



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

DIOGO HENRIQUE FERNANDES DA PAZ

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO AO
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO
CIVIL EM CANTEIROS DE OBRAS DE EDIFICAÇÕES URBANAS**

Recife, PE
2014



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

DIOGO HENRIQUE FERNANDES DA PAZ

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO AO
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO
CIVIL EM CANTEIROS DE OBRAS DE EDIFICAÇÕES URBANAS**

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

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Kalinny Lafayette

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Gusmão

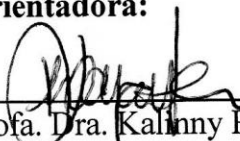
Recife, PE
2014

DIOGO HENRIQUE FERNANDES DA PAZ

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO AO
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO
CIVIL EM CANTEIROS DE OBRAS DE EDIFICAÇÕES URBANAS**

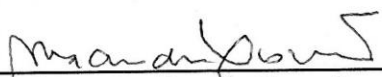
BANCA EXAMINADORA:

Orientadora:



Profa. Dra. Kaliny Patrícia Vaz Lafayette
Universidade de Pernambuco

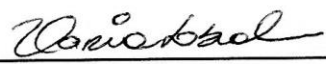
Co-orientador:



Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Universidade de Pernambuco



Profa. Dra. Stela Fucale Sukar
Universidade de Pernambuco



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

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Universidade de Pernambuco – Recife

P341d Paz, Diogo Henrique Fernandes da
Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil em canteiros de obras de edificações urbanas / Diogo Henrique Fernandes da Paz – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2014. 161 f.:il.

Orientador: Dra. Kalinny Patrícia Vaz Lafayette
Co-orientador: Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2014.

1. Construção civil 2. Resíduos sólidos 3. Edificações urbanas 4. Gerenciamento 5. Sistemas de apoio à decisão I. Engenharia Civil - Dissertação II. Lafayette, Kalinny Patrícia Vaz (orient.) III. Gusmão, Alexandre Duarte (co-orient.) IV. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. V. Título.

CDD 624

Dedico este trabalho aos meus pais,
Brivaldo Martins (*in memoriam*) e **Maria Denize.**

AGRADECIMENTOS

A Deus, Senhor e Salvador, pelo seu amor incondicional, pelas bênçãos concedidas a mim nessa trajetória, por me dar forças para seguir em frente, mesmo com todas as dificuldades.

A minha orientadora, prof^a. Kalinny Lafayette, e co-orientador, prof. Alexandre Gusmão, pelo apoio, paciência e tranquilidade, pela confiança no meu trabalho e pelos preciosos ensinamentos, a quem devo grande parte deste trabalho.

Ao Programa de Fortalecimento Acadêmico - PFA, pela concessão da bolsa de mestrado, a qual possibilitou a realização desse trabalho.

A Ciclo Ambiental, em especial à Engenheira Michelle Karine, pelo grande auxílio prestado na visita aos canteiros de obras e disponibilização de dados.

A todas as construtoras e pessoas de contato das obras, pelo apoio, paciência e disponibilidade de dados para a realização dessa pesquisa.

A Thiago Henrique, pela grande parceria na codificação do SIGERCON, por todos os meses de trabalho incansável no desenvolvimento do sistema.

Ao Grupo de Pesquisa de Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente – AMBITEC, pelas pesquisas realizadas, artigos publicados, e reuniões realizadas.

A minha família, pelo apoio que sempre me foi concedido, pelo amor, confiança, e me ensinar a humildade, a bondade, a coragem e a perseverança.

A Ana Camila, pelo seu carinho e companheirismo, pelo grande apoio que me deu, pela paciência, pelos sábados e domingos que deixamos de aproveitar, por causa da dedicação ao mestrado.

Aos meus amigos do Mestrado em Engenharia Civil, em especial à Camila Borba, Francisco Neto, Alexandre Leão, Daniela Albuquerque, Andrea Nunes e Diego Viegas, pelo grande companheirismo, brincadeiras, estudos e aprendizado.

Aos docentes do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PEC, por todas as aulas, pelo fácil acesso, sempre disponível para ajudar; e à secretária Lúcia Rosani, pela força prestada aos mestrandos.

E a todos os outros que direta ou indiretamente contribuíram para que eu pudesse finalizar este curso com bom aprendizado e aproveitamento.

PAZ, Diogo Henrique Fernandes da. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil em canteiros de obras de edificações urbanas**. 2014. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco. Recife, 2014.

RESUMO

Nos últimos anos, tem-se presenciado a geração de uma quantidade significativa de resíduos sólidos provenientes de construção civil, como resultado da rápida urbanização e atividades de construção em larga escala no Brasil, acompanhada da falta de dados e informações sobre os resíduos gerados nesta atividade. Para o planejamento da gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC) dentro do canteiro de obras, é necessário ter um conhecimento prévio do que está sendo gerado (dados qualitativos), quanto está sendo gerado (dados quantitativos), e qual o destino adequado a ser dado a esse material. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver uma ferramenta computacional (*software*), para subsidiar o gerenciamento dos resíduos sólidos da construção civil em canteiros de obras de edificações urbanas, por meio do uso de indicadores de geração de RCC. O desenvolvimento do sistema envolveu as seguintes etapas: aquisição de conhecimentos, estruturação, codificação e validação do sistema. A aquisição de conhecimentos teve como objetivo fornecer subsídios para a representação dos mesmos através de modelos. Na etapa de estruturação do sistema, foi apresentada a estruturação e formalização de conhecimentos para o desenvolvimento do sistema, que consiste em duas etapas: a construção do modelo conceitual e a posterior instanciação do modelo. A codificação do sistema teve o propósito de construir uma interface com o usuário baseado na *web* como um meio de facilitar o acesso às informações do sistema e obter os resultados determinados no modelo conceitual. Para a validação, foi aplicado o sistema em 12 obras, para estimar a geração de RCC pelos métodos da área construída, prazo de conclusão e número de pavimentos, e verificar qual o método mais adequado para ser utilizado. Na aquisição de conhecimentos, observou-se que a geração total média de RCC nas 28 obras com banco de dados completo foi de 1304 toneladas, e obteve-se um índice de geração por área construída de 125 kg/m², geração por prazo de conclusão de 70,03 t/mês, e geração por número de pavimentos de 63,68 t/pavimento. Os índices de geração por fase da obra para o universo de 28 obras foram de 17,20 t/mês para a fase de fundação, 45,86 t/mês para a fase de estrutura e 107,93 t/mês para a fase de acabamento. A partir da comparação entre obras de construtoras com certificação ISO 14001 e obras de construtoras sem certificação, identificou-se uma redução de 30% na geração de RCC. Na validação, o método da estimativa pela área construída mostrou-se como sendo a mais adequada para ser utilizada para calcular a geração de RCC nas obras, com 92% de concordância, enquanto que o método por prazo de conclusão obteve 75% de concordância, e o método por número de pavimentos obteve 50% de concordância. Os resultados mostraram que o sistema é muito útil e aplicável em canteiros de obras do Recife, podendo ser adaptado a outras regiões, colaborando para a melhoria da qualidade da gestão de resíduos e a criação de um banco de dados que servirá de apoio a novas pesquisas.

Palavras-chave: resíduos sólidos, construção civil, edificações urbanas, gerenciamento, sistema de apoio à decisão.

PAZ, Diogo Henrique Fernandes da. **Development of a support system for solid waste management on construction worksites of urban buildings**. 2014. 161 p. Master in Civil Engineering – Polytechnic School of Pernambuco, Pernambuco University. Recife, 2014.

ABSTRACT

In recent years, it was witnessed the generation of a significant amount of construction waste as a result of fast urbanization and large-scale construction activities in Brazil, accompanied by instability and lack of data and information on the waste generated in this activity. For planning the management of Civil Construction Waste (CCW) within the construction site, it is necessary to have a prior knowledge of what is being generated (qualitative data), how much is being generated (quantitative data), and what the appropriate destination to be given to such material. The objective of this research is to develop a computerized tool (*software*) to support the construction solid waste management on sites of urban buildings, through the use of waste generation indicators. The development of the system involved the following steps: knowledge acquisition, structuring the system, coding and validation. The step of knowledge acquisition aims to provide subsidies for the representation of them through models. In the step of structuring the system, it was presented the structuring and formalization of knowledge for the development of the system, and has two stages: the construction of the conceptual model and the subsequent instantiation of the model. The coding aims to build a web-based user interface for use as a means to facilitate access to system information and get the results determined in the conceptual model. For validation, the system was applied in 12 sites, to estimate the CCW generation by the methods of constructed area, completion time and number of floors, and check the most appropriate method to be used. In the knowledge acquisition phase, was observed that the CCW average total generation is 1304 tons, and obtained an index of generation by constructed area of 125 kg/m², by completion time of 70,03 t/month, and by number of pavements of 63,68 t/pavement. The generation rates by phase of work were 17,20 t/month for the foundation phase, 45,86 t/month for the structure phase, and 107,93 t/month for the finishing phase. For the comparison between sites of builders with ISO 14001 certification and works of builders without certification, was identified a 30% reduction in CCW generation. In the validation, the estimative method by constructed area is more suitable to be used to calculate the CCW generation on sites, with 92% of concordance, while the method by completion time got 75% of concordance, and the method by number of floors got 50% of concordance. The results showed that the system is very useful and applicable in construction sites, helping to improve the quality of waste management, and creating a database that will support new researches.

Keywords: solid waste, civil construction, urban buildings, management, decision support system.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública
ATT	Área de Transbordo e Triagem
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTR	Controle do Transporte de Resíduos
EMLURB	Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
PERS	Política Estadual de Resíduos Sólidos
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PIB	Produto Interno Bruto
PIGRCC	Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PMGRCC	Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRR	Posto de Recebimento de Resíduos
RCC	Resíduos da Construção Civil
RPA	Região Político-Administrativa
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SIGERCON	Sistema de Gerenciamento de Resíduos da Construção
SGRCC	Sistema de Gerenciamento de RCC
SINDUSCON	Sindicato das Indústrias da Construção Civil

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Cadeia produtiva da construção civil	22
Figura 2.2	Coleta total de RCC em logradouros públicos no Brasil por região.....	31
Figura 2.3	IDH <i>versus</i> geração de RCC <i>per capita</i> para municípios paulistas	32
Figura 2.4	Análise de regressão linear entre a população e a geração de RCC de 112 municípios brasileiros.....	33
Figura 2.5	Composição dos RCC em 22 municípios do estado de São Paulo.....	35
Figura 2.6	Variação percentual do volume de RCC nas diversas fases das construções.....	38
Figura 2.7	Composição gravimétrica dos resíduos na fase de demolição	39
Figura 2.8	Composição gravimétrica dos resíduos na fase de fundação	39
Figura 2.9	Composição gravimétrica dos resíduos na fase de estrutura	40
Figura 2.10	Composição gravimétrica dos resíduos na fase de acabamento	40
Figura 2.11	Plano de Gerenciamento de Resíduos estabelecido pela Resolução CONAMA nº 307/2002	41
Figura 2.12	Bombonas utilizadas no acondicionamento de resíduos	50
Figura 2.13	Locais demarcados para acondicionamento de resíduos Classe A	50
Figura 2.14	Baias utilizadas para armazenamento final de resíduos.....	51
Figura 2.15	Caçambas estacionárias utilizadas no armazenamento final de resíduos ..	51
Figura 2.16	Hierarquia da gestão de resíduos sólidos	54
Figura 2.17	Usinas de reciclagem de RCC classe A inauguradas de 1991 a 2008.....	56
Figura 2.18	Percentual de usinas ativas no país	59
Figura 2.19	Percentual de usinas inativas no país	59
Figura 2.20	Representação esquemática do ambiente de decisão	60
Figura 2.21	Estrutura básica de um sistema especialista	62
Figura 2.22	Tela de abertura e menu das principais funções	64
Figura 2.23	Funções do sistema WCWES	65
Figura 2.24	Fluxograma do funcionamento do sistema de gerenciamento de RCC em canteiros de obras	66
Figura 3.1	Definição da quantidade de obras da pesquisa	67
Figura 3.2	Etapas de desenvolvimento do SAD	68
Figura 3.3	Localização geográfica dos canteiros de obras visitados na cidade do Recife/PE.....	69
Figura 3.4	Quantidade de obras analisadas por fase da construção e classe de resíduos.....	71
Figura 3.5	Processo de codificação do SAD.....	73
Figura 3.6	Processo de geração de arquivos em planilha eletrônica.....	74
Figura 3.7	Definição da quantidade de obras da etapa de validação.....	75
Figura 4.1	Utilização de bombonas nas obras.....	77
Figura 4.2	Utilização de baias nas obras.....	77
Figura 4.3	Caçamba com segregação adequada.....	77
Figura 4.4	Caçamba com mistura de resíduos.....	77
Figura 4.5	Grau de sustentabilidade para cada grupo de indicadores.....	83
Figura 4.6	Geração total de resíduos das obras com banco de dados completo.....	83
Figura 4.7	Índices de geração de RCC em relação à área construída, tempo de conclusão da obra e nº de pavimentos.....	85
Figura 4.8	Número total de caçambas coletadas nas obras analisadas.....	86

Figura 4.9	Porcentagem de geração de RCC por classe, segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002.....	87
Figura 4.10	Composição gravimétrica dos resíduos Classe B.....	87
Figura 4.11	Geração de resíduos por fase da obra.....	88
Figura 4.12	Porcentagem da geração de RCC por fase da obra.....	88
Figura 4.13	Número de caçambas coletadas por fase da obra.....	89
Figura 4.14	Quantidade de caçambas coletadas em relação à área construída e por fase da obra.....	90
Figura 4.15	Comparativo da geração de RCC entre obras certificadas e não certificadas.....	90
Figura 4.16	Custo com o gerenciamento de RCC nas obras.....	91
Figura 4.17	Custo de gerenciamento de RCC por fase da obra.....	92
Figura 4.18	Custo de gerenciamento de RCC em relação à certificação ambiental....	92
Figura 4.19	Custo mensal com manutenção das coletas das 10 obras	93
Figura 4.20	Receita mensal com venda de resíduos classe B.....	93
Figura 4.21	Custo mensal com o gerenciamento de resíduos Classe B.....	94
Figura 4.22	Esquema do modelo conceitual do sistema.....	95
Figura 4.23	Fluxograma geral da fase 2.....	100
Figura 4.24	Fluxograma de estimativa da geração de RCC.....	101
Figura 4.25	Estimativa da geração de RCC pela área construída.....	102
Figura 4.26	Estimativa da geração de RCC pelo prazo de conclusão da obra.....	103
Figura 4.27	Estimativa da geração de RCC por número de pavimentos.....	104
Figura 4.28	Estimativa do número total de caçambas.....	105
Figura 4.29	Cálculo da geração de RCC por classe.....	106
Figura 4.30	Cálculo da geração de RCC por fase da obra.....	107
Figura 4.31	Cálculo da geração de RCC por material.....	108
Figura 4.32	Cálculo do número de coletores da obra.....	109
Figura 4.33	Cálculo do orçamento da gestão de resíduos.....	113
Figura 4.34	Interface de coleta de resíduos.....	114
Figura 4.35	Interface de compra de agregados reciclados.....	115
Figura 4.36	Interface de cadastro de reutilização de resíduos.....	116
Figura 4.37	Interface de cadastro de treinamentos.....	117
Figura 4.38	Interface de análise econômica do gerenciamento dos resíduos.....	119
Figura 4.39	Tela de abertura do SIGERCON.....	120
Figura 4.40	Etapa de cadastro e gerenciamento de obras.....	120
Figura 4.41	Interface do cadastro das informações da obra.....	121
Figura 4.42	Tela de apresentação da estimativa total de geração de RCC.....	121
Figura 4.43	Tela de apresentação da estimativa da geração de RCC por fase de construção.....	122
Figura 4.44	Tela de apresentação da estimativa da geração de RCC por material.....	122
Figura 4.45	Tela de apresentação do dimensionamento de equipamentos.....	123
Figura 4.46	Tela de apresentação da estimativa de orçamento para o gerenciamento da obra.....	123
Figura 4.47	Interface do cadastro dos transportadores de resíduos.....	124
Figura 4.48	Interface do cadastro de destinação de resíduos.....	124
Figura 4.49	Interface da etapa de coleta de resíduos.....	125
Figura 4.50	Interface referente à compra de agregados reciclados.....	125
Figura 4.51	Interface referente ao cadastro de reutilização de resíduos.....	126
Figura 4.52	Interface referente ao controle de treinamentos.....	126

Figura 4.53	Tela de apresentação da análise estatística do gerenciamento de RCC....	127
Figura 4.54	Tela de apresentação da análise econômica do gerenciamento de RCC..	127
Figura 4.55	Estimativas de geração de RCC para as obras: a) 6.861 m ² ; b) 14.062 m ²	130
Figura 4.56	Estimativas de geração de RCC para as obras: a)7.099 m ² ; b) 97.900 m ²	131
Figura 4.57	Estimativas de geração de RCC para as obras: a) 99.092 m ² ; b) 7.886m ²	132
Figura 4.58	Estimativas de geração de RCC para as obras: a) 28.494 m ² ; b) 17.213 m ²	133
Figura 4.59	Estimativas de geração de RCC para as obras: a) 25.958 m ² ; b) 3.739 m ²	134
Figura 4.60	Estimativas de geração de RCC para as obras: a) 13.439 m ² ; b) 26.570 m ²	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Dados gerais da indústria da construção no Brasil em 2011 e 2012.....	23
Tabela 2.2	Critérios para a classificação de resíduos sólidos.....	25
Tabela 2.3	Taxa média de desperdício de materiais de construção em obras.....	29
Tabela 2.4	Geração de RCC em alguns países.....	30
Tabela 2.5	Quantidade de RCC gerados em alguns municípios brasileiros.....	31
Tabela 2.6	Estimativa da geração total de RCC para os municípios brasileiros em 2013.....	33
Tabela 2.7	Indicadores de geração de RCC em uma edificação.....	34
Tabela 2.8	Número de caçambas de RCC retiradas em construções de São Carlos.....	34
Tabela 2.9	Composição gravimétrica e composição do RCC do município de Pelotas/RS	36
Tabela 2.10	Composição de RCC em alguns municípios brasileiros.....	36
Tabela 2.11	Composição média das classes dos resíduos da construção civil para duas obras de edifício residencial multipiso.....	37
Tabela 2.12	Usinas de reciclagem de RCC instaladas em alguns municípios do Brasil.....	57
Tabela 2.13	Dados históricos da oferta de agregados reciclados no Brasil de 2002 a 2012.....	58
Tabela 4.1	Caracterização dos canteiros de obra visitados.....	76
Tabela 4.2	Caracterização das obras com banco de dados completo.....	84
Tabela 4.3	Índice de geração de RCC por faixa de área construída.....	85
Tabela 4.4	Índice de geração de RCC por faixa de prazo de conclusão da obra.....	85
Tabela 4.5	Índice de geração de RCC por faixa de número de pavimentos.....	86
Tabela 4.6	Geração de RCC na etapa de fundação para faixas de área construída e prazo de conclusão da obra.....	89
Tabela 4.7	Geração de RCC na etapa de estrutura para faixas de área construída e prazo de conclusão da obra.....	89
Tabela 4.8	Geração de RCC na etapa de acabamento para faixas de área construída e prazo de conclusão da obra.....	90
Tabela 4.9	Resumo dos custos/receita total com o gerenciamento de resíduos Classe B.....	94
Tabela 4.10	Resumo das obras analisadas na etapa de validação do sistema.....	128
Tabela 4.11	Comparação das estimativas de geração de RCC com a geração real das obras.....	128
Tabela 4.12	Análise do grau de concordância entre as estimativas de geração de RCC com a geração real das obras.....	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Classificação dos RCC de acordo com a CONAMA nº 307/2002.....	28
Quadro 2.2	Resíduos gerados em cada etapa de uma obra de edificação.....	38
Quadro 2.3	Cumprimento dos prazos estabelecidos na Resolução CONAMA nº 307/2002 pela cidade do Recife até 2008.....	45
Quadro 2.4	Normas técnicas da ABNT relativas aos RCC.....	45
Quadro 2.5	Tópicos previstos em um PGRCC.....	48
Quadro 2.6	Fluxo dos resíduos no canteiro de obras.....	52
Quadro 2.7	Formas de destinação dos resíduos da construção civil.....	53
Quadro 2.8	Classificação dos SAD.....	61
Quadro 4.1	Indicadores de sustentabilidade para a segregação dos RCC e respectivas gradações.....	79
Quadro 4.2	Indicadores de sustentabilidade para o transporte e armazenamento dos RCC e respectivas gradações.....	79
Quadro 4.3	Indicadores de sustentabilidade para a destinação final dos RCC e respectivas gradações.....	80
Quadro 4.4	Matriz de sustentabilidade na segregação dos RCC.....	80
Quadro 4.5	Matriz de sustentabilidade no transporte e armazenamento dos RCC.....	81
Quadro 4.6	Matriz de sustentabilidade na destinação final dos RCC.....	81
Quadro 4.7	Dados solicitados na fase de descrição geral do empreendimento.....	98

