentos) (Figura 4.9).

Figura 4.9 – Ano de construção e quantidade de pavimentos dos edifícios habitacionais tipo conjunto de apartamentos construídos, segundo a Região Política-Administrativa (RPA) e bairro da Cidade do Recife



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 PROPOSTA DE INDICADORES DE RCD

Das 368 obras civis estudadas, foram testadas 150 obras, particularmente os dados referentes aos indicadores parciais I_p , calculados com a Eq. 1, para 69 obras de construção de edifícios, 8 obras de escavação de solos para construção de semienterrado e elementos de fundação, 13 obras de escavação de fundação e 60 obras de demolição, tendo em vista que as demais obras do banco de dados apresentaram inconsistências nas informações dos resíduos. Somadas, as obras civis correspondem a 651 mil m^2 de área edificada, tendo sido responsáveis pela geração de uma massa total de 108 milhões de quilos de RCD (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Resumo das obras estudadas e respectivas massas de RCD geradas

Etapa e Tipologia da Obra Civil	Amostra	Qtd	Área (m^2)	Massa de RCD (kg)
Demolição				
Demolição total de edificações residenciais	DEM-EDR	38	14.508	11.575.217
Demolição total de edificações não residenciais	DEM-EDNR	22	26.756	22.200.388
Demolição total de edificações de qualquer tipo	DEM-EQT	60	41.264	33.775.605
Demolição total de edificações com laje	DEM-CL	32	19.912	16.644.466
Demolição total de edificações sem laje	DEM-SL	20	4.996	2.840.208
<i>Subtotal Demolição</i>			41.264	33.775.605
Escavação				
Escavação de semienterrado e elementos de fundação (área do terreno)	ESC-SET1	8	18.581	15.030.122
Escavação de semienterrado e elementos de fundação (área de construção)	ESC-SEC1	8	63.114	15.030.122
Peso específico de solos de escavação oriundos semienterrado e fundação	ESC-FSE1	8	8.347	15.030.122
Escavação de elementos de fundação (área do terreno)	ESC-SET0	13	75.800	21.892.044
Escavação de elementos de fundação (área de construção)	ESC-SEC0	13	166.024	21.892.044
<i>Subtotal Escavação</i>			94.381	36.922.166
Construção				
Construção de edificações residenciais	CON-EDR	49	461.291	34.187.784
Construção de edificações tipo multifamiliar conjunto de apartamentos	CON-MCA	38	437.883	32.135.844
Construção de edificações não residenciais	CON-EDNR	20	53.972	3.255.937
Construção de edificações de qualquer tipo	CON-EQT	69	515.263	37.443.721
Construção de edificações com tecnologia construtiva não convencional	CON-TNC	14	165.170	10.771.627
Construção de edificações com tecnologia construtiva convencional	CON-TCC	55	350.093	26.672.094
<i>Subtotal Construção</i>			515.263	37.443.721
DEM-EQT + ESC-SET1 + ESC-SET0 + CON_EQT		150	650.908	108.141.492

Fonte: Elaborado pelo autor

Frente à grande variação dos indicadores de geração de RCD das 18 obras de reforma de edificações, constatada nas análises iniciais do presente estudo, estas não foram objeto da análise de indicadores de resíduos. O Teste F, permitiu a comparação das médias dos indicadores de geração de RCD de dois grupos amostrais, quais sejam, o grupo 1, referente aos edifícios executados por construtores detentores da certificação ISO 9001 e/ou ISO 14001

(controle rigoroso dos dados), e o grupo 2, pertinente às edificações executas por empresas construtoras sem certificação.

4.4.1 Indicadores da Etapa Demolição

Os resultados, para os indicadores de demolição, estão adiante detalhados e sintetizados nas Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7. Já os intervalos com 95% de confiança, estão plotados na Figura 4.10.

Demolição Residencial

f.1. Demolição total de edificações residenciais (DEM-EDR)

As edificações incluídas na amostra DEM-EDR correspondem à demolição total 38 unidades residenciais, sendo 2 edifícios multifamiliares, tipo conjunto de apartamentos, padrão popular, com 2 pavimentos (térreo e superior), constituídos por estrutura em concreto armado e alvenaria, bem como, à demolição total de 36 edificações unifamiliares, sendo 18 casas com laje (9 com 2 pavimentos e 9 com 1 pavimento) e 18 casas sem laje, as quais, são compostas, predominantemente, por estruturas em alvenaria com elementos em concreto armado. O grupo 1 é composto por 17 edifícios e o grupo 2 por 21 edificações.

A análise de variância F, implica em $F_o 5,65 > F_c 4,08$ e por conseguinte, a amostra é rejeitada, pois há diferença significativa entre as médias dos grupos 1 e 2.

Embora a amostra seja estatisticamente inválida, foram procedidos os calculados para os indicadores médio e ponderado para as edificações residenciais. O indicador médio de resíduos I_{med} é igual a 760 kg/m^2 , e intervalo com 95% de confiança, com o limite inferior e limite superior igual a 638 kg/m^2 e 881 kg/m^2 , respectivamente. O indicador médio ponderado I_{pon} , corresponde a 797 kg/m^2 .

Os resultados obtidos para o limite superior do indicador I_{med} e I_{pon} , 881 kg/m^2 e 797 kg/m^2 , respectivamente, são próximos ao valor do limite inferior do intervalo considerado na pesquisa de Gusmão (2008), qual seja, valores compreendidos entre 800 kg/m^2 e 1.000 kg/m^2 .

Demolição Não Residencial

f.2. Demolição total de edificações não residenciais (DEM-EDNR)

A amostra DEM-EDNR corresponde a 22 edificações, sendo 11 edificações com certificação (grupo 1) e 11 edifícios sem certificação (grupo 2). As tipologias das edificações contemplam 11 edifícios comerciais (inclusive galerias), 8 galpões, 1 edificação educacional, 1 templo religioso e 1 clube de recreação. As estruturas dos edifícios são, predominantemente, em concreto armado e alvenaria de tijolos.

Aplicado o Teste F, foi obtido $F_o 1,67 < F_c 4,35$, que permite inferir que a amostra é considerada aceita. O indicador médio para DEM-EDNR corresponde a 748 kg/m^2 , e intervalo com 95% de confiança com limites inferior e superior igual 604 kg/m^2 e 892 kg/m^2 , respectivamente. Considerando a média pondera dos indicadores, com a área construída de cada obra como peso de ponderação, o indicador ponderado I_{pon} corresponde a 829 kg/m^2 .

O resultado obtido para o indicador $I_{med} 748 \text{ kg/m}^2$, é muito próximo ao limite inferior do intervalo de valores obtido na pesquisa desenvolvida por Mália et al. (2013), qual seja, $742,00 \text{ kg/m}^2$ a $1.637,00 \text{ kg/m}^2$, que corresponde a edificações não residenciais em concreto armado. O indicador $I_{pon} 829 \text{ kg/m}^2$, também está contido no intervalo de valores encontrado por Mália et al. (2013).

Demolição de Qualquer Tipologia

f.3. Demolição total de edificações de qualquer tipo (DEM-EQT)

O conjunto de dados da amostra DEM-EQT é composto por 60 edificações, sendo 17 edifícios com certificação (grupo 1) e 21 edificações sem certificação (grupo 2). A amostra é constituída por 35 edificações unifamiliares (casas), 3 edifícios multifamiliares, 8 galpões, 11 edifícios comerciais (inclusive galerias), 1 templo religioso, 1 edifício educacional e 1 clube de lazer. A estrutura das edificações demolidas corresponde, predominantemente, a estruturas compostas por alvenaria e concreto armado.

O teste de hipóteses F resultou em $F_o 0,37 < F_c 4,88$ e, por conseguinte, a amostra é válida. Do cálculo dos indicadores, foi obtido I_{med} é igual a 755 kg/m^2 , e intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 664 kg/m^2 e 846 kg/m^2 . O indicador médio ponderado I_{pon} corresponde a 818 kg/m^2 .

Comparando o resultado do I_{pon} 818 kg/m², com o intervalo de valores obtido na pesquisa desenvolvida por Gusmão (2008), 800 kg/m² a 1.000 kg/m², é possível compreender que o indicador ponderado é próximo ao limite inferior.

f.4. Demolição total de edificações com laje (DEM-CL)

A amostra DEM-CL é composta por 32 edifícios, sendo 14 edificações do grupo 1 (com certificação) e 18 edifícios do grupo 2 (sem certificação). As tipologias das construções correspondem a 20 edificações unifamiliares, 3 edifícios multifamiliares com 2 pavimentos, 7 edificações comerciais (inclusive galerias), 1 edifício educacional e 1 clube de lazer. A estrutura das edificações demolidas é composta, essencialmente, por alvenaria e elementos em concreto armado, inclusive laje treliçada composta por lajotas e treliças em concreto armado.

O Teste F resultou em F_o 1,95 < F_c 4,08, logo, a amostra é considerada válida. O cálculo dos indicadores foi efetuado, e obtido o valor para I_{med} igual a 918 kg/m², e intervalo com 95% de confiança com limites inferior e superior igual 804 kg/m² e 1.032 kg/m², respectivamente. O indicador ponderado I_{pon} corresponde a 835 kg/m².

Comparando o intervalo de indicadores médios obtido, 804 kg/m² e 1032 kg/m², ao intervalo de valores encontrado por Gusmão (2008), 800 kg/m² a 1.000 kg/m², é possível compreender que há aderência entre eles. O intervalo de valores calculados para o presente estudo, também é muito próximo ao intervalo resultante da pesquisa desenvolvida por Mália et al. (2013), 805,00 kg/m² a 1.371,00 kg/m², o qual se refere a edificações residenciais em concreto armado.

f.5. Demolição total de edificações sem laje (DEM-SL)

Os dados referentes a amostra DEM-SL correspondem a 20 edificações, sendo 9 edifícios do grupo 1 e 11 edificações do grupo 2. As tipologias das construções referem-se a 15 edificações unifamiliares, 4 edifícios comerciais e 1 templo religioso. Os edifícios demolidos são caracterizados pela ausência de laje e estrutura em alvenaria de tijolos e, elementos em concreto armado.

A análise de variância F, implica em F_o 4,08 < F_c 4,41 e, por conseguinte, a amostra é válida. Os indicadores foram calculados e obtido o valor I_{med} igual a 493 kg/m², e intervalo com 95%

de confiança, com limite inferior igual a 395 kg/m² e limite superior igual a 591 kg/m². O indicador médio ponderado I_{pon} corresponde a 568 kg/m².

O intervalo obtido para o valor médio do indicador DEM-SL, 395 kg/m² a 591 kg/m², está contido no intervalo de valores calculado no estudo desenvolvido por Mália et al. (2013), 302,00 kg/m² a 664,00 kg/m², para edificações demolidas compostas por estruturas em alvenaria. O intervalo de confiança do presente estudo também tem aderência aos resultados obtidos por Coelho e Brito (2011b), 258,10 kg/m² a 379,40 kg/m², cujo intervalo refere-se à demolição de edificações não residenciais.

Tabela 4.5 – Estatística descritiva das amostras relativas aos resíduos da etapa de demolição, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)

Amostra	Grupo	n	Soma I_p	\bar{X}	S	S^2
DEM-EDR	1	17	10.294,23	605,54	305,05	93.054,19
	2	21	18.585,70	885,03	399,41	159.525,52
	Total	38	28.879,93			
DEM-EDNR	1	11	9.199,09	836,28	299,43	89.657,25
	2	11	660,24	660,24	338,83	114.803,24
	Total	22	9.859,33			
DEM-EQT	1	28	19.493,32	696,19	318,62	101.518,74
	2	32	25.848,38	807,76	389,51	151.719,59
	Total	60	45.341,70			
DEM-CL	1	14	11.581,68	827,26	246,10	60.563,05
	2	18	17.799,38	988,85	373,28	139.341,17
	Total	32	29.381,05			
DEM-SL	1	9	3.571,62	396,85	171,88	29.541,83
	2	11	6.303,57	573,05	210,27	44.215,19
	Total	20	9.875,18			

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.6 – Análise de variância das amostras referentes aos resíduos da etapa de demolição, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)

Amostra	k	n_r	\bar{X}	S_w^2	S_b^2	ν_1	ν_2	F_o	Fc	α	Resultado
DEM-EDR	2	38	760,00	129.982,71	733.868,41	1	36	5,65	4,08	0,05	Rejeitar
DEM-EDNR	2	22	748,26	102.230,25	170.438,64	1	20	1,67	4,35	0,05	Aceitar
DEM-EQT	2	60	755,69	128.350,23	185.895,17	1	58	1,45	4,00	0,05	Aceitar
DEM-CL	2	32	918,16	105.203,99	205.631,05	1	30	1,95	4,08	0,05	Aceitar
DEM-SL	2	20	493,76	37.693,69	153.689,14	1	18	4,08	4,41	0,05	Aceitar

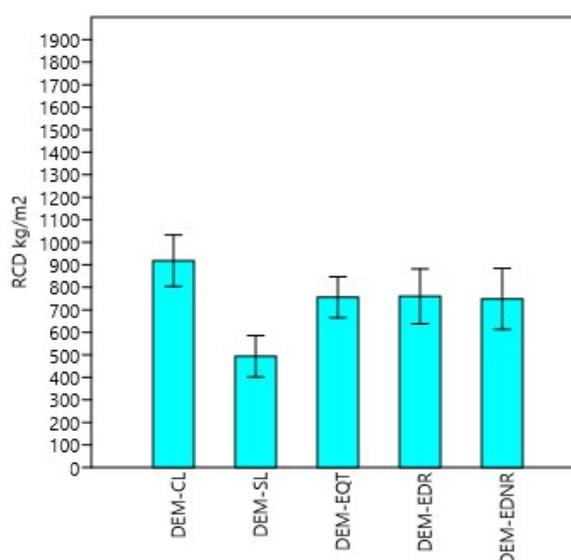
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.7 – Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança, limites de confiança e média ponderada para os indicadores da etapa de demolição

Indicador	I_{med} kg/m ²	S kg/m ²	CV	NC	L_i kg/m ²	L_s kg/m ²	I_{pon} kg/m ²
DEM-EDR	760	382	50%	95%	638	882	798
DEM-EDNR	748	325	43%	95%	604	892	830
DEM-EQT	756	360	48%	95%	665	847	819
DEM-CL	918	329	36%	95%	804	1.032	836
DEM-SL	494	209	42%	95%	396	592	569

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.10 – Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores da etapa de demolição (L_i , L_s e I_{med})



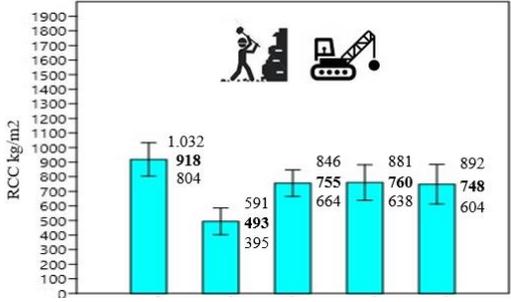
Fonte: Elaborado pelo autor

Embora a análise de variância para os indicadores de resíduos da etapa de demolição tenha revelado a validade estatística para quase todas as amostras (Tabela 4.6), foi realizada uma análise secundária tendo como foco o coeficiente de variação (CV).

O coeficiente de variação verificado para cada um dos 5 (cinco) indicadores de geração de RCD da etapa de demolição correspondem a: DEM-EDR (50%); DEM-EDNR (43%); DEM-EQT (48%); DEM-CL (36%) e DEM-SL (42%) (Tabela 4.7). Logo, conforme as regras empíricas contidas no estudo desenvolvido por Martins e Domingues / (2014), é possível inferir que há elevada dispersão entre os indicadores parciais que compõem a amostra de todos indicadores médios de demolição, uma vez que a totalidade dos coeficientes de variação são maiores do que 30%.

Embora os indicadores médios obtidos tenham uma boa aderência com aqueles contidos em outras pesquisas (Tabela 4.8), a representatividade dos indicadores médios (I_{med}) de produção RCD obtidos para etapa de demolição é ruim e não reflete adequadamente as reais características das edificações incluídas na análise, tendo em vista que há grande dispersão entre os indicadores parciais. Uma alternativa ao problema da representatividade dos indicadores de demolição é a adoção dos indicadores ponderados (I_{pon}), ou ainda dos indicadores medianos (I_{md}) e intervalo compreendido entre os valores máximo ($I_{máx}$) e mínimo ($I_{mín}$) (Tabela 4.9). Uma síntese dos indicadores médios e medianos para os RCD da etapa de demolição é apresentada na Tabela 4.10.

Tabela 4.8 – Síntese da análise comparativa entre os indicadores L_i , L_s e I_{med} obtidos e os indicadores de outros estudos para a etapa de demolição



Estudo	País/Região, Estado	Tipologia do Edifício/Solo	Tecnologia Predominante			Indicador	DEM-CL kg/m ²	DEM-SL kg/m ²	DEM-EQT kg/m ²	DEM-EDR kg/m ²	DEM-EDNR kg/m ²
			TCC	TNC	ND						
Demolição, Residencial											
Mália et al. (2013)	União Europeia	Residencial em concreto armado	x			805,00 a 1.371,00	804-1.032 918 804	395-591			
		Residencial em alvenaria	x			302,00 a 664,00					
		Residencial em estruturas de madeira	x			195,00 a 795,00					
Coelho e Brito (2011)	Portugal	Residencial	x			1.129,00 a 1.759,00					
	Portugal	Residencial	x			315,30					
Solis-Guzmán et al. (2009)	Espanha	Residencial em concreto armado	x			1.053,00					
Gusmão (2008)	Brasil, PE	Residencial	x			800,00 a 1.000,00	804-1.032		I_{pon} 818	I_{Ls} 881 I_{pon} 797	
Demolição, Não Residencial											
Mália et al. (2013)	União Europeia	Não residencial em concreto armado	x			742,00 a 1.637,00					I_{med} 748 I_{pon} 829
		Não residencial em em alvenaria	x			664,00 a 825,00					
Coelho e Brito (2011)	Portugal	Não residencial	x			1.637,00 a 2.410,00					
		Não residencial	x			258,10 a 379,40	395-591				

Fonte: Elaborado pelo autor

Em complemento aos resultados apresentados, foi construído um gráfico, tipo ábaco, para os indicadores DEM-CL e DEM-SL (Figura 4.11), os quais foram eleitos pelo pesquisador, como aqueles com o maior potencial de uso. A construção do ábaco está baseada na equação linear da distribuição, obtida do gráfico de dispersão do conjunto de indicadores parciais I_p . O ábaco permite o cálculo gráfico do indicador de geração dos RCD, em função da área de demolição.

Tabela 4.9 – Mediana, máximo e mínimo para os indicadores da etapa de demolição

Indicador	I _{md} kg/m ²	I _{máx} kg/m ²	I _{mín} kg/m ²
DEM-EDR	774	1.864	240
DEM-EDNR	825	1.183	240
DEM-EQT	793	1.864	240
DEM-CL	855	1.864	305
DEM-SL	386	844	240

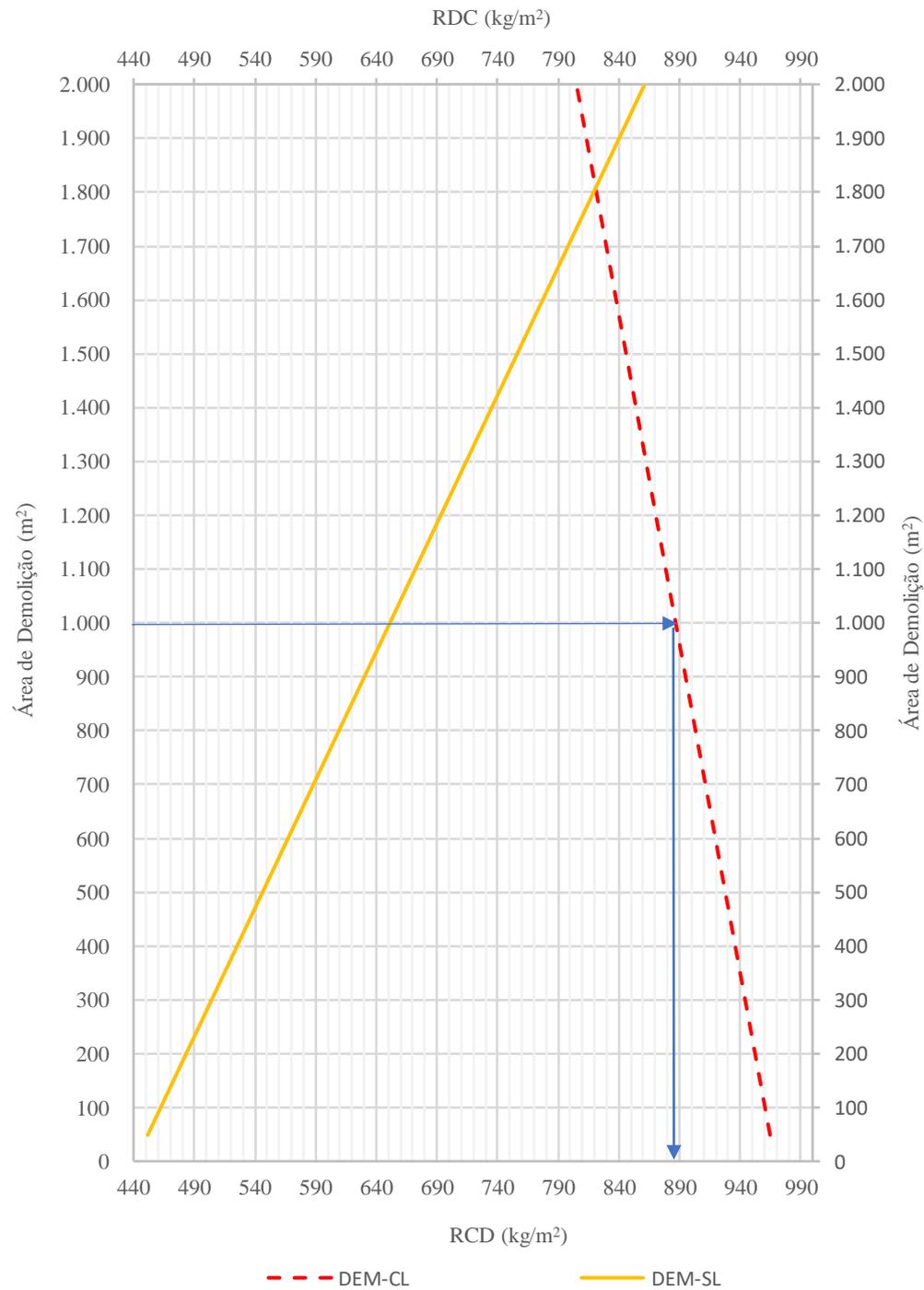
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.10 – Síntese dos indicadores médios e medianos de resíduos da etapa de demolição

Uso da Edificação ou Características	Tipologia de Edificação	Sigla e Nomenclatura do Indicador	Vinculação do Indicador	I _{med} kg/m ²	I _{md} kg/m ²
Residencial	Conjunto de Apartamentos e Casas	DEM-EDR. Indicador de RCD em função da área de demolição para edificação de uso residencial (exceto demolição de elementos isolados)	Área de Demolição	760	774
Não Residencial	Comercial, Educacional, Clube de Lazer, Templo Religioso e Galpão	DEM-EDNR. Indicador de RCD em função da área de demolição para edificações de uso não residencial (exceto demolição de elementos isolados)	Área de Demolição	748	825
Residencial e Não Residencial	Todas as Anteriores	DEM-EQT. Indicador de RCD em função da área de demolição para edificações de qualquer tipologia (exceto demolição de elementos isolados)	Área de Demolição	756	793
Edificação em Concreto Armado e/ou Alvenaria, com Laje	Todas as Anteriores (com laje)	DEM-CL. Indicador de RCD em função da área de demolição para edificações com laje	Área de Demolição	918	855
Edificação em Estrutura Metálica e/ou Alvenaria, com Laje	Todas as Anteriores (sem laje)	DEM-SL. Indicador de RCD em função da área de demolição para edificações sem laje	Área de Demolição	494	386

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.11 – Ábaco para o cálculo gráfico dos indicadores de RCD na etapa de demolição (DEM-CL e DEM-SL)



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4.2 Indicadores da Etapa Escavação

Os resultados, para os indicadores de escavação, estão adiante detalhados e sintetizados nas Tabelas 4.11, 4.12 e 4.13. Já os intervalos com 95% de confiança, estão plotados na Figura 4.12.

d. Escavação de semienterrado e fundação

d.1. Escavação de semienterrado e fundação, segundo a área do terreno (ESC-SET1)

Para a análise estatística F, e o conseqüente cálculo dos indicadores, foram considerados os dados de 8 edifícios, com profundidade média de escavação de 1 semienterrado, em cada uma das obras, igual a 1,21 m. O grupo 1 (obras com certificação), é composto por 4 obras, e o grupo 2 (obras sem certificação), com igual quantidade de obras.

A análise de variância F, implica em $F_o 2,93 < F_c 5,99$ e por conseguinte, a amostra é válida. O indicador médio calculado é igual a 759 kg/m^2 , e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 345 kg/m^2 e 1.173 kg/m^2 . O indicador ponderado corresponde a I_{pon} igual a 808 kg/m^2 .

Não foram identificadas outras pesquisas relativas ao indicador de escavação de solos, em função da área do terreno, fato que inviabilizou a análise comparativa.

d.2. Escavação de semienterrado e fundação, segundo a área de construção (ESC-SEC1)

Os dados referentes à quantidade de obras por grupo e à profundidade de escavação, são análogos aqueles verificados para o indicador ESC-SET1.

O Teste F resultou em $F_o 1,55 < F_c 4,00$, logo, a amostra é considerada válida. O indicador médio encontrado é igual a 214 kg/m^2 , e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 133 kg/m^2 e 295 kg/m^2 . O indicador ponderado I_{pon} , segundo a área construída de cada uma das edificações consideradas, é igual a 238 kg/m^2 .

De maneira análoga ao indicador ESC-SEC1, não foi possível a análise comparativa dos resultados obtidos com outras pesquisas, uma vez que não foram identificados dados semelhantes.

d.3. Peso específico de solos de escavação oriundos de semienterrado e fundação (ESC- ΓSE1)

Aplicado o Teste F, foi obtido $F_0 0,26 < F_c 5,99$, que permite inferir que a amostra é considerada aceita. Os cálculos dos indicadores apontam para o indicador médio do peso específico de solos de escavação, material solto, igual a 1.366 kg/m^3 , e intervalo com 95% de confiança, com limite inferior igual a 1.283 kg/m^3 e limite superior igual a 1.450 kg/m^3 . O indicador ponderado, segundo a área de escavação para cada um dos edifícios, corresponde a 1.346 kg/m^3 .

O indicador médio calculado para o peso específico, 1.366 kg/m^3 , está contido dentro do intervalo de valores pesquisado por Gusmão (2008), qual seja, peso específico compreendido entre 1.300 kg/m^3 e 1.400 kg/m^3 . O valor do peso específico para terra silicosa (material solto), pesquisado pela FGV, sob encomenda da PCRJ (2020), corresponde a 1.400 kg/m^3 , o qual está inserido no intervalo de confiança verificado na presente pesquisa.

e. Escavação de fundação

e.1. Escavação de elementos de fundação, segundo a área do terreno (ESC-SET0)

A amostra ESC-SET0 corresponde à escavação de blocos, sapatas isoladas, sapatas corridas e baldrames. Não integram a amostra os volumes correspondentes às estacas escavadas, a exemplo das estacas hélice contínua. O grupo 1 é composto por 4 obras certificadas e o grupo 2 por 9 obras não certificadas.

A análise de variância F, implica em $F_0 0,37 < F_c 4,88$ e, por conseguinte, a amostra é válida. O indicador médio calculado é igual a 296 kg/m^2 , e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 174 kg/m^2 e 418 kg/m^2 . O indicador ponderado I_{pon} é igual a 288 kg/m^2 .

Não foram identificadas outras pesquisas relativas ao indicador de escavação de solos de fundação, em função da área do terreno, contexto que inviabilizou a análise comparativa dos indicadores encontrados.

e.2. Escavação de elementos de fundação, segundo a área de construção (ESC-SEC0)

De maneira idêntica ao indicador ESC-SET0, a massa de resíduos para a amostra ESC-SEC0, corresponde aos mesmos elementos apontados para aquele indicador. A amostra é composta por 4 obras do grupo 1 e 9 obras do grupo 2.

O Teste F resultou em $F_o 1,32 < F_c 4,84$, logo, a amostra é considerada válida. Para o indicador médio foi obtido o valor correspondente a 164 kg/m^2 , e intervalo com 95% de confiança, com o limite inferior e limite superior igual a 36 kg/m^2 e 293 kg/m^2 , respectivamente.

Não foram identificadas outras pesquisas relativas ao indicador de escavação de solos, em função da área de construção, contexto que inviabilizou a análise comparativa dos resultados obtidos.