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	16
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
1.2 JUSTIFICATIVA	18
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 Objetivo geral	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
 CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	21
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	24
2.2.1 Definição de resíduos sólidos	24
2.2.2 Conceituação e classificação dos RCC	27
2.2.3 Caracterização quantitativa	28
2.2.4 Caracterização qualitativa	35
2.3 INSTRUMENTOS LEGAIS PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	40
2.3.1 Resoluções CONAMA	40
2.3.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos e Política Estadual de Resíduos Sólidos	43
2.3.3 Lei Municipal nº 17.072/2005	43
2.3.4 Normas Técnicas para aplicações de RCC	45
2.4 GERENCIAMENTO DE RCC EM CANTEIROS DE OBRAS	46
2.4.1 Segregação	48
2.4.2 Acondicionamento inicial e final	49
2.4.3 Transporte interno e externo	51
2.4.4 Destinação final	52
2.5 REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RCC	53
2.6 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO	59
 CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	67
3.1 DEFINIÇÃO DA AMOSTRA DA PESQUISA	67

3.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO	68
3.2.1 Aquisição de conhecimentos	68
3.2.2 Estruturação do sistema	72
3.2.3 Codificação	72
3.2.4 Validação do sistema	75
 CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
4.1 AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTOS	76
4.1.1 Diagnóstico das obras	76
4.1.2 Geração de RCC nos canteiros de obras	83
4.1.2.1 Geração total de RCC nos canteiros de obra	83
4.1.2.2 Geração de RCC por classe	86
4.1.2.3 Geração de RCC por fase da obra	87
4.1.2.4 Custos com o gerenciamento de RCC	91
4.2 ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	94
4.2.1 Modelo conceitual	95
4.2.2 Instanciação do modelo	97
4.3 CODIFICAÇÃO	119
4.4 VALIDAÇÃO	128
 CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	136
5.1 CONCLUSÕES	136
5.2 RECOMENDAÇÕES	139
 REFERÊNCIAS	141
 APÊNDICE A: Modelo de relatório de visita técnica às obras analisadas	150
APÊNDICE B: Tipos de informações obtidas nas obras analisadas	151
APÊNDICE C: Banco de dados de geração de resíduos das obras analisadas	154

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a problemática dos resíduos da construção civil, abordando aspectos como a elevada taxa de geração, baixo nível de reciclagem e disposição final inadequada. São apresentadas ainda as justificativas que motivaram o desenvolvimento da pesquisa, ao apresentar a necessidade de criação de ferramentas que auxiliem os gestores no correto gerenciamento dos resíduos.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A indústria da construção civil exerce uma grande contribuição para o desenvolvimento das economias dos países, em especial a considerável quantidade de empregos gerados e a influência direta em todos os setores que produzem insumos, equipamentos e serviços para utilização no seu processo produtivo (MARTINS, 2012).

No âmbito nacional, a Construção Civil é responsável por cerca de 14% do Produto Interno Bruto (PIB), sendo um dos pilares da economia brasileira e o maior gerador de empregos diretos e indiretos do país. O setor também é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais, com cerca de 20% a 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade (MESQUITA, 2012).

Nos últimos anos, tem-se presenciado um aumento significativo na geração de Resíduos da Construção Civil (RCC), como resultado da rápida urbanização e em larga escala de atividades de construção no Brasil (NUNES *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2014), acompanhado pela precariedade e/ou indisponibilidade de dados e informações sobre os resíduos gerados nesta atividade. O estudo sobre os RCC é recente no Brasil, ocasionando a falta de dados em agências e órgãos ambientais. Porém, o surgimento de legislações pertinentes ao setor tem impulsionado avanços e maior mobilização das administrações municipais e empresas privadas em atender às novas leis vigentes (PINHEIRO *et al.*, 2014).

Apesar do momento atual de declínio desta atividade em alguns países, devido às mudanças no ciclo econômico, os problemas causados por esses resíduos, ou melhor, pela sua gestão

deve ser constantemente considerada (SÁEZ *et al.*, 2011). Os resíduos da construção e demolição constituem um dos maiores problemas das áreas urbanas (GUERRERO *et al.*, 2013). Isso se deve a grande geração de resíduos pelas empresas construtoras, que, segundo Gusmão (2008), apesar de 90% dos RCC serem reaproveitáveis, são destinados de forma inadequada, ocasionando uma série de problemas de ordem econômica, social e ambiental.

A disposição dos RCC em áreas ilegais traz uma série de impactos ambientais, como a poluição visual e o estreitamento de leitos, ocasionando enchentes, poluição das águas e solos, indução à deposição de outros tipos de rejeitos e atrativo para vetores de doenças (LIMA *et al.*, 2014).

No Brasil, foram criados dispositivos legais para auxiliar os municípios e empresas privadas na gestão dos RCC. Destacam-se a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC. A CONAMA nº 307/2002 estabeleceu que os grandes geradores devem elaborar e implementar um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), tendo como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos. Outras leis como a nº 12.305, na qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010b) e o Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010a), que regulamentou a PNRS, complementam o que foi estabelecido na CONAMA nº 307.

Muitos métodos para a gestão de resíduos de construção têm sido desenvolvidos, como a criação de um programa de gestão de resíduos, a adoção de tecnologias de construção avançadas (como a pré-fabricação), a realização de triagem de resíduos no local, e utilização de métodos de construção precisos (LU *et al.*, 2011). A sociedade sofre influência dos RCC a partir de uma perspectiva econômica, social e ambiental. Os impactos econômicos da gestão de resíduos de construção sobre a sociedade englobam: o investimento na coleta de resíduos de construção, os custos de separação e triagem; custo de aquisição de equipamentos; benefícios econômicos da gestão de resíduos da construção civil; custo de aterros sanitários; e os lucros provenientes da reciclagem de resíduos (YE *et al.*, 2012).

De acordo com Souza *et al.* (2008), para a adequação a este novo cenário e inserção das construtoras nos moldes da nova legislação, tem-se a necessidade de desenvolver um modelo

eficiente de gerenciamento de resíduos para os canteiros de obras. Tendo em vista que para a elaboração e implementação do PGRCC é necessário um corpo técnico que tenha certo conhecimento referente aos RCC, muitas vezes estes profissionais não estão disponíveis na obra ou sua contratação é dispendiosa. Uma alternativa viável e eficiente na minimização desta deficiência é a criação de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), como ferramenta de auxílio ao gerenciamento de RCC em canteiros de obras.

1.2 JUSTIFICATIVA

Na cidade do Recife, apesar de passados 10 anos da publicação da Resolução CONAMA nº 307/2002, o gerenciamento de RCC ainda se baseia na gestão corretiva, observando-se poucas iniciativas de reciclagem e reaproveitamento de RCC pela própria cidade e pelas construtoras.

Conforme diagnosticado por Guerra (2009), a falta de planejamento da gestão de RCC para todas as fases da obra, dificultou que os canteiros mantivessem constante o sistema de gerenciamento de resíduos e a possibilidade de melhorar continuamente. Como consequência, tem-se um aumento no custo do gerenciamento, e redução do desempenho ambiental da empresa (CHEN *et al.*, 2002; MENDIS *et al.*, 2013).

Para o planejamento da gestão de RCC dentro do canteiro de obras, é necessário possuir um conhecimento prévio do que está sendo gerado (dados qualitativos), o quanto está sendo gerado (dados quantitativos), e qual a destinação adequada a ser dada a esse material. Apesar de já existirem pesquisas voltadas à caracterização desses resíduos, ainda não foi elaborado um banco de dados confiável que dê subsídios às empresas na tomada de decisão referente ao gerenciamento dos RCC.

Tomar uma decisão é fazer uma escolha entre as diversas alternativas disponíveis, sempre buscando aquela que ofereça os melhores resultados possíveis. As alternativas selecionadas para serem avaliadas devem ser factíveis de atender o objetivo da decisão, e serão comparadas em função de critérios e sob a influência de atributos (GOMES, 2006).

Esta dissertação surge como proposta em contribuir para uma gestão mais eficiente dos RCC nos canteiros de obras, ao dar apoio às construtoras através da apresentação de alternativas simples, que gere receita para a empresa e melhore sua responsabilidade socioambiental.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Esta pesquisa teve como objetivo principal desenvolver uma ferramenta computacional (*software*), para subsidiar o gerenciamento dos resíduos sólidos da construção civil em canteiros de obras de edificações urbanas, a partir do uso de indicadores de geração de RCC.

1.3.2 Objetivos específicos

Como forma de alcançar o objetivo proposto, foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- Adquirir os conhecimentos necessários sobre os aspectos qualitativos e quantitativos dos resíduos em canteiros de obras, como forma de criar indicadores de geração de RCC e estabelecer alternativas de gerenciamento;
- Estabelecer um modelo conceitual de gerenciamento de RCC, que venha a dar subsídios ao desenvolvimento do sistema;
- Desenvolver um sistema *online* de gerenciamento de RCC, que apresente dados estatísticos e alternativas simplificadas por fase da obra;
- Avaliar a aplicabilidade do sistema durante e após o seu desenvolvimento, implantando em canteiros de obras que estejam em diferentes fases de construção.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

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

No capítulo 1, é apresentada a INTRODUÇÃO da pesquisa, onde é realizada uma contextualização do tema abordado, a justificativa do trabalho e os objetivos propostos.

No capítulo 2, é apresentado um REFERENCIAL TEÓRICO dos principais temas voltados à gestão de RCC, tratando de definições, classificação, caracterização quantitativa e qualitativa, instrumentos legais para a gestão dos RCC, gerenciamento em canteiros de obras e reutilização e reciclagem.

No capítulo 3, são apresentados os MATERIAIS E MÉTODOS aplicados na realização da pesquisa, onde são descritas as etapas de aquisição de conhecimento, estruturação, codificação e validação do sistema.

No capítulo 4, são apresentados os RESULTADOS E DISCUSSÃO da coleta de dados, estruturação, codificação e validação do sistema nos canteiros de obras.

No capítulo 5, são apresentadas as CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES da pesquisa, a partir de um resumo dos resultados obtidos, e sugestões para pesquisas futuras, que venham a complementar a presente pesquisa.

CAPÍTULO 2

REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados os principais temas relacionados aos resíduos da construção civil como: conceituação, classificação, caracterização quantitativa e qualitativa, instrumentos legais para a gestão dos RCC, gerenciamento em canteiros de obras, reutilização e reciclagem.

2.1 Indústria da Construção Civil

De acordo com Dias (1999), a construção civil “é uma atividade executada com a finalidade de atender às demandas básicas de moradia, prover instalações para o desenvolvimento de atividades produtivas e a implantação de equipamentos públicos para diferentes camadas sociais”.

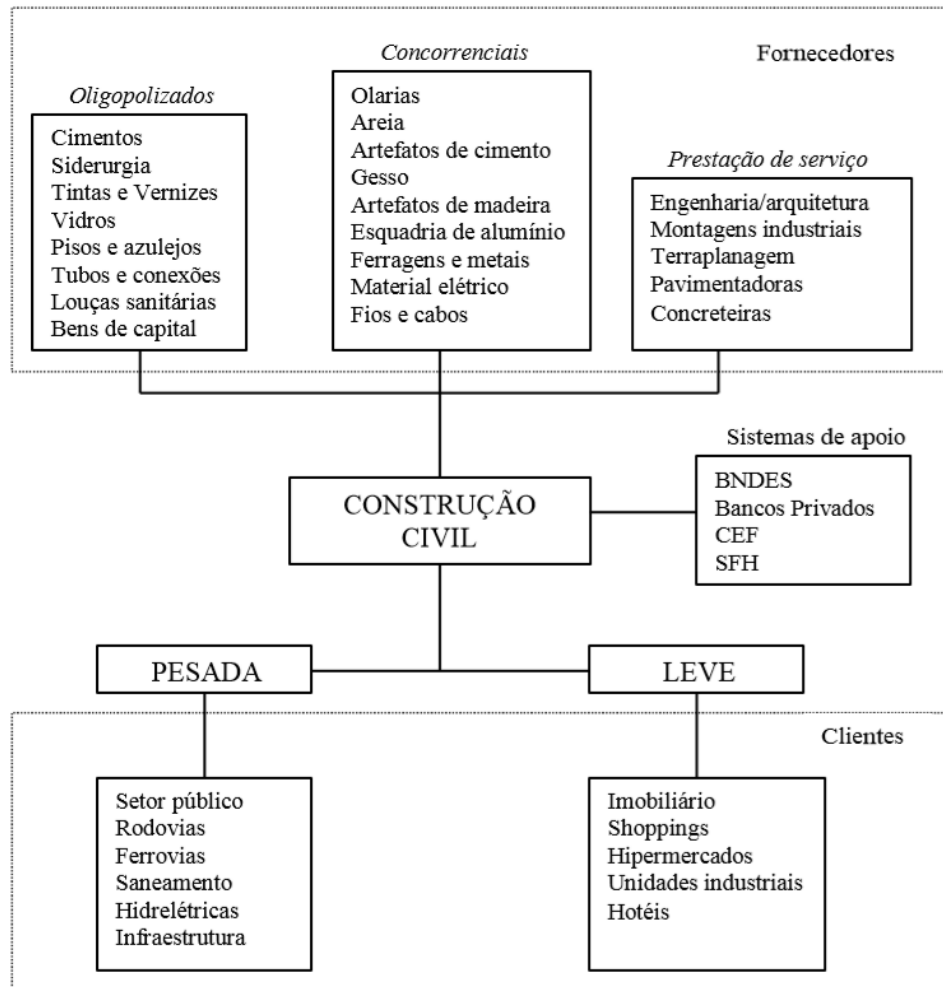
A indústria da construção civil é composta por uma complexa cadeia produtiva que abrange diversos setores industriais, como: mineração, siderurgia do aço, metalurgia do alumínio e do cobre, vidro, cerâmica, madeira, plásticos, equipamentos elétricos e mecânicos, fios e cabos, além de prestadores de serviços, como escritórios de projetos, serviços de engenharia, dentre outros (MELLO e AMORIM, 2009).

De acordo com a Pesquisa Empresas & Empresários (E&E) (2008), o setor de Construção Civil comumente se divide em dois grandes segmentos: construção leve e pesada (Figura 2.1). O primeiro segmento reúne as empresas que atuam em obras de menor porte, como condomínios residenciais, hipermercados, *shopping centers*, hotéis e unidades industriais. O segundo segmento compreende as empresas que atuam em obras de infraestrutura e em empreendimentos de maior porte, como: construção de vias de transporte, hidroelétricas, sistemas de saneamento, pontes, barragens, túneis, dentre outros.

De acordo com Borba (2009), com relação aos fornecedores, a construção civil adquire suas matérias-primas de diversos segmentos, sendo alguns oligopolizados e outros concorrenciais. Dentre os oligopolizados, pode-se citar como exemplo: cimento, siderurgia e tintas. Quanto aos concorrenciais, citam-se: olarias, areia e gesso, dentre outros. Também são fornecedores os

prestadores de serviços, como: consultorias, montagens industriais, concreteiras, dentre outros. Além dos clientes e fornecedores, a cadeia produtiva da construção civil possui um sistema que dá suporte e financia suas operações, consistindo em órgãos governamentais, bancos públicos e privados.

Figura 2.1 – Cadeia produtiva da construção civil.



Fonte: Pesquisa E&E (2008)

O macrossetor da Construção Civil é responsável por uma parcela significativa do Produto Interno Bruto – PIB nacional, participando com 8% (FIESP, 2012). A atividade econômica da construção civil exerce influência significativa na economia brasileira principalmente pelo fato de gerar empregos (direto e indireto), renda e estar presente em todas as classes e perfil de consumo da sociedade, seja nas pequenas, médias ou grandes moradias até na infra-estrutura urbana (ESGUICERO, 2010).

Como pode ser observado na Tabela 2.1, em 2012 as empresas de construção realizaram incorporações, obras e serviços no valor de R\$ 336,6 bilhões, registrando expansão de 10,2% em comparação com o ano anterior. Excluindo-se as incorporações, o valor das obras e serviços da construção atingiu R\$ 326,1 bilhões, sendo que deste montante R\$ 114,1 bilhões vieram das obras contratadas por entidades públicas, que representaram 35% do total das construções, participação menor do que a verificada em 2011 (38,4%).

Tabela 2.1 – Dados gerais da indústria da construção no Brasil em 2011 e 2012

Ano	Dados gerais da indústria da construção								
	Número de empresas ativas	Pessoal ocupado	salários, retiradas e outras remunerações	Gastos com pessoal	Total dos custos e despesas	Valor das incorporações, obras e serviços	Valor das obras e/ou serviços	Construções para entidades públicas	Receita líquida
	1.000 (mil)								
2011	93	2,6	49,7	74,6	242,5	289,7	273,7	105,0	271,3
2012	104	2,8	60,3	90,6	278,3	336,6	326,1	114,1	312,9

Fonte: IBGE (2012)

A indústria da construção civil tem passado por uma grande transformação, cuja competitividade existente no setor demonstra a necessidade de mudanças, uma vez que este acelerado crescimento tem gerado uma série de preocupações, como o atendimento aos prazos de entrega de obras e custos previstos no orçamento (PINHO, 2013).

Nos últimos anos, esta mudança foi intensificada, graças à retomada de investimentos públicos, criação de diversas leis que facilitam a retomada de imóveis em caso de inadimplência, captação de recursos em bolsas e esforços do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade – PBQPH, que disseminou os conceitos de gestão de qualidade (MELLO e AMORIM, 2009).