Tabela 4.11 – Estatística descritiva das amostras relativas aos resíduos da etapa escavação, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)

Amostra	Grupo	n	Soma I_p	\bar{X}	S	S^2
ESC-SET1	1	4	4.097,43	1.024,36	536,77	288.124,52
	2	4	1.977,00	494,25	310,08	96.147,83
	Total	8	6.074,43			
ESC-SEC1	1	4	1.017,27	254,32	84,34	7.113,60
	2	4	695,81	173,95	102,24	10.454,00
	Total	8	1.713,07			
ESC-ΓSE1	1	4	5.391,40	1.347,85	139,28	19.399,72
	2	4	5.543,67	1.385,92	54,93	3.017,17
	Total	8	10.935,07			
ESC-SET0	1	4	1.395,72	348,93	280,74	78.814,34
	2	9	2.458,10	273,12	172,17	29.643,29
	Total	13	3.853,82			
ESC-SEC0	1	4	257,53	64,38	45,16	2.039,65
	2	9	1.885,15	209,46	244,86	59.956,70
	Total	13	2.142,69			

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.12 – Análise de variância das amostras referentes aos resíduos da etapa de escavação, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)

Amostra	k	n_T	\bar{X}	S_w^2	S_b^2	ν_1	ν_2	F_o	Fc	α	Resultado
ESC-SET1	2	8	759,30	192.136,17	562.028,09	1	6	2,93	5,99	0,05	Aceitar
ESC-SEC1	2	8	214,13	8.783,80	12.916,93	1	6	1,47	5,99	0,05	Aceitar
ESC-ΓSE1	2	8	1.366,88	11.208,45	2.898,58	1	6	0,26	5,99	0,05	Aceitar
ESC-SET0	2	13	296,45	43.053,58	15.914,50	1	11	0,37	4,84	0,05	Aceitar
ESC-SEC0	2	13	164,82	44.161,14	58.285,84	1	11	1,32	4,84	0,05	Aceitar

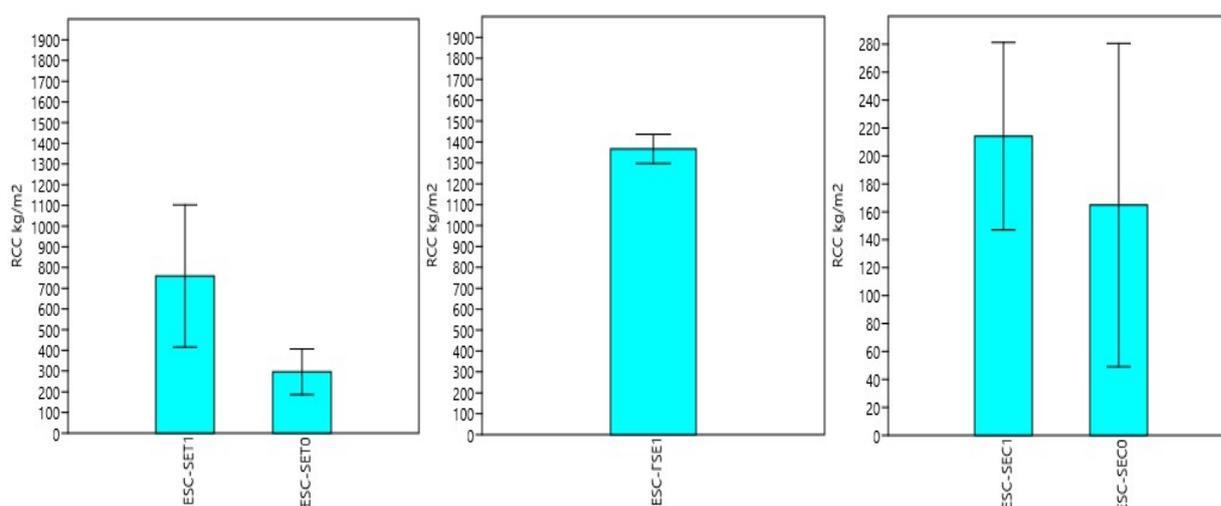
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.13 – Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança, limites de confiança e média ponderada para os indicadores da etapa de escavação

Indicador	I_{med} kg/m ²	S kg/m ²	CV	NC	L_i kg/m ²	L_s kg/m ²	I_{pon} kg/m ²
ESC-SET1	759	495	65%	95%	346	1.173	809
ESC-SEC1	214	97	45%	95%	133	295	238
ESC-FSE1	1.367	100	7%	95%	1.283	1.451	1.346
ESC-SET0	296	202	68%	95%	174	418	289
ESC-SEC0	165	213	29%	95%	36	293	132

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.12 – Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores da etapa de escavação (L_i , L_s e I_{med})



Fonte: Elaborado pelo autor

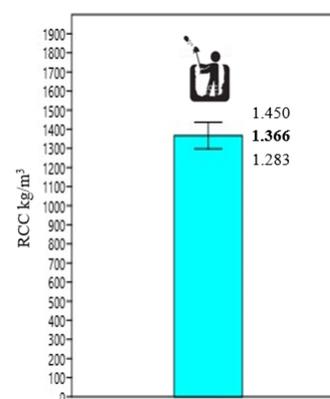
A despeito da análise de variância para os indicadores de resíduos da etapa de escavação, que revelou a validade estatística de todas as amostras (Tabela 4.12), foi desenvolvido um estudo secundário tendo como base o coeficiente de variação (CV). Os coeficientes de variação verificados para os indicadores de resíduos de escavação de solos são iguais a: ESC-SET1 (65%); ESC-SEC1 (45%); ESC-FSE1 (7%); ESC-SET0 (68%) e ESC-SEC0 (29%) (Tabela 4.13).

Portanto, consoante os parâmetros empíricos do estudo de Martins e Domingues (2014), o indicador médio obtido para ESC-FSE1 tem baixa dispersão entre os indicadores médios parciais que os constituem, tendo em vista que o coeficiente de variação (CV) é menor do que 15%. Por conseguinte, o indicador médio do peso específico de escavação de solos tem uma boa representatividade e reflete adequadamente as reais características das obras de escavação

incluídas na análise. Esta boa qualidade do indicador médio ESC-TSE1 foi verificada quando da comparação com aqueles assinalados em outros estudos (Tabela 4.14).

O indicador médio ESC-SEC0 possui média dispersão entre os indicadores médios parciais que os compõem, uma vez que o CV está situado no intervalo compreendido entre 15%-30%, tendo uma regular representatividade e, por consequência, reflete convenientemente os atributos dos resíduos de escavações de solos da amostra. Os demais indicadores médios de escavação de solos revelados pela pesquisa (ESC-SET1, ESC-SEC1 e ESC-SET0) possuem alta dispersão entre os indicadores médios parciais, tendo em conta que o coeficiente de variação é maior do que 30%. Logo tais indicadores médios de resíduos de escavação não representam convenientemente as obras de escavação de solos. Uma boa solução para os indicadores de resíduos de escavação com média à alta dispersão (ESC-SET1, ESC-SEC1, ESC-SEC0 e ESC-SET0) é a adoção dos indicadores ponderados (Tabela 4.13) ou os indicadores medianos, máximos e mínimos constantes na Tabela 4.15. Na Tabela 4.16 é apresentada a síntese dos indicadores médios e medianos de resíduos de escavação.

Tabela 4.14 – Síntese da análise comparativa entre os indicadores L_i , L_s e I_{med} obtidos e os indicadores de outros estudos para a etapa de escavação de solos (peso específico)



Estudo	País/Região, Estado	Fase	Tipologia do Edifício/Solo	Tecnologia Predominante			Indicador	ESC-SET1 kg/m ²	ESC-SET0 kg/m ²	ESC-TSE1 kg/m ³	ESC-SEC1 kg/m ²	ESC-SEC0 kg/m ²
				TCC	TNC	ND						
Escavação, Residencial												
PCRJ (2020)	Brasil, RJ	Escavação	Terra silicosa (material solto)	1.400,00						I_{med} 1.366		
		Escavação	Terra arenosa (material solto)	1.700,00								
Gusmão (2008)	Brasil, PE	Escavação	Solos diversos do Recife	1.300,00 a 1.400,00						I_{med} 1.366		

Fonte: Elaborado pelo autor

Em complemento aos resultados apresentados, foram construídos dois gráficos, tipo ábaco, para os indicadores ESC-SET1 (Figura 4.13), ESC-SEC1 e ESC-0 (Figura 4.14), os quais foram eleitos pelo pesquisador, como aqueles com o maior potencial de uso. A construção do ábaco está baseada na equação linear da distribuição, obtida do gráfico de dispersão do conjunto de

indicadores parciais I_p . O ábaco permite o cálculo gráfico do indicador de geração dos RCD, em função da área do terreno e área de construção.

Tabela 4.15 – Mediana, máximo e mínimo para os indicadores da etapa de escavação

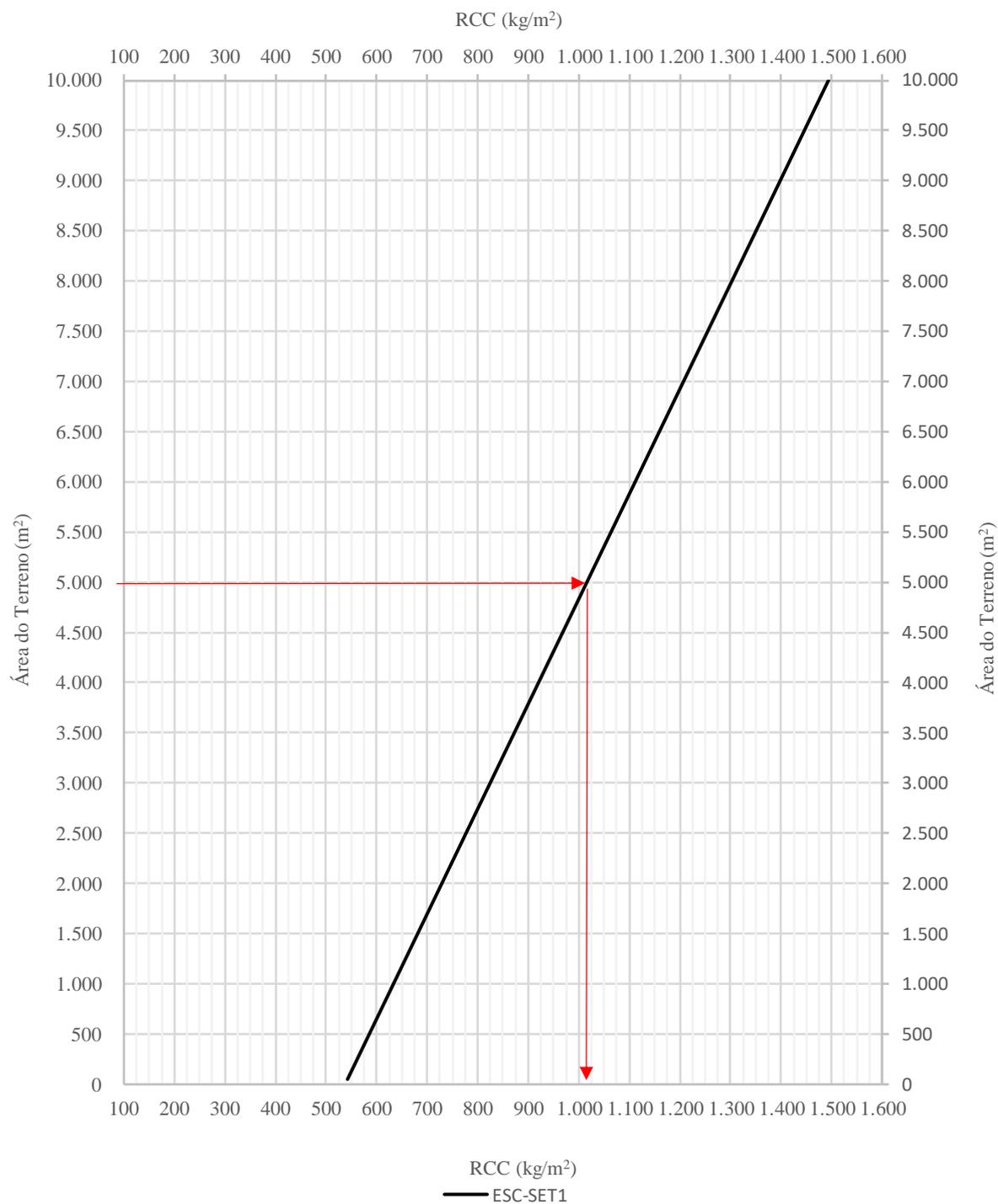
Indicador	I_{md} kg/m²	$I_{máx}$ kg/m²	$I_{mín}$ kg/m²
ESC-SET1	735	1.808	88
ESC-SEC1	234	328	22
ESC-FSE1	1.399	1.516	1.198
ESC-SET0	236	700	101
ESC-SEC0	69	702	20

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.16 – Síntese dos indicadores médios e medianos de resíduos da etapa de escavação

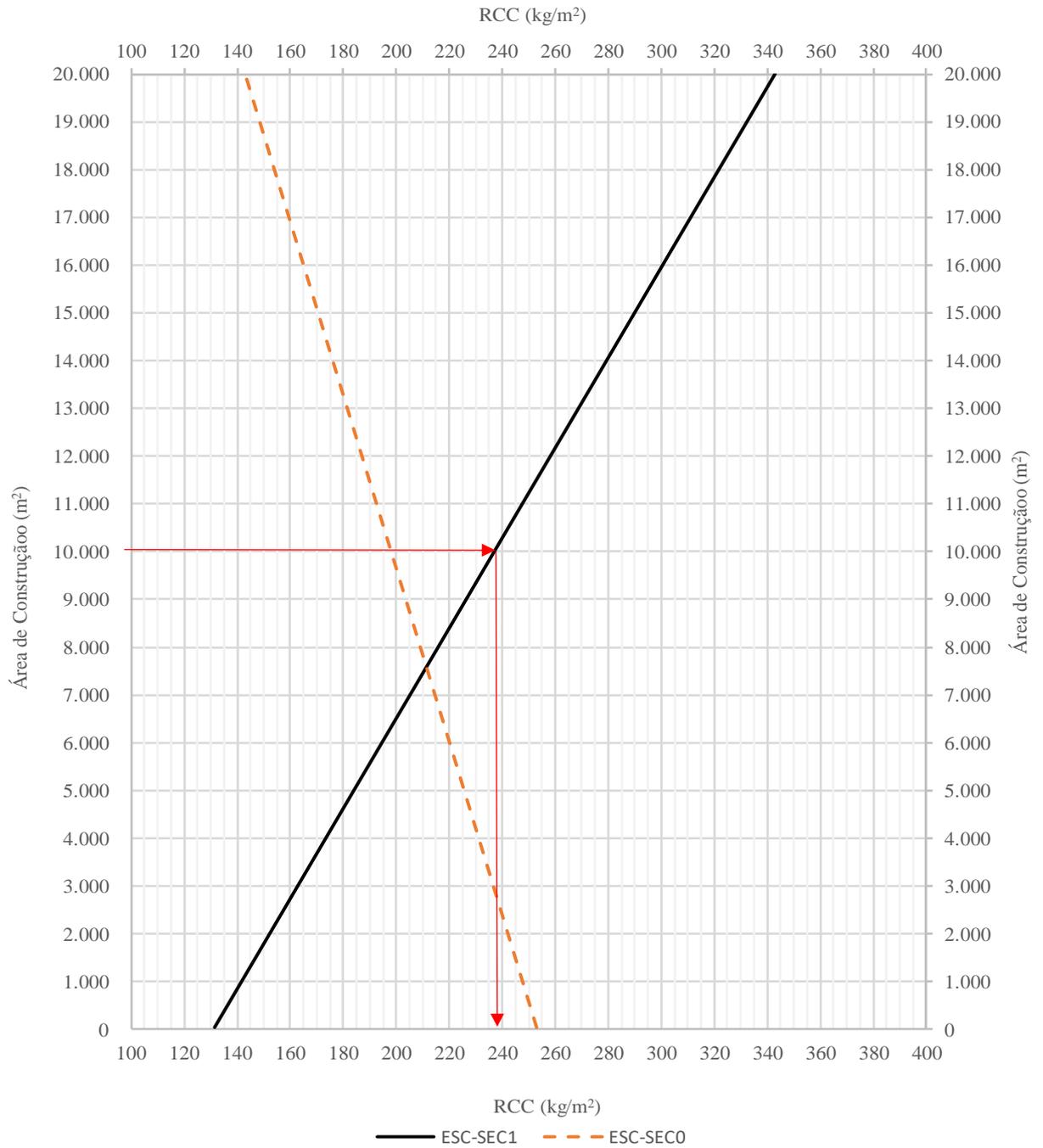
Elemento Escavado	Uso da Edificação	Sigla e Nomenclatura do Indicador	Vinculação do Indicador	I_{med} kg/m²	I_{md} kg/m²
Elementos de Fundação	Uso Habitacional Multifamiliar, Uso Habitacional Unifamiliar, Uso Não Habitacional e Uso Misto	ESC-SET0. Indicador de solos de escavação em função da área do terreno para edifícios sem pavimento semi-enterrado	Área do Terreno	296	236
		ESC-SEC0. Indicador de solos de escavação em função da área de construção para edifícios sem pavimento semi-enterrado	Área de Construção	165	69
Pavimento Semi-Enterrado e Elementos de Fundação	Uso Habitacional Multifamiliar, Uso Não Habitacional e Uso Misto	ESC-SET1. Indicador de solos de escavação em função da área do terreno para edifícios com 01 pavimento semi-enterrado	Área do Terreno	759	735
		ESC-SEC1. Indicador de solos de escavação em função da área de construção para edifícios com 01 pavimento semi-enterrado	Área de Construção	214	234
				I_{med} kg/m³	I_{med} kg/m³
		ESC-FSE1. Peso específico de solos de escavação de movimento de terras e elementos de fundação oriundos de edifícios com 01 pavimento semi-enterrado	Volume de Escavação	1.367	1.399

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.13 – Ábaco para o cálculo gráfico do indicador de RCD na etapa de escavação (ESC-SET1)

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.14 – Ábaco para o cálculo gráfico dos indicadores de RCD na etapa de escavação (ESC-SEC1 e ESC-SEC0)



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4.3 Indicadores da Etapa Construção

A análise de variância para os resíduos de construção foi realizada com emprego do Teste F, comparando o indicador médio do grupo 1 (obras com certificação) e o indicador médio do grupo 2 (obras sem certificação). Após o teste estatístico F, foi calculado o indicador médio, inclusive o intervalo de confiança, bem como, o indicador ponderado pela área construída de cada obra. Os resultados estão adiante detalhados e sintetizados nas Tabelas 4.17, 4.18 e 4.19. Já os intervalos com 95% de confiança, estão plotados na Figura 4.15.

a. Construção Residencial

a.1. Edifícios residenciais (CON-EDR)

Para a análise da amostra CON-EDR, foram incluídas 49 edificações residenciais, sendo 38 edifícios multifamiliares, 1 edifício misto (residencial/empresarial), 5 conjuntos de casas e 5 edificações unifamiliares, as quais correspondem a 17 edifícios com certificação e 32 sem certificação. Os edifícios de maior porte foram construídos, em regra, com estruturas aporticadas em concreto armado, no entanto, as edificações de menor porte, correspondem a estruturas em alvenaria de tijolos e/ou concreto armado.

O F_o 2,24 < F_c 4,00, logo, a amostra é considerada válida. Dessa maneira, foi calculado o indicador médio de geração de resíduos CON-EDR, o qual é igual a 83 kg/m², e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 73 kg/m² e 93 kg/m². Considerando a média ponderada dos indicadores de resíduos, com a área construída de cada obra como fator de ponderação, o valor médio corresponde a 74 kg/m².

O valor do indicador médio 83 kg/m² é próximo daquele verificado por Solís-Guzmán et al. (2009), 89,37 kg/m², referente a edifícios residenciais. Já o indicador I_{pon} 74 kg/m² é próximo do valor obtido por Kelly e Hanahoe (2008), 70,27 kg/m², para edificações de mesmo uso.

a.2. Edifícios multifamiliares tipo conjunto de apartamentos (CON-MCA)

A amostra CON-MCA integra 38 edifícios multifamiliares, com 20 pavimentos totais e 17 pavimentos tipo por edifício, em média, bem como, 75,08 m² de área útil média por unidade autônoma. Os edifícios foram construídos, predominantemente, por estruturas aporticadas em

concreto armado. O grupo 1, é composto por 16 edifícios, com certificação, e o grupo 2, pelas demais edificações, sem certificação.

Aplicado o Teste F, foi obtido $F_o 1,15 < F_c 4,08$, que permite inferir que a amostra é considerada aceita.

O indicador médio MCA corresponde a 79 kg/m^2 , e pode variar no intervalo, com 95% de confiança, de 67 kg/m^2 a 90 kg/m^2 . O indicador ponderado é igual a 73 kg/m^2 . Os resultados obtidos por Carneiro (2005), intervalo entre $69,28 \text{ kg/m}^2$ a $86,41 \text{ kg/m}^2$, bem como, o indicador calculado por Kelly e Hanahoe (2008), $70,27 \text{ kg/m}^2$, ou ainda, o resultado encontrado por Costa, Athayde Júnior e Oliveira (2014), $86,27 \text{ kg/m}^2$, estão contidos no intervalo de confiança dos valores revelados pela presente pesquisa.

b. Construção Não Residencial

b.1. Edifícios não residenciais (CON-EDNR)

A amostra CON-EDNR corresponde a 20 edifícios não habitacionais, sendo 8 edificações comerciais (com predominância de farmácias), 3 edifícios empresariais, 2 edificações hospitalares, 2 edifícios educacionais, 2 galpões, 1 templo religioso, 1 unidade prisional e 1 subestação elétrica. Os edifícios de maior porte foram construídos em estruturas aporricadas em concreto armado. As edificações de menor porte foram construídas com estruturas mistas de alvenaria e concreto armado.

O $F_o 0,08 < F_c 4,41$, logo, a amostra é considerada válida. Logo, foi considerado o indicador médio igual a 82 kg/m^2 , e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 57 kg/m^2 e 107 kg/m^2 .

Da comparação dos resultados obtidos, com aqueles calculados em outras pesquisas, é possível compreender que o valor do $I_m 82 \text{ kg/m}^2$, é próximo ao valor encontrado por Kelly e Hanahoe (2008), $86,82 \text{ kg/m}^2$, bem como, está contido no intervalo de resultados verificado por Mália et al. (2013), para edifícios em concreto armado, $48,00 \text{ kg/m}^2$ a $135,00 \text{ kg/m}^2$. Todos os resultados referem-se a edificações de mesmo uso.

c. Construção de Qualquer Tipologia

c.1. Edifícios de qualquer tipo (CON-EQT)

Os edifícios incluídos na análise dos indicadores CON-EQT correspondem a 21 edificações com certificação e 48 edifícios sem certificação. As características construtivas dos edifícios, correspondem aquelas constantes nas amostras CON-MCA e CON-EDNR.

A análise de variância F, implica em $F_o 1,66 < F_c 3,92$, e por conseguinte, a amostra é válida.

O indicador médio de resíduos I_{med} é igual a 82 kg/m^2 , o qual pode variar no intervalo compreendido entre 73 kg/m^2 e 92 kg/m^2 . O indicador ponderado I_{pon} corresponde a 72 kg/m^2 . Observa-se que o valor do I_{med} 82 kg/m^2 encontrado, é próximo do indicador médio $86,27 \text{ kg/m}^2$ calculado por Costa, Athayde Júnior e Oliveira (2014), o qual está relacionado a edificações residenciais e edifícios públicos.

c.2. Edifícios com tecnologia construtiva não convencional (CON-TNC)

As tecnologias construtivas não convencionais, verificadas nas obras que compõem a amostra, correspondem a estruturas pré-fabricadas em concreto armado, estruturas em perfis metálicos com laje tipo *steel deck*, estruturas em *light steel framim*, paredes em *drywall*, alvenaria de tijolos racionalizada, argamassa estabilizada, bem como, revestimentos de fachadas em alumínio composto ACM e pele de vidro. As tecnologias não convencionais, foram utilizadas de forma associada ou isolada. Compõem a amostra 4 edifícios com certificação (grupo 1) e 10 edificações sem certificação (grupo 2).

Aplicado o Teste F, foi obtido $F_o 0,12 < F_c 4,75$, sendo o conjunto de dados considerado estatisticamente aceito. O indicador médio para essa categoria corresponde a 62 kg/m^2 , e intervalo com 95% de confiança compreendido entre 50 kg/m^2 e 75 kg/m^2 . Considerando a média ponderada dos indicadores, com a área construída de cada obra como peso de ponderação, o indicador ponderado TNC corresponde a 65 kg/m^2 .

Os resultados obtidos para o indicador TNC estão bem abaixo daquele encontrado na pesquisa desenvolvida por Paschoalin Filho, Duarte e Faria (2016), cujo indicador é igual a $126,00 \text{ kg/m}^2$, o qual se refere a um edifício empresarial executado na cidade de São Paulo, construído com tecnologias não convencionais.

c.3. Edifícios com tecnologia construtiva convencional (CON-TCC)

As tecnologias convencionais, em regra, correspondem às estruturas aporricadas em concreto armado e estruturas compostas por alvenaria de tijolos e concreto armado. A amostra CON-TCC é composta por 13 edificações do grupo 1 e 42 edifícios do grupo 2.

O F_0 1,55 < F_c 4,00, logo, a amostra é considerada válida. Dessa maneira, foi calculado o indicador médio de geração de resíduos CON-TCC, o qual é igual a 88 kg/m², e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 76 kg/m² e 99 kg/m². Considerando a média ponderada dos indicadores de resíduos, com a área construída de cada obra como fator de ponderação, o valor médio corresponde a 74 kg/m².

O valor do indicador médio 88 kg/m² é muito próximo daquele verificado por Kelly e Hanahoe (2008), 86,82 kg/m², para edificações de uso não residencial. O I_{med} também é muito próximo do resultado alcançado por Costa, Athayde Júnior e Oliveira (2014), 86,27 kg/m², o qual se refere a edifícios residenciais e públicos, construídos na mesma Região do presente estudo.

Tabela 4.17 – Estatística descritiva das amostras relativas aos resíduos da etapa de construção, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)

Amostra	Grupo	n	Soma I_p	\bar{X}	S	S ²
CON-EDR	1	17	1.239,21	72,89	17,47	305,19
	2	32	2.842,70	88,83	41,85	1.751,33
	Total	49	4.081,91			
CON-MCA	1	16	1.151,61	71,98	17,61	310,23
	2	22	1.854,97	84,32	43,36	1.879,86
	Total	38	3.006,59			
CON-EDNR	1	4	300,64	75,16	50,91	2.591,48
	2	16	1.342,69	83,92	55,41	3.069,76
	Total	20	1.643,33			
CON-EQT	1	21	1.539,84	73,33	25,17	633,71
	2	48	4.185,39	87,20	46,26	2.140,33
	Total	69	5.725,24			
CON-TNC	1	4	264,46	66,12	22,02	484,77
	2	10	615,49	61,55	22,61	511,41
	Total	14	879,96			
CON-TCC	1	13	974,75	74,98	16,30	265,70
	2	42	3.870,54	92,16	48,57	2.359,42
	Total	55	4.845,28			

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.18 – Análise de variância das amostras referentes aos resíduos da etapa de construção, para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)

Amostra	k	n _T	\bar{X}	S_w^2	S_b^2	ν_1	ν_2	F ₀	F _c	α	Resultado
CON-EDR	2	49	83,30	1.259,03	2.820,78	1	47	2,24	4,00	0,05	Aceitar
CON-MCA	2	38	79,12	1.225,85	1.410,83	1	36	1,15	4,08	0,05	Aceitar
CON-EDNR	2	20	82,17	2.990,05	245,52	1	18	0,08	4,41	0,05	Aceitar
CON-EQT	2	69	82,97	1.690,59	2.810,29	1	67	1,66	3,92	0,05	Aceitar
CON-TNC	2	14	62,85	504,75	59,57	1	12	0,12	4,75	0,05	Aceitar
CON-TCC	2	55	88,10	1.885,37	2.928,40	1	53	1,55	4,00	0,05	Aceitar

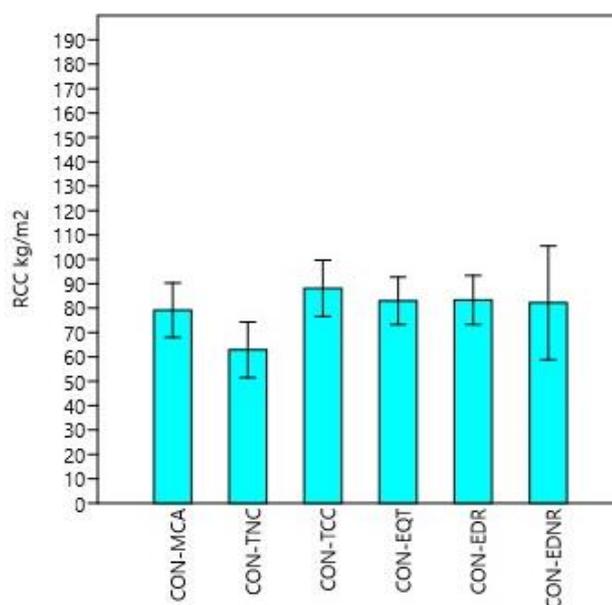
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.19 – Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança, limites de confiança e média ponderada para os indicadores da etapa de construção

Indicador	I _{med} kg/m ²	S kg/m ²	CV	NC	L _i kg/m ²	L _s kg/m ²	I _{pon} kg/m ²
CON-EDR	83	36	43%	95%	73	93	74
CON-MCA	79	35	44%	95%	68	90	73
CON-EDNR	82	53	65%	95%	57	107	60
CON-EQT	83	41	50%	95%	73	93	73
CON-TNC	63	22	35%	95%	50	75	65
CON-TCC	88	44	50%	95%	77	100	76

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.15 – Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores da etapa de construção (L_i, L_s e I_{med})



Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar da análise de variância para os indicadores de resíduos da etapa de construção tenha demonstrado a validade estatística para todos os dados (Tabela 4.18), foi desenvolvida uma análise secundária tendo como fundamento o coeficiente de variação (CV).

Os coeficientes de variação verificados para os indicadores médios de geração de RCD da etapa de construção correspondem a: CON-EDR (43%); CON-MCA (44%); CON-EDNR (65%); CON-EQT (50%); CON-TNC (35%); e CON-TCC (50%) (Tabela 4.19).

Portanto, consoante regras empíricas do estudo desenvolvido por Martins e Domingues (2014), é possível dizer que há elevada dispersão entre os indicadores parciais que constituem a amostra de todos os indicadores médios de construção, tendo em vista que a totalidade dos coeficientes de variação são maiores do que 30%.

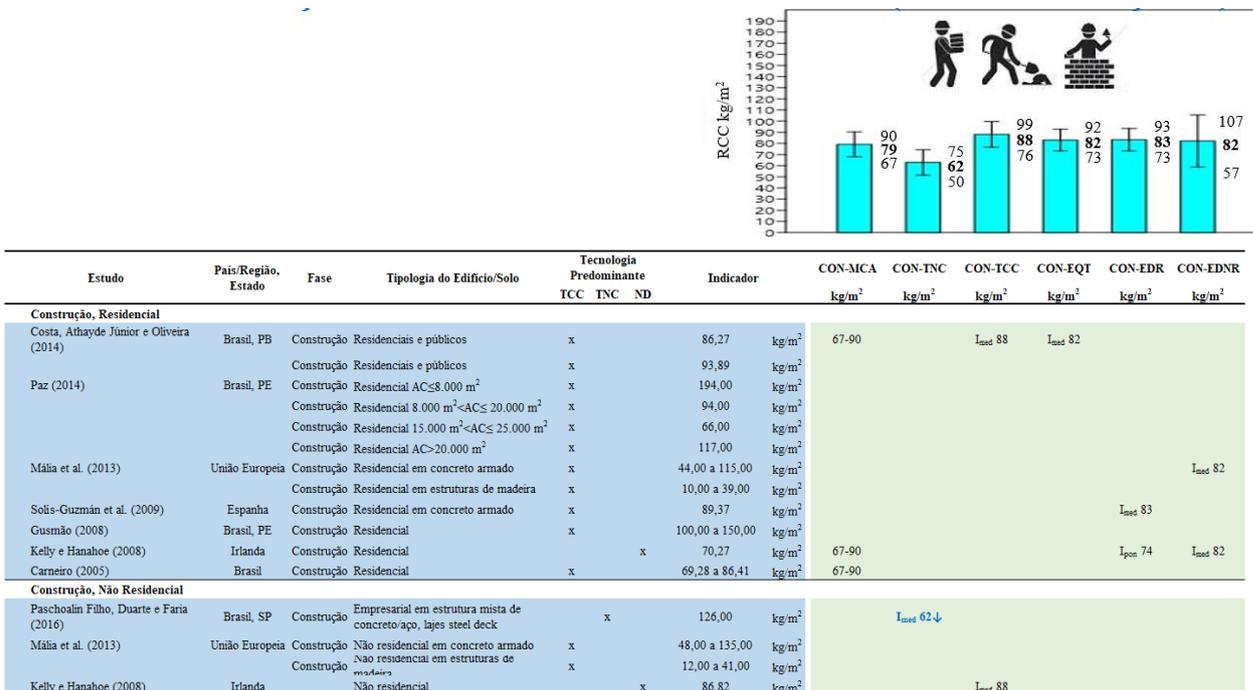
Conquanto, todos os indicadores médios revelados pela pesquisa tenham uma boa aderência com aqueles verificados em outros estudos (Tabela 4.20), a representatividade dos indicadores médios (I_{med}) obtidos para etapa de construção é ruim e não reflete adequadamente as reais características das edificações incluídas no estudo, uma vez que há grande dispersão entre os indicadores parciais, atestadas através de coeficientes de variação $> 30\%$.

Uma solução para o problema da representatividade dos indicadores de construção é a adoção dos indicadores ponderados (I_{pon}) constantes na Tabela 4.19, bem como dos indicadores medianos (I_{md}) e respectivos valores máximo ($I_{máx}$) e mínimo ($I_{mín}$) indicados na Tabela 4.21. Na Tabela 4.22 é apresentada a síntese dos indicadores médios (I_{med}) e medianos (I_{md}) referentes aos resíduos construção.

Em complemento aos resultados apresentados, foi construído um gráfico, tipo ábaco, para os indicadores CON-MCA e CON-EQT (Figura 4.16), os quais foram eleitos pelo pesquisador, como aqueles com o maior potencial de uso.

A construção do ábaco está baseada na equação linear da distribuição, obtida do gráfico de dispersão do conjunto de indicadores parciais I_p . O ábaco permite o cálculo gráfico do indicador de geração dos RCD, em função da área de construção.

Tabela 4.20 – Síntese da análise comparativa entre os indicadores L_i , L_s e I_{med} obtidos e os indicadores de outros estudos para a etapa de construção



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.21 – Mediana, máximo e mínimo para os indicadores da etapa de construção

Indicador	I_{md} kg/m ²	$I_{máx}$ kg/m ²	$I_{mín}$ kg/m ²
CON-EDR	75	255	36
CON-MCA	72	235	36
CON-EDNR	75	269	25
CON-EQT	75	269	25
CON-TNC	71	89	25
CON-TCC	75	269	29

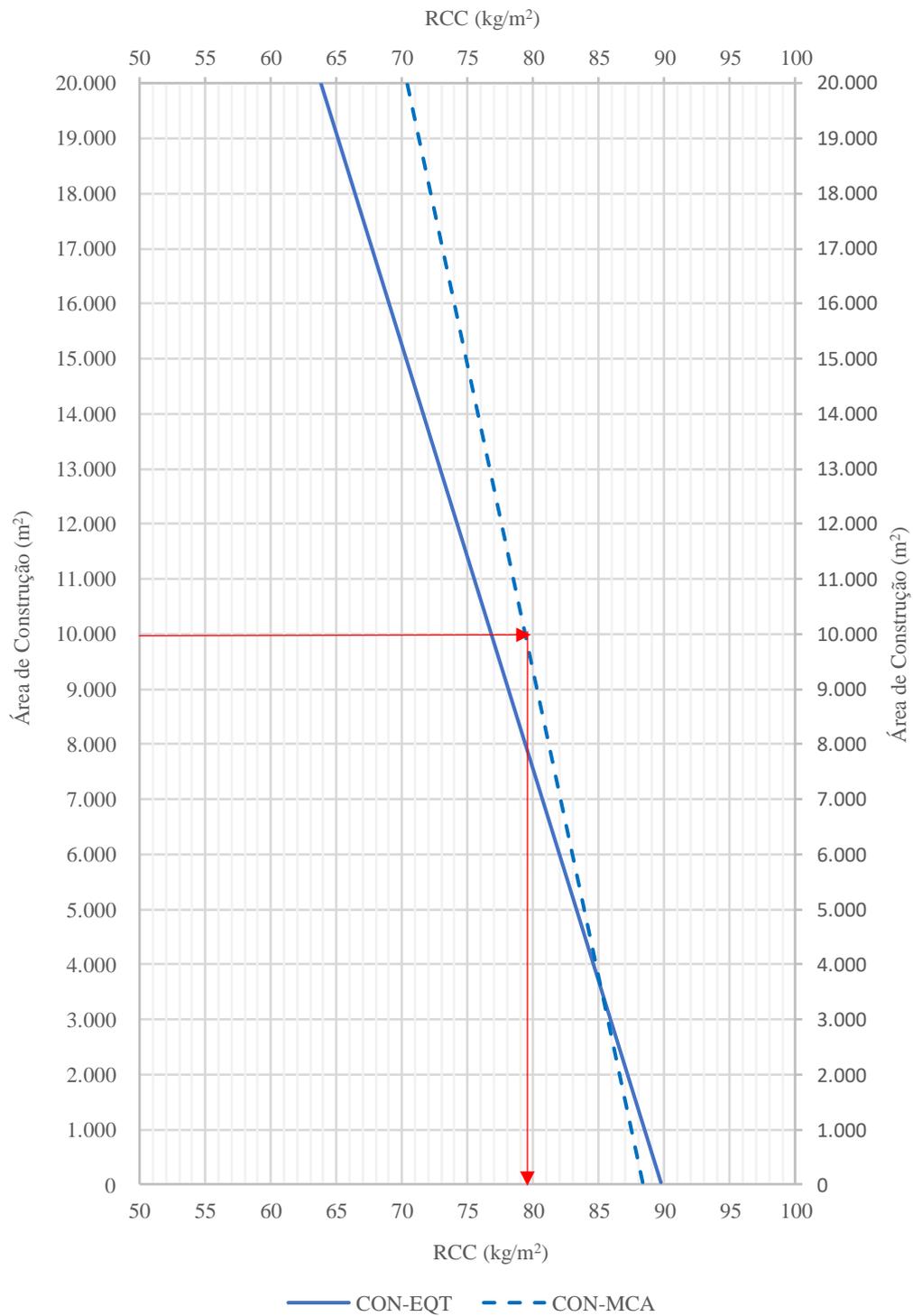
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.22 – Síntese dos indicadores médios e medianos de resíduos da etapa de construção

Uso da Edificação ou Tec. Construtiva	Tipologia de Edificação	Sigla e Nomenclatura do Indicador	Vinculação do Indicador	I _{med} kg/m ²	I _{md} kg/m ²
Residencial	Conjunto de Apartamentos, Conjunto de Casas e Casas	CON-EDR. Indicador de RCD em função da área de construção para edificações residenciais de tipos diversos	Área de Construção	83	75
Residencial	Conjunto de Apartamentos	CON-MCA. Indicador de RCD em função da área de construção para edificações residenciais tipo conjunto de apartamentos	Área de Construção	79	72
Não Residencial	Conjunto de Salas, Comércio, Hotel, Hospital, Templo Religioso e Subestação Elétrica	CON-EDNR. Indicador de RCD em função da área de construção para edificações não residenciais de tipos diversos	Área de Construção	82	75
Residencial e Não Residencial	Todas as Anteriores	CON-EQT. Indicador de RCD em função da área de construção para edificações residenciais e não residenciais de tipos diversos (exceto reforma)	Área de Construção	83	75
Tecnologia Construtiva Não Convencional	Todas as Anteriores	CON-TNC. Indicador de RCD em função da área de construção para edificações residenciais e não residenciais de tipos diversos, construídas com tecnologia não convencional	Área de Construção	63	71
Tecnologia Construtiva Convencional	Todas as Anteriores	CON-TCC. Indicador de RCD em função da área de construção para edificações residenciais e não residenciais de tipos diversos, construídas com tecnologia convencional	Área de Construção	88	75

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.16 – Ábaco para o cálculo gráfico dos indicadores de RCD na etapa de construção (CON-EQT e CON-MCA)



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 ANÁLISE COMPARATIVA AOS INDICADORES PCR

A Prefeitura da Cidade do Recife (PCR), atualmente recomenda aos empreendedores o uso dos indicadores de RCD constantes na Tabela 4.23. Tais indicadores também são utilizadas pela autoridade municipal quando da análise da prestação de consta final dos resíduos constante no RFD e/ou RFO (EMLURB, 2020).

Tabela 4.23 – Indicadores de RCD classe A adotados pela PCR

Etapa	Indicador	Deficit -10%
Demolição Total		
Demolição total de edificação convencional	800,00 kg/m ²	720,00 kg/m ²
Demolição total de edificação em taipa	400,00 kg/m ²	360,00 kg/m ²
Demolição Parcial		
Demolição parcial de elementos isolados (p.e. elementos de fundação) ⁽¹⁾	1.680,00 kg/m ³	1.512,00 kg/m ³
Escavação ⁽²⁾		
Escavação de solos	1.400,00 kg/m ³	1.260,00 kg/m ³
Construção		
Construção convencional	75,00 kg/m ²	67,50 kg/m ²
Construção de galpão	25,00 kg/m ²	22,50 kg/m ²
Construção não convencional em elementos pré-fabricados ou drywall	18,75 kg/m ²	16,88 kg/m ²
Construção não convencional em alvenaria racionalizada	18,75 kg/m ²	16,88 kg/m ²
Construção de elementos isolados ⁽³⁾		
Construção convencional de elementos isolados em blocos de concreto ou cerâmicos	350,00 kg/m ³	315,00 kg/m ³
Construção não convencional de elementos isolados em blocos de gesso	180,00 kg/m ³	162,00 kg/m ³

⁽¹⁾ Para o cálculo da demolição de elementos de fundação: extensão linear (m) x largura (0,30 m) x altura (0,50 m)

⁽²⁾ Para o cálculo da escavação de solos: área de escavação (m²) x altura + 0,20 (m)

⁽³⁾ Para o cálculo da construção de elementos isolados: extensão linear (m) x altura (m) x espessura (m)

Fonte: Compilação do autor

4.5.1 Indicadores de Demolição

Os resultados obtidos na presente pesquisa, para os limites inferiores dos indicadores médios DEM-EQT (846 kg/m²), DEM-EDR (881 kg/m²), DEM-EDNR (892 kg/m²) e DEM-CL (1.032 kg/m²), comparados ao indicador PCR (Tabela 4.23), para demolição convencional (720 kg/m²), com déficit de 10%, implica em dizer, que os indicadores derivados do presente estudo são, no mínimo, 18% maiores do que aquele admitido pela autoridade municipal.

Isto implicada na possibilidade da destinação inadequada, do ponto de vista ambiental, de cerca de 18% dos resíduos gerados, uma vez que os empreendedores não conscientes, em regra, podem não dispor os RCD de maneira adequada.

Os indicadores medianos para etapa de demolição DEM-EQT (793 kg/m^2), DEM-EDR (774 kg/m^2), DEM-EDNR (825 kg/m^2) e DEM-CL (855 kg/m^2), comparados ao indicador PCR para demolição convencional (720 kg/m^2) com déficit de 10% (Tabela 4.23), implicam em indicadores de resíduos não aderentes com aquele admitido pela autoridade municipal. Isto é, os indicadores medianos obtidos na presente pesquisa são, no mínimo, 8% maiores do que aquele aceito pela PCR.

Embora a prefeitura municipal admita um indicador para demolição de casas em taipa (pau-a-pique), com valor igual a 360 kg/m^2 (Tabela 4.23), já descontado o eventual déficit de 10%, não há um indicador referente às edificações demolidas sem laje. O mencionado indicador para edificações sem laje DEM-SL, corresponde ao valor do limite inferior igual a 597 kg/m^2 . O indicador mediano DEM-SL é igual a 386 kg/m^2 , o qual é próximo ao indicador 360 kg/m^2 admitido pela autoridade municipal.

4.5.2 Indicadores de Escavação

O limite inferior do indicador ESC-ΓSE1 (1.283 kg/m^3), referente ao peso específico dos solos (material solto), comparado ao indicador PCR (Tabela 4.23), com 10% de déficit (1.260 kg/m^3), permite afirmar que há boa aderência entre eles. O indicador mediano ESC-ΓSE1 é igual a 1.399 kg/m^3 , o qual é 11% maior quando comparado ao indicador PCR 1.260 kg/m^3 .

4.5.3 Indicadores de Construção

Os limites inferiores dos valores médios encontrados para os indicadores CON-TCC (76 kg/m^2), CON-EDR (73 kg/m^2), CON-EQT (72 kg/m^2), CON-MCA (67 kg/m^2) e CON-EDNR (52 kg/m^2), comparados ao indicador PCR (Tabela 4.23), com déficit de 10% (67 kg/m^2), para construção convencional, permite compreender que os indicadores cálculos tem boa aderência ao indicador admitido pela PCR, exceto o indicador CON-EDNR, referente aos edifícios não residenciais.

O menor valor do indicador CON-EDNR, deve-se ao fato das construções empresariais e comerciais adotarem materiais e sistemas de construção com índices de perdas não incorporadas igual a zero, a exemplo de revestimentos de fachadas em ACM e pele de vidro, ou ainda, devido à menor densidade das paredes, frente à configuração dos edifícios empresariais e comerciais, concebidos com vãos livres.

Os indicadores medianos para os resíduos de construção CON-TCC (75 kg/m^2), CON-EDR (75 kg/m^2), CON-EQT (75 kg/m^2), CON-MCA (72 kg/m^2) e CON-EDNR (75 kg/m^2), quando comparados ao indicador PCR com déficit de 10% (67 kg/m^2) para construção convencional (Tabela 4.23), permite compreender que a maioria dos indicadores medianos obtidos neste estudo são 11% maiores do que o indicador de 67 kg/m^2 admitido pela PCR.

Quanto ao limite inferior para os valores médios do indicador CON-TNC (50 kg/m^2), referente às construções executadas com tecnologias não convencionais, comparado ao indicador PCR (Tabela 4.23), com déficit de 10% (16 kg/m^2), referente à equivalente tecnologia (estruturas pré-fabricadas, *drywall* e alvenaria racionalizada), é possível inferir que não há aderência entre eles. No entanto, os valores mediano, máximo e mínimo obtidos para o indicador CON-TNC são iguais a 71 kg/m^2 , 89 kg/m^2 e 25 kg/m^2 , respectivamente, os quais são no mínimo 56% maiores quando comparados ao indicador PCR (16 kg/m^2).

É possível afirmar que a falta de aderência entre CON-TNC e PCR está relacionada à heterogeneidade dos edifícios que compõem a amostra estudada, composta por edifícios com uma ou outra inovação construtiva (p.ex. obras que adotam a alvenaria racionalizada, entretanto, sem o uso de argamassa estabilizada; edifícios com algumas paredes em *drywall*, em detrimento da real potencialidade de uso).

Na Tabela 4.24 é apresentada uma síntese da análise comparativa dos indicadores revelados pela presente pesquisa com aqueles adotados pela Prefeitura do Recife.

Tabela 4.24 – Síntese da análise comparativa entre os indicadores L_i , L_s e I_{med} obtidos e os indicadores PCR para as etapas de construção e demolição

Etapa	Indicador PCR kg/m ²	Deficit PCR -10% kg/m ²	CON-MCA	CON-TNC	CON-TCC	CON-EQT	CON-EDR	CON-EDNR	ESC- ISEI
			kg/m ²	kg/m ³					
Construção									
Construção convencional	75,00	67,50	L_i 67		L_i 76	L_i 73	L_i 73	L_i 52↓	
Construção de galpão	25,00	22,50							
Construção não convencional em elementos pré-fabricados ou drywall	18,75	16,88		L_i 50↑					
Construção não convencional em alvenaria racionalizada	18,75	16,88							
Construção de elementos isolados ⁽³⁾									
Construção convencional de elementos isolados em blocos de concreto ou cerâmicos	350,00	315,00							
Construção não convencional de elementos isolados em blocos de gesso	180,00	162,00							
Escavação ⁽²⁾									
Escavação de solos	1.400,00	1.260,00							L_i 1.283

Etapa	Indicador PCR kg/m ²	Deficit PCR -10% kg/m ²	DEM-CL	DEM-SL	DEM-EQT	DEM-EDR	DEM-EDNR
			kg/m ²				
Demolição Total							
Demolição total de edificação convencional	800,00	720,00	L_i 1.032↑		L_i 846↑	L_i 881↑	L_i 892↑
Demolição total de edificação em taipa	400,00	360,00		L_i 597			
Demolição Parcial							
Demolição parcial de elementos isolados (p.e. elementos de fundação) ⁽¹⁾	1.680,00	1.512,00					

Fonte: Elaborado pelo autor

4.6 INDICADORES DE OBRAS MODELO

As obras modelo, foram executadas por empresa construtora de grande porte, detentora das certificações ISO 14.001 (ambiental) e ISO 9.001 (qualidade), com elevado nível de gestão dos processos que envolvem os Resíduos de Construção e Demolição, desde o desenvolvimento dos projetos até a prestação de contas final dos RCD. Tais atributos, motivaram esta análise específica, sobre os resíduos gerados na etapa de construção dos edifícios.

Todos os edifícios que compõem as obras modelo (Tabela 4.24), também fazem parte do banco de dados municipal de resíduos, objeto da presente pesquisa. Contudo, nesta análise de indicadores de resíduos, além dos RCD de classe A (entulho e escavação), são incluídos os resíduos de gesso (classe B), reciclável (classe B), sacos e EPS (classe C) e perigosos (classe D).

Os indicadores de resíduos calculados neste item, correspondem à média da relação entre a massa de RCD gerada (kg), e a área de construção (m²), para cada um dos edifícios incluídos na amostra. As fórmulas e os testes estatísticos, utilizados para análise dos indicadores de obras modelo, correspondem aqueles utilizados para a proposta de indicadores de RCD.

Tabela 4.25 – Resumo das obras modelo estudadas e respectivas massas de RCD geradas

Obra	Tipologia do Edifício	Área (m ²)	Massa de RCD					Classe D Perigosos (kg)
			Classe A Entulho (kg)	Classe A Escavação (kg)	Classe B Gesso (kg)	Classe B Reciclável (kg)	Classe C Sacos/EPS (kg)	
	Construção		CON-CA1	CON-CA2	CON-CBG	CON-CBR	CON-CCS	CON-CDP
1	Hab. Multif. (Cj Ap)	9.620	819.240		91.240	72.560	8.720	2.146
2	Hab. Multif. (Cj Ap)	16.681	1.426.620	3.445.060	150.150	89.315	11.650	5.072
3	Hab. Multif. (Cj Ap)	16.681	1.522.670		175.790	55.355	22.820	2.788
4	Misto Hab. Multif. e Hotel	19.918	1.759.780	2.148.490	119.160	51.670	8.610	3.030
5	Hab. Multif. (Cj Ap)	72.759	4.871.880	319.200	236.670	399.575	35.480	20.463
	Total	135.658	10.400.190	5.912.750	773.010	668.475	87.280	33.499

Fonte: Elaborado pelo autor

4.6.1 Composição dos RCD de Obras Modelo

A composição média dos RCD gerados, ponderada pela área construída, para os edifícios sem semienterrado (obras 1, 3 e 5) e edifícios com semienterrado (obras 2 e 4), consta na Tabela 4.25. De acordo com os dados calculados, as obras de edificações sem subsolo geram 84% de resíduos do tipo entulho, 10% de resíduos de gesso, 5% de RCD reciclável e 1% de resíduos de sacarias e EPS, sendo a parcela de resíduos perigosos desprezível, em relação à massa total de RCD. Nas obras com semienterrado, há o predomínio de entulhos e solos de escavação (92%), seguido pelos resíduos de materiais recicláveis (4%), resíduos de gesso (3%) e parcelas desprezíveis, em relação à massa total dos RCD, relacionadas a sacarias, EPS e resíduos perigosos.

Tabela 4.26 – Composição dos RCD, segundo a classe e o tipo do resíduo, para as obras modelo

Tipologia	Composição dos RCD						Total
	Classe A Entulho	Classe A Escavação	Classe B Gesso	Classe B Reciclável	Classe C Sacos/EPS	Classe D Perigosos	
Edifícios sem semienterrado	84%	0%	10%	5%	1%	0%	100%
Edifícios com semienterrado	53%	39%	3%	4%	0%	0%	100%

Fonte: Elaborado pelo autor

4.6.2 Indicadores de RCD de Obras Modelo

Foram realizadas análises de variância do indicador de geração dos RCD, para os resíduos do tipo entulho (classe A), gesso (classe B), recicláveis (classe B), sacos e EPS (classe C) e perigosos (classe D). A amostragem foi dividida em dois grupos: edifícios com área construída

menor ou igual a 17.000 m² – obras 1, 2 e 3 (grupo 1); e edifícios com área construída maior do que 17.000 m² – obras 4 e 5 (grupo 2). Os resíduos de escavação não foram analisados, tendo em vista a pequena amostra.

Os resultados, para os indicadores de construção das obras modelo, estão adiante detalhados e sintetizados nas Tabelas 4.27, 4.28 e 4.29. Já os intervalos com 95% de confiança, estão plotados na Figura 4.17.

a. Resíduos do tipo entulho, classe A (CON-CA1)

Da análise de variância F, foi obtido $F_o 1,33 < F_c 10,13$ e, por conseguinte, a amostra é válida. Os indicadores foram calculados e obtido o valor I_{med} igual a 83 kg/m², e intervalo com 95% de confiança, com limite inferior igual a 72 kg/m² e limite superior igual a 95 kg/m². O indicador médio ponderado I_{pon} corresponde a 77 kg/m².

O indicador médio obtido 83 kg/m² é próximo do resultado encontrado por Costa, Athayde Júnior e Oliveira (2014), 86,27 kg/m², para edifícios construídos em João Pessoa. Já o limite inferior (72 kg/m²), é próximo ao valor revelado na pesquisa desenvolvida por Kelly e Hanahoe (2008), 70,27 kg/m², para edifícios residenciais construídos na Irlanda.

b. Resíduos de gesso, classe B (CON-CBG)

A análise de variância F, implica em $F_o 18,56 > F_c 10,13$ e por conseguinte, a amostra é rejeitada, pois há diferença significativa entre as médias dos grupos 1 e 2.

Mesmo tendo resultado em uma amostra estatisticamente inválida, foram realizados os calculados para os indicadores médio e ponderado para os resíduos de gesso. O indicador médio I_{med} é igual a 8 kg/m², e intervalo com 95% de confiança, com o limite inferior e limite superior igual a 4 kg/m² e 11 kg/m², respectivamente. O indicador médio ponderado I_{pon} , corresponde a 6 kg/m².

Não foram identificadas outras pesquisas relativas ao indicador de resíduos de gesso (classe B), fato que inviabilizou a análise comparativa dos resultados obtidos.

c. Resíduos recicláveis, classe B (CON-CBR)

O Teste F resultou em $F_o 0,51 < F_c 10,13$, logo, a amostra é considerada válida. O cálculo dos indicadores foi efetuado, e obtido o valor para I_{med} igual a 5 kg/m^2 , e intervalo com 95% de confiança com limites inferior e superior igual 2 kg/m^2 e 7 kg/m^2 , respectivamente. O indicador ponderado I_{pon} corresponde a 5 kg/m^2 .

Não foram identificados outros estudos relacionados ao indicador de resíduos recicláveis (classe B), contexto que inviabilizou a análise comparativa dos resultados obtidos.

d. Resíduos de sacos e EPS, classe C (CON-CCS)

A análise de variância F, implicou em $F_o 4,29 < F_c 10,13$ e, por conseguinte, a amostra é válida. O indicador médio calculado é igual a $0,8 \text{ kg/m}^2$, e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre $0,3 \text{ kg/m}^2$ e $1,2 \text{ kg/m}^2$. O indicador ponderado I_{pon} é igual a $0,6 \text{ kg/m}^2$.

Não foram identificadas outras pesquisas relativas ao indicador de resíduos de sacaria e EPS, contexto que inviabilizou a análise comparativa dos indicadores encontrados.

e. Resíduos perigosos, classe D (COM-CDP)

O Teste F resultou em $F_o 0,04 < F_c 10,13$, logo, a amostra é considerada válida. O cálculo dos indicadores foi efetuado, e obtido o valor para I_{med} igual a $0,2 \text{ kg/m}^2$, e intervalo com 95% de confiança com limites inferior e superior igual $0,1 \text{ kg/m}^2$ e $0,3 \text{ kg/m}^2$, respectivamente. O indicador ponderado I_{pon} corresponde a $0,2 \text{ kg/m}^2$.

Não foram identificadas outras pesquisas relativas ao indicador de resíduos de gesso (classe B), fato que inviabilizou a análise comparativa dos resultados obtidos.

Tabela 4.27 – Estatística descritiva das amostras relativas aos resíduos da etapa construção, para as obras do grupo 1 e obras do grupo 2

Amostra	Grupo	n	Soma I _p	\bar{X}	S	S ²
CON-CA1	1	1	3,00	261,97	87,32	3,43
	2	2	2,00	155,31	77,65	15,13
	Total	3	5,00			
CON-CBG	1	3	29,02	9,67	0,79	0,62
	2	2	9,24	4,62	1,93	3,73
	Total	5	38,26			
CON-CBR	1	3	16,22	5,41	2,11	4,46
	2	2	8,09	4,04	2,05	4,20
	Total	5	24,30			
CON-CCS	1	3	2,97	0,99	0,34	0,12
	2	2	0,92	0,46	0,04	0,00
	Total	5	3,89			
CON-CDP	1	3	0,69	0,23	0,07	0,00
	2	2	0,43	0,22	0,09	0,01
	Total	5	1,13			

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.28 – Análise de variância das amostras referentes aos resíduos de construção, para as obras do grupo 1 e obras do grupo 2

Amostra	k	n _T	\bar{X}	S _w ²	S _b ²	ν_1	ν_2	F ₀	F _c	α	Resultado
CON-CA1	2	5	83,46	84,12	112,18	1	3	1,33	10,13	0,05	Aceitar
CON-CBG	2	5	7,65	1,65	30,69	1	3	18,56	10,13	0,05	Rejeitar
CON-CBR	2	5	4,86	4,37	2,23	1	3	0,51	10,13	0,05	Aceitar
CON-CCS	2	5	0,78	0,08	0,34	1	3	4,29	10,13	0,05	Aceitar
CON-CDP	2	5	0,23	0,01	0,00	1	3	0,04	10,13	0,05	Aceitar

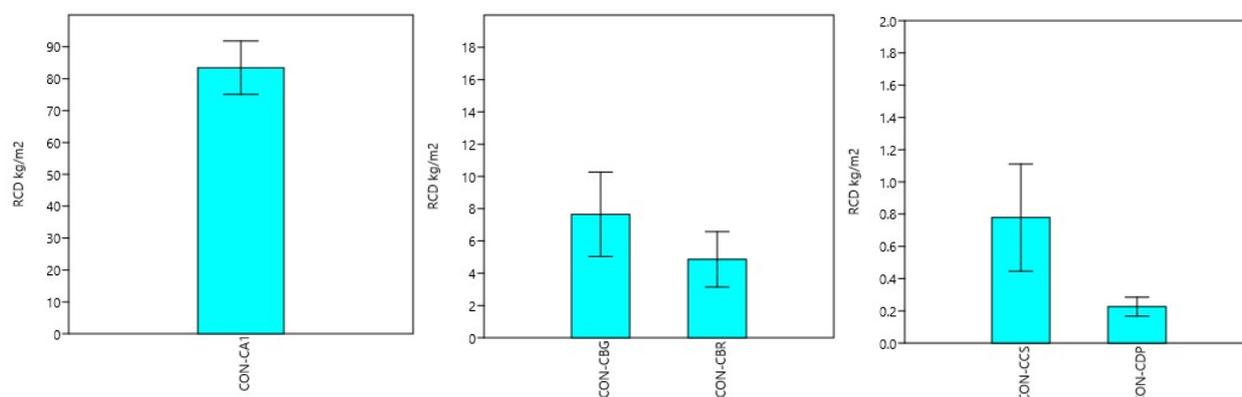
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.29 – Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança, limites de confiança e média ponderada para os indicadores de construção obras modelo

Indicador	I _{med} kg/m ²	S kg/m ²	CV	NC	L _i kg/m ²	L _s kg/m ²	I _{pon} kg/m ²
CON-CA1	83	10	11%	95%	72	95	77
CON-CBG	8	3	39%	95%	4	11	6
CON-CBR	5	2	40%	95%	2	7	5
CON-CCS	0,8	0,38	49%	95%	0,3	1,2	0,6
CON-CDP	0,2	0,07	30%	95%	0,1	0,3	0,2

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.17 – Gráfico Box-Plot da distribuição do indicador de construção de obras modelos para RCD Classes A (Entulho), B (Gesso), B (Reciclável), C (Sacaria/EPS) e D (Perigosos) (L_i , L_s e I_{med})



Fonte: Elaborado pelo autor

Embora a análise de variância para os indicadores de resíduos das obras modelo tenha revelado a validade estatística para quase todas as amostras (Tabela 4.28), foi realizado um estudo secundário tendo como base o coeficiente de variação (CV).