O setor de construção de edifícios, foco desta pesquisa, foi o que apresentou maior crescimento no período, tanto para o valor nominal de incorporações, obras e serviços (20,9%), como para o número de empresas (32,2%). O segmento de obras de infraestrutura foi o segundo em termos de crescimento, para valor nominal de incorporações, obras e serviços (15,5%) e para o número de empresas (13,8%) (IBGE, 2012).

Martins (2012) conclui, portanto, que a indústria da construção nacional impulsiona a maioria dos segmentos produtivos e funciona como força motriz para o desenvolvimento do país. Por outro lado, é o setor que mais apresenta impactos ambientais em todas as etapas do seu processo, desde a extração da matéria-prima, produção de materiais, construção e uso, até a

demolição. Tais impactos decorrem de variados fatores, entre os quais o enorme peso do macrossetor da construção civil na economia, conforme citado anteriormente.

Porém, entende-se que apesar dos impactos ambientais causados pela construção civil, não se pode imaginar a sociedade sem os benefícios trazidos por este setor. Dessa forma, tanto a construção, como as indústrias associadas e empresas de serviços de apoio, podem e devem contribuir de forma significativa a minimizar os citados impactos ambientais, promovendo uma construção mais sustentável.

2.2 Resíduos sólidos da construção civil

2.2.1 Definição de resíduos sólidos

A norma brasileira NBR 10.004 (ABNT, 2004a) define resíduos sólidos como “resíduos no estado sólido e semisólido, que resultam de atividades da comunidade 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 técnicas e economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível”.

Já a USEPA – *United States Environmental Protection Agency* define os resíduos sólidos como: “Materiais não líquidos, não solúveis, que vão desde o lixo doméstico aos dejetos industriais que contêm substâncias complexas e algumas vezes perigosas. Incluem-se neste definição também os lodos de esgotos, resíduos agrícolas, de demolição e mineração e mais os líquidos e gases em cilindros”.

De acordo com Júnior *et al.* (2003), considerando-se o resíduo sólido quanto à sua natureza, pode-se classificar da seguinte forma:

- Facilmente degradáveis (FD): restos de comida, sobras de cozinha, folhas, capim, cascas de frutas, animais mortos e excrementos;
- Moderadamente Degradáveis (MD): papel, papelão, e outros produtos celulósicos;

- Dificilmente degradáveis (DD): trapo, couro, pano, madeira, borracha, cerâmica;
- Não Degradáveis (ND): metal não ferroso, vidro, pedras, cinzas, terra, areia, cerâmica.

Existem vários critérios de classificação dos resíduos, dependendo do aspecto que está sendo considerado. A Tabela 2.2 mostra os diferentes critérios de classificação dos resíduos sólidos.

Tabela 2.2 - Critérios para a classificação de resíduos sólidos.

Critério de classificação	Classe
Origem, fonte e local de produção	Doméstico, residencial ou domiciliar, comercial, hospitalar, especial, radioativo, industrial, público, urbano, rural.
Tratabilidade	Biodegradável, descartável, reciclável
Grau de biodegradabilidade	Altamente degradável, moderadamente degradável, lentamente degradável, não degradável
Padrão econômico da fonte de produção	Alto, médio e baixo
Possibilidade de reagir	Inerte, orgânico e reativo
Economia	Aproveitável, inaproveitável e recuperável
Possibilidade de incineração	Combustível e não combustível
Possibilidade e recuperação energética	Alta, média e baixa
Ponto de vista sanitário	Contaminado e não contaminado
Natureza física	Seco e molhado
Composição química	Matéria orgânica e inorgânica
Periculosidade	Perigosos, não inertes e inertes

Fonte: Poleto *et al.* (2010)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica os resíduos sólidos de acordo com os riscos que oferecem (ABNT, 2004):

- **Resíduos Classe I – Perigosos:** são aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde ou ao meio ambiente;
- **Resíduos Classe II – Não Perigosos.**

- *Resíduos Classe IIA* – Não Inertes: aqueles que não se enquadram nas classificações dos resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe IIB – Inertes. Os resíduos classe IIA podem ter propriedades, como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- *Resíduos Classe IIB* – Inertes: quaisquer resíduos que, quando submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água. Excetuando-se os aspectos cor, turbidez, dureza e sabor.

Considerando-se ainda o critério de origem e produção, pode-se classificá-lo como (JÚNIOR *et al.*, 2003; POLETO *et al.*, 2010):

- **Resíduos Urbanos** – os provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, da varrição, de podas e da limpeza de vias, logradouros públicos, de sistema de drenagem urbana e tratamento de esgotos, os entulhos da construção civil e similar;
- **Resíduos Industriais** – os provenientes de atividades de pesquisa e transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas e inorgânicas em novos produtos. Por processos específicos, bem como os provenientes das atividades de mineração, de montagem e aqueles gerados em áreas de utilidades e manutenção dos estabelecimentos industriais;
- **Resíduos de Serviços de Saúde** – Os provenientes de atividades de natureza médico-assistencial, de centros de pesquisa e de desenvolvimento e experimentação na área de saúde bem como os remédios vencidos e/ou deteriorados requerendo condições especiais quanto ao acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final, por apresentarem periculosidade real ou potencial à saúde humana, animal e ao meio ambiente;
- **Resíduos Especiais** – os provenientes do meio urbano e rural que pelo seu volume, ou por suas propriedades intrínsecas exigem sistemas especiais para acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final, de forma a evitar danos ao meio ambiente;
- **Resíduos de atividades rurais** – os provenientes da atividade agrosilvopastoril, inclusive os resíduos dos insumos utilizados nestas atividades;

- **Resíduos de serviços de transporte** – decorrentes da atividade de transporte e os provenientes de portos, aeroportos, terminais rodoviários, ferroviários e portuários e postos de fronteira;
- **Rejeitos radioativos** - Materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados de acordo com a norma da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, e que sejam de reutilização imprópria ou não prevista, observado o disposto na Lei nº 11.423.

2.2.2 Conceituação e classificação dos RCC

Os RCC foram considerados, por um bom tempo, como sendo parte dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), porém, devido ao grande volume gerado e aos problemas causados pelo seu mal gerenciamento, começou-se a ser dada uma maior atenção a esse tipo de resíduo (SOUZA, 2007).

A conceituação mais conhecida e utilizada dos RCC é dada pela Resolução CONAMA nº 307/2002:

“São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, dentre outros., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.”

Os RCC são classificados NBR 10.004 (ABNT, 2004a) em Classe II-B – inertes, pelo fato deste resíduo ser constituído por componentes minerais não poluentes e ser praticamente inerte quimicamente. Porém, caso os RCC apresentem altos níveis de contaminação, presença de tintas, solventes, óleos e outros derivados, a depender da origem, da composição ou da qualidade, os mesmos podem ser inseridos em outras classes (LIMA, 2005).

Uma classificação mais adequada é dada pela Resolução nº 307/2002 do CONAMA, a qual identifica os RCC em quatro classes de resíduos, as quais devem ter tratamentos distintos, conforme mostra o Quadro 2.1. A resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004, e a resolução nº 431, de 24 de maio de 2011, modificaram a classificação dada pela resolução nº 307,

inserindo o amianto como material perigoso (classe D) e mudando a classificação do gesso, de classe C para a classe B, respectivamente.

Quadro 2.1 - Classificação dos RCC de acordo com a CONAMA nº 307/2002.

Classe	Definição
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: tijolos, concreto, argamassa, blocos, telhas, placas de revestimentos, solos provenientes de terraplanagem, dentre outros.
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.
D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados 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 (2002)

Embora o gesso tenha sido reclassificado como resíduo classe B, o seu acondicionamento deve ser realizado separadamente dos outros resíduos de sua classe e de outras classes, em recipiente próprio, para futura reciclagem (CABRAL e MOREIRA, 2011).

Na visão de Freitas (2009), a descrição dos RCC em classes bem definidas facilita o manejo e segregação dos resíduos por parte do gerador, pois dessa forma é possível identificar a melhor solução para os resíduos gerados no seu empreendimento, obtendo-se assim, uma redução de custo ao reduzir o desperdício e viabilizar a reutilização dos resíduos.

2.2.3 Caracterização quantitativa

A geração de sobras é consequência natural das ações humanas na terra. Porém, a quantidade de construções e manufaturas advindas da maior parte da existência humana, permitia que os resíduos fossem gerenciados sem maiores problemas (JÚNIOR, 2010).

Para Santos (2007), apesar de a indústria da construção civil ser considerada uma atividade antiga, ainda guarda características bastante artesanais, o que colabora para que haja uma elevada geração de resíduos. A geração de RCC está ligada aos modos como se constroem as

obras e como se controlam as construções. Existem três fases nas quais os RCC são gerados: fase de construção, fase de reforma e fase de demolição.

A grande quantidade de RCC gerados em um canteiro de obras é proveniente de perdas de materiais de construção nos canteiros de obras, advindos dos materiais desperdiçados durante o processo de execução de um serviço.

Para Gusmão (2008), apesar dos índices alarmantes de desperdício não serem exclusivos da indústria da construção civil, esta atividade se destaca pelo consumo desnecessário de material, que resulta em uma alta produção de resíduos, ocasionando diversos transtornos às cidades, reduzindo a disponibilidade de matéria-prima e energia, e provoca uma demanda desnecessária no sistema de transporte. O estudo realizado por Chen *et al.* (2002) mostra que dos materiais utilizados em uma obra, em torno de 10 a 30% se tornam resíduos, conforme apresentado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Taxa média de desperdício de materiais de construção em obras.

Material	Desperdício médio (%)					
	USA	UK	Mainland (China)	Brasil	Seoul	Hong Kong
Tijolos/blocos	3,5	4,5	2,0	17,5	3,0	--
Concreto	7,5	2,5	2,5	7,0	1,5	6,7
Drywall	7,5	5,0	-	-	-	9,0
Fôrmas	10,0	-	7,5	-	16,7	4,6
Vidro	-	-	0,8	-	6,0	2,3
Argamassa	3,5	-	5,0	46,0	0,3	3,2
Prego	5,0	-	-	-	-	-
Vergalhões	5,0	-	3,0	21,0	0	8,0
Telha	6,5	5,0	-	8,0	2,5	6,3
Papel de parede	10,0	-	-	-	11,0	-
Madeira	16,5	6,0	-	32,0	13,0	45,0

Fonte: Chen *et al* (2002)

Dentro das atividades da construção civil, o ramo de edificações apresenta um grande potencial gerador de resíduos, devido à grande variedade de elementos construtivos que podem ser empregados. Dessa forma, seu processo produtivo é complexo, não existindo uma formalização do mesmo. O conhecimento de suas características poderia contribuir para a tentativa de redução da taxa de geração de resíduos (PASA, 2012).

Estima-se que mundialmente são gerados de dois a três bilhões de toneladas de RCC por ano, sendo 500 milhões só na União Europeia (MÁLIA *et al.*, 2013), com uma média de geração

acima de 480 kg/hab/ano. No Brasil, as estimativas pontuais levam a uma geração anual entre 220 a 670 kg/hab (NICOLAU, 2008). Em Hong Kong a quantidade de resíduos de construção gerados no ano de 2004 chegou a 20 milhões de toneladas e chega aos aterros da cidade um volume de aproximadamente 3.500 m³ por dia.

Vários pesquisadores têm buscado estimar a quantidade de RCC em seus países. A Tabela 2.4 apresenta as estimativas de geração anual de RCC em alguns países, obtidas em estudos mais recentes.

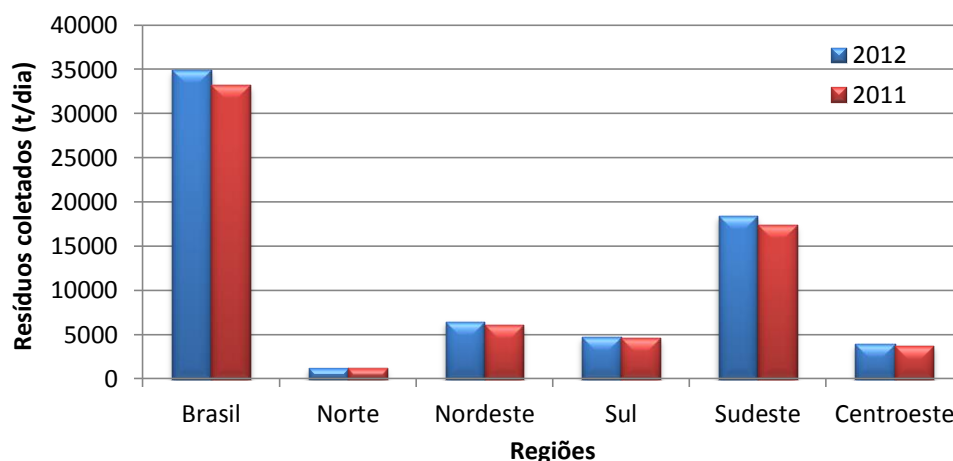
Tabela 2.4 - Geração de RCC em alguns países.

País	Geração de RCC (10⁶ x t/ano)	Fonte
Espanha	40	SÁEZ <i>et al.</i> (2011)
Tailândia	1,1	KOFOWOROLA e GHEEWALA (2009)
Turquia	38	ESIN e COSGUN (2007)
Portugal	2,1	MÁLIA (2010)

A quantidade de RCC gerados nas cidades brasileiras, de acordo com Mesquita (2012), é muito significativa, variando de 41% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos. Tal valor sugere um índice preocupante de perda de materiais. Essa geração é diretamente proporcional ao crescimento e ao desenvolvimento econômico de uma sociedade cada vez mais urbanizada (TESSARO *et al.*, 2012).

Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE, 2012), mostram que os RCC coletados de despejos clandestinos por serviços de limpeza pública dos municípios tiveram um aumento de 5% de 2011 para 2012, totalizando em valores absolutos de 84 mil toneladas de RCC recolhidos diariamente somente de logradouros públicos (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Coleta total de RCC em logradouros públicos no Brasil por região.



Fonte: ABRELPE (2012)

A Tabela 2.5 apresenta um resumo da geração de RCC de alguns municípios brasileiros em estudos realizados nos últimos cinco anos.

Tabela 2.5 - Quantidade de RCC gerados em alguns municípios brasileiros.

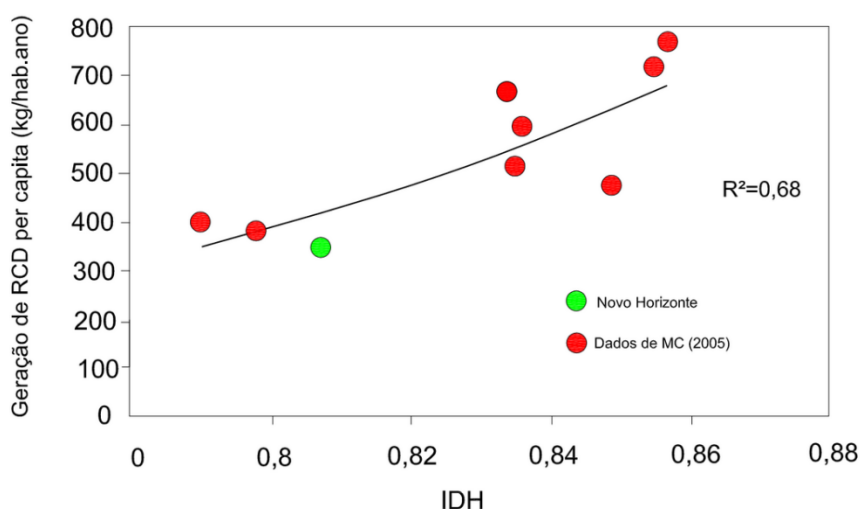
Município	População ¹ (habitantes)	Geração de RCC (t/dia)	Geração <i>per capita</i> de RCC (kg.hab.dia)	Fonte
São Carlos/SP	197.187	380.73	1.93	MARQUES NETO e SCHALCH (2010)
Olinda/PE	391.433	221.35	0.57	FALCÃO (2011)
São Leopoldo/RS	213.098	331.76	1.56	SILVA (2011)
Criciúma/SC	192.236	145,65	0.96	CARDOSO (2011)
Içara/SC	58.859	40,21	0.68	CARDOSO (2011)
Pelotas/RS	328.275	403.30	1.23	TESSARO <i>et al.</i> (2012)
Catalão/GO	86.647	128,30	1.48	PAIVA <i>et al.</i> (2012)
Matinhos/PR	29.172	26,17	0.90	SCHMITZ (2012)
Pontal do Paraná/PR	20.839	11,88	0.52	SCHMITZ (2012)

¹ População do ano em que foi realizada a pesquisa.

Angulo *et al.* (2011) apresenta uma validação de métodos de quantificação de RCC, sendo um direto e outro indireto, considerando a produção advinda dos agentes informais (reforma) e formais (construção). O método indireto tem como objetivo quantificar a geração de RCC em massa, considerando a área construída das edificações (construção) e transformação dos pontos de ligação de água e luz instalados (reforma). Já o método direto quantifica a geração de RCC em volume, identificando-se a geração advinda dos agentes informais (reforma) e formais (construção) nas proximidades dos pontos de disposição finais, nas diferentes regiões

do município. Aplicando-se a análise comparativa em um município de 36.300 habitantes na região Noroeste do estado de São Paulo, obteve-se que com base no método direto, os resíduos de reforma correspondem a 82% da massa do RCC gerado no município. A geração *per capita* média de RCC está em torno de 367 kg/hab/ano, e apresenta correlação com o índice de desenvolvimento humano (IDH) para os municípios paulistas (Figura 2.3).

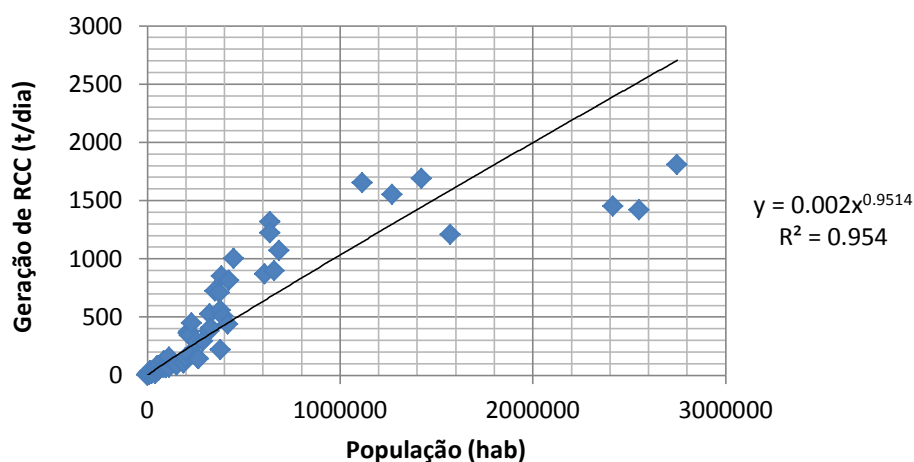
Figura 2.3 – IDH *versus* geração de RCC *per capita* para municípios paulistas.



Fonte: Angulo *et al.* (2011)

Como forma de estimar a geração atual de RCC nos municípios brasileiros, Paz *et al.* (2013) realizaram uma análise estatística de dados de 2003 a 2012 de 112 municípios. A média de geração *per capita* obtida foi de 1,33 kg/hab/dia ou 485 kg/hab/ano, ficando este valor dentro da faixa obtida por Vieira (2003), que foi da ordem de 220 a 670 kg/hab/ano e muito próximo ao valor obtido por Angulo (2005) que foi aproximadamente 500 kg/hab/ano. Para avaliar o grau de correlação entre a população e a geração de RCC, Paz *et al.* (2013) realizaram uma análise de regressão, obtendo 95,4% de correlação, conforme mostra a Figura 2.4. A Tabela 2.6 apresenta a geração de RCC para os municípios, sendo dividido em classes, de acordo com a quantidade de habitantes.