Os coeficientes de variação verificados para os indicadores das obras modelo correspondem a: CON-CA1 (11%); CON-CBG (39%); CON-CBR (40%); CON-CCS (49%); e CON-CDP (30%) (Tabela 4.29).

Logo, conforme as regras empíricas contidas na pesquisa desenvolvida por Martins e Domingues (2014), o indicador médio obtido para CON-CA1 tem baixa dispersão entre os indicadores médios parciais que os compõem, tendo em vista que o $CV < 15\%$. Ou melhor, o indicador médio para os resíduos de classe A (tipo entulho) tem uma boa representatividade e reflete convenientemente as reais características dos resíduos gerados em obras de construção.

O indicador médio CON-CDP implica em média dispersão entre os indicadores médios parciais que os constituem, tendo em vista que o coeficiente de variação está situado no intervalo compreendido entre 15%-30% e, por consequência, tem uma regular representatividade e não reflete adequadamente as características dos resíduos de classe D (tipo perigosos) que constituem a amostra.

Os outros indicadores médios CON-CBG, CON-CBR e CON-CCS possuem alta dispersão entre os indicadores médios parciais que os compõem, tendo em vista que o $CV > 30\%$. Logo

tais indicadores médios de resíduos de gesso, recicláveis e sacarias não representam convenientemente os resíduos gerados em obras de construção.

Embora os indicadores médios CON-CDP, CON-CBG, CON-CBR e CON-CCS tenham de média à alta dispersão entre os dados que os embasam, estes correspondem a uma importante informação para o planejamento da gestão de resíduos de construção, visto que há poucos referenciais técnicos publicados. Os indicadores mediano e valores máximo e mínimo para as obras modelo estão sumarizados na Tabela 4.30, os quais representam uma alternativa aos indicadores médios.

Tabela 4.30 – Mediana, máximo e mínimo para os indicadores de construção das obras modelo

Indicador	I_{md} kg/m²	I_{máx} kg/m²	I_{mín} kg/m²
CON-CA1	86	91	67
CON-CBG	9	11	3
CON-CBR	5	8	3
CON-CCS	0,7	1,4	0,4
CON-CDP	0,2	0,3	0,2

Fonte: Elaborado pelo autor

4.7 ANÁLISE DE INFRAÇÕES

As infrações cometidas ao regular processo de planejamento, transporte e destinação dos RCD estão diretamente ligadas aos impactados ao meio ambiente natural e construído provocados pelo setor da construção civil, uma vez que traduzem o nível de cuidado e atenção dispensados pelos empreendedores.

Logo, a compreensão dos tipos e magnitude das infrações cometidas pelos geradores, no que tange aos Resíduos de Construção de Demolição, permite traçar um diagnóstico daquilo que necessita ser modificado e aprimorado para a preservação do meio ambiente natural e conservação do ambiente urbano.

Adiante são detalhados os resultados obtidos da análise do banco de dados municipal de RCD, particularmente quanto à apresentação do PGRCC e o correto transporte e destinação dos RCD pelos construtores que atuam na cidade do Recife. A formulação matemática e os testes estatísticos utilizados para a análise das infrações de transporte e destinação irregulares de RCD correspondem aqueles utilizados para a proposta de indicadores de RCD.

4.7.1 Não Apresentação do PGRCC

As infrações apontadas no banco de dados municipal de RCD foram catalogadas e analisadas. Os dados de 208 processos de licenciamento urbanístico correspondem a um total de 289 PGRCC relativos a 160 obras de construção, 106 demolições de edificações e 23 obras de reforma. Foram comparadas as quantidades dos Planos previstos com aquelas efetivamente apresentadas pelos geradores à Prefeitura da Cidade do Recife. Os resultados obtidos revelam que a infração do “não PGRCC” corresponde em média a 28% de todas as obras executadas em Recife.

A análise segmentada, por tipo de obra, aponta que o “não PGRCC” (NPG) ou déficit na apresentação do documento para as obras de demolição, construção e reforma representa 32%, 27% e 22%, respectivamente. No entanto, as obras de construção possuem o maior indicador global de NPG (52%), seguida pelas obras de demolição (41%) e obras de reformas (6%) (Tabela 4.30).

A prevalência de “não PGRCC” para as obras de demolição pode ser explicada pela falta de atenção dos construtores com esta etapa de obra, uma vez que a execução dos trabalhos de demolição em Recife, em regra, é delegada a empresas de pequeno porte sem expertise com os requisitos ambientais necessários.

Tabela 4.31 – Processos com infração relativa a não apresentação do PGRCC, segundo o tipo de obra

Tipo de Obra	Processos	PGRCC			NPG		
		Previsto	Apresentado	Déficit	% Parcial	% Global	
a Construção	79	a+b	160	117	43	27%	52%
b Construção/Demolição	81						
c Demolição	25	c+b	106	72	34	32%	41%
d Reforma	23	d	23	18	5	22%	6%
Total	208		289	207	82	28%	100%

Fonte: Elaborado pelo autor

O NPG também foi analisado em relação às tipologias de obras. Das 82 obras civis sem PGRCC 35% são construções de comércios, 17% correspondem a demolições de edificações comerciais, 11% são demolições de edificações unifamiliares, 8% são construções e demolições de galpões,

7% correspondem à construção de conjunto de casas, 6% são as obras de reforma de edificações e 16% das demais obras de construção e demolição (Tabela 4.31).

A predominância das obras de construção e demolição de edificações comerciais (28%), com problemas na apresentação do PGRCC, está relacionada à dinâmica de expansão de novos comércios pela qual vem passando o Recife (farmácias e mercados). Tais obras comerciais são executadas em um curto prazo e por construtores de pequeno porte.

Tabela 4.32 – Processos com infração relativa a não apresentação do PGRCC, segundo a tipologia da edificação

Tipologia da Edificação	PGRCC	
	Déficit	%
Construção		
Edificações de Uso Habitacional Multifamiliar (Cj de Apartamentos)	1	1%
Edificações de Uso Habitacional Multifamiliar (Cj de Casas)	6	7%
Edificações de Uso Hab. Unifamiliar (Casa)	2	2%
Edificações de Uso Não Habitacional (Educativo)	1	1%
Edificações de Uso Não Habitacional (Hospitalar)	1	1%
Edificações de Uso Não Habitacional (Galpão)	3	4%
Edificações de Uso Não Habitacional (Comércio)	29	35%
<i>Subtotal Construção</i>	43	52%
Demolição Total		
Edificação de Uso Habitacional Unifamiliar	9	11%
Edificação de Uso Não Habitacional (Comercial)	14	17%
Edificação de Uso Não Habitacional (Educativo)	2	2%
Edificação de Uso Não Habitacional (Galeria Comercial)	5	6%
Edificação de Uso Não Habitacional (Galpão)	3	4%
Edificação de Uso Não Habitacional (Hotel)	1	1%
<i>Subtotal Demolição</i>	34	41%
Reforma		
Edificações Reformadas com Acréscimo de Área	5	6%
<i>Subtotal Reforma</i>	5	6%
Total	82	100%

Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.2 Transporte Irregular dos RCD

Inicialmente, foi procedida a divisão dos 208 processos de licenciamento urbanístico em dois conjuntos, sendo o primeiro relativo a 125 processos com infração de transporte dos RCD e o segundo aos 83 processos sem infração. De início, é possível verificar que 60% dos processos analisados contém infrações de transporte dos RCD.

O Coeficiente de Infração no Transporte (CIT), coeficiente médio adiante calculado, corresponde à média de todos os coeficientes (grupo 1 + grupo 2), sendo este a média da razão entre a massa (toneladas) de RCD não comprovada no RFO/RFD (déficit) e a massa em

toneladas de resíduos declarada pelo gerador no PGRCC para cada uma das obras que compõe a amostra. Os resultados da análise global e segregada do transporte irregular de RCD estão detalhados na Tabela 4.34, Tabela 4.35, Tabela 4.36 e Figura 4.19.

Análise Global do Transporte Irregular

Nesta análise, foram utilizados os dados de 208 processos de licenciamento (Tabela 4.33).

Tabela 4.33 – Processos incluídos na análise global dos transportes irregulares

	Grupo 1	Grupo 2	Total
	Com Certificação	Sem Certificação	
Com infração de transporte	21	104	125
Sem infração de transporte	19	64	83
Total	40	168	208

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados parciais, contidos na Tabela 4.34, revelam que as obras do grupo 1 (com certificação), correspondem a um coeficiente médio igual a 0,17, enquanto as obras do grupo 2 (sem certificação), implicam em um coeficiente médio igual a 0,51. Ou seja, a cada 100 kg de RCD transportados de obras sem certificação 51 kg são transportados de forma irregular. Ou ainda, das obras sem certificação são originados três vezes mais transportes irregulares de resíduos quando comparadas às obras com certificação.

A análise de variância com o Teste F resultou em $F_o 19,12 < F_c 5,02$ e, por conseguinte, a amostra é estatisticamente rejeitada. No entanto, foi calculado o indicador médio que implicou no coeficiente global de infração no transporte de RCD igual a $CTI_g = 0,45$ e limite inferior e superior igual a 0,38 e 0,51, respectivamente. Portanto, é possível inferir que a cada 100 kg de resíduos transportados de obras de qualquer tipo, em média, 45 kg são transportados de forma irregular, quantitativo que pode variar no intervalo compreendido entre 38 kg e 51 kg.

Além da análise de variância foi desenvolvida uma análise secundária tendo como base o coeficiente de variação (CV). A análise secundária do indicador médio global de infração no transporte de resíduos foi desenvolvida consoante o modelo empírico contido no estudo de Martins e Domingues (2014). O exame dos indicadores parciais revelou que o indicador médio CTI_g (0,45) implica em um coeficiente de variação igual a 3% e, por conseguinte, importa em

um indicador com baixa dispersão entre os indicadores médios parciais que os constituem, uma vez que o coeficiente de variação $CV < 15\%$ (Tabela 4.25).

Ou seja, o indicador (coeficiente) médio global de infração no transporte de RCD implica em uma boa representatividade dos indicadores médios parciais e reflete convenientemente as reais condições de irregularidade no transporte dos Resíduos de Construção e Demolição gerados em Recife.

Análise Segregada do Transporte Irregular

Nesta análise foram utilizados os dados de 125 processos de licenciamento (com infração de transporte), os quais correspondem a todas as obras de onde foram originados transportes irregulares. Os resultados constam nas Tabelas 4.34, 4.35 e 4.36 e Figura 4.18.

O Teste F resultou em $F_o 44,99 < F_c 5,02$, portanto a amostra é considerada estatisticamente inválida. Embora a amostra tenha sido rejeitada, foi desenvolvida a análise dos indicadores médios, que revelou o coeficiente médio do grupo 1 (obras com certificação) igual a 0,33 e do grupo 2 (obras sem certificação) igual a 0,83. Logo, comparado os resultados do grupo 1 e grupo 2, é possível compreender que as obras sem certificação obtiveram um déficit na comprovação do transporte dos RCD duas vezes e meia maior do que aquelas com certificação.

Foi calculado o coeficiente médio CTI_s , o qual resultou em 0,74 e respectivo intervalo com 95% de confiança com limite inferior e superior igual a 0,68 e 0,81, respectivamente. Logo, é possível inferir que a cada 100 kg de RCD transportados das obras que infringiram a lei, 74 kg foram transportados de forma irregular, quantidade que pode variar de 68 kg a 81 kg.

Também foi realizada uma análise secundária para o indicador segregado de infração no transporte de RCD segundo as regras empíricas publicadas por Martins e Domingues (2014). O resultado da investigação revelou que o indicador médio CTI_s (0,74) tem alta dispersão entre os indicadores médios parciais que compõem a amostra, tendo em vista que o coeficiente de variação $CV > 30\%$ (Tabela 4.27).

Portanto, o indicador médio segregado de infração no transporte de resíduos não tem boa representatividade e não reflete adequadamente as reais condições de irregularidade no transporte dos RCD em Recife.

Tabela 4.34 – Estatística descritiva do coeficiente de transporte irregular de RCD para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)

Amostra	Grupo	n	Soma C	\bar{X}	S	S ²
CIT _g	1	40	6,92	0,17	0,30	0,09
	2	168	86,03	0,51	0,47	0,22
	Total	208	92,95			
CIT _s	1	21	6,92	0,33	0,35	0,12
	2	104	86,03	0,83	0,30	0,09
	Total	125	92,95			

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.35 – Análise de variância das amostras referentes ao transporte irregular de RCD, para as obras do grupo 1 e obras do grupo 2

Amostra	k	n _T	\bar{X}	S _w ²	S _b ²	v ₁	v ₂	F ₀	F _c	α	Resultado
CIT _g	2	208	0,45	0,19	3,72	1	206	19,12	5,02	0,05	Rejeitar
CIT _s	2	125	0,74	0,10	4,33	1	123	44,99	5,02	0,05	Rejeitar

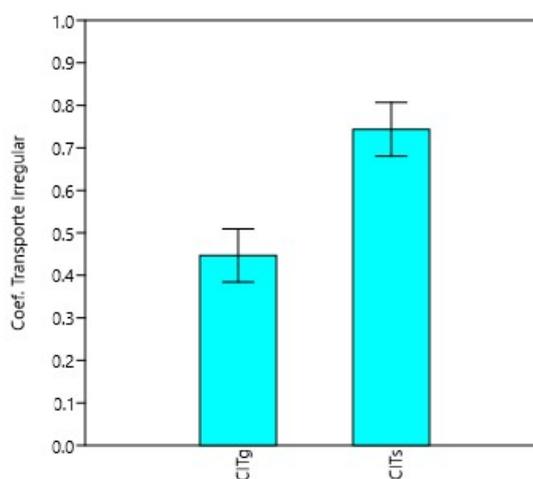
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.36 – Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para o coeficiente de transporte irregular de RCD

Indicador	C _{med}	S	CV	NC	L _i	L _s
CIT _g	0,45	0,46	3%	95%	0,38	0,51
CIT _s	0,74	0,36	49%	95%	0,68	0,81

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.18 – Gráfico Box-Plot da distribuição dos coeficientes de transporte irregular de RCD (C_i, C_s e C_{med})



Fonte: Elaborado pelo autor

Uma alternativa aos coeficientes médios infração no transporte de resíduos são os coeficientes medianos e coeficientes máximo e mínimo constantes na Tabela 4.37.

Tabela 4.37 – Mediana, máximo e mínimo para para o coeficiente de transporte irregular de RCD

Indicador	C_{md}	C_{máx}	C_{mín}
CIT _g	0,17	1,00	0,00
CIT _s	1,00	1,00	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.3 Destinação Irregular dos RCD

Inicialmente, foi procedida a divisão dos 208 processos de licenciamento urbanístico em dois conjuntos, sendo o primeiro relativo a 106 processos com infração de destinação dos RCD e o segundo aos 102 processos sem infração. De início é possível compreender que 51% dos processos analisados contém infrações de destinação dos RCD. Os resultados da análise global e segregada da destinação irregular dos RCD estão detalhados nas Tabelas 4.39, 4.40 e 4.41 e Figura 4.19.

Análise Global da Destinação Irregular

Nesta análise, foram utilizados os dados de 208 processos de licenciamento (Tabela 4.38).

Tabela 4.38 – Processos incluídos na análise global da destinação irregular de RCD

	Grupo 1	Grupo 2	
	Com Certificação	Sem Certificação	Total
Com infração de destinação	14	92	106
Sem infração de destinação	26	76	102
Total	40	168	208

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados parciais, contidos na Tabela 4.29, permitem inferir que as obras do grupo 1 (com certificação), correspondem a um coeficiente médio igual a 0,13, enquanto as obras do grupo 2 (sem certificação), implicam em um coeficiente médio igual a 0,49. Portanto, é possível compreender, que a cada 100 kg de resíduos destinados oriundos de obras sem certificação, 49 kg são destinados irregularmente. Bem como, das obras sem certificação são originados 3,7 vezes mais resíduos, cuja destinação não se tem notícias.

O coeficiente global de destinação irregular de RCD, corresponde a CDI_g igual a 0,42, e respectivo intervalo com 95% de confiança de limite inferior igual a 0,35 e limite superior igual a 0,48. Portanto, é possível inferir, que a cada 100 kg de resíduos destinados de obras de qualquer tipo, em média, 42 kg são destinados de forma irregular, quantitativo que pode variar no intervalo compreendido entre 35 kg e 48 kg (Tabela 4.30).

Não obstante a análise de variância para os coeficientes de destinação irregular de RCD tenha demonstrado a validação estatística para todas as amostras (Tabela 4.26), foi realizada uma análise secundária tendo como base o coeficiente de variação (CV).

Procedida a análise secundária do indicador médio global de destinação irregular de RCD, consoante as regras empíricas contidas no estudo de Martins e Domingues (2014), é possível inferir que o indicador global médio CDI_g (0,42) tem baixa dispersão entre os indicadores médios parciais que os compõem, uma vez que o $CV < 15\%$ (Tabela 4.30).

Ou seja, o indicador global médio de destinação irregular de RCD implica em uma boa representatividade dos indicadores médios parciais e reflete convenientemente as reais condições de irregularidade na disposição final dos resíduos na cidade do Recife.

Análise Segregada da Destinação Irregular

Nesta análise foram utilizados os dados de 106 processos de licenciamento (com infração de destinação), os quais correspondem a todas as obras de onde foram originados resíduos e não é conhecida a destinação. Os resultados constam na Tabela 4.31 e Tabela 4.32 e Figura 4.16.

A análise revelou que, o coeficiente obtido para o grupo 1, obras com certificação, corresponde a 0,31. Para o grupo 2, obras sem certificação, o coeficiente é igual a 0,85. Comparado os resultados do grupo 1 e grupo 2, é possível compreender que as obras sem certificação obtiveram um déficit na comprovação da destinação dos RCD 2,7 vezes maior que o grupo 1.

Foi calculado o coeficiente CDI_s , o qual é igual a 0,78, e respectivo intervalo com 95% de confiança, com limite inferior e limite superior igual a 0,71 e 0,84, respectivamente. Logo, é possível inferir que a cada 100 kg de RCD destinados das obras que infringiram a lei, 78 kg foram destinados de forma irregular, quantidade que pode variar de 71 kg a 84 kg.

Ademais, o estudo secundário para o indicador segregado de destinação irregular de RCD, segundo a metodologia empírica publicada por Martins e Domingues (2014), permite afirmar que o indicador médio CDI_s (0,78) tem elevada dispersão entre os indicadores médios parciais que constituem a amostra, uma vez que $CV > 30\%$ (Tabela 4.27).

Logo, o indicador médio segregado de infração na destinação de RCD não tem boa representatividade e não reflete corretamente as reais condições de irregularidade na disposição final dos resíduos no município do Recife.

Tabela 4.39 – Estatística descritiva do coeficiente na destinação irregular de RCD para as obras com certificação (grupo 1) e sem certificação (grupo 2)

Amostra	Grupo	n	Soma C	\bar{X}	S	S ²
CID _g	1	40	5,28	0,13	0,26	0,07
	2	168	81,52	0,49	0,47	0,22
	Total	208	86,80			
CID _s	1	14	4,32	0,31	0,30	0,09
	2	92	78,21	0,85	0,28	0,08
	Total	106	82,54			

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.40 – Análise de variância das amostras referentes à destinação irregular de RCD, para as obras do grupo 1 e obras do grupo 2

Amostra	k	n _T	\bar{X}	S _w ²	S _b ²	ν_1	ν_2	F _o	F _c	α	Resultado
CID _g	2	208	0,42	0,19	4,03	1	206	20,86	5,02	0,05	Rejeitar
CID _s	2	106	0,78	0,08	3,56	1	104	44,93	5,02	0,05	Rejeitar

Fonte: Elaborado pelo autor

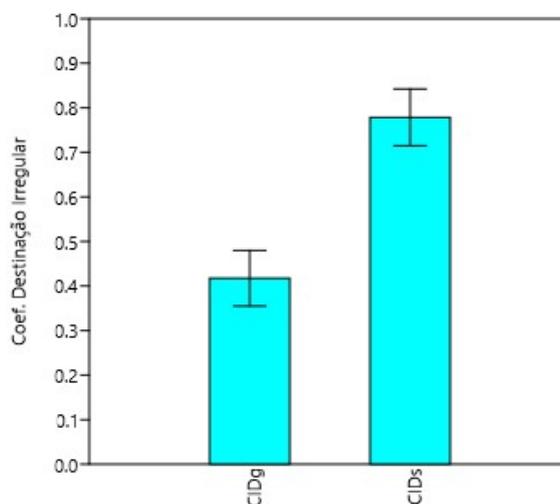
Tabela 4.41 – Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para o coeficiente de destinação irregular de RCD

Indicador	C _{med}	S	CV	NC	L _i	L _s
CID _g	0,42	0,46	10%	95%	0,35	0,48
CID _s	0,78	0,34	43%	95%	0,71	0,84

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma alternativa aos coeficientes médios infração na destinação de resíduos são os coeficientes medianos e coeficientes máximo e mínimo constantes na Tabela 4.42.

Figura 4.19 – Gráfico Box-Plot da distribuição dos coeficientes de destinação irregular de RCD (C_i , C_s e C_{med})



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.42 – Mediana, máximo e mínimo para para o coeficiente de destinação irregular de RCD

Indicador	C_{md}	$C_{máx}$	$C_{mín}$
CID _g	0,17	1,00	0,00
CID _s	1,00	1,00	0,06

Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.4 Custo Comparado entre Manejo e Infrações

Respeitar ou infringir as leis que regulam o manejo dos RCD? Embora, seja uma obrigação inquestionável, as regras jurídicas têm sido descumpridas por mais de 40% dos geradores formais na Cidade do Recife, conforme pode ser verificado nos itens 4.7.2 e 4.7.3.

No entanto, cumpre lembrar, que o correto manejo dos RCD exige, além de uma boa gestão, recursos humanos e financeiros para o adequado transporte interno, condicionamento provisório, transporte externo e destinação ambientalmente adequada dos resíduos. Em contrapartida, o descumprimento dos requisitos previstos em lei, concernentes à apresentação do PGRCC e ao regular transporte e destinação dos RCD, culmina na aplicação de sanções financeiras, pela autoridade municipal ao gerador infrator, e por conseguinte, na degradação do meio ambiente natural e perda de desempenho do ambiente construído.

Com o intento de esclarecer parte desta questão, a seguir são comparados os custos diretos para o transporte e a destinação dos RCD, com os custos para o pagamento de multas, derivadas do descumprimento às leis. Para tanto, são utilizados três exemplos de obras reais, extraídos do bando de dados municipal de resíduos.

Cálculo e Comparação dos Custos

Para a análise comparativa entre os custos com manejo dos RCD e infrações, foram selecionadas seis obras executadas em Recife. Os dados reais das obras e a síntese dos cálculos comparativos estão adiante demonstrados na Tabela 4.43 e Tabela 4.44, respectivamente.

Para obra 202 (demolição total de um hotel), com 8.503 toneladas de RCD gerados, foram imputadas infrações relativas a não apresentação do PGRCC, bem como, ao déficit de 100% das comprovações que deveriam estar no RFD, relativas ao transporte e destinação dos RCD. Os resultados obtidos para esta obra de demolição, permitem compreender que os custos com infrações (R\$ 407 mil), correspondem à 29% dos custos necessários ao correto manejo dos resíduos (R\$ 1,39 milhões).

A obra 141, referente às obras de demolição total de uma edificação unifamiliar e construção de um edifício multifamiliar (tipo conjunto de apartamentos), foi responsável pela produção de 2.362 ton de resíduos. No RFD foram comprovadas 235 ton de resíduos de demolição, no entanto, 2.127 ton deixaram de ser comprovadas no RFO.

Os resultados da análise comparativa para a obra 141, revelaram que o empreendedor promoveu o correto manejo para 235 ton de resíduos, com custo de R\$ 38 mil. Contudo, 90% dos RCD não foram transportados e destinados de forma correta. Os custos totais envolvidos com o manejo e infrações, pagos pelo gerador, implicaram em R\$ 143 mil, os quais, correspondem a 37% dos custos necessários ao correto manejo dos resíduos (R\$ 385 mil).

A obra 112, correspondeu à demolição total de uma galeria comercial e à construção de uma edificação comercial (agência bancária). Somados, os resíduos de demolição e construção, corresponderam à geração de 1.528 ton de RCD. No RFD foram comprovadas 139 ton de resíduos. Ao final das obras, restaram ser comprovados no RFO 1.389 ton de resíduos, com a consequente imputação de multas referentes ao transporte e destinação irregulares dos RCD.

Os resultados obtidos da comparação entre os custos desembolsados pelo construtor (custos com manejo e infrações), e os custos necessários ao correto transporte e destinação dos resíduos, permite compreender que foram gastos pelo construtor R\$ 93 mil, os quais, correspondem a 37% dos recursos financeiros necessários ao correto manejo dos RCD (R\$ 249 mil).

O empreendimento obra 113, consistiu na demolição total de uma edificação (tipo galeria comercial) e construção de uma edificação comercial (farmácia). Não foram apresentados os PGRCC para as duas fases. As obras foram responsáveis pela geração de 719,41 ton de resíduos de demolição e 22,53 ton de RCD de construção. No RFD e RFO, não foram apresentadas as comprovações de transporte e destinação, para o montante total dos resíduos gerados (100% de déficit).

Da comparação dos valores desembolsados pelo empreendedor, para pagamento das multas (R\$ 49 mil), e daqueles que deveriam ter sido pagos para o correto manejo dos RCD (R\$ 121 mil), é possível compreender que, o valor total pago pelo gerador, corresponde à 40% daquele que seria necessário para o transporte e destinação ambientalmente adequadas dos resíduos.

A obra 128, correspondeu à demolição total de uma edificação de uso não habitacional (farmácia). Na execução da obra civil não foram comprovadas 236 ton de RCD (100% de déficit). Foi realizada a análise comparativa dos valores pagos pelo gerador, com as infrações (R\$ 21 mil), com aquele que deveria ter sido desembolsado pelo empreendedor, para o custeio do correto manejo (R\$ 38 mil). O resultado do estudo, permite compreender que houve uma economia para o gerador de 55%.

O sexto e último empreendimento analisado, obra 54, correspondeu à demolição total de uma edificação unifamiliar (tipo casa). A obra foi responsável pela produção de 136 ton de resíduos. No RFD, não foram apresentadas pelo gerador as comprovações do transporte e destinação dos RCD (déficit de 100%). As multas imputadas pela autoridade municipal ao empreendedor corresponderam a R\$ 16 mil. Já os recursos financeiros necessários ao correto manejo dos resíduos, implicam em R\$ 22 mil. Da comparação de um e outro custo, é possível compreender que o gerador economizou 72 %.

A razão entre os valores desembolsados pelos geradores, referentes às infrações e ao manejo dos resíduos, e aquele necessário ao correto manejo dos RCD, corresponde a 29% (obra 202),

37% (obra 141), 37% (obra 112), 40% (obra 113), 55% (obra 128) e 72% (obra 54). Ou seja, a transgressão às normas que regulam a gestão dos RCD na cidade do Recife, tributa ao gerador infrator bônus financeiro, ou ainda, onera a sociedade e o meio ambiente natural e construído, por meio da disposição final dos resíduos em locais inadequados ou não permitidos, com o consequente sobrecusto para a remoção e destinação adequada destes.

Tabela 4.43 – Obras selecionadas para o estudo comparativo entre os custos de manejo dos RCD e os custos com infrações

ID Obra	Etapa	Tipologia da Edificação	M _{RCD}			Infrações Imputadas pela PCR		
			Prevista (ton)	Comprovada (ton)	Déficit %	Não PGRCC (und)	Transporte Irregular M _{RCD} (ton)	Destinação Irregular M _{RCD} (ton)
202	Demolição	Edificação de Uso Não Habitacional (Hotel)	8.503	0	100%	1	8.503	8.503
141	Demolição	Edificação de Uso Habitacional Unifamiliar	327	235	28%	0	2.127	2.127
	Construção	Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar (Cj Apartamentos)	2.035	0	100%	0		
112	Demolição	Edificação de Uso Não Habitacional (Galeria Comercial)	439	139	68%	0	1.389	1.389
	Construção	Edificação de Uso Não Habitacional (Banco)	1.089	0	100%	0		
113	Demolição	Edificação de Uso Não Habitacional (Galeria Comercial)	719	0	100%	1	742	742
	Construção	Edificação de Uso Não Habitacional (Farmácia)	23	0	100%	1		
128	Demolição	Edificação de Uso Não Habitacional (Farmácia)	236	0	100%	1	236	236
54	Demolição	Edificação de Uso Habitacional Unifamiliar (Casa)	136	0	100%	1	136	136
Total			13.507	374	97%	5	13.133	13.133

Fonte: Elaborado pelo autor

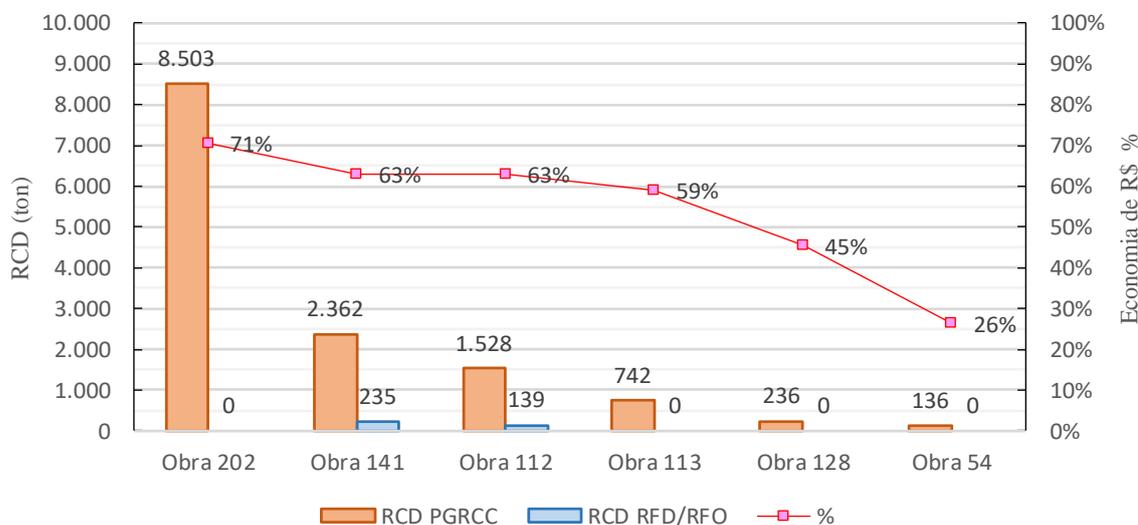
Tabela 4.44 – Custos diretos com o manejo dos RCD e custos diretos com infrações de “não PGRCC”, transporte irregular e destinação irregular dos resíduos

ID Obra	SEM INFRAÇÕES		COM INFRAÇÕES								
	M _{RCD} (ton) b	CDMJ R\$ c	M _{RCD} (ton) d	CDMJ R\$ e	Não PGRCC f	M' _{RCD} (ton) g	CDN _{PGRC} R\$ h	CDTr _i R\$ i	CDDe _i R\$ j	CDIF R\$ k=h+i+j	CDTotal R\$ l=e+k
202	8.503	1.387.179	0	-	1	8.503	5.000	397.017	5.000	407.017	407.017
141	2.362	385.337	235	38.338	0	2.127	0	99.313	5.000	104.313	142.651
112	1.528	249.278	139	22.676	0	1.389	0	64.854	5.000	69.854	92.531
113	742	121.040	0	-	2	742	10.000	34.642	5.000	49.642	49.642
128	236	38.501	0	-	1	236	5.000	11.019	5.000	21.019	21.019
54	136	22.195	0	-	1	136	5.000	6.352	5.000	16.352	16.352
	2.203.530			61.014			25.000	613.198	30.000	668.198	729.212

Fonte: Elaborado pelo autor

Dos resultados obtidos para as seis obras estudadas, é possível inferir, que o percentual de economia do gerador com a infração às leis, é diretamente proporcional à massa de resíduos gerados (Figura 4.20). Isto é, quanto menor for o empreendimento e, por conseguinte, a geração de RCD, menor é a economia proporcionada com o descumprimento às leis que regulam a gestão dos Resíduos de Construção e Demolição, a qual pode variar de 71% a 28% – fator de escala.

Figura 4.20 – RCD declarados no PGRCC, RCD apresentados no RFD/RFO e percentual de economia financeira proporcionada pelo pagamento de multas devidas a infrações às leis



Fonte: Elaborado pelo autor

Outrossim, com base nos resultados alcançados, é de simples compreensão, que a legislação vigente (Lei Municipal 17.072/2005), precisa ser revista, com o propósito de ajustar a gradação das penalidades, a exemplo das multas relacionadas à disposição irregular dos RCD, uma vez que atualmente estão limitadas ao valor de cinco mil reais, dentre outras atualizações necessárias.

4.8 INDICADORES DE CUSTO RCD/CUB

Para as análises de custos diretos, foram testadas 27 obras, especificamente, as informações referentes a 26 edifícios de uso habitacional multifamiliar, tipo conjunto de apartamentos, e 1 edifício de uso não habitacional, tipo conjunto de salas (empresarial).

Os resultados da pesquisa são apresentados, segundo 4 composições de obras: (i). Obras constituídas pelas etapas de demolição, escavação e construção (DE&C); (ii). Obras compostas pelas etapas de demolição e construção (D&C); (iii). Obras integradas pelas etapas de escavação e construção (E&C); e (iv). Obras compostas, unicamente, pela etapa de construção (C). Somadas, as obras incluídas na análise estatística, correspondem à 424.118 m² de área construída e à geração de uma massa total de 44,71 milhões de quilos de RCD (Tabela 4.45). Os edifícios selecionados são preponderantemente de padrão construtivo normal, no entanto há algumas edificações de padrão alto e baixo.

Os dados analisados correspondem ao conjunto de indicadores parciais, para cada uma das obras incluídas na amostra, resultantes da razão entre o custo total para o transporte e a disposição final dos RCD gerados, e o custo total de construção, inclusive fundações e elevadores.

A análise de variância, para os indicadores de custo RCD/CUB, foi realizada comparando o indicador médio do grupo 1 (obras com certificação) com o indicador médio do grupo 2 (obras sem certificação). Finalizado o teste estatístico F, foi calculado o indicador médio, inclusive o intervalo de confiança. Os resultados estão adiante detalhados e sintetizados nas Tabelas 4.46, 4.47 e 4.48. Já os intervalos com 95% de confiança, estão plotados na Figura 4.21.

Tabela 4.45 – Quadro resumo das obras estudadas e dados dos custos de construção e dos custos de transporte e destinação dos RCD gerados

Etapa/ID Obra (Tipo Edifício)	AC m ²	ACE m ²	Padrão Construção NBR 12.721	CUBx R\$/m ²	Custo Construção R\$	Massa Liq RCD ton	T/D RCD R\$/ton	Custo RCD R\$
DE&C 6								
005 (Cj Ap)	19.933	19.696	R16 - A	1.917,90	37.774.103,34	4.835	163,14	788.723,17
077 (Cj Ap)	19.622	19.258	R16 - N	1.511,93	29.117.106,32	2.897	163,14	472.624,74
218 (Cj Ap)	45.546	43.016	R8 - A	1.967,74	84.643.592,17	3.675	163,14	599.501,98
003 (Cj Ap)	5.209	5.039	R16 - N	1.511,93	7.618.521,76	1.002	163,14	163.513,59
015 (Cj Ap)	3.833	3.658	R16 - N	1.511,93	5.531.230,97	1.335	163,14	217.871,84
187 (Cj Ap)	5.941	5.767	R8 - N	1.550,63	8.941.749,40	1.399	163,14	228.280,17
D&C 8								
009 (Cj Ap)	14.560	14.273	R16 - A	1.917,90	27.374.250,92	1.865	163,14	304.216,95
029 (Cj Ap)	4.356	4.188	R8 - N	1.550,63	6.494.306,82	601	163,14	98.052,03
145 (Cj Ap)	11.210	10.823	R16 - N	1.511,93	16.364.120,98	864	163,14	140.956,22
007 (Cj Ap)	277	277	PP-B	1.376,25	381.331,35	100	163,14	16.318,89
238 (Cj Ap)	14.689	14.271	R16 - N	1.511,93	21.577.471,80	1.054	163,14	171.881,04
240 (Cj Ap)	368	368	PP-N	1.790,69	658.973,92	40	163,14	6.448,92
251 (Cj Ap)	6.560	6.275	R16 - N	1.511,93	9.487.217,18	1.118	163,14	182.323,63
286 (Cj Ap)	6.118	5.765	R8 - N	1.550,63	8.939.310,08	1.509	163,14	246.127,69
E&C 4								
080 (Cj Ap)	16.681	16.461	R16 - A	1.917,90	31.571.441,45	8.445	163,14	1.377.730,35
180 (Cj Ap)	17.614	17.185	R16 - N	1.511,93	25.981.890,15	7.829	163,14	1.277.180,64
016 (Cj Ap)	2.943	2.760	R16 - N	1.511,93	4.172.175,56	777	163,14	126.764,67
284 (Cj Ap)	4.417	4.243	R16 - N	1.511,93	6.414.581,86	403	163,14	65.818,83
C 9								
010 (Cj Ap)	19.003	18.427	R16 - N	1.511,93	27.860.533,87	985	163,14	160.673,32
028 (Cj Ap)	3.463	3.263	R8 - N	1.550,63	5.060.442,84	87	163,14	14.181,76
056 (Cj Ap)	17.245	17.072	R16 - N	1.511,93	25.812.276,00	1.237	163,14	201.787,87
143 (Cj Ap)	19.198	18.829	R16 - N	1.511,93	28.467.646,44	1.302	163,14	212.334,87
285 (Cj Ap)	8.222	7.765	R8 - N	1.550,63	12.040.371,45	617	163,14	100.624,75
031 (Cj Ap)	7.564	7.248	R8 - N	1.550,63	11.239.723,46	125	163,14	20.430,02
039 (Cj SI)	848	825	CSL - 8	1.497,74	1.235.487,81	74	163,14	12.091,94
100 (Cj Ap)	2.856	2.791	R8 - N	1.550,63	4.327.267,37	184	163,14	29.941,08
253 (Cj Ap)	4.104	3.884	R8 - N	1.550,63	6.023.191,30	357	163,14	58.172,46
Total 27	424.118	410.509			696.876.709,56	44.714		7.294.573,44

AC = Área Construída. ACE = Área Construída Equivalente. CUB = Custo Unitário Básico de Construção (data-base out/2019).

T/D = Custo de Transporte e Destinação de RCD (data-base mai/2019).

Fonte: Elaborado pelo autor

4.8.1 Indicador de Custo RCD/CUB (DE&C)

A amostra DE&C corresponde a 6 edifícios de uso habitacional, tipo conjunto de apartamentos, sendo 2 edifícios de padrão de acabamento alto e 4 edifícios de padrão de acabamento normal.

Aplicado o Teste F, foi obtido $F_o 4,31 < F_c 1,22$. Logo, a amostra é considerada estatisticamente válida, uma vez que não há diferença significativa entre os indicadores do grupo 1 e grupo 2. Em seguida, foi calculado e obtido o indicador médio $RCD_{de\&c}/CUB I_{med}$ igual a 2,18, e

respectivo intervalo com 95% de confiança, com limite inferior e limite superior igual a 1,05 e 3,30, respectivamente.

De outro modo, a pesquisa revela que o custo médio com o manejo dos RCD corresponde, em média, a 2,18% do CUB de construção para edifícios residenciais multifamiliares, padrão normal ou alto, cujas obras são compostas pelas etapas de demolição, escavação de semienterrado/elementos de fundação e construção propriamente dita. O custo de transporte/destinação dos RCD pode variar de 1,05% a 3,30% em relação ao CUB, com 95% de confiança.

4.8.2 Indicador de Custo RCD/CUB (D&C)

A amostra D&C implica em 8 edifícios de uso habitacional, tipo conjunto de apartamentos, sendo 1 edifício de padrão de acabamento alto, 6 edifícios de padrão de acabamento normal e 1 edifício de padrão popular baixo.

A análise de variância foi realizada por meio do Teste F, e foi obtido $F_0 0,88 < F_c 5,99$. Dado o resultado, a amostra é considerada estatisticamente válida, visto que, não há diferença significativa entre os indicadores do grupo 1 e grupo 2. Procedidos os cálculos, foi obtido o indicador médio $RCD_{d\&c}/CUB I_{med}$ igual a 1,78, e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 0,77 e 2,79.

Logo, os resultados do estudo, revelam que o custo médio com o transporte e a destinação dos RCD equivalem, em média, a 1,78% do CUB de construção para edifícios residenciais multifamiliares, com padrão de acabamento baixo, normal ou alto. Tais obras são compostos pelas etapas de demolição e construção. O custo de manejo dos RCD varia entre 0,77% a 2,79% do CUB, com 95% de confiança.

4.8.3 Indicador de Custo RCD/CUB (E&C)

A amostra DE&C corresponde a 4 prédios de uso habitacional, tipo conjunto de apartamentos, sendo 1 edifício de padrão de acabamento alto e 3 edifícios de padrão de acabamento normal.

A análise de variância foi realizada com a aplicação do Teste F, e foi obtido $F_0 6,25 < F_c 38,51$. Portanto, a amostra é considerada estatisticamente válida, uma vez que não há diferença

significativa entre os indicadores dos grupos 1 e 2. Em seguida, foi calculado e obtido o indicador médio $RCD_{e\&c}/CUB I_{med}$ igual a 3,34, e respectivo intervalo com 95% de confiança, com limite inferior e limite superior igual a 0,58 e 6,09, respectivamente.

De outro forma, é possível compreender que o custo médio com o transporte e a destinação dos RCD equivale, em média, a 3,34% do CUB de construção para edifícios residenciais multifamiliares, padrão normal ou alto, cujas obras são compostas pelas etapas de escavação de semienterrado/elementos de fundação e construção. O custo de manejo dos RCD pode variar de 0,58% a 6,09% em relação ao CUB, com 95% de confiança.

4.8.4 Indicador de Custo RCD/CUB (C)

A amostra Construção (C) implica em 9 prédios, sendo 1 edifício de uso não habitacional, tipo conjunto de salas, e 8 edifícios de uso habitacional, tipo conjunto de apartamentos. Os 8 edifícios habitacionais correspondem ao padrão normal, e o edifício empresarial corresponde ao padrão de acabamento normal.

Aplicado o Teste F, foi obtido $F_o 0,09 < F_c 5,59$. Portanto, a amostra é considerada estatisticamente válida, uma vez que não há diferença significativa entre os indicadores do grupo 1 e grupo 2. Em seguida, foi calculado e obtido o indicador médio $RCD_c/CUB I_{med}$ igual a 0,67, e respectivo intervalo com 95% de confiança, com limite inferior e limite superior igual a 0,46 e 0,89, respectivamente.

De outro modo, a pesquisa revela que o custo médio com o transporte e a destinação dos RCD equivale, em média, a 0,67% do CUB de construção, para edifícios residenciais multifamiliares ou edifícios comerciais, padrão normal, cujas obras são compostas exclusivamente pela etapa de construção. O custo de manejo dos RCD pode variar de 0,46% a 0,89% em relação ao CUB, com 95% de confiança.

Embora a análise de variância para os indicadores de custo RCD/CUB tenha demonstrado a validade estatística para todas as amostras (Tabela 4.47), foi realizada uma análise secundária tendo como base o coeficiente de variação (CV).

Os coeficientes de variação verificados para os indicadores de custo RCD/CUB correspondem a: $RCD_{DE\&C}/CUB$ (49%); $RCD_{D\&C}/CUB$ (68%); $RCD_{E\&C}/CUB$ (52%); RCD_C/CUB (42%) (Tabela 4.48).

Tabela 4.46 – Estatística descritiva dos indicadores de custo de transporte e destinação de RCD em relação ao Custo Unitário Básico (CUB) de construção

Indicador	Grupo	n	Soma	\bar{X}	S	S ²
$RCD_{DE\&C}/CUB$	1	3	4,42	1,47	0,70	0,49
	2	3	8,64	2,88	0,94	0,88
	Total	6	13,06			
$RCD_{D\&C}/CUB$	1	3	3,48	1,16	1,46	2,14
	2	5	10,73	2,15	1,43	2,04
	Total	8	14,21			
$RCD_{E\&C}/CUB$	1	2	9,28	4,64	0,39	0,15
	2	2	4,06	2,03	1,42	2,02
	Total	4	13,34			
RCD_C/CUB	1	5	3,22	0,64	0,23	0,05
	2	4	2,82	0,70	0,37	0,14
	Total	9	6,04			

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.47 – Análise de variância dos indicadores de custo de transporte e destinação de RCD em relação ao Custo Unitário Básico (CUB) de construção

Indicador	k	n _T	\bar{X}	S _w ²	S _b ²	ν_1	ν_2	F _o	F _c	α	Resultado
$RCD_{DE\&C}/CUB$	2	6	2,18	0,69	2,97	1	4	4,31	12,22	0,05	Aceitar
$RCD_{D\&C}/CUB$	2	8	1,78	2,07	1,82	1	6	0,88	5,99	0,05	Aceitar
$RCD_{E\&C}/CUB$	2	4	3,34	1,09	6,80	1	2	6,25	38,51	0,05	Aceitar
RCD_C/CUB	2	9	0,67	0,09	0,01	1	7	0,09	5,59	0,05	Aceitar

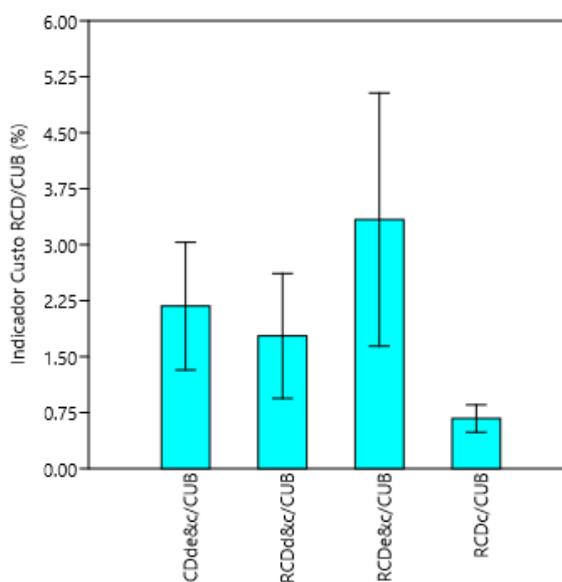
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.48 – Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para os indicadores RCD/CUB

Indicador	I _{med} %	S	CV	NC	L _i %	L _s %
$RCD_{DE\&C}/CUB$	2,18	1,07	49%	95%	1,05	3,30
$RCD_{D\&C}/CUB$	1,78	1,21	68%	95%	0,77	2,79
$RCD_{E\&C}/CUB$	3,34	1,73	52%	95%	0,58	6,09
RCD_C/CUB	0,67	0,28	42%	95%	0,46	0,89

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.21 – Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores de transporte e destinação de RCD em relação ao Custo Unitário Básico (CUB) de construção (L_i , L_s e I_{med})



Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, segundo as regras empíricas contidas no estudo de Martins e Domingues (2014), todos os indicadores médios RCD/CUB obtidos no presente estudo tem elevada dispersão entre os indicadores médios parciais, uma vez que o $CV > 30\%$. De outro modo, todos os indicadores médios de custo RCD/CUB revelados tem baixa representatividade da relação entre custo de manejo dos RCD e custo de construção dos edifícios. Este contexto de elevada dispersão dos indicadores médios parciais pode estar relacionado à inclusão de edifícios com padrão construtivo baixo e elevado em detrimento da predominância de edificações de padrão normal, bem como ao pequeno tamanho das amostras. Os indicadores medianos do custo RCD/CUB e respectivos indicadores máximo e mínimo (Tabela 4.49) são uma boa alternativa para a estimativa do custo de manejo de resíduos para obras de padrão normal.

Tabela 4.49 – Mediana, máximo e mínimo para os indicadores RCD/CUB

Indicador	I_{md} %	$I_{máx}$ %	$I_{mín}$ %
RCD _{DE&C} /CUB	2,12	3,94	0,71
RCD _{D&C} /CUB	1,31	4,28	0,80
RCD _{E&C} /CUB	3,70	4,92	1,03
RCD _C /CUB	0,75	0,98	0,18

Fonte: Elaborado pelo autor

4.9 INDICADORES DE TRANSPORTE E REUTILIZAÇÃO DE RCD

Foram testadas 101 obras, especificamente, os dados referentes aos indicadores parciais Ip, segundo 43 obras de demolição, 18 obras de escavação (8 semienterrados e 10 elementos de fundação) e 40 obras de construção. Somadas, as obras incluídas na análise estatística, correspondem à geração de uma massa total de 97,39 milhões de quilos de RCD (Tabela 4.50).

Tabela 4.50 – Resumo das obras estudadas para o cálculo dos indicadores de transporte e reutilização de RCD e respectivas massas geradas

Etapa da Obra	Quant. de Obras	Massa RCD (kg)		Canteiro REUT
		Transporte/Destinação TDCB	CTR TDCP	
Demolição				
Edificação de Uso Habitacional Unifamiliar	26	3.799.088	582.316	141.190
Edificação de Uso Não Habitacional (Educativo)	2	2.448.620	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional (Clube)	1	1.344.000	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional (Comercial)	6	1.265.755	11.022	54.520
Edificação de Uso Não Habitacional (Galpão)	4	913.609	-	93.090
Elementos de Pavimentação	1	125.040	-	-
Edificação de Uso Habitacional (Casa)	1	24.385	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional (Sub. Elétrica)	1	16.481	-	103.000
Edificação de Uso Não Habitacional (Templo Relig.)	1	-	16.640	-
Escavação				
Elementos de Fundação	9	25.173.430	203.196	262.000
Pav Semi-enterrado, Elementos de Fundação	7	16.097.375	277.678	8.506.610
Elementos de Fundação, Urbanização	1	12.981.890	-	-
Elementos de Pavimentação	1	35.790	-	-
Construção				
Edif. Uso Hab. Multifamiliar - Cj. Apart.	21	-	20.146.379	-
Edif. Uso Misto - Cj. Apart./Cj. Salas	1	-	1.718.410	-
Edif. Uso Não Hab. - Prisional	1	-	278.400	-
Infraestrutura Urbana	1	-	245.470	-
Edif. Uso Não Hab. - Educativo	1	-	130.928	-
Edif. Uso Não Hab. - Comercial	4	-	101.127	-
Edif. Uso Hab. Multifamiliar - Cj. Casas	2	-	73.690	-
Edif. Uso Não Hab. - Templo Religioso	1	-	72.240	-
Edif. Uso Não Hab. - Galpão (Reforma)	1	-	54.324	-
Edif. Uso Não Hab. - Sub. Elétrica	2	-	35.629	-
Edif. Uso Hab. Unifamiliar - Casa	2	-	24.894	-
Edif. Uso Não Hab. - Educativo (Reforma)	1	-	18.190	-
Edif. Uso Hab. Unifamiliar - Casa (Reforma)	1	-	13.103	-
Edif. Uso Não Hab. - Comercial (Reforma)	1	-	4.903	-
Total	101	64.225.462	24.008.540	9.160.410
Total Geral				97.394.411

TDCB = Transporte e Destinação em Caminhão Basculante. TDCP = Transporte e Destinação em Caminhão Poliguindaste. REUT = Reutilização

Fonte: Elaborado pelo autor

Visando uma melhor didática da análise e exposição dos resultados, o estudo é apresentado segundo 3 associações de obras civis, executadas de maneira sequenciada – em regra. São elas:

i. Demolição, Escavação e Construção (D,E&C); ii. Demolição e Construção (D&C); e iii. Escavação e Construção (E&C).

Para os resíduos oriundos das obras inseridas na pesquisa, são possíveis dois caminhos para a destinação final dos RCD: o transporte para Central de Tratamento de Resíduos (RCD); e a reutilização no próprio canteiro de obras. O transporte foi realizado com uso de caminhão basculante ou caminhão poliguindaste. A reutilização pode ter sido promovida com o uso de resíduos beneficiados ou não, porém, a reciclagem dos resíduos não foi objeto do presente estudo.

Os dados analisados se referem aos indicadores parciais I_p segundo 43 obras de demolição, 18 obras de escavação (8 semienterrados e 10 elementos de fundação) e 40 obras de construção. O estudo abrangeu dois tipos de veículos utilizados para transportar e destinar os RCD do canteiro de obras até a Central de Tratamento de Resíduos (CTR), quais sejam, o veículo do tipo caminhão basculante (CB) e caminhão poliguindaste (CP) e ainda os resíduos reutilizados (REUT) no canteiro de obras.

Portanto, o estudo abrangeu dois tipos de veículos utilizados para transportar e destinar os RCD, do canteiro de obras até a Central de Tratamento de Resíduos (CTR), quais sejam, o veículo do tipo caminhão basculante (CB) e caminhão poliguindaste (CP), e ainda, os resíduos reutilizados (REUT) no canteiro de obras. Através da análise estatística Teste F, foram comparadas as médias dos indicadores de transporte e reutilização de RCD de dois grupos amostrais, o grupo 1, referente às obras executadas por construtores detentores da certificação ISO 9001 e/ou ISO 14001 (controle rigoroso dos dados), e o grupo 2, pertinente às obras executadas por empresas construtoras sem certificação.

4.9.1 Indicadores de Transporte e Reutilização de RCD (D,E&C)

A análise de variância, para os resíduos oriundos de obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção, foi realizada comparando o indicador médio do grupo 1 (obras com certificação) com o indicador médio do grupo 2 (obras sem certificação). Após o teste estatístico F, foi calculado o indicador médio, inclusive o intervalo de confiança. Os resultados estão adiante detalhados e sintetizados nas Tabelas 4.51, 4.52 e 4.53. Já os intervalos com 95% de confiança, estão plotados na Figura 4.22.

A amostra DE&C implica em 8 empreendimentos, que correspondem a 18 obras de demolição (10 edificações hab. unifamiliares, 4 edificações comerciais, 1 galpão, 1 edificação educacional, 1 edificação do tipo clube, 1 obra de pavimentação), 8 obras de escavação (5 escavações de elementos de fundação, 2 obras de escavação de semienterrados e elementos de fundação e 1 obra de pavimentação), e ainda 8 obras de construção (6 edifícios tipo cj. de apart., 1 edificação prisional e 1 obra de pavimentação).

Transporte e Destinação com Caminhão Basculante (D,E&C)

Os dados analisados correspondem aos resíduos de demolição, escavação e construção transportados até as Centrais de Tratamento de Resíduos com uso de caminhão basculante. Aplicado o Teste F, foi obtido $F_0 0,10 < F_c 5,59$. Logo, a amostra é considerada estatisticamente válida, uma vez que não há diferença significativa entre os coeficientes do grupo 1 e grupo 2. Em seguida, foi calculado e obtido o indicador médio $TDCB_{DE\&C} I_{med}$ igual a 0,60, e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 0,41 e 0,79.

Portanto, é possível afirmar que a cada 100 kg de RCD, gerados em canteiros de obras compostos pelas etapas de demolição, escavação e construção, em média 60 kg de resíduos são transportados com uso de caminhão caçamba basculante, quantitativo que pode variar entre 41 kg e 70 kg, com 95% de confiança.

Transporte e Destinação com Caminhão Poliguindaste (D,E&C)

As informações testadas implicam em resíduos de demolição, escavação de construção transportados para destinação aos Centros de Tratamento de Resíduos com emprego de caminhão poliguindaste - resíduos acondicionados em caixa coletora. O Teste F resultou em $F_0 0,49 < F_c 5,99$, portanto, a amostra é considerada estatisticamente válida. O indicador médio $TDCP_{DE\&C}$ encontrado é igual a 0,26, e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 0,12 e 0,41.

De outro modo, os resultados obtidos permitem inferir, que a cada 100 kg de RCD, oriundos de obras compostas por demolição, escavação e construção, em média 26 kg de resíduos são transportados com uso de caminhão poliguindaste, indicador que pode variar entre 12 kg e 41 kg, com 95% de confiança.

Reutilização no Canteiro de Obras (D,E&C)

Os dados analisados correspondem aos resíduos destinados à reutilização dentro do canteiro de obras de origem, por conseguinte, sem a necessidade de transporte externo dos RCD gerados. A análise de variância F, implica em $F_0 0,44 < F_c 5,59$, e por conseguinte, a amostra é estatisticamente válida. O indicador médio $REUT_{DE\&C}$ obtido corresponde a $I_{med} 0,14$, o qual pode variar no intervalo compreendido entre 0,00 e 0,35.

Logo, de outra forma, é possível compreender que a cada 100 kg de RCD gerado em obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção, em média 14 kg de resíduos são reutilizados dentro do canteiro de obras, como massa de aterro, sem um trabalho minucioso de segregação, ou ainda, sob a forma de agregado reciclado, não sendo possível precisar a proporção de uma e outra parte.

Tabela 4.51 – Estatística descritiva do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção.

Indicador	Grupo	n	Soma	\bar{X}	S	S ²
TDCB _{DE&C}	1	4	2,52	0,63	0,29	0,08
	2	4	2,30	0,58	0,19	0,03
	Total	8	4,82			
TDCP _{DE&C}	1	4	0,87	0,22	0,14	0,02
	2	4	1,23	0,31	0,21	0,05
	Total	8	2,10			
REUT _{DE&C}	1	4	0,62	0,15	0,31	0,09
	2	4	0,47	0,12	0,23	0,05
	Total	8	1,08			

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.52 – Análise de variância do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção.