Figura 2.4 - Análise de regressão linear entre a população e a geração de RCC de 112 municípios brasileiros.



Fonte: Paz *et al.* (2013)

Tabela 2.6 – Estimativa da geração total de RCC para os municípios brasileiros em 2013.

População	nº de municípios	Geração média de RCC (t/dia)	Geração per capita (t/dia)	Geração per capita (t/ano)	Geração total de RCC (t/dia)	Geração total de RCC (t/ano)
Acima de 500 mil	37	1345,3	1,2	449,7	49776,5	18.168.411
De 201 a 500 mil	91	461,5	1,4	514,3	41998,6	15.329.494
de 71 a 200 mil	275	94,8	0,8	301,1	26060,9	9.512.223
De 21 a 70 mil	1128	80,7	0,9	312,7	91048,3	3.323.611
Até 20 mil	4034	10,7	1,7	546,4	43070,8	15.720.847
TOTAL	5565	-	-	-	251.955,0	91.963.587

Fonte: Paz *et al.* (2013)

Conforme Costa (2012), a taxa de geração dos RCC nas obras pode ser obtida a partir da razão entre a sua massa e a área construída de cada obra (Equação 2.1). O valor médio calculado será obtido através da média ponderada (utilizado para se corrigir as distorções devido à diferença de porte das obras) do somatório da multiplicação das taxas pelas respectivas áreas, e sendo posteriormente dividido pelo somatório das áreas (Equação 2.2).

$$Tx = \frac{\text{massa de RCC (kg)}}{\text{Área Construída (m}^2\text{)}} \quad (\text{Equação 2.1})$$

$$Tx_p = \frac{\sum_1^n T_i A_i}{\sum_1^n A_i} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Costa (2012) obteve o valor de 99,17 kg/m² através de uma análise em 35 obras de João

Pessoa/PB. Verifica-se que as taxas de geração de RCC por área construída observadas em pesquisas realizadas no Brasil geralmente são maiores que em outros países. Na China, a média obtida foi de 60 kg/m^2 (LU *et al.*, 2011). Mália *et al.* (2013) identificou que para edifícios com a estrutura em madeira em Portugal, a geração total de RCC fica entre 10 e 39 kg/m^2 , e para edifícios com a estrutura em concreto armado, a geração está entre 44 e 115 kg/m^2 .

Gusmão (2008) apresenta as taxas de geração de RCC associados a cada fase da obra (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 - Indicadores de geração de RCC em uma edificação.

Fase	Resíduo gerado	Prazo usual	Indicador de geração
Demolição	Classe A (concreto, argamassa, cerâmica) e Classe C (gesso)	10 a 30 dias	$800 \text{ a } 1000 \text{ kg/m}^2$
Escavação	Classe A (solo)	10 a 20 dias	$1300 \text{ a } 1400 \text{ kg/m}^3$
Construção	Classe A (concreto, argamassa, cerâmica), Classe B (plásticos, papel e madeira), Classe C (gesso) e Classe D (solventes, tintas ácidos).	6 a 48 meses	$100 \text{ a } 150 \text{ kg/m}^2$

Fonte: Gusmão (2008)

Um indicador bastante eficiente de geração de RCC é o controle do número de caçambas que saem da obra. Marques Neto (2005) acompanhou cinco obras de diferentes áreas e usos, calculando os volumes totais de entulhos removidos durante suas execuções. A Tabela 2.8 apresenta o número de caçambas retiradas nessas obras durante suas fases de construção.

Tabela 2.8 - Número de caçambas de RCC retiradas em construções de São Carlos.

Fases da obra	Obra 1		Obra 2		Obra 3		Obra 4		Obra 5		Média (%)
	C*	%	C*	%	C*	%	C*	%	C*	%	
Terraplenagem	0	0	1	3	1	9	0	0	0	0	2
Fundações	1	5	2	7	1	9	1	8	1	10	8
Estrutura	3	16	5	17	1	9	1	8	2	20	14
Alvenarias	4	21	9	30	2	19	3	25	2	20	23
Revestimentos	6	32	7	23	3	27	3	25	2	20	25
Acabamentos	5	26	6	20	3	27	4	34	3	30	28
Total	19	100	30	100	11	100	10	100	10	100	100

* C: Número de caçambas

Fonte: Marques Neto (2005)

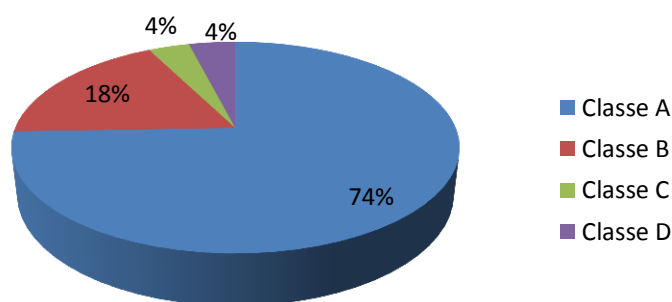
2.2.4 Caracterização qualitativa

Os canteiros de obras são caracterizados por serem um ambiente dinâmico, sujeito a constantes modificações, em função do cronograma de execução de serviços. Uma série de atividades são realizadas conjuntamente, utilizando diversas tecnologias e empregando diferentes tipos de materiais, o que contribui para que os RCC apresentem composição marcada por uma alta variabilidade e heterogeneidade (SANTOS, 2007).

De acordo com Mália *et al.* (2013) os RCC são heterogêneos em termos de forma e tamanho. A fração mais importante são os materiais inertes, que representam de 40 a 85% do volume total de resíduos, excluindo os solos. Apesar dos grandes volumes envolvidos, a natureza inerte dos RCC é pouco valorizada, sendo associados apenas a Resíduos Sólidos Urbanos.

Já foram realizados no Brasil diversos estudos de caracterização qualitativa dos RCC nos municípios, no próprio canteiro de obras, ou nos aterros e usinas de reciclagem (CÓRDOBA, 2010). Marques Neto (2009) realizou um diagnóstico da gestão de RCC em 64 municípios do estado de São Paulo. Destes, obteve dados de composição de RCC em 22 municípios. Identificou-se que os resíduos classe A correspondem em média a 74% dos RCC gerados nestes municípios, seguido dos resíduos Classe B, com 18% (Figura 2.5).

Figura 2.5 – Composição dos RCC em 22 municípios do estado de São Paulo.



Fonte: Marques Neto (2009)

Tessaro *et al.* (2012) realizou uma caracterização qualitativa dos RCC no aterro municipal de Pelotas/RS, onde foi utilizado o método de amostragem de acordo com o que estabelece a NBR 10.007 (ABNT, 2004). Observa-se na Tabela 2.9 que 88% dos RCC gerados se refere à Classe A e 11% se refere à Classe B.

Tabela 2.9 - Composição gravimétrica e composição do RCC do município de Pelotas/RS.

Material	%	Classe	% por classe
Argamassa e concreto	32	A	88
Material cerâmico	31		
Solo natural	25		
Madeira	4	B	11
Metal	2,5		
Plásticos/PVC	2,2		
Papel/Papelão	0,3		
Vidro	1		
Gesso	1	-	1
Matéria Orgânica	1		

Fonte: Tessaro *et al.* (2012)

A Tabela 2.10 apresenta a composição de RCC em alguns municípios brasileiros.

Tabela 2.10 - Composição de RCC em alguns municípios brasileiros.

Material (%)	Município				
	Olinda/PE ¹	Recife/PE ²	São Carlos/SP ³	Pelotas/RS ⁴	Porto Alegre/RS ⁵
Madeira	-	2	7	4	-
Material cerâmico	3,5	2	40	31	35,6
Papel/papelão	-	-	-	0,3	-
Plástico/PVC	-	-	1	2,2	-
Material miúdo	32	-	-	-	-
Pedra/Pedregulho	-	3	10	-	-
Gesso	-	4	1	1	-
Argamassa	20	24	8	16	44,2
Metal	-	1	2	-	-
Concreto	22,6	14	19	16	18,3
Tijolo	14,4	17	-	-	-
Solo	-	23	9	25	1,8
Fibrocimento	-	-	2	-	-
Vidro	-	-	1	1	-
Outros	7,5	10	-	2,5	5,1

Fonte: ¹ Falcão (2011); ² Carneiro (2005); ³ Marques Neto e Schalch (2010); ⁴ Tessaro *et al.* (2012); ⁵ Lovato (2007)

Miranda *et al.* (2009), avaliou a composição dos RCC gerados em duas obras, com as seguintes características (Tabela 2.11):

- *Obra A:* edifício residencial multipiso de 1.984 m² de área construída, no município de São Paulo, compreendendo todo seu período de execução (22 meses), com sistema de gestão de RCC implantado;

- *Obra B*: edifício residencial multipiso de 26.613 m² de área (42 pavimentos), no município de Recife, PE, compreendendo a fase de execução de estrutura (6 meses), com sistema de gestão de RCC implantado.

Tabela 2.11 - Composição média das classes dos resíduos da construção civil para duas obras de edifício residencial multipiso.

Resíduo	Obra A (%) – toda a obra		Obra B (%) – Apenas fase de estrutura	
	Volume	Massa	Volume	Massa
Classe A	50,8	79,6	37,6	80,5
Madeira	31,4	10,2	42,0	16,6
Gesso	7,1	9,2	-	-
Papel	6,9	0,6	1,6	0,2
Plástico	3,2	0,3	6,2	0,7
Metal	0,6	0,1	12,6	2,0
Total	100	100	100	100

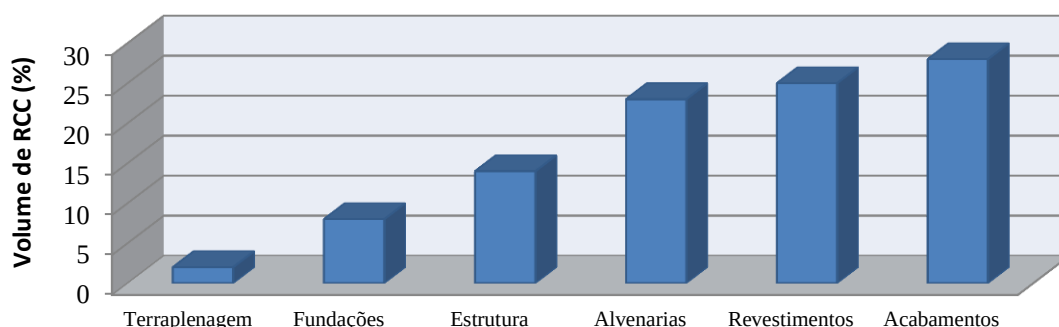
* Obs: Não foi considerado o volume de solo proveniente de escavação e terraplenagem

Fonte: Miranda *et al.* (2009)

Miranda *et al.* (2009) identificou que os resíduos classe B (madeira, papel, plástico e metal) possuem densidade aparente inferior a 0,25 t/m³, enquanto o resíduo classe A e o gesso possuem densidade aparente superior a 1,0 t/m³. Assim, para a Obra A, apesar de o teor em massa dos resíduos Classe B ser menor que 12%, ele representa mais de 40% do volume transportado. Já na Obra B, como se trata de execução de estrutura, o resíduo de madeira e de aço é maior, aumentando a importância dos resíduos Classe B na composição do RCC. A presença de resíduos de papel decresceu em relação à Obra A, uma vez que este é gerado, principalmente, pelas embalagens de cimento e argamassa das etapas de alvenaria e revestimento.

A identificação do percentual de geração de RCC em diversas etapas da obra é um dado essencial na implementação de sistemas de gerenciamento de RCC em canteiros de obra. A variação percentual de geração de RCC nas diversas etapas da construção de cinco obras é apresentada na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Variação percentual do volume de RCC nas diversas fases das construções.



Fonte: Adaptado de Marques Neto (2005)

A composição dos RCC é diferente para cada etapa da obra, mas sempre há um material que é predominante, que é diferenciado para cada país, por causa da diversidade de tecnologias construtivas utilizadas, com exceção dos resíduos pertencentes à classe B, que são gerados em todas as fases da obra (PACHECO, 2011; COSTA, 2012). O Quadro 2.2 apresenta os tipos possíveis de resíduos gerados em uma obra de edificação por cada etapa.

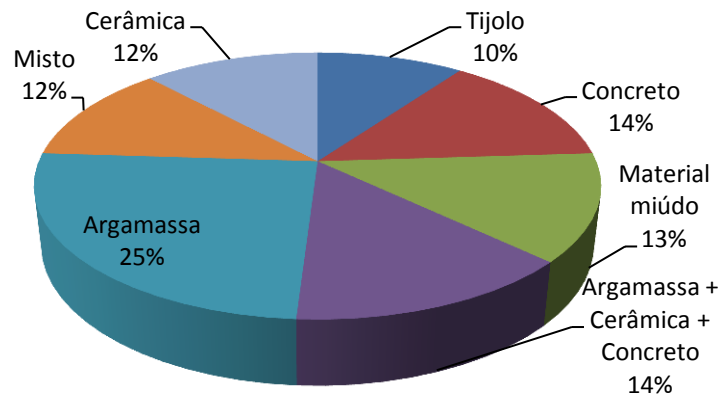
Quadro 2.2 - Resíduos gerados em cada etapa de uma obra de edificação.

Etapa da obra	Tipos de resíduos possivelmente gerados
Demolições	Areia, argamassa, azulejos, ferro, blocos, brita, cal, cerâmica, concreto, esmalte, esquadrias metálicas, gesso, janelas, ladrilhos, madeiras, pedras, perfis metálicos, pisos, portas, pré-moldados de concreto, tábuas, tacos, telhas.
Limpeza do terreno	Solos, rochas, resíduos vegetais.
Montagem do canteiro	Blocos, argamassa, concreto (areia e brita), madeira, pregos, telhas.
Fundações	Solo e material rochoso
Drenagem de terrenos	Areia, brita, concreto, juntas de tubos cerâmicos e de concreto, madeira, rejeitos rochosos, solos.
Infraestrutura	Areia, argamassa, brita, cal, cimento, concreto, pedras, madeira, sobras de aço, solo, tijolos.
Superestrutura	Concreto (areia; brita), madeira, sucata de ferro, blocos, brita, cal, cimento, concreto, laminados, saibro, tijolos.
Alvenaria	Blocos cerâmicos, blocos de concreto, argamassa
Instalações Hidráulicas	Blocos, sucata de ferro, aparas de tubulações (PVC e fibrocimento), argamassa, tubulação de concreto, aparas de cobre e ferro, material de rejunte, vedação e tubulação
Instalações Elétricas	Blocos cerâmicos, fios de cobre e cabos, argamassa, conduítes, mangueira.
Reboco interno/externo	Argamassa
Revestimentos e Pisos	Pisos e azulejos cerâmicos, piso de madeira, argamassas ou colas, borrachas, cimento, fibrocimento, granitos, lascas de alumínio, de cerâmica, de mármore e de vidro, pastilhas, pedra, concreto, pedaços de vigas, restos de tacos.
Esquadrias de madeira	Aparas de madeira, argamassa, peças de fixação
Forro de Gesso	Placas de gesso acartonado.
Colocação de Vidros	Lascas de vidros, massas de fixação
Pinturas	Tintas, vernizes, seladoras, texturas.

Fonte: Pacheco (2011)

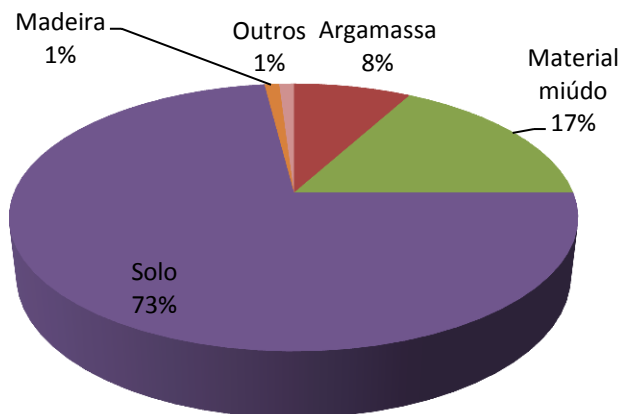
As figuras 2.7, 2.8, 2.9 e 2.10 apresentam a composição de RCC nas etapas de demolição (MACEDO e LAFAYETTE, 2011), fundação (CARNEIRO, 2005), e nas etapas de estrutura e acabamento (MACEDO e LAFAYETTE, 2011), em estudos realizados na cidade do Recife/PE.

Figura 2.7 – Composição gravimétrica dos resíduos na fase de demolição.



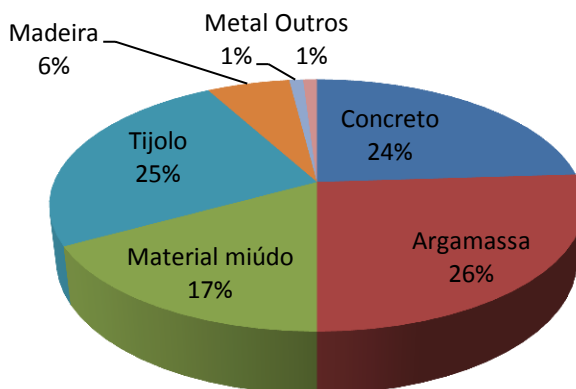
Fonte: Adaptado de Macedo e Lafayette (2011)

Figura 2.8 – Composição gravimétrica dos resíduos na fase de fundação.



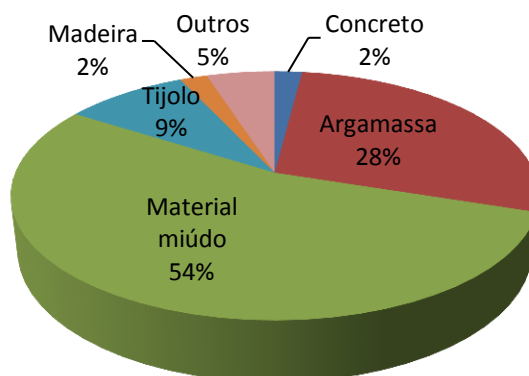
Fonte: Adaptado de Carneiro (2005).

Figura 2.9 – Composição gravimétrica dos resíduos na fase de estrutura.



Fonte: Adaptado de Macedo e Lafayette (2011).

Figura 2.10 – Composição gravimétrica dos resíduos na fase de acabamento.



Fonte: Adaptado de Macedo e Lafayette (2011).

Mesquita (2012) acrescenta que a composição média dos RCC varia de acordo com a região estudada e o período de análise, o que impossibilita a fixação de valores definitivos de porcentagem para cada material. O autor ainda complementa que em um mesmo local de amostragem, pode-se ter grandes variações na participação de alguns materiais.