Indicador	k	n _T	\bar{X}	S_w^2	S_b^2	ν_1	ν_2	F ₀	F _c	α	Resultado
TDCB _{DE&C}	2	8	0,60	0,06	0,01	1	6	0,10	5,59	0,05	Aceitar
TDCP _{DE&C}	2	8	0,26	0,03	0,02	1	6	0,49	5,59	0,05	Aceitar
REUT _{DE&C}	2	8	0,14	0,07	0,00	1	6	0,04	5,59	0,05	Aceitar

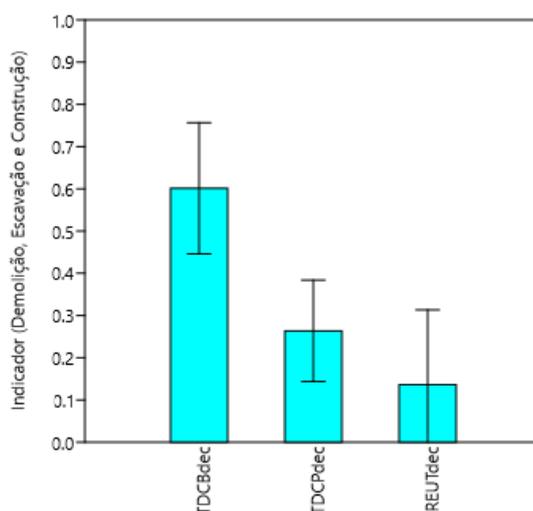
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.53 – Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para o indicador de transporte e destinação de RCD, obras de demolição, escavação e construção

Indicador	I_{med}	S	CV	NC	L_i	L_s
TDCB _{DE&C}	0,60	0,23	38%	95%	0,41	0,79
TDCP _{DE&C}	0,26	0,17	67%	95%	0,12	0,41
REUT _{DE&C}	0,14	0,25	87%	95%	0,00	0,35
	1,00					

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.22 – Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores de transporte e reutilização de RCD para obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção (L_i, L_s e I_{med}).



Fonte: Elaborado pelo autor

Embora a análise de variância para os indicadores de transporte e reutilização de RCD tenha atestado a validade estatística para todas as amostras (Tabela 4.52), foi realizada uma análise secundária tendo como base o coeficiente de variação (CV).

Os coeficientes de variação verificados para os indicadores médios de transporte e reutilização de RCD são iguais a: TDCB_{DE&C} (38%); TDCP_{DE&C} (67%); e REUT_{DE&C} (87%) (Tabela 4.53).

Logo, conforme as regras empíricas contidas no estudo de Martins e Domingues (2014), todos os indicadores médios de transporte e reutilização de resíduos, segundo as obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção, tem alta dispersão entre os indicadores médios parciais que os constituem, uma vez que o $CV > 30\%$. Portanto, os indicadores médios

$TDCB_{DE\&C}$, $TDCP_{DE\&C}$ e $REUT_{DE\&C}$ não representam adequadamente os RCD transportados ou reaproveitados de obras executadas em Recife. Os indicadores medianos, máximos e mínimos estão detalhados na Tabela 4.54, os quais são uma alternativa aos indicadores médios.

Apesar dos indicadores de transporte e reutilização de RCD terem alta dispersão entre os dados que os embasam, estes correspondem a um importante dado para melhor compreensão das problemáticas relativas à modalidade de transporte e reutilização de resíduos gerados em Recife.

Tabela 4.54 – Mediana, máximo e mínimo dos indicadores de transporte e reutilização de RCD segundo as obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção

Indicador	I_{md} %	I_{máx} %	I_{mín} %
$TDCB_{DE\&C}$	0,66	0,94	0,25
$TDCP_{DE\&C}$	0,26	0,60	0,06
$REUT_{DE\&C}$	0,00	0,62	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor

4.9.2 Indicadores de Transporte e Reutilização de RCD (D&C)

O teste estatístico F, utilizado para a análise de variância, segundo os resíduos de obras compostas pelas etapas de demolição e construção, foi realizada comparando o indicador médio do grupo 1 (obras com certificação) com o indicador médio do grupo 2 (obras sem certificação). Após a análise estatística, foi calculado o indicador médio, e respectivo intervalo de confiança. Os resultados estão adiante detalhados e sintetizados nas Tabelas 4.55, 4.56 e 4.57. Já os intervalos com 95% de confiança (limites inferior e superior), estão plotados na Figura 4.23.

A amostra D&C corresponde a 22 empreendimentos, que implicam em 25 obras de demolição (17 edificações hab. unifamiliar, 2 edificações comerciais, 3 galpões, 1 edificação educacional, 1 templo religioso, 1 subestação elétrica), e 22 obras de construção (8 edifícios hab. cj. apart., 4 edificações comerciais, 2 edifícios hab. cj. casas, 1 edificação hab. unifamiliar, 1 templo religioso, 2 subestações elétricas, 1 edificação hab. unifamiliar (reforma), 1 edificação educacional (reforma), 1 galpão (reforma) e 1 edificação comercial (reforma).

Transporte e Destinação com Caminhão Basculante (D&C)

As informações testadas implicam em resíduos de demolição e construção transportados para destinação aos Centros de Tratamento de Resíduos com emprego de caminhão basculante. O Teste F resultou em $F_o 0,27 < F_c 4,35$, portanto, a amostra é considerada estatisticamente válida, uma vez que não há diferença significativa entre os coeficientes do grupo 1 e grupo 2. O indicador médio $TDCB_{D\&C}$ encontrado é igual a 0,34, e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 0,18 e 0,50.

De outro modo, os resultados obtidos permitem inferir, que a cada 100 kg de RCD, oriundos de obras compostas pelas etapas de demolição e construção, em média 34 kg de resíduos são transportados com uso de caminhão basculante, indicador que pode variar de 18 kg a 50 kg, com 95% de confiança.

Transporte e Destinação com Caminhão Poliguindaste (D&C)

Os dados analisados correspondem aos resíduos de demolição e construção transportados até as Centrais de Tratamento de Resíduos com uso de caminhão poliguindaste (RCD acondicionados em caixa coletora). Aplicado o Teste F, foi obtido $F_o 2,30 < F_c 4,35$. Logo, a amostra é considerada estatisticamente válida, uma vez que não há diferença significativa entre os coeficientes do grupo 1 e grupo 2. Em seguida, foi calculado e obtido o indicador médio $TDCP_{D\&C} I_{med}$ igual a 0,51, e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 0,34 e 0,68.

Portanto, é possível afirmar que a cada 100 kg de RCD, gerados em canteiros de obras compostos pelas etapas de demolição e construção, em média 51 kg de resíduos são transportados com uso de caminhão poliguindaste, quantitativo que pode variar de 34 kg a 68 kg, com 95% de confiança.

Reutilização no Canteiro de Obras (D&C)

Os quantitativos correspondem aos resíduos transportados dentro do canteiro de obras para sua reutilização, portanto, sem a necessidade de transporte externo dos RCD gerados. A análise de variância F, implica em $F_o 1,74 < F_c 4,35$, e por conseguinte, a amostra é estatisticamente válida. O indicador médio $REUT_{D\&C}$ obtido corresponde a $I_{med} 0,15$, que pode variar no intervalo compreendido entre 0,02 e 0,28.

De outro modo, é possível inferir que a cada 100 kg de RCD gerado em obras compostas pelas etapas de demolição e construção, em média 15 kg de resíduos são reutilizados dentro do canteiro de obras, como material para aterro, sem segregação, ou ainda, sob a forma de agregado reciclado, não sendo possível precisar a proporção de resíduos não reciclados e reciclados.

Tabela 4.55 – Estatística descritiva do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de demolição e construção.

Indicador	Grupo	n	Soma	\bar{X}	S	S ²
TDCB _{D&C}	1	5	1,32	0,26	0,38	0,14
	2	17	6,14	0,36	0,37	0,14
	Total	22	7,45			
TDCP _{D&C}	1	5	3,68	0,74	0,38	0,14
	2	17	7,62	0,45	0,37	0,14
	Total	22	11,30			
REUT _{D&C}	1	5	0,00	0,00	0,00	0,00
	2	17	3,24	0,19	0,32	0,10
	Total	22	3,24			

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.56 – Análise de variância do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de demolição e construção.

Indicador	k	n _T	\bar{X}	S _w ²	S _b ²	ν_1	ν_2	F ₀	F _c	α	Resultado
TDCB _{D&C}	2	22	0,34	0,14	0,04	1	20	0,27	4,35	0,05	Aceitar
TDCP _{D&C}	2	22	0,51	0,14	0,32	1	20	2,30	4,35	0,05	Aceitar
REUT _{D&C}	2	22	0,15	0,08	0,14	1	20	1,74	4,35	0,05	Aceitar

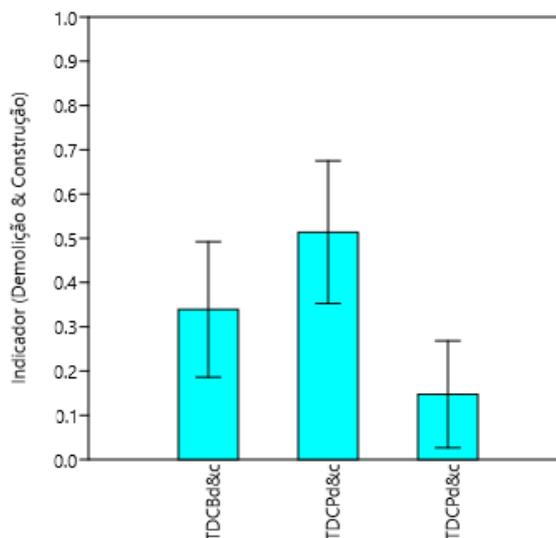
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.57 – Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para o indicador de transporte e destinação de RCD, obras demolição e construção.

Indicador	I _{med}	S	CV	NC	L _i	L _s
TDCB _{D&C}	0,34	0,37	8%	95%	0,18	0,50
TDCP _{D&C}	0,51	0,39	75%	95%	0,34	0,68
REUT _{D&C}	0,15	0,29	96%	95%	0,02	0,28
	1,00					

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.23 – Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores de transporte e reutilização de RCD para obras compostas pelas etapas de demolição e construção (L_i , L_s e I_{med}).



Fonte: Elaborado pelo autor

A despeito da análise de variância para os indicadores de transporte e reutilização de RCD tenha revelado a aceitação estatística para todas as amostras (Tabela 4.56), foi desenvolvida uma análise secundária tendo como foco o coeficiente de variação (CV).

Os coeficientes de variação (CV) encontrados para os indicadores médios de transporte e reutilização de RCD correspondem a: $TDCB_{D\&C}$ (8%); $TDCP_{D\&C}$ (75%); e $REUT_{D\&C}$ (96%) (Tabela 4.57).

Portanto, conforme o método empírico publicado por Martins e Domingues (2014), o indicador $TDCB_{D\&C}$ referente ao transporte com caminhão basculante implica em uma baixa dispersão entre os indicadores médios parciais que os compõem, tendo em vista que o coeficiente de variação é menor do que 15%. Logo, o indicador médio $TDCB_{D\&C}$ representa convenientemente os resíduos transportados com emprego de caminhão basculante.

Os demais indicadores médios $TDCP_{D\&C}$ e $REUT_{D\&C}$ implicam em uma elevada dispersão entre os indicadores médios parciais, visto que o coeficiente de variação $CV > 30\%$. Por conseguinte, estes indicadores médios não retratam convenientemente os RCD transportados com caminhão poliguindaste ou reaproveitados. No entanto, os indicadores médios $TDCP_{D\&C}$ e $REUT_{D\&C}$ correspondem a importante dado para estudo dos problemas de transporte e reutilização de RCD na cidade de Recife. Os indicadores medianos, máximos e mínimos estão plotados na Tabela 4.58 e correspondem a uma alternativa aos indicadores médios.

No entanto, mesmo frente à elevada dispersão entre os indicadores parciais de transporte e reutilização de RCD, eles implicam em uma importante informação para compreensão dos problemas verificados no transporte e reutilização dos RCD gerados em Recife.

Tabela 4.58 – Mediana, máximo e mínimo dos indicadores de transporte e reutilização de RCD segundo as obras compostas pelas etapas de demolição e construção

Indicador	I_{md} %	I_{máx} %	I_{mín} %
TDCB _{D&C}	0,19	0,94	0,00
TDCP _{D&C}	0,31	1,00	0,03
REUT _{D&C}	0,00	0,84	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor

4.9.3 Indicadores de Transporte e Reutilização de RCD (E&C)

O estudo estatístico (análise de variância), para os resíduos oriundos de obras compostas pelas etapas de escavação e construção, foi realizada comparando o indicador médio do grupo 1 (obras com certificação) com o indicador médio do grupo 2 (obras sem certificação). Após o teste F, foram calculados o indicador médio e limites inferior e superior, segundo intervalo com 95% de confiança. Os resultados estão adiante detalhados e sintetizados nas Tabelas 4.59, 4.60 e 4.61. Já os limites inferior e superior, com 95% de confiança, estão plotados na Figura 4.24.

A amostra E&C corresponde a 10 empreendimentos, que consistem em 10 obras de escavação (5 escavações de semienterrados/elementos de fundação, 4 escavações de elementos de fundações e 1 escavação de loteamento (arruamentos)), e 10 obras de construção (7 edif. hab. cj. apart., 1 edif. misto cj. apart./cj. salas, 1 edificação hab. unifamiliar e 1 edificação educacional).

Transporte e Destinação com Caminhão Basculante (E&C)

Os dados analisados correspondem aos resíduos de escavação e construção transportados até as Centrais de Tratamento de Resíduos com uso de caminhão basculante. Aplicado o Teste F, foi obtido $F_o 9,63 > F_c 7,57$. Logo, a amostra não é considerada estatisticamente válida, sendo, portanto, rejeitada, uma vez que há diferença significativa entre os coeficientes do grupo 1 e

grupo 2. Mesmo a amostra sendo rejeitada, foi calculado e obtido o indicador médio $TDCB_{E\&C}$ I_{med} igual a 0,41, e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 0,12 e 0,70.

Portanto, é possível afirmar que a cada 100 kg de RCD, gerados em canteiros de obras compostos pelas etapas de escavação e construção, em média 41 kg de resíduos são transportados com uso de caminhão caçamba basculante.

Transporte e Destinação com Caminhão Poliguindaste (E&C)

As informações testadas implicam em resíduos de escavação e construção transportados para destinação aos Centros de Tratamento de Resíduos com emprego de caminhão poliguindaste - resíduos acondicionados em caixa coletora. O Teste F resultou em $F_o 0,78 < F_c 7,57$, portanto, a amostra é considerada estatisticamente válida, tendo em vista que não há diferença significativa entre os coeficientes do grupo 1 e grupo 2. O indicador médio $TDCP_{E\&C}$ encontrado é igual a 0,40, e respectivo intervalo com 95% de confiança, compreendido entre 0,13 e 0,67.

De outro modo, os resultados obtidos permitem inferir, que a cada 100 kg de RCD, oriundos de obras compostas por escavação e construção, em média 40 kg de resíduos são transportados com uso de caminhão poliguindaste, indicador que pode variar entre 13 kg e 67 kg, com 95% de confiança.

Reutilização no Canteiro de Obras (E&C)

Os dados analisados correspondem aos resíduos destinados à reutilização dentro do canteiro de obras de origem, por conseguinte, sem a necessidade de transporte externo dos RCD gerados – alternativa mais sustentável, do ponto de vista ambiental. A análise de variância F, implica em $F_o 2,14 < F_c 7,57$, e por conseguinte, a amostra é estatisticamente válida. O indicador médio $REUT_{E\&C}$ obtido corresponde a I_{med} 0,18, o qual pode variar no intervalo compreendido entre 0,00 e 0,43.

Logo, de outra forma, é possível compreender que a cada 100 kg de RCD gerado em obras compostas pelas etapas de escavação e construção, em média 18 kg de resíduos são reutilizados dentro do canteiro de obras, para compor aterro, sem a necessidade de segregação, ou ainda,

sob a forma de agregado reciclado, não sendo possível precisar a proporção de uma e outra parte, tendo em vista não ter sido foco com presente estudo.

Tabela 4.59 – Estatística descritiva do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de escavação e construção

Indicador	Grupo	n	Soma	\bar{X}	S	S ²
TDCB _{E&C}	1	4	3,03	0,76	0,05	0,00
	2	6	1,09	0,18	0,36	0,13
	Total	10	4,13			
TDCP _{E&C}	1	4	0,97	0,24	0,05	0,00
	2	6	2,27	0,38	0,47	0,22
	Total	10	3,23			
REUT _{E&C}	1	4	0,00	0,00	0,00	0,00
	2	6	1,85	0,31	0,41	0,17
	Total	10	1,85			

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.60 – Análise de variância do indicador de transporte e reutilização de RCD, para obras compostas pelas etapas de escavação e construção

Indicador	k	n _T	\bar{X}	S _w ²	S _b ²	ν_1	ν_2	F _o	F _c	α	Resultado
TDCB _{E&C}	2	10	0,41	0,08	0,80	1	8	9,63	7,57	0,05	Rejeitar
TDCP _{E&C}	2	10	0,40	0,14	0,11	1	8	0,78	7,57	0,05	Aceitar
REUT _{E&C}	2	10	0,18	0,10	0,23	1	8	2,18	7,57	0,05	Aceitar

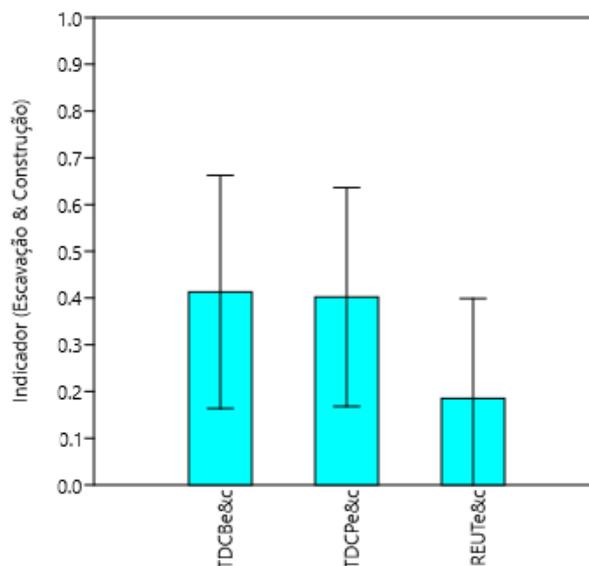
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.61 – Média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, nível de confiança e limites de confiança para o indicador de transporte e destinação de RCD, obras de escavação e construção

Indicador	I _{med}	S	CV	NC	L _i	L _s
TDCB _{E&C}	0,41	0,40	98%	95%	0,12	0,70
TDCP _{E&C}	0,40	0,38	94%	95%	0,13	0,67
REUT _{E&C}	0,18	0,34	86%	95%	-0,06	0,43
	1,00					

Fonte:Elaborado pelo autor

Figura 4.24 – Gráfico Box-Plot da distribuição dos indicadores de transporte e reutilização de RCD para obras compostas pelas etapas de escavação e construção (L_i , L_s e I_{med})



Fonte: Elaborado pelo autor

Embora a análise de variância para os indicadores de transporte e reutilização de RCD tenha revelado a validade estatística para quase todos os indicadores $TDCP_{E\&C}$ e $REUT_{E\&C}$ (Tabela 4.60), foi realizada a análise secundária com base no coeficiente de variação (CV).

Os coeficientes de variação (CV) encontrados para os indicadores médios de transporte e reutilização de RCD correspondem a: $TDCB_{E\&C}$ (98%); $TDCP_{E\&C}$ (94%); e $REUT_{E\&C}$ (86%) (Tabela 4.60).

Logo, conforme as regras empíricas contidas no estudo de Martins e Domingues (2014), todos os indicadores de transporte e reutilização de RCD gerados em obras compostas pelas etapas de escavação e construção importam em uma alta dispersão entre os indicadores parciais que os constituem, visto que os coeficientes de variação são maiores do que 30%. Por consequência, todos os indicadores obtidos não representam adequadamente os resíduos transportados e reutilizados. Os indicadores medianos, máximos e mínimos estão detalhados na Tabela 4.62, os quais são uma alternativa aos indicadores médios.

Todavia, os indicadores médios revelados pelo estudo importam em dados úteis ao aprofundamento de pesquisas relativas aos problemas de transporte e reutilização de resíduos em Recife.

Tabela 4.62 – Mediana, máximo e mínimo dos indicadores de transporte e reutilização de RCD segundo as obras compostas pelas etapas de escavação e construção

Indicador	I_{md} %	I_{máx} %	I_{mín} %
TDCB _{E&C}	0,45	0,90	0,00
TDCP _{E&C}	0,25	1,00	0,06
REUT _{E&C}	0,00	0,90	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor

4.10 DISTRIBUIÇÃO DOS RCD SEGUNDO A CTR

A presente pesquisa, abrangeu o levantamento e análise das informações registradas em 82 processos de licenciamento urbanístico, os quais compõem o banco de dados municipal de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) da cidade do Recife. Dentre os dados analisados, constam a massa total de RCD gerada (129,12 milhões de quilos de RCD) e respectivos locais de destinação, especificamente, as Centrais de Tratamento de Resíduos (CTR).

Parte das obras que compõem os 82 processos, não foram objeto das análises anteriormente detalhadas, tendo em vista que apresentaram inconsistências na prestação de contas dos RCD previstos no PGRCC e aqueles comprovados no Relatório Final de Demolição e Relatório Final de Obra. No entanto, em alguns processos com inconsistências, constavam parte das comprovações dos RCD e respectivos locais de destinação.

Portanto, adiante são apresentadas as massas totais de resíduos gerados, comprovadas através de tíquetes de pesagem, segundo o CTR receptor, para todos os processos nos quais constam a comprovação dos RCD através de tíquetes (Tabela 4.63).

Em ordem decrescente, as Centrais de Tratamento de Resíduos (CTR) mais representativas correspondem a CTR-232 COMLURB, que recebeu 40% da massa total de resíduos gerados, seguida pela CTR Ciclo Ambiental (23%), CTR UTR Paulista (12%), CTR AGR Ambiental (11%) e CTR Candeias (7%).

Tabela 4.63 – Distribuição da massa total de RCD gerada, segundo a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) de destino

ID	CTR	Massa de RCD (kg)	%
1	CTR-232 - COMLURB	51.900.950	40%
2	Ciclo Ambiental	29.263.516	23%
3	UTR Paulista	15.939.415	12%
4	AGR Ambiental	14.182.055	11%
5	CTR Candeias	9.603.675	7%
6	H M de Souza Gayaso	5.880.000	5%
7	Resitech Matech	1.615.600	1%
8	ECOPESA	688.850	1%
9	REMADE	31.558	0%
10	CTR PE	23.130	0%
Total		129.128.749	100%

Fonte: Elaborado pelo autor

4.11 CARTILHA DO PGRCC

Para Siddharthan et al. (2016), a cartilha consiste em uma ferramenta centrada nas necessidades do usuário final (leigo ou não), por meio da qual, é facilitada a comunicação entre o emissor e o leitor, com a descrição das principais questões técnicas, em linguagem simples e objetiva, com o auxílio de ilustrações. Os autores, destacam que a cartilha deve conter recursos interativos, projetados para levar o leitor a reflexões sobre cada questão.

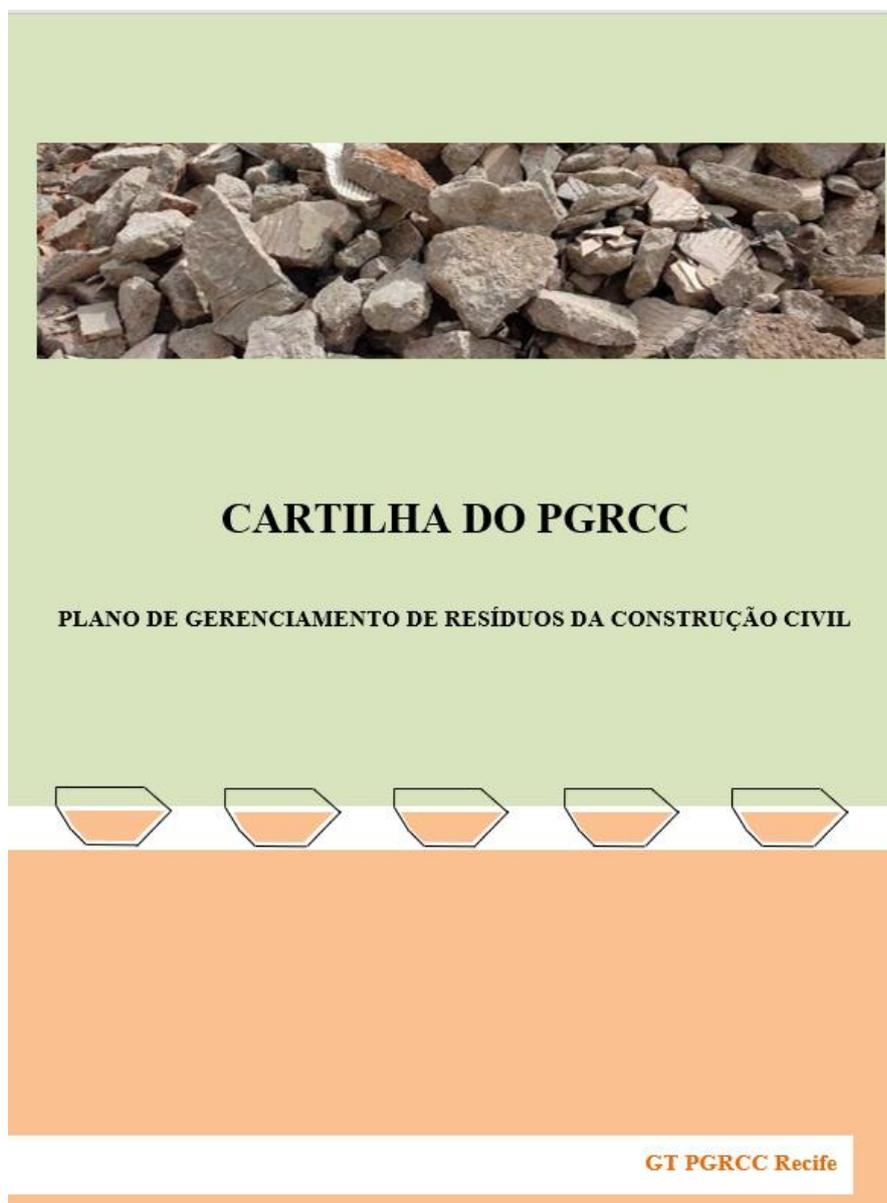
No plano do Grupo de Trabalho GT PGRCC Recife, já apresentado nesta dissertação, foram discutidas diversas variáveis envolvidas na gestão dos RCD produzidos nos canteiros de obras de edifícios, localizados na cidade do Recife, entre outras, os indicadores de resíduos.

Dentre as deficiências detectadas, consta a escassez de fontes de informações técnicas e educativas para a adequada formulação do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), inclusive, referências técnicas para os indicadores de geração dos RCD, essenciais à elaboração de um adequado planejamento para a gestão sustentável de obras de edifícios.

Nesta perspectiva, em paralelo à coleta de dados para o cálculo dos indicadores de RCD, foi desenvolvida a “Cartilha do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil”, por meio de uma intensa discussão entre os técnicos da EMLURB Recife, Sinduscon-PE, Ademi-PE e os pesquisadores da UPE dedicados à esta pesquisa. Na Cartilha, cujo conteúdo já está

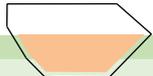
escrito e concluso, será publicada uma síntese dos resultados dos indicadores de resíduos revelados no presente estudo (Figura 4.25).

Figura 4.25 – Capa da Cartilha do PGRCC



Fonte: Elaborado pelo autor

A Cartilha é integrada por tópicos, constituídos por frases interrogativas e reflexivas, os quais abordam questões que vão dos impactos ambientais causados pelos RCD, passando pelas providências antecedentes à elaboração do PGRCC, motivações para elaborar o Plano, tipos de PGRCC, necessidade de elaborar o Plano de Gestão atrelado á realidade do projeto, ocasiões nos quais o PGRCC pode ser atualizado e/ou revisado, dentre outras questões, terminando pelas instruções para a elaboração do Relatório Final (Figura 4.26).

Figura 4.26 – Sumário da “Cartilha do PGRCC”


IMPACTOS DOS RESÍDUOS SOBRE O MEIO AMBIENTE	PROVIDÊNCIAS ANTES DE ELABORAR O PGRCC
POR QUE ELABORAR O PGRCC?	QUEM DEVE ELABORAR O PGRCC?
QUAIS AS OBRIGAÇÕES DO PEQUENO GERADOR?	QUANDO ELABORAR O PGRCC?
PARA QUE SERVE O PGRCC?	O QUE DEVE NORTEAR A ELABORAÇÃO DO PGRCC?
EM QUAL FASE DA OBRA DEVE SER APRESENTADO O PGRCC?	QUAIS SÃO OS TIPOS DE PGRCC?
O PGRCC DEVE SER REVISADO!	REVISÃO DO PGRCC POR CONTA DOS RESÍDUOS DE FUNDAÇÃO
DOCUMENTOS PARA APROVAÇÃO DO PGRCC DE CONSTRUÇÃO	DOCUMENTOS APROVAÇÃO PGRCC DE DEMOLIÇÃO
O QUE É UMA AUTORIZAÇÃO ESPECIAL?	QUANDO DEVE SER SOLICITADA UMA AUTORIZAÇÃO ESPECIAL?
CONCESSÃO DE AUTORIZAÇÃO ESPECIAL COMPLEMENTAR	DOCUMENTOS PARA APROVAÇÃO DA AUTORIZAÇÃO
EMPRESAS DE TRANSPORTE E CTR CREDENCIADOS PELA PCR	É PERMITIDA A DESTINAÇÃO DE RCC ENTRE TERRENOS?
COMO ESTIMAR NO PGRCC OS RCC A SEREM GERADOS?	QUANDO COLOCAR EM PRÁTICA O PGRCC?
O QUE FAZER AO FINAL DA DEMOLIÇÃO/CONSTRUÇÃO?	

Fonte: Elaborado pelo autor

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões dos resultados obtidos do cálculo dos indicadores de geração de RCD classe A, especificamente para as etapas de construção, escavação e demolição de edificações. São apresentados os indicadores de RCD de construção (classes A, B, C e D), calculados com os dados de obras modelo referentes a edifícios residenciais. É sintetizado o cômputo das infrações e multas aplicadas pela autoridade municipal aos construtores e respectivas implicações. Por fim, são apresentadas as recomendações para futuras pesquisas.

5.1 CONCLUSÕES

O tempo médio decorrido entre a construção e demolição de edificações na cidade do Recife corresponde a 48 anos, o qual revela uma vida útil de projeto potencialmente satisfatória, tendo em vista que a vida útil de projeto usualmente adotada para edificações em concreto armado corresponde a 50 anos.

Da comparação dos indicadores admitidos pela PCR, com aqueles calculados na presente pesquisa, é possível afirmar que os indicadores de demolição de edifícios, indicadores DEM-EQT, DEM-EDNR e DEM-CL, possuem uma adequada aderência aos indicadores equivalentes reportados em outros estudos, bem como aqueles admitidos pela PCR.

Contudo, o indicador DEM-SL ($493,76 \text{ kg/m}^2$), referente à demolição de edificações sem laje, representa um adequado indicador para o cálculo de resíduos de demolição, uma vez que a tipologia sem laje representa mais de 35% da quantidade de edificações demolidas na cidade do Recife.

Em relação ao indicador para a etapa de escavação, referente a semienterrados e elementos de fundação, é possível compreender que o indicador PCR (1.400 kg/m^3) concernente ao peso específico dos solos de escavação (material solto), mostra-se adequado quando comparado ao indicador médio obtido ESC-ΓSE1 (1.366 kg/m^3). No entanto, o indicador médio de escavação em função da área do terreno ESC-SET1 (759 kg/m^2), bem como o indicador médio de

escavação em função da área de construção ESC-SEC1 (214 kg/m²), corresponde a uma adequada alternativa para a estimativa de resíduos de escavação.

Para os edifícios sem semienterrado o indicador médio ESC-SET0 (296 kg/m²) e ESC-SEC0 (164 kg/m²), vinculados à área do terreno e à área de construção, respectivamente, representam uma alternativa para estimativa do volume de escavação de elementos de fundação, exclusive o volume de fundação profunda do tipo escavada.

Quanto à etapa de construção, os valores revelados pelo presente estudo correspondem a indicadores próximos daqueles atualmente praticadas pelo ente público. No entanto, o indicador médio referente às construções com tecnologias não convencionais TNC (62,85 kg/m²) representa uma interessante informação para o cálculo de resíduos de edifícios construídos com tecnologias não convencionais híbridas, uma vez que o indicador admitido pela PCR (18,75 kg/m²) é bem inferior ao indicador TNC.

Os indicadores medianos, máximos e mínimos para as etapas de demolição, escavação e construção se mostraram não aderentes aos indicadores admitidos pela PCR. Tais valores refletem a média à elevada dispersão verificada entre os dados que compõem cada amostra – coeficientes de variação entre 15%-30% e maior do que 30%, respectivamente. No entanto, o patamar de dispersão encontrado já era esperado, tendo em conta que as informações foram obtidas de obras executadas com controle de informações de resíduos diversos.

É importante comentar que cinco fatores podem ter interferido na exatidão dos resultados obtidos para os indicadores totais de resíduos.

O primeiro fator, está relacionado à hibridação dos dados, informados pelos geradores referentes aos resíduos gerados (p.ex. resíduos de demolição, apresentados no Relatório Final de Obra, juntamente, com os resíduos de construção, ou ainda, resíduos de construção (fundação em estacas escavadas), apresentados no RFO somados aos resíduos de escavação (pavimento semienterrado)).

O segundo fator diz respeito aos resíduos de demolição, os quais foram apresentados pelos empreendedores somados da primeira à enésima edificação demolida. O terceiro fator está relacionado à aprovação pela autoridade municipal dos resíduos de construção de classe A com

parcelas referentes aos resíduos de classe B (p.ex. madeira e gesso), bem como com quantitativos de resíduos domiciliares.

O quarto fator consiste em eventuais erros na conversão dos quantitativos de resíduos gerados de volume (m^3) para massa (t) – operação efetuada pelos empreendedores.

O quinto e último fator implica na potencial indução dos indicadores atualmente adotados pela autoridade municipal sobre os quantitativos de resíduos apresentados pelos geradores quando do processo de prestação de contas final.

Ademais, os resultados obtidos no presente trabalho comprovam que os indicadores adotados há mais de uma década na cidade do Recife pela cadeia da construção civil, visando estimar a geração de RCD, contribuíram de forma adequada para a gestão ambiental de obras.

Os indicadores obtidos com a amostra de 5 obras modelo referentes à edifícios de uso habitacional multifamiliar (obras com nível elevado de gestão dos RCD), correspondem a um atrativo conjunto de dados pouco verificado na literatura nacional e internacional, tendo em vista que abrange os RCD de classes A, B, C e D. Os indicadores médios reveladas neste estudo, em função da área construída, correspondem a 83 kg/m^2 para entulhos (classe A), 8 kg/m^2 para resíduos de gesso (classe B), 5 kg/m^2 para resíduos recicláveis (classe B), $0,8 \text{ kg/m}^2$ para resíduos de sacos (classe C) e $0,2 \text{ kg/m}^2$ para resíduos perigosos (classe D).

A análise das penalidades registradas nos processos de licenciamento urbanístico permitiu traçar um diagnóstico a respeito da magnitude de cada um dos três tipos de infração, quais sejam: a não apresentação do PGRCC (não PGRCC); o transporte irregular de RCD; e destinação irregular de resíduos.

Quanto ao Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, em média, a cada 10 obras civis executadas na Cidade do Recife 3 não apresentam o PGRCC, sendo mais frequente nas obras de demolição e construção de edificações comerciais, que, por sua vez, somadas representam mais da metade das multas de “não PGRCC”.

A cada 100 kg de resíduos gerados e transportados dos canteiros de obras do Recife, 45 kg, em média, não são comprovados pelos geradores à autoridade municipal. Outrossim, as obras executadas por construtores sem certificação da qualidade (ISO 9.001) e ambiental (ISO

14.001), originam 3 vezes mais transportes irregulares de resíduos quando comparadas às demais obras. No entanto, este cenário é mais crítico quando excluídas da análise as obras sem infração, visto que a cada 100 kg de RCD que partem das obras em caminhões, 74 kg, em média, são transportados de maneira irregular.

Quanto à destinação dos resíduos, é possível compreender que a cada 100 kg de RCD produzidos nos canteiros de obras localizados no Recife, 42 kg, em média, têm o destino ignorado e não comprovado pelos geradores. As obras executadas por construtores sem certificação são responsáveis por quase 4 vezes mais resíduos destinados de forma incorreta, quando comparadas às demais obras. Considerando apenas as obras com multas imputadas, a situação é mais grave, tendo em conta que a cada 100 kg de RCD gerados 78 kg são destinados a locais não conhecidos.

Os custos médios com as infrações de “não PGRCC”, transporte irregular e destinação irregular, desembolsados pelos geradores infratores, somados à pequenas parcelas de manejo regular, quando comparados aos custos para o pleno e correto manejo dos RCD, implicam ao gerador em uma economia de recursos financeiros que pode variar de 71% a 26%, sendo a poupança diretamente proporcional ao porte da obra civil.

Tal contexto tem proporcionado ao gerador infrator uma premiação financeira pela má gestão dos Resíduos de Construção e Demolição, ou ainda, tem onerado a sociedade e o meio ambiente natural e construído através da disposição final dos resíduos em locais inadequados ou não permitidos, com o conseqüente sobrecusto para a remoção e a destinação correta destes e, em última análise, repercutindo em custos sociais e ambientais de difícil ou impossível previsão.

O subfinanciamento do custo de gestão dos RCD viabilizado ao empreendedor, em outras palavras, a concessão legal de capital abaixo do necessário para custear a destinação dos resíduos (Lei Municipal nº 17.072/2005) tem provocado importantes impactos ambientais.

Os resultados obtidos, por meio de análise estatística, revelam que os indicadores de transporte de resíduos em caminhão basculante corresponde em média a 60% (variável de 41% a 79%), 34% (variável de 18% a 50%) e 41% (variável de 12% a 70%), o transporte em caminhão poliguindaste implica em média a 26% (variável de 12% a 41%), 51% (variável de 34% a 68%) e 40% (variável de 13% a 67%) e a reutilização dos RCD corresponde em média a 14% (variável

de 0% a 35%), 15% (variável de 2% a 28%) e 18% (variável de 0% a 43%), segundo a massa total de RCD geradas em obras compostas pelas etapas de demolição, escavação e construção (DE&C), demolição e construção (D&C) e escavação e construção (E&C), respectivamente.

O maior indicador médio de reutilização de RCD obtido (18%) sinaliza que ainda há muito a se fazer para o aumento da prática de reuso dos resíduos nos canteiros de obras. A reutilização dos RCD no canteiro é uma interessante solução ambiental uma vez que não demanda o transporte externo e a ocupação de uma nova área para a sua destinação final.

O menor percentual de participação do transporte com caminhão basculante (34%) para obras do tipo D&C, permite compreender que é possível fomentar o uso mais frequente deste veículo para o transporte de resíduos de construção além do tradicional transporte dos RCD de demolição. O transporte de resíduos em caminhão basculante (capacidade = 16,8 ton/12 m³), quando comparado ao transporte em caminhão poliguindaste (capacidade = 9,8 ton/7m³), permite compreender que com aquele é possível transportar cerca de 70% mais massas de RCD.

A implantação do sistema eletrônico de monitoramento e supervisão de RCD pela EMLURB e o uso efetivo pelos atores que operam o seu manejo tem um bom potencial para viabilizar a elevação do nível de reutilização dos resíduos nos canteiros de obras, o aumento do transporte dos RCD com caminhão basculante e a eliminação das práticas ilícitas de comercialização de tíquetes de transporte e destinação dos resíduos, uma vez que a fiscalização será mais precisa, rápida e transparente, tendo como consequência uma elevação da sustentabilidade ambiental da construção civil na cidade do Recife.

A publicação da “Cartilha do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil”, produto desta pesquisa, elaborada em parceria com a EMLURB Recife, Ademi-PE e Sinduscon-PE, representa uma importante fonte de informação para a orientação e educação da sociedade e mercado da construção civil. Nesta Cartilha serão publicados os indicadores obtidos através do estudo do banco de dados municipal de resíduos, promovendo desta forma a aplicação direta dos achados deste estudo.

A repressão, tecnologia e informações, embora necessárias à gestão dos Resíduos de Construção e Demolição, são insuficientes à proteção do meio ambiente, mas certamente a

ciência e consciência socioambiental são importantes instrumentos para a solução da problemática dos Resíduos de Construção e Demolição.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Os indicadores derivados do presente estudo podem ser uma fonte útil de informações para a administração pública, proprietários e construtores de edifícios e pesquisadores da temática dos Resíduos de Construção e Demolição, visando subsidiar os PGRCC, projetos, orçamentos, planejamentos, fiscalização e a gestão de obras de edifícios para tipologias e tecnologias construtivas diversas.

No entanto, é recomendável aos grandes geradores desenvolverem o PGRCC atrelado à realidade da sua obra de demolição, escavação e/ou construção, por meio de prévio ajustamento de indicadores específicos para o empreendimento junto à autoridade municipal. O ajuste do plano também pode contemplar a adequação de questões relacionadas ao transporte dos RCD, a exemplo da necessidade de transporte de resíduos em caminhão caçamba basculante em detrimento do caminhão poliguindaste, uma vez que aquele possui maior capacidade de transporte quando comparado a este.

Atualmente é admitido pela EMLURB um déficit de 10% (dez por cento) quando comparada a massa de RCD prevista no PGRCC e aquela comprovada por meio de tíquetes, quando da apresentação pelo gerador do Relatório Final de Demolição (RFD) e/ou Relatório Final de Obra (RFO). No entanto, este critério de abono é subjetivo uma vez que não traz consigo fundamentação técnico-científica. Portanto, é recomendável à autoridade municipal a adoção de uma faixa de valores de indicadores de RCD visando a análise e aprovação do RFD e RFO, a exemplo das faixas de valores de indicadores $I_{m\acute{a}x}$ e $I_{m\acute{i}n}$ relevados pelo presente estudo.

O indicador adotado pela PCR para construção não convencional em alvenaria racionalizada ($18,5 \text{ kg/m}^2$), provavelmente se refere à construção não convencional em alvenaria estrutural, uma vez que a alvenaria racionalizada corresponde a um método construtivo, em detrimento da alvenaria estrutural, a qual se refere a uma metodologia construtiva. Logo, é recomendado à prefeitura revisar a denominação do mencionado indicador.

Parte da solução dos problemas relacionados à alta taxa de infrações na disposição final dos resíduos passa pela reforma da Lei Municipal nº 17.072/2005, com o propósito de ajustar a graduação das penalidades, a exemplo daquelas relacionadas à destinação irregular dos RCD, uma vez que atualmente estão limitadas ao valor de R\$ 5.000,00, bem como da revisão do Decreto Municipal nº 18.082/1998, visando a permissão do transporte de resíduos com uso de caminhão caçamba basculante, dentre outras atualizações necessárias.

Da análise dos processos de licenciamento urbanístico incluídos nesta pesquisa, é possível compreender que as obras de reformas, inclusive aquelas executadas em unidades autônomas e áreas de uso comum de condomínios, correspondem a uma parcela pouco significativa dos geradores que elaboram o PGRCC. Por conseguinte, é necessário que o poder público adote estratégias de gestão visando popularizar a elaboração do Plano de Gerenciamento de RCD, a exemplo da promoção de ações de educação ambiental junto aos condomínios residenciais e empresariais.

Quanto aos indicadores RCD/CUB (coeficientes) da relação entre o custo com manejo dos RCD e custo básico de construção (CUB) dos edifícios, é possível realizar em uma próxima pesquisa o refinamento dos indicadores obtidos por meio do aumento da amostra de edifícios analisados e da segregação destas para um mesmo padrão de acabamento (baixo, normal e alto).

Os resultados apontados nesta pesquisa, particularmente quanto ao elevado índice de infrações no transporte e destinação dos resíduos, revisão e ampliação de indicadores de RCD, critério de admissibilidade de déficit na prestação de consta final dos RCD, critério de subtração da massa de resíduos referente às lajes de edifícios a serem demolidos, dentre outras questões, apontam para a necessidade da promoção de capacitação e ampliação da equipe da EMLURB.

Também é recomendável o envolvimento da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade da Prefeitura do Recife e Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana do Recife, tendo em vista a discussão conjunta da problemática ambiental dos RCD em Recife.

Pesquisas futuras poderão abordar aspectos relativos aos RCD destinados aos aterros sanitários com mistura de classes (A, B, C e D) e respectivas repercussões nos custos de destinação final. Outrossim, podem ser desenvolvidos estudos com a inclusão de dados dos Resíduos de Construção e Demolição obtidos junto aos transportadores e Centrais de Tratamento de

Resíduos (CTR), visando quantificar a massa total de resíduos gerada por ano na cidade do Recife, inclusive os RCD corretamente transportados e destinados e não declarados à autoridade municipal .

Também é recomendada a evolução deste estudo para elaboração de uma metodologia analítica de previsão dos RCD baseada na estrutura analítica de projeto (EAP) do empreendimento, tendo em vista que tal método possibilitará um melhor ajustamento da estimativa de geração em função das reais especificações de serviços da obra.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6.118:** Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.004:** Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.721:** Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

AL-SARI, M. I.; AL-KHATIB, I. A.; AVRAAMIDES, M.; FATTA-KASSINOS, D. A study on the attitudes and behavioural influence of construction waste management in occupied Palestinian territory. **WasteManage. Res.** 30 (2), 122–136, 2012.

ALVES, A. M. **PROPOSTA DE UMA ESTRUTURA DE MEDIÇÃO PARA QUALIDADE DO SPB – SOFTWARE PÚBLICO BRASILEIRO.** São Paulo, 2013. Originalmente apresentada como tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 2013.

APPOLINÁRIO, F. **Dicionário de Metodologia Científica.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011. 295 p.

ARSHAD, H. QASIM, M. THAHEEM, M. J. GABRIEL, H. F. Quantification of Material Wastage in Construction Industry of Pakistan: An Analytical Relationship between Building Types and Waste Generation. **Journal of Construction in Developing Countries.** v. 22, p. 19-34, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DRYWALL (ABD). **Resíduos de gesso na construção civil:** coleta, armazenagem e reciclagem. São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017.** São Paulo, 2017. ISSN 2179-8303

AUTARQUIA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA DO RECIFE – EMLURB. **Paula Maria de Araújo Paschoal Boulitreau:** depoimento [fev. 2020]. Entrevistador: E. Lins. Recife: EMLURB-PE, 2020. Entrevista concedida no âmbito do Grupo de Trabalho PGRCC Recife.

BAKCHAN, A. FAUST, K. M. Construction waste generation estimates of institutional building projects: Leveraging waste hauling tickets. **Waste Management.** v. 87, p. 301-312, 2019.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modeling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management,** v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 469, de 29 de julho de 2015. Altera a Resolução CONAMA no 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e

procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2052.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 27mai.2019.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2012.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2011.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2010.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2002.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **Custo Unitário Básico** - Indicador dos custos do setor da Construção Civil. Disponível em: <<http://www.cub.org.br/>>. Acessado em: 13 jun.2019.

CARNEIRO, Fabiana Padilha. **DIAGNÓSTICO E AÇÕES DA ATUAL SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA CIDADE DO RECIFE**. João Pessoa, PB, 2005. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba, 2005.

CHEN, Z., LI, H. WONG, C.T. An application of bar-code system for reducing construction wastes. **Automation in Construction**. v. 11, p. 521-533, 2002.

COCHRAN, K. M.; TOWNSEND, T.G. Estimating construction and demolition debris generation using a materials flow analysis approach. **Waste Manage.** (Oxford) 30 (11), 2247–2254, 2010.

COELHO, A.; BRITO, J. Distribution of materials in construction and demolition waste in Portugal. **Waste Manage.** Res. 29 (8), 843–853, 2011a.

COELHO, A., BRITO, J. Generation of construction and demolition waste in Portugal. **Waste Manage.** Res. 29 (7), 739–750, 2011b.

COUTO, A. B. COUTO, J. P. CARDOSO, T. J. M. Desconstrução: uma ferramenta para a sustentabilidade da construção. **Seminário brasileiro da gestão do processo de projeto na construção de edifícios**, 6. São Paulo, Brasil: [s.n.]. 2006.

COSTA, R. V. G.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; OLIVEIRA, M. M. Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 127-137, jan./mar. 2014.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 264 p.

COSTA, P. R. **Estatística**. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Santa Maria, 2011. 95 p.

EUROPEAN COMMISSION. **EU Construction & Demolition Waste Management Protocol**. 2016.

EQUIPE DE DEMOLIÇÃO. **Imagem ilustrativa de caminhão caçamba basculante**.

Disponível em: < <https://images.app.goo.gl/j84ZnFzYCXWJ6EXP6>>. Acessado em: 01 fev. 2020.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de Estatística**. 6 ed. Atlas. São Paulo, 2011.

GASPAR, L. **Bairros do Recife**. Disponível em: <

http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar./index.php?option=com_content&view=article&id=500&Itemid=1>. Acessado em: 01 fev. 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. Atlas. São Paulo, 2010.

GUSMÃO, A. D. **Manual de Gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil**.

Camaragibe: CCS Gráfica Editora, 2008. 140 p.

HAO, J. L.; HILL, M. J.; SHEN, L. Y. Managing construction waste on-site through system dynamics modelling: the case of Hong Kong. **Eng. Constr. Architec. Manage.** 15 (2), 103–113, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Resultados do universo: características da população e domicílios. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01 fev. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2017**. Brasília, 2018.

KAMINO, G.; GOMES, S.; BRAGANÇA, L. Improving the sustainability assessment method SBTool Urban – A critical review of construction and demolition waste (CDW) indicator. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, n. 225, 2019.

KARTAM, N.; AL-MUTAIRI, N.; AL-GHUSAIN, I.; AL-HUMOUD, J. Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. **Waste Manage.** (Oxford) 24 (10), 1049–1059, 2004.

KELLY, M.; HANAHOE, J. The development of construction waste production indicators for the Irish construction industry, In: Zamorano, M., Brebbia, C.A., Kungolos, A., Popov, V., Itoh, H. (Eds.), **Waste Management and the Environment** Iv, pp. 499–508, 2008.

KOFOWOROLA, O. F.; GHEEWALA, S. H. Estimation of construction waste generation and management in Thailand. **Waste Manage.** (Oxford) 29 (2), 731–738, 2009.

KOURMPANIS, B.; PAPADOPOULOS, A.; MOUSTAKAS, K.; KOURMOUSSIS, F.; STYLIANOU, M.; LOIZIDOU, M. Na integrated approach for the management of demolition

LAFAYETTE, K. P. V.; PAZ, D. H. F.; HOLANDA, M. J. O.; COSTA, L. A. R. R. Analysis of generation and characterization of construction and demolition waste on construction sites in the city of Recife, Brazil. **Revista Matéria**, v. 23, n. 3, 2018.

LAM, P. T. I. YU, A. T. W. WU, Z. POON, C. S. Methodology for upstream estimation of construction waste for new building projects. **Journal of Cleaner Production**. v. 230, p 1003-1012, 2019.

LAPPONI, J. C. **Estatística usando Excel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 476 p.

LAU, H. H.; WHYTE, A.; LAW, P. L. Composition and characteristics of construction waste generated by residential housing project. **Int. J. Environ. Res.** 2 (3), 261–268, 2008.

LU, W.; TAM, V. W. Y. Construction waste management policies and their effectiveness in Hong Kong: a longitudinal review. **Renew. Sustain. Energy Rev.** n. 23, 2013.

LIMA, F. M. R. S.; LOVON, G.; OLIVEIRA, P.; NOCITO, G.; ALVARADO, L. M. T. DEMOLIÇÃO SELETIVA NO BRASIL: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO COM SISTEMAS DINÂMICOS. **XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Poços de Caldas – MG, 2015.

LINS, Josiane Maria de Santana Melo; LINS, Eduardo José Melo Lins; BURGOS, Ramon Duque Ferraz. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO RECICLADOS NO BRASIL: DIAGNÓSTICO E CRÉDITO AMBIENTAL. In: SILVA, R. C. P; SANTOS, J. P. O; MELLO, D. P; EL-DEIR, S. G. (Org). **Resíduos Sólidos: Tecnologias e Boas Práticas de Economia Circular**. 1. ed. Recife: Gampe/UFRPE, 2018. p. 424-439.

LINS, J. M. S. M; LINS, E. J. M. L; BUSGOS, R. D. F; GUSMÃO, A. D. EVOLUÇÃO DAS PRÁTICAS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM RECIFE – PERNAMBUCO. In: V Encontro de Desenvolvimento de Meio Ambiente – V EDMA, 2017, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2017.

LLATAS, C. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. **Waste Manage.** (Oxford) 31 (6), 1261–1276, 2011.

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; PINHO, S. A. C. **Medição de Desperdícios na Construção de Edifícios**. Editora Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.

LU, W. S.; YUAN, H. P.; LI, J. R.; HAO, J. J. L.; MI, X. M.; DING, Z. K. Na empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China. **Waste Manage.** 31 (4), 680–687, 2011.

LUNA, Adriana Dornelas (Org.). **Manual para destinação**: orientação ao consumidor sobre como e onde destinar os seus resíduos sólidos em Pernambuco. 3 ed. Recife: Editora UFPE, 2018.

MÁLIA, M.; BRITO, J.; PINHEIRO, M. D.; BRAVO, M. Construction and demolition waste indicators. **Waste Manage. Res.** 31 (3), 241–255, 2013.

MÁLIA, M.; BRITO, J.; BRAVO, M. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. **Ambiente Construído**, v. 11. n.3, jul./set. 2011.

MALHOTRA, N.K. **Amostragem: Planejamento e Processos**. Cap. 12 e 13 – Introdução à pesquisa de marketing. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2697231/mod_resource/content/2/Amostragem_-_Cap._12_e_13_Malhotra.pdf>. Acessado em: 12.jan.2020.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas**, estudo de caso, exemplos. São Paulo: Pini, 2014

MARTINS, G. A.; DOMINGUES, O. **Estatística Geral e Aplicada**. Atlas. São Paulo, 2014.

MARTINS, A. S. M.; REIS, D. C.; FABRÍCIO, M. M. Diretrizes para o planejamento de uma demolição seletiva em edifícios. **INTERAÇÕES**, Campo Grande, v. 20, n. 2, abr./jun., 2019.

MASSUKADO-NAKATANI, M. S. **Métodos e técnicas de pesquisa em turismo: Amostragem**. 2009.

MC BEAN, E. A.; FORTIN, M. H. P. A forecast model of refuse tonnage with recapture and uncertainty bounds. **Waste Manage. Res.** 11 (5), 373–385, 1993.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 99 p., 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). MMA lança sistema sobre resíduos sólidos. Brasília, jun. 2019. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/component/k2/item/15527-mma-lan%C3%A7a-sistema-nacional-de-informa%C3%A7%C3%B5es-sobre-a-gest%C3%A3o-dos-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-sinir.html>>. Acessado em: 30 jun. 2019.

MOKHTAR, S. N.; MAHMOOD, N. Z.; HASSAN, C. R. C.; MASUDI, A. F.; SULAIMAN, N. M. Factors that contribute to the generation of construction waste at sites. **Adv. Mater. Res.**, 2011.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. 9 ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

OLIVEIRA, P. Projeto e Execução de Fundações de um Shopping Center no Recife. In: **XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, COBRAMSEG 2018. Salvador, 2018.

OLIVEIRA, Tiago Henrique de. **Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE**. Recife, PE, 2012. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

OLIVEIRA, K. D.; ALMEIRA, K. L.; BARBOSA, T. L. **AMOSTRAGENS PROBABILÍSTICA E NÃO PROBABILÍSTICA: técnicas e aplicações na determinação de amostras**. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Jerônimo Monteiro – ES, 2012.

ORTIZ, O.; PASQUALINO, J. C.; CASTELLS, F. Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. **Waste Management**, n. 30, 2010.

PASCHOALIN FILHO, J. A. BEZERRA, P. R. L. OLIVEIRA, L. R. G. J. FARIA, A. C. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Revista de Gestão Social e Ambiental**. v. 11, n. 1, p. 73-89, 2017.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; DUARTE, E. B. L.; FARIA, A. C. Geração e manejo dos resíduos de construção civil nas obras de edifício comercial na cidade de São Paulo. **Espacios**, v. 37, n. 06, 2016.

PAZ, Diogo Henrique Fernandes. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO AO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CANTEIROS DE OBRAS DE EDIFICAÇÕES URBANAS**. Recife, PE, 2014. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, 2014.

PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. **People's Republic of China: Construction and Demolition Waste Management and Recycling**. 2018.

PERNAMBUCO. Plano Estadual de Resíduos Sólidos. Julho 2012. Disponível em: < http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/PlanoResiduoSolido_FINAL_002.pdf>. Acessado em: 10 jan. 2020.

PERNAMBUCO. Lei nº 14.236, de 13 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**, 2010.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999, p. 189.

POON, C. S.; YU, A. T. W.; SEE, S. C.; CHEUNG, E. Minimizing demolition wastes in Hong Kong public housing projects. **Constr. Manage. Econom.** 22 (8), 799–805, 2004.

POON, C. S. Management and recycling of demolition waste in Hong Kong. **Waste Manage. Res.** 15 (6), 561–572, 1997.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (PCRJ). Sistema de Custos de Obras e Serviços de Engenharia FGV. Disponível em: < <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/9921021/4245108/TABELASDFGV02.pdf> >. Acessado em: 01 fev. 2020.

RECIFE. **Mapa dos Bairros**. Atlas de Desenvolvimento Humano no Recife. Disponível em: < https://www.recife.pe.gov.br/pr/secplanejamento/pnud2005/mapa_bairros.jpg >. Acessado em: 01 fev. 2020.

RECIFE. Instrução Normativa EMLURB nº. 1, de 15 de fevereiro de 2010. Dispõe sobre o aprimoramento do processo de gestão, controle e fiscalização sobre os agentes envolvidos na geração, transporte e tratamento dos resíduos sólidos não abrangidos pela coleta regular. **Diário Oficial do Município de Recife**, 2020.

RECIFE. Diretrizes para elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC). Disponível em: < <http://www2.recife.pe.gov.br/wp-content/uploads/DIRETRIZES-PGRCC.pdf>>. Acessado em: 05 ago. 2019.

RECIFE. Decreto nº 26.688, de 05 de outubro de 2012. Estabelece procedimento para o requerimento e a expedição, por via eletrônica, do Alvará de Habite-se e que tratam as Leis nº 16.292/1997 (Regula as atividades de edificações e instalações, no município do Recife) e nº 15.563/1991 (Código Tributário Municipal). **Diário Oficial do Município de Recife**, 2012.

RECIFE. Lei nº 17.072, de 04 de janeiro de 2005. Estabelece as diretrizes e critérios para o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. **Diário Oficial do Município de Recife**, 2005.

RECIFE. Decreto nº 18.082, de 13 de novembro de 1998. Regulamenta a Lei nº 16.377/98 no que tange ao transporte e disposição de resíduos de construção civil e outros resíduos não abrangidos pela coleta regular e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Recife**, 1998.