2.3 Instrumentos legais para a gestão de resíduos sólidos

2.3.1 Resoluções CONAMA

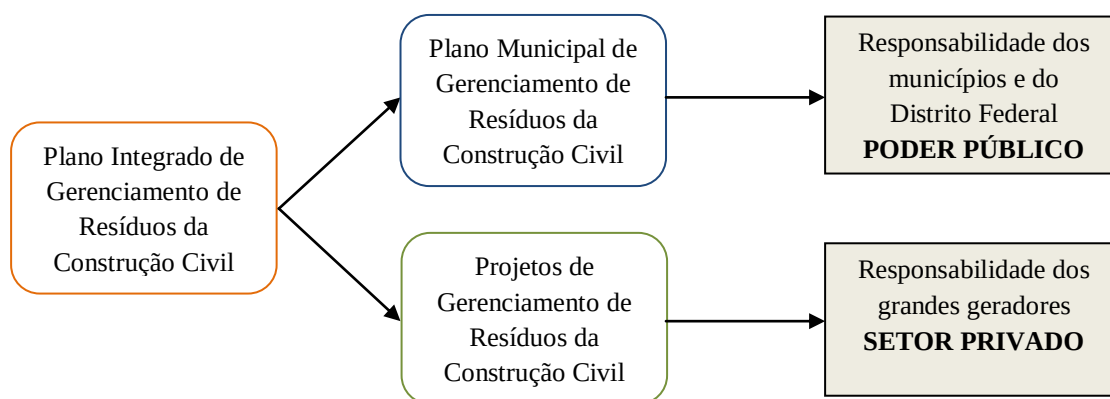
A necessidade da gestão e manejo corretos dos RCC, de forma a tornar viável o seu reaproveitamento, resultou no estabelecimento da Resolução nº 307, de 5 e julho de 2002, pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre a gestão dos

resíduos da construção civil, e surgiu da necessidade de solucionar problemas decorrentes da imensa geração dos RCC e de seus impactos ambientais, sociais e econômicos. O seu objetivo principal é estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, considerando que:

- a disposição dos RCC em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental;
- os resíduos da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas;
- os geradores de RCC devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas, bem como por aqueles resultantes da remoção da vegetação;
- a viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reciclagem de resíduos da construção civil;
- que a gestão integrada de resíduos da construção civil deverá proporcionar benefícios de ordem social econômica e ambiental.

A CONAMA nº 307/2002 torna ainda obrigatória a elaboração do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC) pelos municípios contendo o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC) e os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) como mostra a Figura 2.11.

Figura 2.11 - Plano de Gerenciamento de Resíduos estabelecido pela Resolução CONAMA nº 307/2002.



Fonte: Inojosa (2010)

O objetivo do PMGRCC é orientar os pequenos geradores nas suas atividades. Já os PGRCC, apresentados pelos geradores, devem ser desenvolvidos pelos grandes geradores e deverão conter as etapas de caracterização de resíduos, triagem, acondicionamento, transporte e destinação final dos seus resíduos. A norma apresenta as seguintes diretrizes para o PIGRCC (CONAMA, 2002):

- I. as diretrizes técnicas e procedimentos para o PMGRCC e para os PGRCC a serem elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores;
- II. o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, em conformidade com o porte da área urbana municipal, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento;
- III. o estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e de disposição final de resíduos;
- IV. a proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas;
- V. o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo;
- VI. a definição de critérios para o cadastramento de transportadores;
- VII. as ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos;
- VIII. as ações educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação.

A norma ainda estabeleceu os seguintes prazos contados a partir da publicação:

- 12 meses para a elaboração do PIGRCC;
- 18 meses para a implementação do PMGRCC oriundo de geradores de pequenos volumes;
- 24 meses para a elaboração dos PIGRCC;
- 18 meses para cessar a disposição final dos RCC em aterros de resíduos domiciliares e áreas de “bota fora”.

Além das resoluções CONAMA nº 348 e nº 431, que alteram a classificação do amianto e do gesso, respectivamente, foi publicada recentemente em 19 de janeiro de 2012 a resolução CONAMA nº 448, que altera algumas definições estabelecidas pela CONAMA nº 307. A

principal alteração foi a nomenclatura do PIGRCC, que não mais existe, e alterando o PMGRC para “Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil”, e PGRCC para “Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil”.

2.3.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos e Política Estadual de Resíduos Sólidos

Com o advento da Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os RCC tiveram sua classificação própria, não mais estando dentro da classificação de RSU. A política define como sendo de responsabilidade do estado a elaboração de um Plano Estadual de Resíduos Sólidos, e que deve abranger a gestão dos RCC.

No mesmo ano da PNRS, a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) de Pernambuco foi revisada, sendo publicada em 3 de dezembro de 2010. Dessa vez, possuía em seu texto a classificação dos RCC e sua definição, ainda mais abrangente que a nacional. A lei também estabelece que a responsabilidade administrativa, nos casos de ocorrências envolvendo resíduos, de qualquer origem ou natureza, que provoquem danos ambientais ou ponham em risco a saúde da população, recairá sobre:

“Os estabelecimentos geradores, no caso de resíduos provenientes da construção civil, indústria, comércio e de prestação de serviços, inclusive os de saúde, no tocante ao transporte, tratamento e destinação final para seus produtos e embalagens que comprometam o meio ambiente e coloquem em risco a saúde pública...”
(PERNAMBUCO, 2010).

É notável a evolução no que tange à importância da gestão dos RCC. Muito se deve à publicação da Resolução CONAMA nº 307. As diretrizes, critérios e procedimentos determinados pelos instrumentos legais citados têm sido progressivamente cumpridas, porém de modo desigual, considerando as diferentes regiões geográficas e o compromisso dos diversos agentes sociais envolvidos neste processo.

2.3.3 Lei Municipal nº 17.072/2005

Como resposta à Resolução nº307 do CONAMA, também começaram a ser elaboradas leis estaduais e/ou municipais que tratam exclusivamente dos RCC. No município de Recife foi elaborada a Lei nº 17.072 de 04 de janeiro de 2005, que “Estabelece as diretrizes e critérios

para o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil”, que define os seguintes critérios (CARNEIRO, 2005):

- a definição do grande gerador como aquele que gera um volume de RCC superior a $1,0 \text{ m}^3/\text{dia}$, ficando os demais enquadrados como pequenos geradores;
- a proibição da disposição de resíduos da construção civil, em qualquer volume, e resíduos provenientes de poda e jardinagem, em volume superior a 100 Litros/dia, para a coleta domiciliar regular (tal artigo altera o volume estabelecido pela Lei nº16.377/98, que era de 200 litros/dia);
- a obrigatoriedade da classificação, separação e identificação dos resíduos gerados em atividades de construção no local de origem, em obediência ao que determina as resoluções do CONAMA;
- a obrigatoriedade de obtenção da licença de operação (para início de suas atividades) e para tanto submeter à aprovação do órgão gestor da limpeza urbana deste Município o respectivo Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, para cada uma das unidades instaladas (canteiros de obras), tendo como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos gerados na atividade;
- o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil comporá o acervo de documentos apresentados na solicitação de Alvará junto a Secretaria de Planejamento;
- A criação de instalações para recebimento dos resíduos (PRR – Posto de Recebimento de Resíduo), para atender aos pequenos geradores, com facilidade de acesso e boas condições de tráfego, abarcando todas as Regiões Político-Administrativas.

Apesar da aprovação da lei, muito pouco tem sido feito para cumprí-la. Gusmão (2008) aponta, através do Quadro 2.3, os cumprimentos dos prazos estabelecidos na Resolução CONAMA nº 307/2002 pela cidade do Recife até o ano de 2008.

Quadro 2.3 - Cumprimento dos prazos estabelecidos na Resolução CONAMA nº307/2002 pela cidade do Recife até 2008.

Ação	Prazo	Situação atual
Elaboração do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC)	02/01/2005	Aprovação da Lei nº 17.072/2005
Implementação do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil	07/07/2004	Falta a regulamentação do PIGRCC no município
Projeto de Construção de aterro para inertes, visando à eliminação da disposição dos resíduos da construção em aterros domiciliares e áreas de “bota-foras”	07/07/2004	Disposição de resíduos sólidos urbanos no Aterro da Muribeca (único local apropriado temporariamente)
Inclusão dos Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) nos projetos de obras a serem submetidos à aprovação ou ao licenciamento ambiental dos órgãos competentes	02/01/2005	Em vigor na cidade desde março de 2005.

Fonte: Gusmão (2008)

2.3.4 Normas Técnicas para aplicações de RCC

As normas técnicas foram elaboradas pelos Comitês Técnicos e publicadas pela ABNT em 2004, conforme mostra o Quadro 2.4. Estas normas envolvem as diretrizes para implantação de áreas de transbordo e triagem, de aterros de inertes e de reciclagem dos RCC, além de procedimentos para a execução da pavimentação com agregados reciclados e de concreto sem função estrutural (CABRAL e MOREIRA, 2011).

Quadro 2.4 - Normas técnicas da ABNT relativas aos RCC.

Norma	Título
NBR 15.112/04	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15.113/04	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes. Aterros. Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15.114/04	Resíduos sólidos da construção civil. Áreas de reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação
NBR 15.115/04	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação. Procedimentos.
NBR 15.116/04	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos

Fonte: Adaptado de Cabral e Moreira (2011)

2.4 Gerenciamento de RCC em canteiros de obras

Conforme aponta Blumenschein (2007), a gestão responsável dos resíduos gerados em canteiros de obras requer uma compreensão das complexidades do processo de construção de um edifício e as dificuldades em combinar as formas de disposição de resíduos. Entre as complexidades e os desafios do gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em canteiros de obras, cita-se:

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

Novaes e Mourão (2008) apontam que a gestão de RCC nos canteiros contribui muito para não gerar resíduos, considerando que:

- O canteiro fica mais organizado e mais limpo;
- Haverá a triagem de resíduos, impedindo sua mistura com insumos;
- Haverá possibilidade de reaproveitamento de resíduos antes de descartados; e serão quantificados e qualificados os resíduos descartados, possibilitando a identificação de possíveis focos de desperdícios de materiais.

Porém, Silva (2008) apresenta as seguintes dificuldades na gestão dos RCC:

- O caráter geograficamente disperso e temporário das obras dificulta a recolha e transporte de RCC;
- A constituição heterogênea que caracteriza os RCC dificulta a separação e triagem na origem;
- Os custos associados à formação e a implementação de metodologias e equipamentos ainda não são vistos como um investimento;
- A falta de fiscalização potencia o aumento de operações ilegais e a deposição de RCC em locais clandestinos;
- As soluções técnicas de reutilização e reciclagem de alguns materiais implicam o cumprimento de aspectos legais, por vezes dispendiosos e demorados, que desmotivam a valorização dos RCC.

Um dos instrumentos previstos no Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil é o PGRCC, que deve ser elaborado e implementado pelos grandes geradores, e juntamente com o projeto do empreendimento deve ser apresentado para análise e licenciamento pelo órgão competente do poder público municipal, tendo como objetivo de estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos RCC (GUSMÃO, 2008). O Quadro 2.5 apresenta os tópicos que devem ser detalhados no PGRCC.

De acordo com Cabral e Moreira (2011), antes de desenvolver as estratégias de gerenciamento de RCC nos canteiros, faz-se necessário de início caracterizar quantitativamente e qualitativamente o RCC, pois são dados fundamentais para proceder ao dimensionamento dos recipientes que acondicionarão estes RCC. Dessa forma, a primeira ação para elaborar o PGRCC é realizar um levantamento estatístico da geração desses resíduos por tipo.

Quadro 2.5 - Tópicos previstos em um PGRCC.

Tópicos	Requisitos do PGRCC	Instrumentos necessários
Caracterização dos RCC	- Deve ser feita a identificação e quantificação dos resíduos	- Indicadores gerais de geração de RCC. - Indicadores específicos de geração de resíduos por serviços (ex: demolição, assentamento de tijolos, dentre outros.)
Triagem	- A segregação dos resíduos deverá ser realizada pelo gerador preferencialmente na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos.	- Sensibilização dos operários sobre a problemática dos RCC. - Treinamento dos operários para que se faça a segregação dos resíduos.
Acondicionamento dos RCC	- O gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando, em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e reciclagem	- Definição de recipientes e locais devidamente sinalizados que permitam a segregação e acondicionamento dos resíduos pelos operários
Transporte	- Deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos	- Transporte dos RCC em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos.

Fonte: Gusmão (2008)

O canteiro de obras deve ser planejado buscando atender às necessidades de se estabelecer um sistema de gestão de resíduos, incluindo (BLUMENSCHNEIN, 2007):

- Áreas para armazenamento dos diferentes resíduos;
- Áreas para disposição dos resíduos no canteiro até coleta e transporte;
- Contêineres para armazenamento e acondicionamento dos resíduos, adequadamente instalados e sinalizados;
- Instalação de filtros para a água da lavagem da betoneira.

O projeto inclui ainda croquis com detalhamento de depósitos temporários para resíduos, fluxo do transporte do resíduo no canteiro, descrição do armazenamento e coleta adequados, incluindo equipamentos necessários.

2.4.1 Segregação

Para Cabral e Moreira (2011), a etapa de segregação é uma etapa indispensável no gerenciamento dos RCC, pois, quando bem executada, otimizará a reciclagem dos resíduos,

considerando que estes sejam encaminhados para usinas de reciclagem.

A etapa de segregação consiste na separação dos resíduos dentro do canteiro de obras, podendo-se utilizar a mesma mão-de-obra, pois o importante é a conscientização dos funcionários, só alcançada por intermédio de treinamentos e palestras com os envolvidos (NOVAES e MOURÃO, 2008).

Também são utilizadas atualmente Áreas de Transbordo e Triagem (ATT), como um meio de segregação, ou seja, os materiais são separados em classes na obra, e nas ATT é feita a separação por tipo de material, que é destinado a reciclagem (GUERRA, 2009).

A prática da segregação contribuirá para uma manutenção da limpeza da obra, evitando materiais e ferramentas espalhadas pelo canteiro, o que gera contaminação entre os resíduos, desorganização, aumento de possibilidades de acidentes do trabalho, além de acréscimo de desperdício de materiais e ferramentas (LIMA e LIMA, 2009).

2.4.2 Acondicionamento inicial e final

Após a segregação e ao término da atividade ou do dia de serviço, os RCC devem ser acondicionados em recipientes estrategicamente distribuídos até que atinjam volumes tais que justifiquem seu transporte interno para o depósito final, de onde sairão para reutilização, reciclagem ou destinação definitiva (LIMA e LIMA, 2009).

Os resíduos devem ser inicialmente acondicionados no próprio local onde são gerados. Plásticos, madeiras, papéis e metais de pequenas dimensões devem ser acondicionados em bombonas plásticas de 50 litros (Figura 2.12), ou em outro recipiente aberto e resistente. Internamente, os recipientes podem conter um saco de ráfia adequado ao tamanho da bombona, dobrado para fora, facilitando a disposição dos resíduos e a coleta para destinação final. Os recipientes para resíduos orgânicos devem possuir tampa e serem usados com sacos de lixo apropriados.

Os resíduos Classe A, compostos basicamente por resíduos de escavação, restos de tijolos, produtos cerâmicos, cimentícios e restos de argamassas, serão inicialmente acumulados em pequenos montes próximos aos locais de geração, e demarcados com tinta no piso (Figura 2.13).

Figura 2.12 - Bombonas utilizadas no acondicionamento de resíduos.



Fonte: O autor

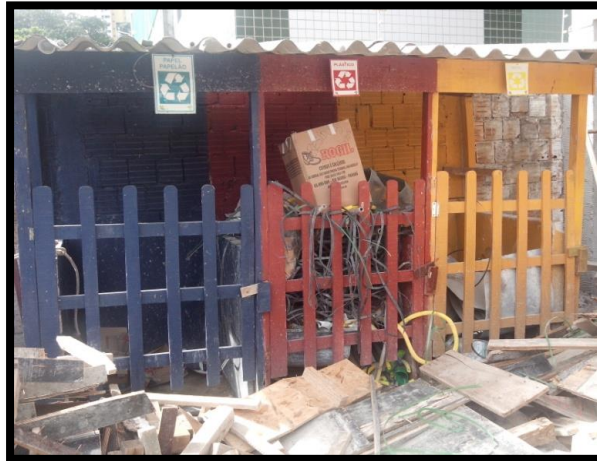
Figura 2.13 – Locais demarcados para acondicionamento de resíduos Classe A.



Fonte: Guerra (2009)

O acondicionamento final dos resíduos deve facilitar sua retirada e destinação final. Este acondicionamento deve garantir que os resíduos continuem segregados. Os materiais leves devem ser acondicionados em big bags. Outros materiais devem ser acondicionados em baias fixas ou móveis (Figura 2.14) e em caçambas estacionárias (Figura 2.15).

Figura 2.14 – Baías utilizadas para armazenamento final de resíduos.



Fonte: O autor

Figura 2.15 – Caçambas estacionárias utilizadas no armazenamento final de resíduos.



Fonte: O autor

2.4.3 Transporte interno e externo

No transporte interno, em geral, o deslocamento horizontal dos resíduos é realizado em carrinhos-de-mão, e o deslocamento vertical é realizado em tubos condutores de entulho (CABRAL e MOREIRA, 2011).

Já para o transporte externo, o construtor deverá contratar uma empresa particular de coleta, credenciada pelo órgão competente, para a prestação de serviços de transporte de RCC, do canteiro de obras para uma disposição adequada. Os *contêineres*, fornecidos pela empresa de transporte, são retirados da obra quando atingirem sua capacidade máxima (NOVAES e MOURÃO, 2008).

2.4.4 Destinação final

A disposição final dos resíduos deve ser feita obrigatoriamente em locais que possuam licença para receber resíduos de construção e demolição. Para Zanta *et al.* (2008), a destinação do RCC pode ser realizada da forma mais fácil e menos eficiente, encaminhando os materiais para aterros específicos, o que não é desejável, pois ocupa espaço no aterro, diminui sua vida útil e gera despesas sem produzir receitas. A desvantagem do aterramento, deve-se ao fato de que grande parte dos materiais presentes nos RCC é reutilizável ou reciclável, com vantagens ambientais, econômicas e sociais. O Quadro 2.6 apresenta o fluxo dos resíduos no canteiro de obras, de acordo com cada componente gerado.

Quadro 2.6 - Fluxo dos resíduos no canteiro de obras.

Tipo de RCC	Armazenamento provisório	Transporte interno	Armazenamento final	Coleta	Destino final
Cerâmicos	Pilhas nos andares e/ou fardos	Carrinho e guincho, ou duto vertical	Caçamba estacionária	Empresa particular especializada	Aterros de inertes ou reciclagem
Gesso	Pilhas nos andares e/ou fardos	Carrinho e guincho, ou duto vertical	Baias (Intermediário) ou Caçamba Estacionária	Empresa particular especializada	Aterros de inertes ou reciclagem
Material de escavação	Pilhas com pequenos volumes ou direcionamento direto ao armazenamento final	Carrinho para pequenos volumes ou retroescavadeira para grandes volumes	Caçamba estacionária para pequenos volumes ou caminhão basculante para grandes volumes	Empresa particular especializada	Aterros de inertes ou reutilização
Madeira	Bombonas nos andares	Sacos de rafia e guincho	Baias ou bags	Empresas de coleta de recicláveis, ONGs, dentre outros.	Aterro sanitário, aterro de inertes ou reciclagem
Plástico/Papel/papelão	Bombonas nos andares	Sacos de rafia e guincho	Baias ou bags	Empresas de coleta de recicláveis, ONGs, dentre outros.	Aterro sanitário/ reciclagem
Metal	Bombonas nos andares	Sacos de rafia e guincho	Baias	Empresas de coleta de recicláveis, ONGs, dentre outros.	Aterro sanitário/ reciclagem
Classe D	Pilhas nos andares	Sacos de rafia e guincho	Baias	Empresa de coleta especializada	Aterro sanitário/ reciclagem

Fonte: Gusmão (2008)

As alternativas de disposição final dos resíduos para cada classe também são apresentadas pela CONAMA nº 307, conforme mostra o Quadro 2.7.

Quadro 2.7 - Formas de destinação dos resíduos da construção civil.

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

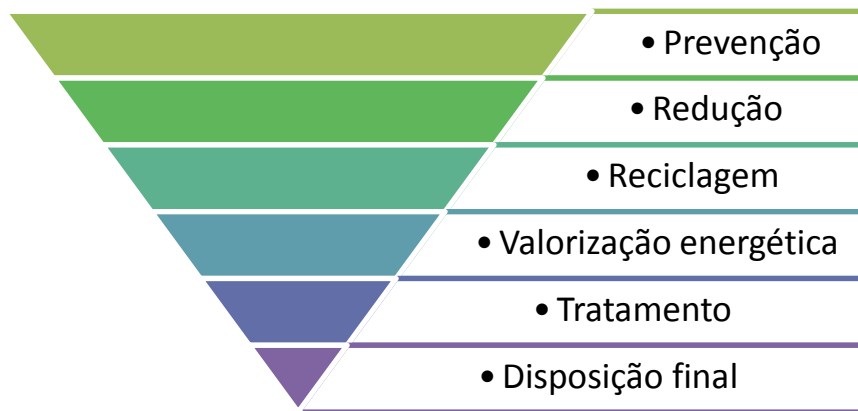
Fonte: CONAMA (2002)

2.5 Redução, reutilização e reciclagem de RCC

De acordo com Evangelista *et al.* (2010), a cada dia as áreas disponíveis para a disposição de RCC ficam mais restritas. Dessa forma, é essencial para o desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva da construção civil que todos os atores busquem em conjunto soluções ambientalmente responsáveis, por meio da redução, reaproveitamento e reciclagem desses resíduos, visando à minimização dos impactos causados.

As três estratégias (reduzir, reutilizar e reciclar) na gestão de resíduos são conhecidas como 3R. Aplicação dos 3R tem o objetivo de reduzir o consumo exacerbado de recursos naturais, reduzir os custos com coleta, transporte e disposição final, além de aumentar a vida útil dos aterros. A Figura 2.16 mostra a hierarquia da gestão dos resíduos.

Figura 2.16 - Hierarquia da gestão de resíduos sólidos.



Fonte: O Autor (2014)

A redução de resíduos é considerada o método mais eficaz e eficiente para minimizar a produção de RCC, e elimina muitos dos problemas ambientais. No entanto, a sua geração é inevitável e, dessa forma, reutilizar e reciclar são métodos opcionais de aplicação para reduzir o volume de RCC que chega aos aterros (YUAN e SHEN, 2011, BANIAS *et al.*, 2011).

Gusmão (2008) aponta que mais de 90% dos RCC tem grande potencial de reutilização e reciclagem, com características e propriedades que atendem as normas técnicas. A reciclagem pode transformar grandes volumes desordenados de RCC em matérias-primas, as quais podem ser utilizadas em obras de edificações, em obras de pavimentação, dentre outros (ARAÚJO *et al.*, 2005; PINHEIRO *et al.*, 2014.).

A reciclagem, além de trazer o benefício da diminuição em grande escala do acúmulo de lixo urbano, possibilita a diminuição do uso de materiais não renováveis, garantindo-lhes um valor agregado, e coopera com a geração de emprego e novas fontes de renda (MORALES, 2011).

Macedo (2013) afirma que essas vantagens e alternativas para o reaproveitamento dos RCC são importantes no âmbito econômico, social e ambiental, como:

- substituição de matéria-prima por entulho;
- diminuição da produção de CO₂ (dióxido de carbono) gerada por novos materiais que sofreram modificações antes de serem usados nas construções;
- preservação das reservas de minerais não renováveis;

- redução de áreas de aterros de rejeitos, proporcionado uma diminuição dos impactos oriundos da deposição numerosa e volumosa de RCC;
- diminuição dos pontos de descarte irregulares (causadores do agravamento das enchentes urbanas e da poluição visual);
- redução dos custos com gerenciamento de resíduos.

Por outro lado, Evangelista *et al.* (2010) descreve que ainda são restritas em muitos municípios, as alternativas para a destinação ambientalmente adequada dos RCC. Entre as alternativas de destinação para os resíduos classe A pode ser indicada a reciclagem em obra para produção de areia e brita, ou a destinação dos resíduos a usinas de beneficiamento de RCC.

As recicladoras de resíduos de construção classe A, ou fração mineral, devem ser projetadas, implantadas e operadas de acordo com diretrizes contidas na ABNT NBR norma técnica 15.114/2004. A norma define área de reciclagem de resíduos da construção como “área destinada ao recebimento e transformação de resíduos da construção civil classe A, já triados, para produção de agregados reciclados”. O espaço físico se constitui de pátios para estocagem, recebimento, manuseio e armazenamento dos materiais produzidos, de acessos para manobras de veículos e de área para administração.

As usinas de beneficiamento têm sido implantadas no país nos últimos anos, objetivando otimizar o processo de reutilização dos resíduos da construção civil, reduzindo a necessidade de criação de novos aterros sanitários e, por conseguinte, reduzindo também o impacto ambiental (MIRANDA *et al.*, 2009).

A norma da ABNT, NBR 15.114, em 2004 foi pioneira em todo o hemisfério sul, pois foi a primeira norma técnica a tratar das diretrizes, implantação e operacionalização de usinas de reciclagem de RCC (SOBRAL, 2012).

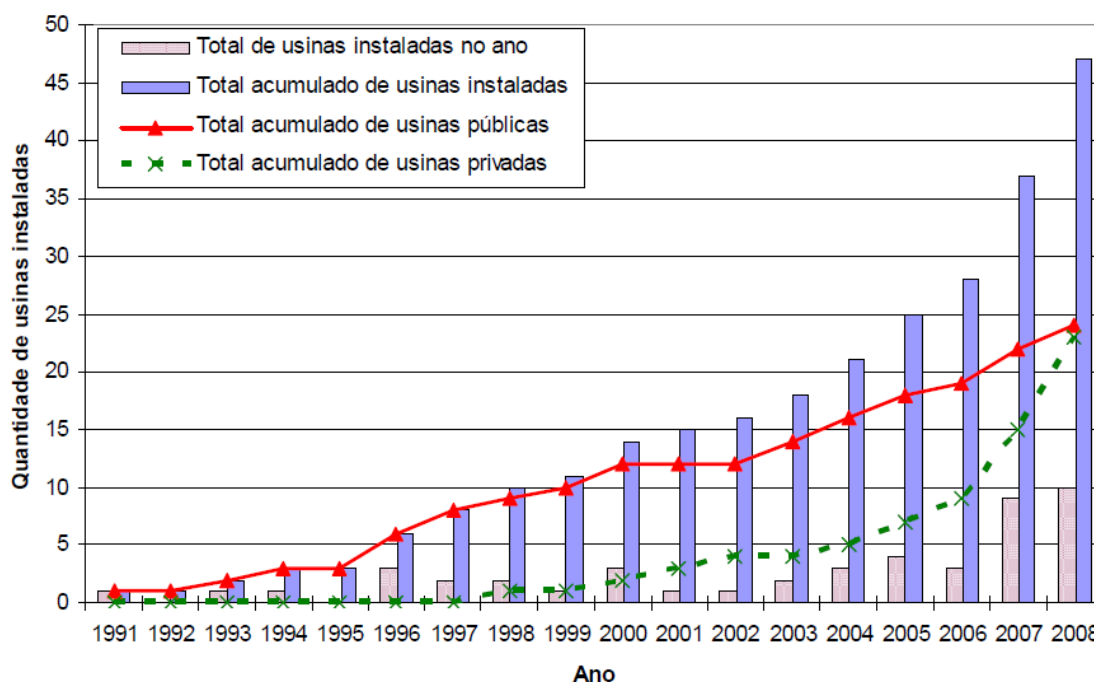
Anteriormente à esta norma, existiam no Brasil algumas poucas usinas de reciclagem de RCC. A primeira usina instalada no Brasil foi no município de São Paulo, construída no ano de 1991, denominada de Usina de Reciclagem de Itatinga, situada no Bairro de Santo Amaro na zona sul de São Paulo.

Pinto (1999) afirma que esta usina representou o primeiro marco do Hemisfério Sul, que realizava reciclagem de RCC com equipamentos de maior porte, a qual foi projetada para processar 1.000 t/dia. Porém, seu funcionamento era precário, pela distância dos pontos geradores de RCC, o que levou ao encerramento das suas atividades em pouco tempo, sendo posteriormente instalada em outra área, mais próxima do centro produtivo de resíduos.

Posteriormente, outras duas usinas foram implantadas, sendo uma em Londrina/PR, no ano de 1993 e em Belo Horizonte-MG, em 1994. A partir do ano 2000, já existiam pelo menos três usinas de reciclagem privadas de pequeno porte instaladas, localizadas em São Paulo/SP (área de transbordo e triagem ATT Base), Socorro/SP (Irmãos Preto Ltda.), e Fortaleza/CE (USIFORT) (MIRANDA *et al.*, 2009).

O Brasil possui atualmente uma taxa de instalação de nove usinas por ano (Figura 2.17), devido à implantação da Resolução CONAMA nº 307/2002, somada a exemplos de gestão bem sucedidos no país. Pode-se observar pela Tabela 2.12, um resumo de algumas usinas, que a partir de 2004, ano do prazo estipulado pela Resolução CONAMA nº 307/2002 para que os municípios implantassem seus Planos Integrados de Gerenciamento de RCC, o número de usinas instaladas aumentou substancialmente (CÓRDOBA, 2010).

Figura 2.17 - Usinas de reciclagem de RCC classe A inauguradas de 1991 a 2008.



Fonte: Miranda *et al.* (2009)

Tabela 2.12 - Usinas de reciclagem de RCC instaladas em alguns municípios do Brasil.

Municípios ¹	Propriedade	Início da Atividade	Capacidade (t/h)
São Paulo – SP	Prefeitura	1991	100
Londrina – PR	Prefeitura	1993	20
Belo Horizonte – MG (Estoril)	Prefeitura	1994	30
Belo Horizonte – MG (Pampulha)	Prefeitura	1996	20
Ribeirão Preto – SP	Prefeitura	1996	30
Piracicaba-SP	Autarquia/Emdhap	1996	15
São José dos Campos – SP	Prefeitura	1997	30
Muriae – MG	Prefeitura	1997	8
São Paulo – SP	ATT base	1998	15
Macaé – RJ	Prefeitura	1998	8
São Sebastião – DF	Adm. Regional	1999	5
Socorro – SP	Irmãos Preto	2000	3
Guarulhos – SP	Prefeitura/Proguaru	2000	15
Vinhedo – SP	Prefeitura	2000	15
Brasília – DF	Caenge	2001	30
Fortaleza – CE	Usifort	2002	60
Ribeirão Pires – SP	Prefeitura	2003	15
Ciríaco – SP	Prefeitura	2003	15
São Gonçalo – RJ	Prefeitura	2004	35
Jundiaí – SP	SMR	2004	20
Campinas – SP	Prefeitura	2004	70
São Bernardo do Campo - SP	Urbem	2005	50
São Bernardo do Campo – SP	Ecoforte	2005	70
São José do Rio Preto – SP	Prefeitura	2005	30
São Carlos – SP	Autarquia/PROHAB	2005	20
Belo Horizonte – MG (BR-040)	Prefeitura	2006	40
Ponta Grossa – PR	P. Grossa Amb.	2006	20
Taboão da Serra – SP	Estação Ecologia	2006	20
João Pessoa – PB	Prefeitura/Emlur	2007	25
Caraguatuba – SP	JC	2007	15
Colombo – PR	Soliforte	2007	40
Limeira – SP	RL Reciclagem	2007	35
Americana – SP	Cemara	2007	25
Piracicaba – SP	Autarquia/Semae	2007	20
Santa Maria – RS	GR2	2007	15
Osasco – SP	Inst. Nova Angra	2007	25
Rio das ostras – RJ	Prefeitura	2007	20
Brasília – DF	CAENGE	2008	30
Londrina – PR	Kurica Ambiental	2008	40
São Luís – MA	Limpel	2008	40
São José dos Campos – SP	RCC Ambiental	2008	70
Paulínia – SP	Estre Ambiental	2008	100
Guarulhos – SP	Henfer	2008	30
Barretos – SP	Prefeitura	2008	25
São José dos Campos – SP	Julix – Enterpa	2008	25
Petrolina – PE	Prefeitura	2008	25
Itaquaquecetuba - SP	Entrec Ambiental	2008	40
Praia Grande – SP	Foccus	2010	70
Camaragibe – PE	Ciclo Ambiental	2010	40
Curitiba – PR	Usipar	2011	50
Pindamonhangaba – SP	AB Areias	2011	150
Bragança Paulista – SP	RRCC Reciclagem	2011	80
Rio de Janeiro – RJ	Global RCD	2012	150
Natal – RN	Ecobrit	2012	80
Goiânia – GO	Renove	2012	70

Fonte: Miranda *et al.* (2009); Córdoba (2010); Carelli e Miranda (2013).

Cunha e Miceli (2013) apresentam dados acerca da quantidade de usinas de reciclagem de RCC existentes no Brasil (Tabela 2.13). Considerando a geração média de 80 milhões de toneladas de resíduos por ano e a capacidade média de uma usina reciclar 60.000 toneladas por ano, estima-se que um número mínimo de usinas no país deveria ser na ordem de 1.300. Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), estima-se que em 2013 só haja 200 usinas no país.

Tabela 2.13 - Dados históricos da oferta de agregados reciclados no Brasil de 2002 a 2012.

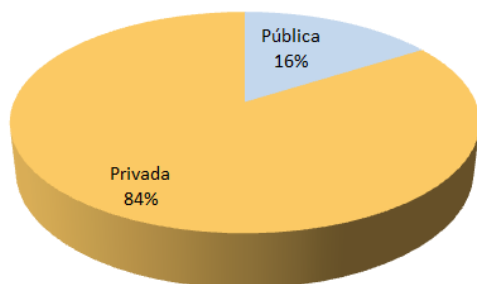
Ano	Número aproximado de Usinas de reciclagem	Capacidade (10⁵ t/ano)
2002	11	6,6
2003	15	9,0
2004	25	15,0
2005	30	18,0
2006	35	21,0
2007	40	24,0
2008	45	27,0
2009	50	30,0
2010	80	48,0
2011	130	78,0
2012	180	108,0

Fonte: Cunha e Miceli (2013)

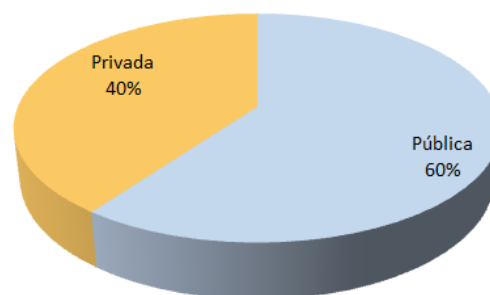
Admitindo que todas as usinas de reciclagem brasileiras em operação ou em fase de instalação reciclam os RCC em sua capacidade nominal, a estimativa de produção de reciclados é de somente 3,6% dos RCC produzidos no país. Esse percentual pouco significativo demonstra claramente a necessidade de implantação de novas usinas para que a reciclagem no Brasil se torne expressiva (MIRANDA *et al.*, 2009).

Observa-se pela Figura 2.18, que a grande maioria das usinas ativas no país, cerca de 84%, pertencem à iniciativa privada. Pode-se afirmar que tal fato foi motivado pela Resolução CONAMA nº 307 e pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Antes a maioria das usinas em funcionamento no país era pública. A Figura 2.19 indica que, das usinas inativas, a maior parte é do poder público, por dificuldades no gerenciamento (CARELLI e MIRANDA, 2013).

Figura 2.18 – Percentual de usinas ativas no país. Figura 2.19 – Percentual de usinas inativas no país.



Fonte: Carelli e Miranda (2013)



Fonte: Carelli e Miranda (2013)

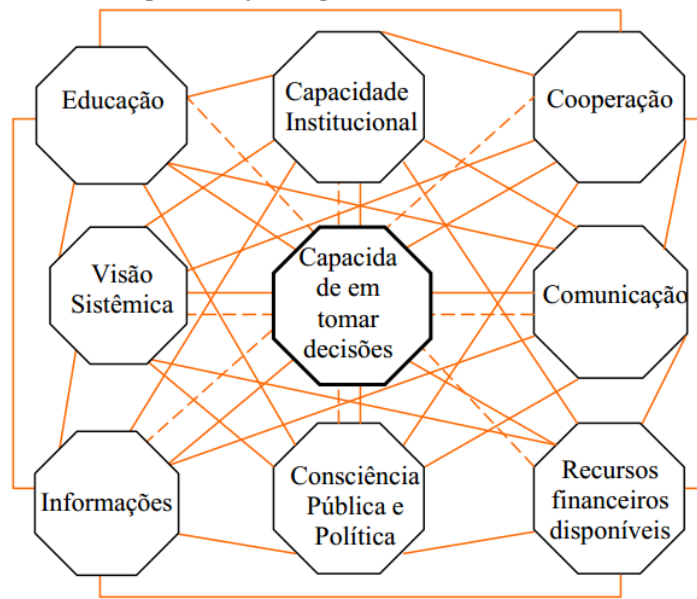
Para Morales *et al.* (2011), por ser uma tecnologia relativamente nova para os padrões brasileiros, apesar de haver discussões sobre o tema há mais de 25 anos no meio técnico e acadêmico, a utilização destas usinas apesar de trazer muitos benefícios para o meio ambiente, apresenta uma eficiência limitada. Assim, muitos resíduos deixam de ser aproveitados ou mesmo processados, o que limita a eficácia destas usinas, sendo necessários certos cuidados no âmbito da indústria da construção civil, no sentido de se estimular ainda no local aonde os resíduos foram gerados.

2.6 Sistemas de Apoio à Decisão

O processo decisório, apesar de não ser uma tarefa simples, constitui-se em uma tarefa corriqueira do indivíduo, que a realiza consciente ou inconscientemente (KAHNEMAN e TVERSKY, 2000). Para Massukado (2004), a tomada de decisão está envolta de incertezas e imprevistos advindos tanto da impossibilidade de conhecer o futuro e trabalhar com o inesperado quanto da complexidade existente nos mais diversos fenômenos estudados.

A capacidade de um decisor em tomar decisões, e a incerteza relacionada a estas decisões, dependem de vários fatores, entre eles: a disponibilidade de conhecimentos e habilidades, o entendimento e comunicação entre os tomadores de decisão, o desejo de cooperação entre os decisores, os recursos financeiros disponíveis, dentre outros (KROETZ, 2003). A Figura 2.20 ilustra a rede de alguns elementos que formam o ambiente de decisão.

Figura 2.20 - Representação esquemática do ambiente de decisão.



Fonte: Massukado (2004)

Massukado (2004) afirma que pouco adianta uma organização possuir um banco de dados com várias informações se uma organização não dispõe de profissionais capacitados para analisar estas informações. Portanto, a existência de informações por si só não desempenha função nenhuma na organização já que não é possível utilizá-la de maneira eficaz.