RECIFE. Lei nº 16.377/98, de 15 de janeiro de 1998. Introduce modificações na Lei 14.903 de 03 de outubro de 1986, e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Recife**, 1998.

RECIFE. Lei nº 16.293, de 22 de janeiro de 1997. Dispõe sobre as regiões político-administrativas do município do Recife e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Recife**, 1997.

RECIFE. Lei nº 16.293/97. Dispõe sobre as Regiões Político-Administrativas do município do Recife e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Recife**, 1997.

RECIFE. Lei nº 14.903, de 03 de outubro de 1986. Dispõe sobre as sanções aplicáveis aos atos ofensivos à limpeza urbana e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Recife**, 1986.

RH GUINDASTES. Imagem ilustrativa de poliguindaste duplo. Disponível em: < <https://www.rhguindastes.com.br/>>. Acessado em: 01 fev. 2020.

RIACHO VERDE EMPREENDIMENTOS (RVE). **Metodologia Construtiva**. Recife, 2019.

SIDDHARTHAN, T.; RABIN, T.; CANAVAN, M. E.; NASSALI, F.; KIRCHHOFF, P.; KALYESUBULA, R.; COCA, S.; RASTEGAR, A.; KNAUF, F. Implementation of Patient-Centered Education for Chronic-Disease Management in Uganda: An Effectiveness Study. **PLOS ONE**, n. 16, 2016.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS – SINDUSCON-MG. **Custo Unitário Básico (CUB/m²): Principais Aspectos**. Disponível em:< <http://www.cub.org.br/static/web/download/cartilha-principais-aspectos-cub.pdf>>. Acessado em: 01 fev.2020.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE PERNAMBUCO – SINDUSCON-PE. **Custo Unitário Básico** - (NBR 12.721:2006 - CUB 2006) - Outubro/2019. Disponível em: < <http://www.cub.org.br/static/web/download/cartilha-principais-aspectos-cub.pdf>>. Acessado em: 01 fev. 2020.

SILVA FILHO, L. C. P. As exigências da vida útil dos edifícios. Disponível em: < <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/as-exigencias-da-vida-util-dos-edificios/5219>>. Acessado em: 12 fev. 2020.

SHEN, L.Y.; WU, Y.Z.; CHAN, E. H. W.; HAO, J. L. Application of system dynamics for assessment of sustainable performance of construction projects. **J. Zhejiang Univ. Sci.** A 6 (4), 339–349, 2005

SOLIS-GUZMAN, J.; MARRERO, M.; MONTES-DELGADO, M.V.; RAMIREZ-DE-ARELLANO, A. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Manage.** (Oxford) 29 (9), 2542–2548, 2009.

SHI, J.; XU, Y. Estimation and forecasting of concrete debris amount in China. **Resour. Conserv. Recycl.** 49 (2), 147–158, 2006.

TAM, V.W.Y. On the effectiveness in implementing a waste-management plan method in construction. **Waste Manage.** (Oxford) 28 (6), 1072–1080, 2008.

United States Environmental Protection Agency – USEPA. **Construction and Demolition Debris Generation in the United States, 2015**. Setembro, 2018.

WIMALASENA, B. A. D. S.; RUWANPURA, J. Y.; HETTIARATCHI, J. P. A. Modeling construction waste generation to ward sustainability, **Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice**, May 8, 2010 – May 10, 2010. American Society of Civil Engineers, Banff, AB, Canadá, pp. 1498–1507, 2010.

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

XU, J. SHI, Y. XIE, Y. ZHAO, S. A BIM-Based construction and demolition waste information management system for greenhouse gas quantification and reduction. **Journal of Cleaner Production**. v. 229, p. 308-324, 2019.

YE, G.; YUAN, H. P.; WANG, H. X. Estimating the generation of construction and demolition waste by using system dynamics: a proposed model. In: **The International Conference on Environmental Pollution and Public Health (EPPH2010)**, June 18, 2010 – June 20, 2010. IEEE, Chengdu, China, pp. 1–4, 2010.

YOST, P. A.; HALSTEAD, J. M. A methodology for quantifying the volume of construction waste. **Waste Manage. Res.** 14 (5), 453–461, 1996.

APÊNDICE A**RESUMO DO CURRÍCULO *LATTES* DO AUTOR E ORIENTADOR**

Apêndice A.1: Resumo do *Lattes* – Eduardo José Melo Lins.

Link: <http://lattes.cnpq.br/2868208955000285>



Eduardo José Melo Lins

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/2868208955000285>

Última atualização do currículo em 26/07/2020

Resumo informado pelo autor

Mestrando em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco - POLI/UPE (2020). Especialista em Inspeção, Manutenção e Recuperação de Estruturas pela Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco - POLI/UPE (2018). Bacharel em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco - POLI/UPE (2008). Licenciado em Matemática pela Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE (2004) e Técnico em Edificações pelo Instituto Federal de Pernambuco - IFPE (1998). Consultor em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (Custos, Planejamento e Administração Contratual) e Construção Civil (Obras de Infraestrutura, Obras Industriais e Edificações). Professor de Recuperação de Estruturas de Concreto UPE/POLI (desde 2019). Possui 19 anos de experiência profissional como Engenheiro Civil e Técnico em Edificações (3 anos na Compesa/BID; 7 anos na Odebrecht e 9 anos na Queiroz Galvão). Atualmente é Engenheiro Consultor da Companhia Pernambucana de Saneamento - Compsa / Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID (Engenharia Sanitária) e Engenheiro Consultor da Odebrecht Rodovias (Engenharia Rodoviária).

(Texto informado pelo autor)

Nome civil

Nome Eduardo José Melo Lins

Dados pessoais

Nome em citações bibliográficas LINS, E. J. M.

Sexo Masculino

Cor ou Raça Branca

Filiação José De Melo Lins e Marinete Ferreira Lins

Nascimento 23/12/1977 - Brasil

Carteira de Identidade 4779340 SDB - PE - 13/05/2013

CPF 922.786.124-68

Endereço residencial Rua Quatro de Outubro, 96
Sítio Novo - Olinda
53110300, PE - Brasil
Telefone: 81 34264441
Celular 81 996350061

Endereço eletrônico E-mail para contato : eduardojmlins@hotmail.com

Formação acadêmica/titulação

- 2018 - 2020** Mestrado em Engenharia Civil.
Universidade de Pernambuco, UPE, Recife, Brasil
Título: Indicadores de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) de Edificações na Cidade do Recife,
Ano de obtenção: 2020
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Palavras-chave: Indicadores de RCD, Resíduos da Construção e Demolição, Sustentabilidade Ambiental, Edifícios
Áreas do conhecimento: Engenharia Civil, Gestão de Resíduos da Construção Civil
- 2012** Especialização em MBA em Gerenciamento de Obras e Tecnologias da Con.
Universidade Cidade de São Paulo, UNICID, Sao Paulo, Brasil
- 2017 - 2018** Especialização em Inspeção, Manutenção e Recuperação de Estruturas.
Universidade de Pernambuco, UPE, Recife, Brasil
Título: Avaliação das condições estruturais, funcionais e de durabilidade do viaduto sobre a rotatória da Rethoria da UFPE na Rodovia BR-101
Orientador: Prof. Dr. José Afonso Pereira Vitorio
- 2005 - 2008** Graduação em Engenharia Civil.
Universidade de Pernambuco, UPE, Recife, Brasil, Ano de obtenção: 2008
- 1999 - 2004** Graduação em Matemática.
Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife, Brasil
- 1994 - 1998** Ensino Profissional de nível técnico em Técnico em Edificações.
Instituto Federal de Pernambuco, IFPE, Recife, Brasil

Apêndice A.2: Resumo do *Lattes* – Alexandre Duarte Gusmão (Orientador).

Link: <http://lattes.cnpq.br/2868208955000285>



Alexandre Duarte Gusmão

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/4312371877753383>

ID Lattes: 4312371877753383

Última atualização do currículo em 14/04/2020

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (1987), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1990) e doutorado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1999). Atualmente é colaborador da Universidade Federal de Pernambuco, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Vice-presidente nacional da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Livre Docente e professor associado da Universidade de Pernambuco. Tem experiência na área de Engenharia Civil, atuando principalmente nos seguintes temas: resíduos de construção, fundações, estacas, interação solo-estrutura e melhoramento de solos. É o atual Presidente nacional da ABMS - Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (Texto informado pelo autor)

Identificação

Nome	Alexandre Duarte Gusmão
Nome em citações bibliográficas	GUSMÃO, A. D.
Lattes ID	http://lattes.cnpq.br/4312371877753383
Orcid ID	https://orcid.org/0000-0002-7817-6124

Endereço

Endereço Profissional	Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil. Rua Benfica, 455 Madalena 50750-410 - Recife, PE - Brasil Telefone: (81) 31847566 Fax: (81) 31847566 URL da Homepage: http://www.pec.poli.br
------------------------------	---

Formação acadêmica/titulação

1995 - 1999	Doutorado em Engenharia Civil (Conceito CAPES 6). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Brasil. Título: Uso de Barreiras Reativas na Remediação de Aquíferos Contaminados, Ano de obtenção: 1999. Orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos. Bolsista do(a): Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, Brasil. Palavras-chave: Aquíferos; Remediação; Barreiras reativas. Grande área: Engenharias Grande Área: Engenharias / Área: Engenharia Química / Subárea: Tecnologia Química / Especialidade: Petróleo e Petroquímica. Setores de atividade: Produtos e Serviços Voltados Para A Defesa e Proteção do Meio Ambiente, Incluindo O Desenvolvimento Sustentado; Fabricação de Produtos Químicos.
1988 - 1990	Mestrado em Engenharia Civil (Conceito CAPES 6). Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil. Título: Estudo da Interação Solo-Estrutura e sua Influência em Recalques de Edificações, Ano de Obtenção: 1990. Orientador: Francisco de Rezende Lopes. Bolsista do(a): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, Brasil. Palavras-chave: Recalques; Fundações; Interação solo-estrutura. Grande área: Engenharias Grande Área: Engenharias / Área: Engenharia Civil / Subárea: Geotécnica / Especialidade: Mecânicas dos Solos. Grande Área: Engenharias / Área: Engenharia Civil / Subárea: Estruturas / Especialidade: Estruturas de Concreto. Setores de atividade: Planejamento e Gestão das Cidades, Inclusive Política e Planejamento Habitacional; Construção Civil.
1991 - 1991	Especialização em Curso Int de Mec de Suelos y Inge. Cimentaciones. (Carga Horária: 360h). Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas Mopu, CEDEX, Espanha. Bolsista do(a): Instituto de Cooperación Iberoamericano, ICI, Espanha.
1982 - 1987	Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil.

Livre-docência

2011	Livre-docência. Universidade de Pernambuco, UPE, Brasil. Título: Fundações de Edifícios: Desempenho e Interação Solo-Estrutura, Ano de obtenção: 2011. Palavras-chave: Interação solo-estrutura; Desempenho de Fundações. Grande área: Engenharias Setores de atividade: Construção de edifícios.
-------------	--

ANEXO A

**AUTORIZAÇÕES DA EMLURB PARA ACESSO AO BANCO DE DADOS
MUNICIPAL DE RCD**



PREFEITURA DO RECIFE
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E HABITAÇÃO
AUTARQUIA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA
Av. Recife, nº 3587
Arealas - Recife - PE - CEP: 50.060-000
PABX: 3355.1000
CNPJ: 11.497.013/0001-34
www.recife.pe.gov.br

COMUNICAÇÃO INTERNA

DE: GPC – Vassil Vieira

CI Nº 013/2019

PARA: Portaria da DLU

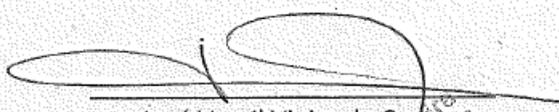
DATA: 18/10/2019

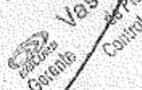
Vimos solicitar uma especial atenção para que seja liberada a chave nº 07 da sala do PGRCC para a entrada do Sr. Eduardo José Melo Lins, RG nº 4779340 SDS/PE, para que ele possa realizar seus trabalhos de consultas objetivando o desenvolvimento da sua tese de mestrado.

Dias de liberação: 19/10/2019 e 26/10/2019

Horário: 08:00 às 18:00hs.

Atenciosamente,


José Vassil Vieira da Costa
Gerencia de Planejamento e Controle





PREFEITURA DO RECIFE
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E HABITAÇÃO
AUTARQUIA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA
Av. Recife, nº 3587
Arealas - Recife - PE - CEP: 50.060-000
PABX: 3355.1000
CNPJ: 11.497.013/0001-34
www.recife.pe.gov.br

COMUNICAÇÃO INTERNA**DE: GPC – Vassil Vieira****CI Nº 017/2019****PARA: Portaria da DLU****DATA: 14/11/2019**

Vimos solicitar uma especial atenção para que seja liberada a chave nº 07 da sala do PGRCC para a entrada do Sr. Eduardo José Melo Lins, RG nº 4779340 SDS/PE, para que ele possa realizar seus trabalhos de consultas objetivando o desenvolvimento da sua tese de mestrado.

Dias de liberação: 15/11/2019 e 16/11/2019**Horário: 08:00 às 18:00hs.**

Atenciosamente,

José Vassil Vieira da Costa
Gerencia de Planejamento e Controle



PREFEITURA DO RECIFE
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E HABITAÇÃO
AUTARQUIA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA
Av. Recife, nº 3587
Arealas - Recife - PE - CEP: 50.860-000
FABX: 3355.1000
CNPJ: 11.497.013/0001-34
www.recife.pe.gov.br

COMUNICAÇÃO INTERNA

DE: GPC – Vassil Vieira

CI Nº 020/2019

PARA: Portaria da DLU

DATA: 22/11/2019

Vimos solicitar uma especial atenção para que seja liberada a chave nº 07 da sala do PGRCC para a entrada do Sr. Eduardo José Melo Lins, RG nº 4779340 SDS/PE, para que ele possa realizar seus trabalhos de consultas objetivando o desenvolvimento da sua tese de mestrado.

Dias de liberação: 23/11/2019

Horário: 08:00 às 18:00hs.

Atenciosamente,

José Vassil Vieira da Costa
Gerencia de Planejamento e Controle

22/11/2019

ANEXO B
AMOSTRA DO BANCO DE DADOS MUNICIPAL DE RCD



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	28	Construção Convencional	RFO Conforme	3.463	259,50	74,93
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	285	Construção Convencional	RFO Conforme	8.222	616,80	75,02
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	282	Construção Convencional	RFO Conforme	5.035	362,35	71,97
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	284	Construção Convencional	RFO Conforme	4.417	306,01	69,28
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	286	Construção Convencional	RFO Conforme	6.118	487,16	79,63
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	290	Construção Convencional	RFO Conforme	4.132	566,64	137,15
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	29	Construção Não Convencional	RFO Conforme	4.356	324,13	74,42
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	145	Construção Convencional	RFO Conforme	11.210	794,84	70,91
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	265	Construção Convencional	RFO Conforme	15.571	1.118,24	71,82
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	80	Construção Convencional	RFO Conforme	16.681	1.407,18	84,36



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
 ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
 Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	10	Construção Convencional	RFO Conforme	19.003	984,88	51,83
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	143	Construção Convencional	RFO Conforme	19.198	1.301,55	67,80
Edificação de Uso Misto - Conjunto de Apartamentos e Conjunto de Salas (Residencial/Empresarial)	43	Construção Não Convencional	RFO Conforme	19.618	1.718,41	87,60
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	77	Construção Convencional	RFO Conforme	19.622	971,05	49,49
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	5	Construção Convencional	RFO Conforme	19.933	1.643,87	82,47
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial)	235	Construção Convencional	RFO Conforme	361	36,46	101,13
Edificação de Uso Habitacional Unifamiliar - Casa (Residencial)	264	Construção Convencional	RFO Conforme	435	34,65	79,74
Edificação de Uso Não Habitacional - Educacional	97	Construção Não Convencional	RFO Conforme	6.341	517,20	81,56
Edificação de Uso Não Habitacional - Educacional	289	Construção Convencional	RFO Conforme	275	19,49	70,80
Edificação de Uso Não Habitacional - Hospitalar	221	Construção Não Convencional	RFO Conforme	1.378	104,74	76,02
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	6	Construção Convencional	RFO Conforme	853	24,76	29,03
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	174	Construção Não Convencional	RFO Conforme	458	20,44	44,63



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO



TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	9	Construção Convencional	RFO Conforme	14.560	1.210,88	83,16
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	40	Construção Não Convencional	RFO Conforme	16.975	916,34	53,98
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	231	Construção Não Convencional	RFO Conforme	15.048	537,57	35,72
Edificação de Uso Habitacional Unifamiliar - Casa (Residencial)	20	Construção Convencional	RFO Conforme	181	13,54	74,99
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	263	Construção Convencional	RFO Conforme	175	6,36	36,30
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	7	Construção Convencional	RFO Conforme	277	17,66	63,74
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	240	Construção Convencional	RFO Conforme	368	46,50	126,36
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	179	Construção Convencional	RFO Conforme	2.700	163,60	60,60
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	100	Construção Convencional	RFO Conforme	2.856	183,53	64,27
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	15	Construção Convencional	RFO Conforme	3.833	323,41	84,38



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO



TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	217	Construção Convencional	RFO Conforme	3.843	288,25	75,00
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	253	Construção Convencional	RFO Conforme	4.104	356,58	86,88
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	3	Construção Convencional	RFO Conforme	5.209	346,00	66,43
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	220	Construção Convencional	RFO Conforme	5.446	380,41	69,85
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	4	Construção Convencional	RFO Conforme	5.557	419,88	75,56
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	187	Construção Convencional	RFO Conforme	5.941	399,56	67,25
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	251	Construção Convencional	RFO Conforme	6.560	471,65	71,90
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	31	Construção Convencional	RFO Conforme	7.564	522,23	69,04
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	195	Construção Convencional	RFO Conforme	7.605	611,31	80,38
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	238	Construção Convencional	RFO Conforme	14.689	1.014,44	69,06



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
 ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
 Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	16	Construção Convencional	RFO Conforme	2.943	750,40	254,94
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	152	Construção Não Convencional	RFO Conforme	18.482	1.386,00	74,99
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial)	177	Construção Convencional	RFO Conforme	327	38,40	117,61
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial)	236	Construção Convencional	RFO Conforme	361	42,94	119,10
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial)	239	Construção Convencional	RFO Conforme	367	35,29	96,20
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial)	260	Construção Convencional	RFO Conforme	754	53,62	71,09
Edificação de Uso Habitacional Unifamiliar - Casa (Residencial)	199	Construção Convencional	RFO Conforme	93	17,86	192,75
Edificação de Uso Habitacional Unifamiliar - Casa (Residencial)	148	Construção Convencional	RFO Conforme	395	29,78	75,44
Edificação de Uso Habitacional Unifamiliar - Casa (Residencial)	69	Construção Convencional	RFO Conforme	519	30,99	59,69
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	39	Construção Convencional	RFO Conforme	848	74,12	87,36



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
 ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
 Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	176	Construção Não Convencional	RFO Conforme	6.749	166,03	24,60
Edificação de Uso Não Habitacional - Hospitalar	75	Construção Convencional	RFO Conforme	9.710	688,39	70,89
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	170	Construção Não Convencional	RFO Conforme	135	12,01	89,13
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	46	Construção Convencional	RFO Conforme	364	40,00	110,03
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	1	Construção Convencional	RFO Conforme	283	21,25	74,99
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	234	Construção Convencional	RFO Conforme	291	34,08	117,25
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	283	Construção Não Convencional	RFO Conforme	2.267	184,77	81,51
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	79	Construção Não Convencional	RFO Conforme	378	21,95	58,05
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	193	Construção Convencional	RFO Conforme	441	33,09	74,99
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	38	Construção Não Convencional	RFO Conforme	226	7,02	31,02
Edificação de Uso Não Habitacional - Subestação Elétrica	175	Construção Convencional	RFO Conforme	73	19,62	268,77



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Não Habitacional - Templo Religioso	51	Construção Convencional	RFO Conforme	490	72,24	147,51
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	218	Construção Convencional	RFO Conforme	45.546	3.415,95	75,00
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	144	Construção Não Convencional	RFO Conforme	72.759	4.855,02	66,73
Edificação de Uso Não Habitacional - Prisional	157	Construção Convencional	RFO Conforme	5.436	278,40	51,21
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	96	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.656	80,52	48,62
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	279	Construção Convencional	RFO Não Conforme	4.364	87,72	20,10
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	291	Construção Convencional	RFO Não Conforme	2.227	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Legalização)	277	Construção Convencional	RFO Não Conforme	394	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial) (Legalização)	278	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.643	446,61	271,86
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	281	Construção Convencional	RFO Não Conforme	2.505	66,43	26,52



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	292	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.807	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	213	Construção Convencional	RFO Não Conforme	9.620	800,06	83,17
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	244	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.167	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	200	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.490	111,75	75,00
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	133	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.571	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	204	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.880	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	248	Construção Convencional	RFO Não Conforme	3.042	153,65	50,51
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	85	Construção Convencional	RFO Não Conforme	5.068	167,02	32,96
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	137	Construção Convencional	RFO Não Conforme	6.201	381,51	61,52
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	141	Construção Convencional	RFO Não Conforme	6.511	-	-



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	90	Construção Convencional	RFO Não Conforme	6.791	136,44	20,09
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	173	Construção Convencional	RFO Não Conforme	9.670	568,67	58,81
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	272	Construção Convencional	RFO Não Conforme	12.012	240,96	20,06
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	232	Construção Convencional	RFO Não Conforme	16.681	1.429,83	85,72
Edificação de Uso Misto - Conjunto de Apartamentos e Conjunto de Quartos (Residencial/Hotel)	233	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	19.918	1.633,46	82,01
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	19	Construção Convencional	RFO Não Conforme	19.969	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	169	Construção Convencional	RFO Não Conforme	21.188	61,85	2,92
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	98	Construção Convencional	RFO Não Conforme	21.685	527,98	24,35
Edificação de Uso Misto - Conjunto de Apartamentos e Conjunto de Salas (Residencial/Empresarial)	150	Construção Convencional	RFO Não Conforme	5.038	955,05	189,56
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Apartamentos (Residencial)	18	Não Executada	RFO Não Conforme	14.689	-	-



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
 ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
 Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial) (Legalização)	93	Construção Convencional	RFO Não Conforme	90	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial) (Legalização)	91	Construção Convencional	RFO Não Conforme	112	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial) (Legalização)	92	Construção Convencional	RFO Não Conforme	112	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial) (Legalização)	94	Construção Convencional	RFO Não Conforme	112	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial) (Legalização)	95	Construção Convencional	RFO Não Conforme	112	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial)	163	Construção Convencional	RFO Não Conforme	740	-	-
Edificação de Uso Habitacional Multifamiliar - Conjunto de Casas (Residencial)	63	Construção Convencional	RFO Não Conforme	481	-	-
Edificação de Uso Habitacional Unifamiliar - Casa (Residencial) (Legalização)	275	Construção Convencional	RFO Não Conforme	32	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	82	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	4.480	331,94	74,10
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	61	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	3.753	110,29	29,39



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	166	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	4.517	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	57	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	4.998	130,32	26,07
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	209	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	9.909	755,85	76,28
Edificação de Uso Não Habitacional - Educacional	21	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	680	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Educacional	22	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	14.917	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Educacional	206	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	22.595	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Educacional	147	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	22.806	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	270	Construção Convencional	RFO Não Conforme	229	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	210	Construção Convencional	RFO Não Conforme	423	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	17	Construção Convencional	RFO Não Conforme	424	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	87	Construção Convencional	RFO Não Conforme	499	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	230	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.295	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	32	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.395	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	119	Construção Convencional	RFO Não Conforme	150	-	-



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO



TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	166	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	4.517	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	57	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	4.998	130,32	26,07
Edificação de Uso Não Habitacional - Conjunto de Salas (Empresarial)	209	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	9.909	755,85	76,28
Edificação de Uso Não Habitacional - Educacional	21	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	680	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Educacional	22	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	14.917	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Educacional	206	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	22.595	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Educacional	147	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	22.806	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	270	Construção Convencional	RFO Não Conforme	229	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	210	Construção Convencional	RFO Não Conforme	423	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	17	Construção Convencional	RFO Não Conforme	424	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	87	Construção Convencional	RFO Não Conforme	499	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	230	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.295	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Galpão	32	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.395	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	119	Construção Convencional	RFO Não Conforme	150	-	-



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO



TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	129	Construção Convencional	RFO Não Conforme	160	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	55	Construção Convencional	RFO Não Conforme	161	12,15	75,53
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	127	Construção Convencional	RFO Não Conforme	168	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	131	Construção Convencional	RFO Não Conforme	186	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	116	Construção Convencional	RFO Não Conforme	195	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	224	Construção Convencional	RFO Não Conforme	199	14,94	75,00
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	223	Construção Convencional	RFO Não Conforme	204	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	123	Construção Convencional	RFO Não Conforme	212	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	122	Construção Convencional	RFO Não Conforme	213	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	130	Construção Convencional	RFO Não Conforme	220	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	109	Construção Convencional	RFO Não Conforme	230	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	81	Construção Convencional	RFO Não Conforme	232	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	118	Construção Convencional	RFO Não Conforme	256	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	115	Construção Convencional	RFO Não Conforme	268	-	-



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
 ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
 Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	121	Construção Convencional	RFO Não Conforme	269	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	112	Construção Convencional	RFO Não Conforme	276	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	117	Construção Convencional	RFO Não Conforme	287	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	125	Construção Convencional	RFO Não Conforme	287	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	120	Construção Convencional	RFO Não Conforme	296	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	111	Construção Convencional	RFO Não Conforme	297	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	108	Construção Convencional	RFO Não Conforme	300	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	113	Construção Convencional	RFO Não Conforme	300	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	114	Construção Convencional	RFO Não Conforme	306	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	124	Construção Convencional	RFO Não Conforme	328	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	107	Construção Convencional	RFO Não Conforme	339	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	110	Construção Convencional	RFO Não Conforme	349	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	126	Construção Convencional	RFO Não Conforme	476	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	146	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	654	96,64	147,81



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
 ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
 Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



AMOSTRA REFERENTE AOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	ID OBRA	TECNOLOGIA ADOTADA CONSTRUÇÃO	SITUAÇÃO	ÁREA DE CONSTRUÇÃO (m ²)	CONSTRUÇÃO REALIZADA (t)	INDICADOR (kg/m ²)
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	154	Construção Convencional	RFO Não Conforme	1.012	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	132	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	1.548	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Comercial	212	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	4.303	-	-
Edificação de Uso Não Habitacional - Subestação Elétrica	183	Construção Convencional	RFO Não Conforme	150	41,85	279,00
Edificação de Uso Não Habitacional - Hotel	229	Construção Convencional	RFO Não Conforme	5.268	391,66	74,35
Edificação de Uso Não Habitacional - Hospitalar	271	Construção Não Convencional	RFO Não Conforme	523	-	-

ANEXO C**TABELA DE DISTRIBUIÇÃO F PARA O NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,05**



464

ESTATÍSTICA USANDO EXCEL / LAPPONI

ELSEVIER

Distribuição F

Nível de significância: 0,05

Graus de liberdade: Numerador (colunas) e Denominador (linhas)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	25			
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	246	248	249			
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,40	19,41	19,43	19,45	19,46			
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,76	8,74	8,70	8,66	8,63			
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,94	5,91	5,86	5,80	5,77			
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,70	4,68	4,62	4,56	4,52			
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,00	3,94	3,87	3,83			
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,60	3,57	3,51	3,44	3,40			
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,31	3,28	3,22	3,15	3,11			
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,10	3,07	3,01	2,94	2,89			
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,94	2,91	2,85	2,77	2,73			
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,82	2,79	2,72	2,65	2,60			
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,72	2,69	2,62	2,54	2,50			
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,63	2,60	2,53	2,46	2,41			
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,57	2,53	2,46	2,39	2,34			
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,51	2,48	2,40	2,33	2,28			
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,46	2,42	2,35	2,28	2,23			
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,41	2,38	2,31	2,24	2,18			
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,37	2,34	2,27	2,19	2,14			
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,34	2,31	2,23	2,16	2,11			
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,31	2,28	2,20	2,12	2,07			
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,28	2,25	2,17	2,10	2,05			
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,26	2,23	2,15	2,07	2,02			
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,24	2,20	2,13	2,05	2,00			
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,22	2,18	2,11	2,03	1,97			
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,20	2,16	2,09	2,01	1,96			
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,18	2,15	2,07	1,99	1,94			
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,17	2,13	2,06	1,97	1,92			
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,15	2,12	2,04	1,96	1,91			
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,14	2,10	2,03	1,94	1,89			
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,13	2,09	2,01	1,93	1,88			
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,04	2,00	1,92	1,84	1,78			
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,03	1,99	1,95	1,87	1,78	1,73			
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,95	1,92	1,84	1,75	1,69			
70	3,98	3,13	2,74	2,50	2,35	2,23	2,14	2,07	2,02	1,97	1,93	1,89	1,81	1,72	1,66			
80	3,96	3,11	2,72	2,49	2,33	2,21	2,13	2,06	2,00	1,95	1,91	1,88	1,79	1,70	1,64			
90	3,95	3,10	2,71	2,47	2,32	2,20	2,11	2,04	1,99	1,94	1,90	1,86	1,78	1,69	1,63			
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,31	2,19	2,10	2,03	1,97	1,93	1,89	1,85	1,77	1,68	1,62			
500	3,86	3,01	2,62	2,39	2,23	2,12	2,03	1,96	1,90	1,85	1,81	1,77	1,69	1,59	1,53			
1000	3,85	3,00	2,61	2,38	2,22	2,11	2,02	1,95	1,89	1,84	1,80	1,76	1,68	1,58	1,52			