Na visão de Scremin (2014), devido ao fato de não haver disponibilidade de profissionais especialistas em diversas áreas do conhecimento, várias disciplinas vêm trabalhando na formalização de procedimentos especialistas em modelos de representação que substituam em parte a presença desses especialistas, como forma de facilitar o acesso às informações e contribuir na tomada de decisão propostas a usuários não especialistas.

Nas últimas décadas, começaram a nascer e prosperar ferramentas de auxílio à tomada de decisões baseadas na intensa utilização de bases de dados e modelos matemáticos e também na facilidade com que propicia o diálogo entre o usuário e o computador. Esta metodologia, genericamente denominada de Sistema de Apoio à Decisão (SAD), vem sendo aplicada com sucesso em diversos campos da atividade humana em que o problema da decisão não é muito simples, como é o caso da gestão de RCC (WIERZBICKI, 2000).

Portanto, os SAD são uma categoria de sistemas de informação ou sistemas baseados em conhecimento que se refere a um modelo genérico de tomada de decisão em que é analisado

uma série de variáveis. A decisão é uma escolha entre as alternativas existentes através de estimativas dos pesos as mesmas (MOTA *et al.*, 2011).

Segundo O'Brien (2001), o SAD "é uma das principais categorias de sistemas de apoio gerencial. São sistemas de informação computadorizados que fornecem aos gerentes de apoio interativo de informações durante o processo de tomada de decisão". Os SAD podem ser divididos em três classes principais, conforme mostra o Quadro 2.8.

Quadro 2.8 - Classificação dos SAD.

Classe	Definição
Sistemas baseados em dados	São sistemas que utilizam técnicas de "mineração de dados" e "processamento analítico online" para encontrar regularidades em grandes bancos de dados e construir modelos a partir destas.
Sistemas baseados em regras	São representados pelos sistemas especialistas e sistemas baseados em inteligência artificial. Nestes sistemas a experiência e os conhecimentos existentes são expressos através de regras lógicas
Sistemas baseados em modelos analíticos	Sistemas que utilizam o conhecimento de uma determinada disciplina descrita através de modelos analíticos ao contrário de modelos lógicos

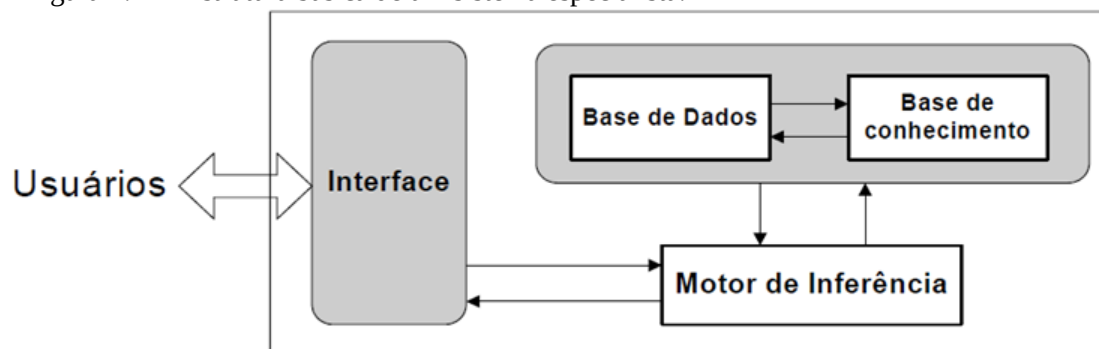
Fonte: Wierzbicki (2000)

Dentre os sistemas mais utilizados atualmente, os sistemas especialistas emergiram como um dos resultados das pesquisas em inteligência artificial, conduzidas no início dos anos setenta. Tais sistemas, de acordo com Liebowitz (1988), podem ser definidos como um programa de computador que emula o comportamento de um especialista humano com o um domínio específico de conhecimento, tendo como principais características:

- habilidade de desempenhar com o nível de um especialista;
- representação de domínio específico de conhecimento da maneira na qual o especialista pensa;
- incorporação de processos de explicação e modos de manipulação de incerteza;
- tipicamente pertinente para problemas que podem ser representados simbolicamente

A estrutura básica de um sistema especialista pode ser visto na Figura 2.21.

Figura 2.21 - Estrutura básica de um sistema especialista.



Fonte: Scremin (2007)

Interface com o usuário: é a parte do sistema de apoio à decisão com a qual o usuário irá ter contato, exercendo uma importante função na utilização do sistema (WESTMACOTT, 2001).

Base de dados: é utilizada nas operações de gerenciamento de dados (armazenamento, atualização, recuperação e processamento). Nela estão contidos todos os dados e informações que irão alimentar o modelo (LUPATINI, 2002).

Base de conhecimento: Armazena os conhecimentos específicos, formalizados através de um método de representação. Um dos métodos mais utilizados para representação de conhecimentos nos sistemas especialistas são as regras de produção do tipo *If-Then* (Se-então) (LUPATINI, 2002).

Motor de inferência: Pode ser considerado o núcleo do sistema. É onde as conclusões são elaboradas a partir dos dados fornecidos pelo usuário e do conhecimento armazenado na base de conhecimento (SCREMIN, 2007).

Várias pesquisas já foram realizadas na área de gestão de resíduos sólidos utilizando SAD como ferramenta. Lupatini (2002) desenvolveu um modelo de escolha de áreas para aterros sanitários em relação aos critérios ambientais, econômicos e de engenharia. Na mesma perspectiva, Kroetz (2003) aplicou um SAD no dimensionamento de aterros sanitários em valas para municípios de pequeno porte.

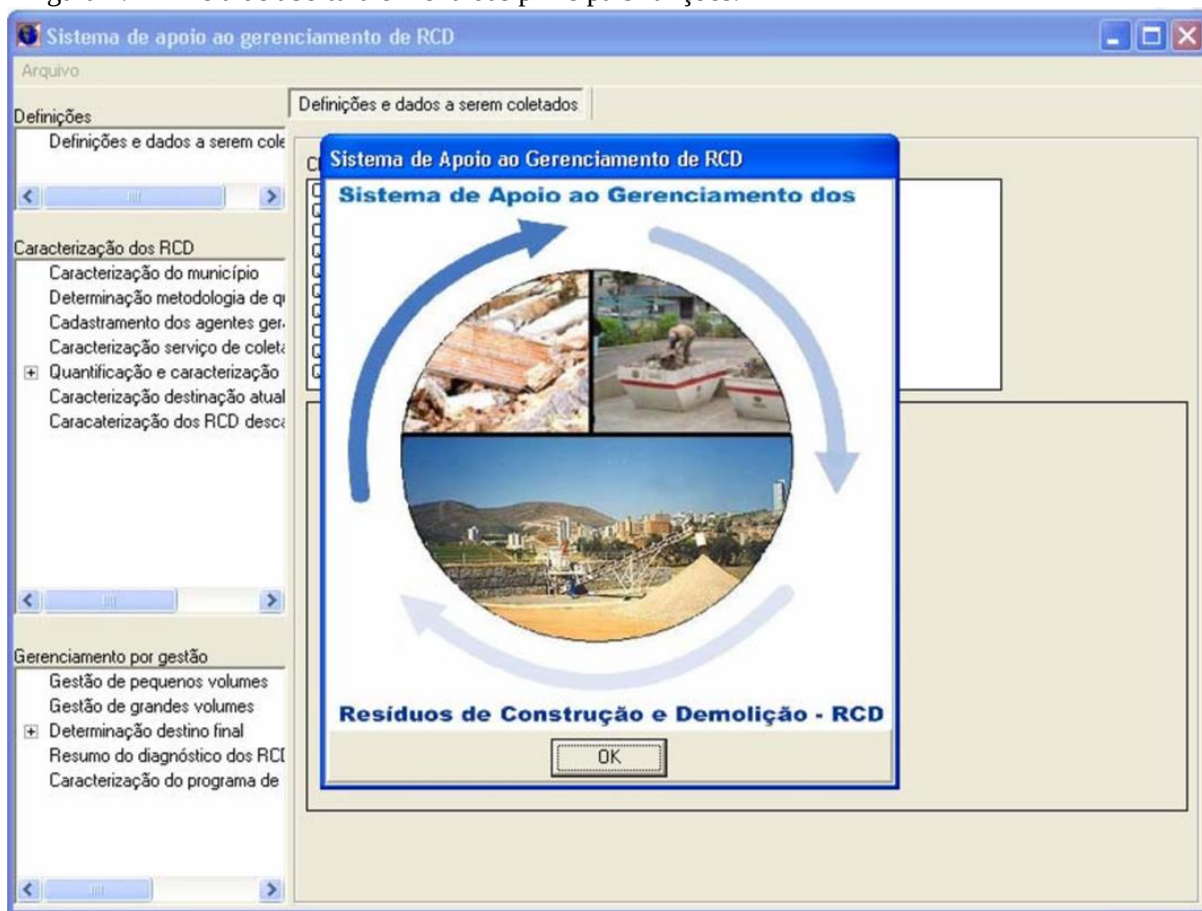
Massukado (2004) desenvolveu um sistema de validação de cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares (SIMGERE) para o município de São Carlos/SP. O sistema foi desenvolvido para auxiliar as Administrações Públicas Municipais na gestão dos

resíduos sólidos domiciliares por meio da simulação de cenários, mostrando os efeitos que poderão ocorrer a partir de possíveis mudanças nas estratégias da gestão. Os resultados mostraram que o SIMGERE pode ser uma ferramenta bastante útil e eficaz para subsidiar as tomadas de decisão quanto à gestão dos Resíduos Sólidos Domésticos (RSD) do município.

Na área de RCC, destaca-se a pesquisa realizada por Scremin (2007), que desenvolveu um SAD para a gestão municipal de RCC para municípios de pequeno porte, aplicando a metodologia para o município de Frederico Westphalen – RS. O desenvolvimento do sistema se deu em quatro etapas. A primeira etapa compreendeu a aquisição de conhecimentos, referente aos RCC e aos sistemas de apoio a decisão. Na segunda etapa, em função dos conhecimentos adquiridos, estabeleceu-se um modelo conceitual expresso na forma de fluxogramas, que serviram de base para a verificação da lógica do processo. Estabelecido o modelo conceitual, realizou-se, na terceira etapa, a codificação dos mesmos. A quarta e última etapa, realizada durante e após a codificação do sistema, refere-se à validação prévia do sistema desenvolvido.

O sistema desenvolvido por Scremin (2007) permite por meio de uma interface interativa e acessível funções como: provimento de informações referentes aos RCC ao usuário, auxílio no diagnóstico dos RCC no município e, a partir do diagnóstico, propor estratégias de gestão (Figura 2.22).

Figura 2.22 - Tela de abertura e menu das principais funções.



Fonte: Scremin (2007)

Com o aumento do nível de conhecimento acerca dos resíduos de construção, foram criadas ferramentas de auxílio à gestão de resíduos em obras e municípios de pequeno e grande porte. Neste sentido, Baniyas *et al.* (2011) desenvolveram um sistema baseado em Web de Apoio à Decisão, o DeconRCM, a fim de auxiliar as construtoras, órgãos públicos, engenheiros e indivíduos na gestão adequada dos RCC.

O Sistema fornece uma estimativa precisa da geração de RCC de 21 diferentes tipos de resíduos. Ele fornece uma estimativa precisa da quantidade de 21 fluxos de resíduos diferentes produzidos pelas atividades de reforma e demolição. Quatro tipos de construção são considerados, ou seja, residencial, escritório, comercial e industrial. As gerações de RCC são baseadas nas práticas de construção típicas da Grécia.

Li e Zhang (2013) desenvolveram um sistema de estimativa de resíduos da construção baseado em web (WCWES) para a construção de projetos de construção incorporando os conceitos de estrutura de divisão de trabalho, a quantidade de material, classificação dos materiais, níveis

desperdício e princípios de balanço de massa. Os módulos de análise on-line permitem a análise de resíduos de construção a partir de três dimensões: origem do desperdício, fluxo de resíduos e armazenamento na obra. O WCWES é capaz de rastrear as origens de fluxos de resíduos de construção, identificar as categorias de resíduos de construção e determinar os fluxos de resíduos de construção mais significativos (Figura 2.23).

Figura 2.23 – Funções do sistema WCWES.



Fonte: Li e Zhang (2013)

Para a gestão de RCC dentro dos canteiros de obras, Nagalli *et al.* (2013) desenvolveu um software, que contém itens que auxiliam na gestão de resíduos durante o curso de uma obra, fornecendo ferramentas que permitem a visualização tanto do consumo desses resíduos, como seu manuseio e posterior encaminhamento para o destino final. O software foi desenvolvido em plataforma *Microsoft Access* porque é parte do pacote *Office* que é encontrado na maioria dos computadores.

A linguagem de interação com o usuário (telas, botões, relatórios, dentre outros) é no idioma português. O sistema concebido permite controlar informações da parte interessada, como licenças, por exemplo. O programa consiste em telas de interação do usuário através do qual este se alimenta o sistema com dados, gera relatórios e avalia a eficiência da gestão. A Figura

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

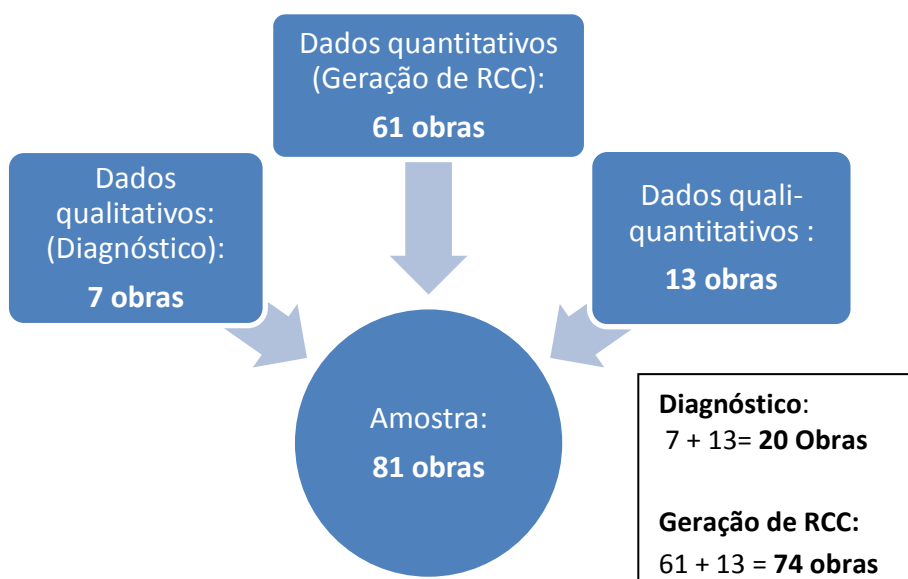
Este capítulo apresenta todos os procedimentos adotados para o desenvolvimento do Sistema de Gerenciamento de Resíduos da Construção, que inclui as etapas de definição da amostra da pesquisa, diagnóstico qualitativo e quantitativo nos canteiros de obras, estabelecimento do modelo conceitual e estruturação do sistema, codificação e validação do *software*.

3.1 Definição da amostra da pesquisa

A Figura 3.1 apresenta a definição da quantidade de obras que participaram da pesquisa. A escolha do número de obras foi definida de forma aleatória, de acordo com o interesse das construtoras em relação à pesquisa, com a restrição de serem edifícios multipisos, em diferentes fases de construção, de construtoras de médio e grande porte.

O agrupamento das obras ocorreu em relação ao tipo de informação que foi obtido. Os dados qualitativos compreendem as obras em que foram realizados apenas um diagnóstico do gerenciamento de RCC. Os dados quantitativos compreendem as obras em que foram obtidos apenas dados de geração de RCC, de acordo com a fase da obra, enquanto que os dados quali-quantitativos compreendem as obras em que foram obtidas ambas as informações.

Figura 3.1 - Definição da quantidade de obras da pesquisa.

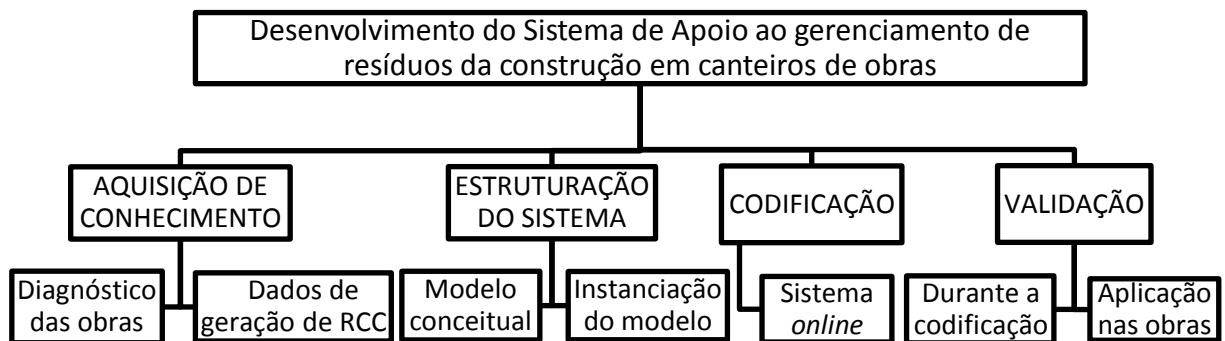


Fonte: O Autor

3.2 Desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão

O desenvolvimento do Sistema de Gerenciamento de Resíduos da Construção (SIGERCON), baseou-se na pesquisa desenvolvida por Scremin (2007), e seguiu as etapas conforme mostra a Figura 3.2.

Figura 3.2 - Etapas de desenvolvimento do SAD.



Fonte: O autor (2014)

3.2.1 Aquisição de conhecimentos

A etapa de aquisição de conhecimentos tem como objetivo fornecer subsídios para a representação dos mesmos através de modelos (SCREMIN, 2007). Na gestão de resíduos em canteiros, os conhecimentos necessários para a estruturação do modelo são:

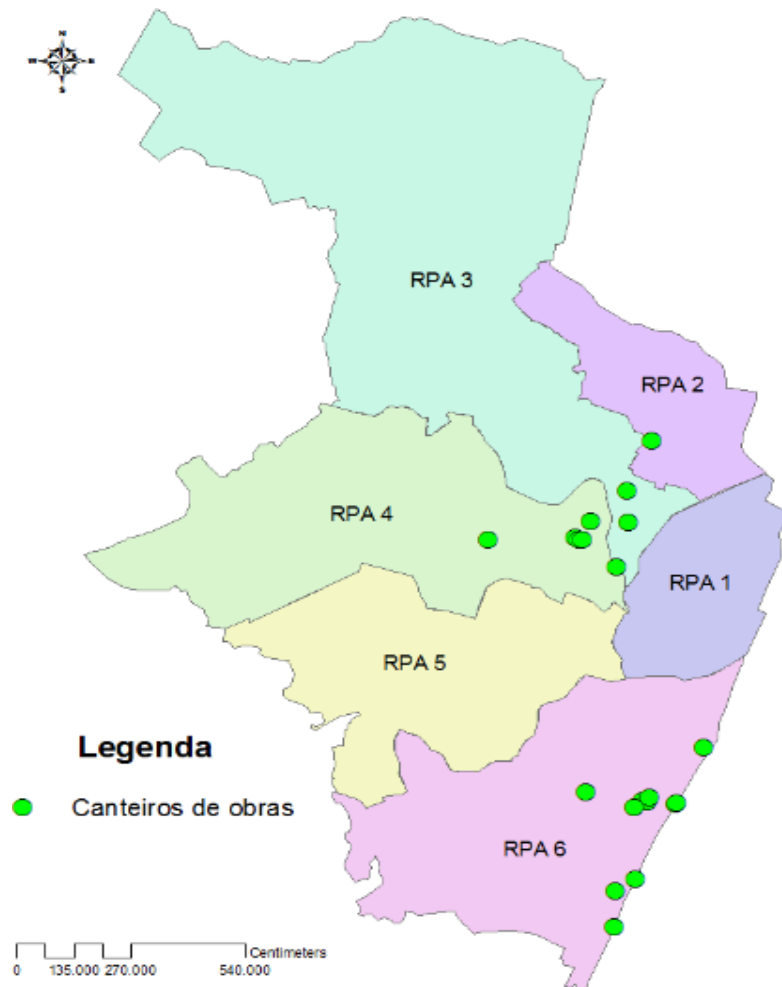
- Legislação ambiental referente aos RCC;
- Metodologias para a caracterização quantitativa e qualitativa dos RCC;
- Metodologias de gerenciamento de RCC, que envolvem segregação, armazenamento, transporte e destinação final.
- Informações relativas aos indicadores de geração de resíduos no total e em cada fase da obra.

A busca de conhecimentos se deu inicialmente por meio de revisão bibliográfica de livros, artigos, e pesquisas acadêmicas, nacionais e internacionais, relacionadas ao tema. Posteriormente, se procedeu a coleta de dados de campo, que envolveu duas fases: diagnóstico das obras e coleta de dados de geração de RCC.

A fase de *diagnóstico das obras* se restringiu a uma avaliação do desempenho da gestão de resíduos sólidos dentro do canteiro, observando as características qualitativas dos RCC e a forma de gerenciamento atualmente empregada. O monitoramento das obras foi realizado entre os meses de Agosto a Novembro de 2013.

Para a realização do diagnóstico, foram escolhidos 20 canteiros de obras localizados na cidade do Recife/PE e aplicado um questionário (Apêndice A). A escolha desses canteiros se deu pelo fato dessas construtoras possuírem um sistema de gerenciamento de resíduos sem, no entanto, realizarem um monitoramento contínuo a partir da utilização de indicadores de sustentabilidade. A Figura 3.3 apresenta a localização dos canteiros que compuseram a amostra dentro da cidade do Recife, dividido por Região Político-Administrativa (RPA). As 20 obras não foram identificadas por nomes, mas numeradas de forma aleatória, denominado de código da obra.

Figura 3.3 - Localização geográfica dos canteiros de obras visitados na cidade do Recife/PE.



Fonte: O autor (2014)

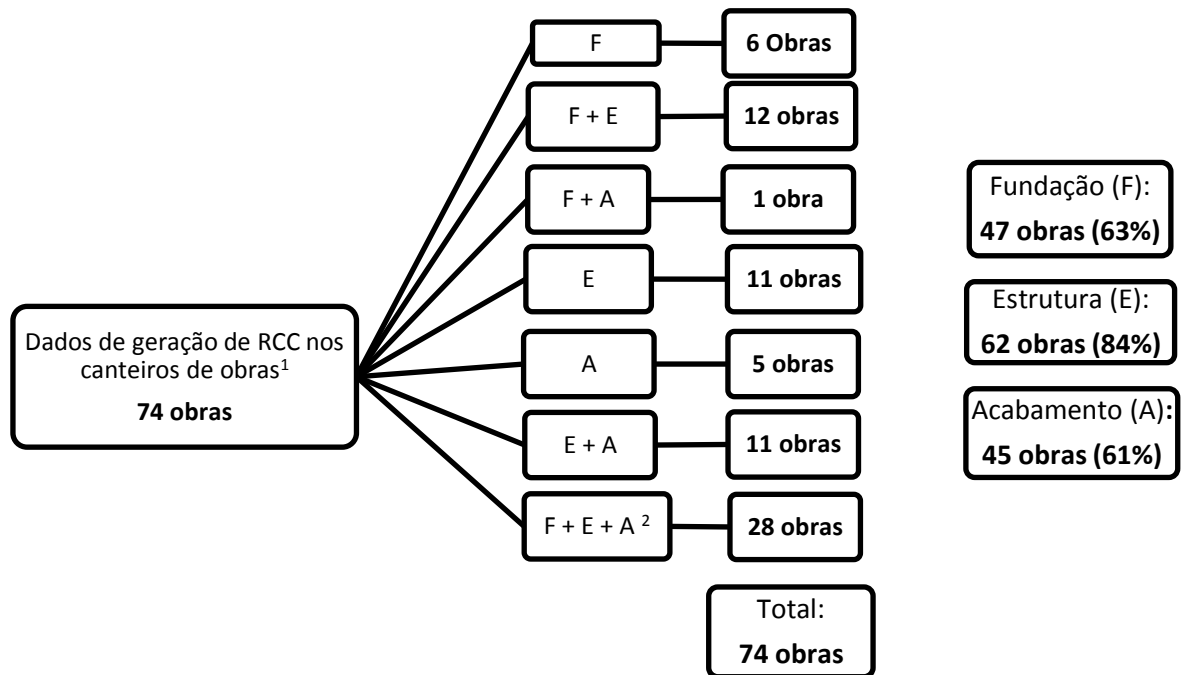
A determinação dos indicadores de sustentabilidade se baseou no que estabelece a Resolução CONAMA nº 307/2002, e nas propostas de gerenciamento de RCC (PINTO, 2005; GUSMÃO, 2008; LIMA e LIMA, 2009; CABRAL e MOREIRA, 2011). Foram formulados 15 indicadores de sustentabilidade específicos de gestão de RCC, sendo 5 indicadores voltados para a segregação dos resíduos, 5 indicadores para transporte e armazenamento e, por último 5 indicadores para a destinação final dos resíduos, e respectivas gradações ou tendências à sustentabilidade.

Esses indicadores e suas respectivas gradações levaram à composição do índice de sustentabilidade. Para tanto, considerou-se que cada valor + (positivo), atribuído ao indicador em análise, valeria 1 ponto; cada valor +/- (positivo/negativo) valeria 0,5 ponto e cada valor – (negativo) não somaria nenhum ponto. O somatório dos valores numéricos levou a um número que representa o índice de sustentabilidade da obra. A partir desse número, foi possível efetuar a comparação entre os canteiros de obras, assim como estabelecer sua hierarquização, em termos de sustentabilidade (BESEN *et al.*, 2007). Os indicadores e índices não passaram por uma ponderação e foram considerados todos com o mesmo peso em sua contribuição para a sustentabilidade.

O estabelecimento do grau de sustentabilidade se deu mediante decodificação do índice de sustentabilidade para uma representação qualitativa, correspondente a intervalos de valores (RIBEIRO *et al.*, 2009). Estabeleceu-se os graus de sustentabilidade como baixo (0 a 1,9 pontos), médio (2 a 3,9 pontos) e alto (4 a 5 pontos), sendo iguais para a segregação, armazenamento, coleta e destinação final dos resíduos.

Das 74 obras analisadas, apenas 28 possuem um banco de dados completo de geração de resíduos durante toda a execução da obra (fundação + estrutura + acabamento). A maioria das obras analisadas ainda estão em fase de construção ou, no caso das mais antigas, não possuem registro de geração de resíduos de forma completa e confiável. A Figura 3.4 apresenta o número de obras as quais foram obtidos dados por fase da construção.

Figura 3.4 – Quantidade de obras analisadas por fase da construção e classe de resíduos.



¹F= Fundação; E= Estrutura; A= Acabamento.

²F + E + A: Obras com banco de dados completo

Fonte: O Autor (2014)

A fase com dados do maior número de obras foi a de estrutura, com 84% do total de obras. Como a maioria das obras ainda estão em andamento, a quantidade de dados da fase de acabamento foi reduzida (61%).

A partir da geração total de resíduos foi determinado o número total de caçambas necessárias para coletar todos os resíduos da obra, considerando o volume da caçamba de 6m³ e massa unitária de 1,36 t/m³ (MACEDO, 2013). Além disso, a partir da contabilização dos resíduos gerados, estimou-se a percentagem de resíduos por classe, de acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002. Foi realizada ainda uma comparação da geração total de resíduos de construtoras com certificação ISO 14001 e construtoras sem certificação, como forma de analisar a influência do Sistema de Gestão Ambiental da geração de resíduos.

Após a identificação do número de caçambas, foram realizadas correlações entre a geração total de RCC com a área construída, prazo de conclusão da obra e número de pavimentos, com o objetivo de obter de indicadores de geração de resíduos.

Para o cálculo do custo com o gerenciamento de RCC, considerou-se os gastos com o transporte e destinação final dos resíduos. Não foram considerados os gastos com consultoria, compra de equipamentos, dentre outros.

3.2.2 Estruturação do sistema

Na fase de estruturação do sistema, o contexto do problema é estruturado e organizado a partir dos aspectos julgados mais relevantes. Nesta etapa, são apresentadas a estruturação e formalização dos conhecimentos para o desenvolvimento de um Sistema de Apoio ao Gerenciamento de RCC em canteiros de obras. Na estruturação, seguiu-se o proposto por Lupatini (2002), que divide esta etapa em duas: a construção do modelo conceitual e a posterior instanciação do modelo, onde são definidos os conhecimentos e os métodos necessários para atingir os objetivos propostos no modelo conceitual, através de fluxogramas.

O *modelo conceitual* foi desenvolvido com base na etapa de aquisição de conhecimentos e nas necessidades dos usuários. A solução proposta, conforme Lupatini (2002), parte da possibilidade de incorporar o mesmo modelo de conhecimento utilizado pelos especialistas em um programa computacional, permitindo que os usuários que não possuem conhecimento aprofundado da área, cheguem à resolução do problema pela simples aplicação correta do modelo.

A *instanciação do modelo* consiste em, a partir do modelo conceitual, incluir os conhecimentos necessários para que os objetivos da etapa de raciocínio fossem atingidos (SCREMIN, 2007). Para Lupatini (2002) a modelagem de um conhecimento é realizada progressivamente, pela decomposição dos objetivos que se deseja atingir.

O modelo conceitual é apresentado neste trabalho em fluxograma, enquanto que a etapa de instanciação do modelo foi realizado com o auxílio das planilhas eletrônicas do Microsoft Excel[®].

3.2.3 Codificação

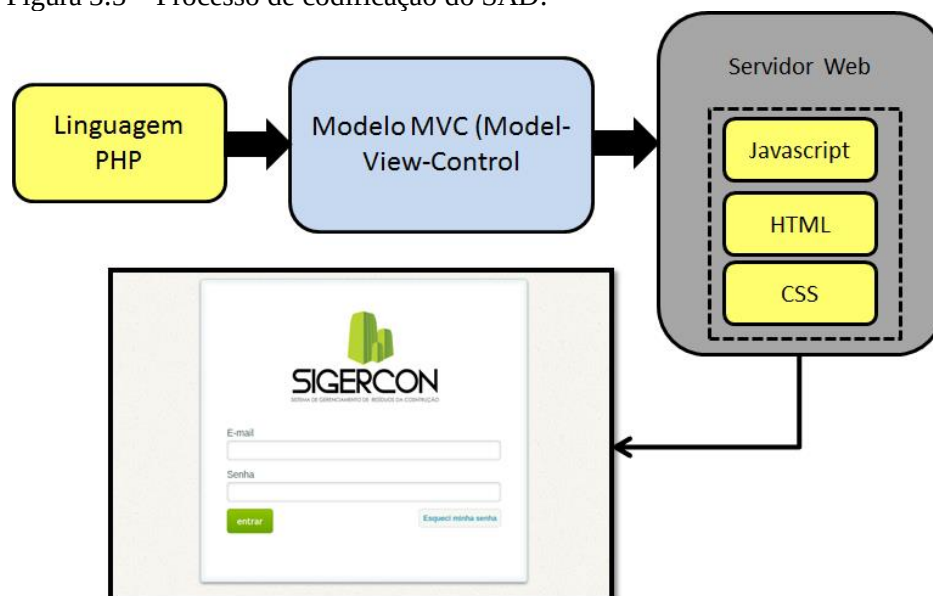
A Codificação de um SAD tem o objetivo de transpor (codificar) o modelo conceitual elaborado em um modelo interpretado por computador (digital).

A etapa de codificação do sistema consistiu na codificação do modelo instanciado e construção de uma interface baseado em *web* para utilização pelo usuário, como forma de facilitar o acesso às informações do sistema e obter os resultados determinados no modelo conceitual.

O sistema foi desenvolvido na linguagem PHP (*Hypertext Preprocessor*), uma das linguagens mais difundidas no mercado, utilizando o modelo MVC (*Model-View-Control*). Esse modelo é um dos mais indicados para o desenvolvimento Web, pois facilita a manutenção e possíveis extensões do sistema. A biblioteca jQuery (Javascript) também foi utilizada para incrementar a usabilidade do sistema (Figura 3.5).

Para o armazenamento dos dados foi utilizado o banco de dados MySQL, por se tratar de um sistema de banco de dados relacional completo, e por ser notadamente o mais recomendado para este tipo de aplicação.

Figura 3.5 – Processo de codificação do SAD.



Fonte: O Autor (2014)

A codificação dos conhecimentos compreendeu diversas etapas, conforme metodologia empregada por Lupatini (2002):

Entendimento do problema: compreendeu a análise e entendimento do modelo conceitual com base na documentação produzida na etapa de estruturação do modelo (fluxogramas);

Geração do modelo de prototipação: esta etapa de desenvolvimento consistiu na definição, modelagem e validação das interfaces e funcionalidades do sistema, em função do tipo de usuário, quantidade e tipo de dados e praticidade de uso;

Geração da modelagem de dados e validação: consistiu na identificação, classificação e estruturação do conjunto de dados utilizados pelo sistema;

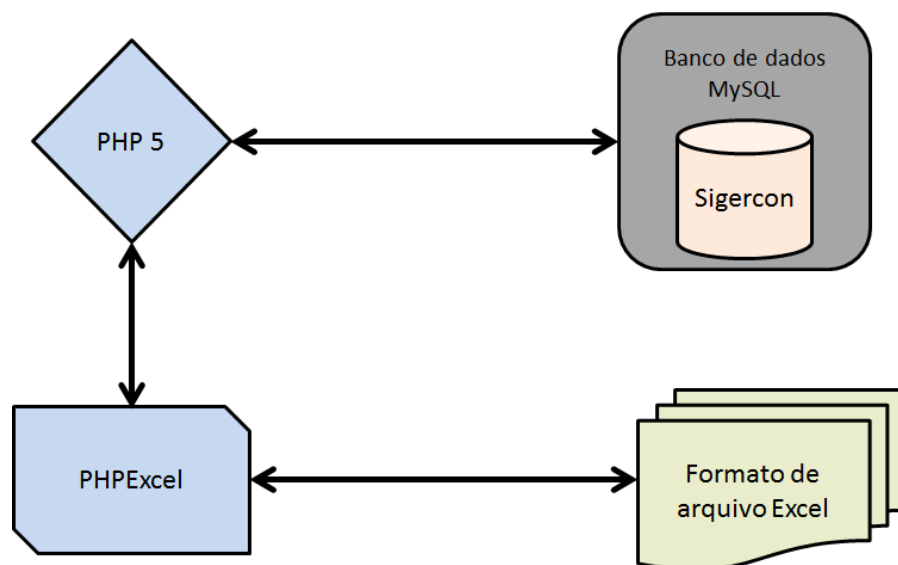
Implantação do Banco de Dados e validação: consistiu na definição e implantação da estrutura de armazenamento dos dados anteriormente modelados;

Implantação do código e consistência no banco de dados: consistiu na integração do protótipo inicial das telas de navegação com a estrutura de armazenamento de dados e regras de negócio (tradução dos fluxogramas em regras lógicas), verificando a persistência dos dados obtidos e armazenados pelo sistema;

Implantação do sistema: Publicação do sistema em *web*, para utilização pelos usuários.

Para a importação de um conjunto de dados para o sistema, o *software* permite a geração de um arquivo em formato de planilha eletrônica (Microsoft Excel) para ser preenchido pelo usuário. A Figura 3.6 apresenta o processo de geração dos arquivos.

Figura 3.6 – Processo de geração de arquivos em planilha eletrônica.



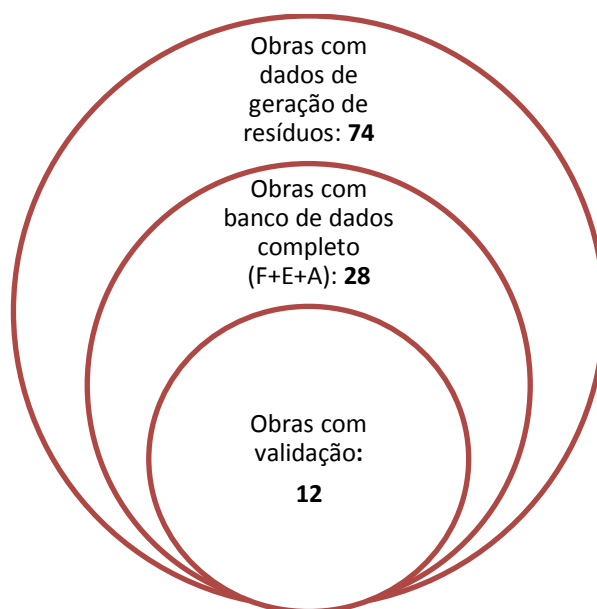
Fonte: O Autor (2014)

3.2.4 Validação do sistema

A validação do sistema desenvolvido foi realizada em duas etapas, conforme utilizado por Scremin (2007). Primeiramente foi realizada uma avaliação do sistema durante e após a codificação, onde foram identificados e corrigidos problemas no desenvolvimento da ferramenta, como os problemas de lógica, rotina e aparência do sistema. A cada atividade desenvolvida pelo programador, foram realizadas revisões e enviadas possíveis correções do sistema para o programador.

Na segunda etapa, foi realizada a validação da *Fase 2 – Dimensionamento do SGRCC*, onde esta foi testada aplicando o SAD em 12 obras da cidade do Recife (Figura 3.7), para verificação da correlação entre os dados reais da obra com os dados estimados pelo sistema. Foram avaliados os métodos de geração total pela área construída, pelo prazo de conclusão da obra e pelo número de pavimentos. Como a *Fase 1 – Descrição geral do empreendimento* apresenta apenas o cadastro da obra, e a *Fase 3 – Gerenciamento da obra* é a utilização diária das obras, não são passíveis de validação.

Figura 3.7 – Definição da quantidade de obras da etapa de validação.



Fonte: O Autor (2014)

A partir da análise da concordância dos resultados da validação, apresenta-se uma conclusão sobre a aplicabilidade e importância do SIGERCON para a gestão de resíduos em canteiros de obras da cidade do Recife.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a etapa de aquisição de conhecimentos, estruturação, codificação e validação do sistema realizado em canteiros de obras da cidade do Recife/PE.

4.1 Aquisição de conhecimentos

4.1.1 Diagnóstico das obras

Na Tabela 4.1 encontra-se um resumo das 20 obras que foram monitoradas, com a apresentação da área construída, duração da obra, número de pavimentos, fase atual da construção e se possui certificação ISO 14001.

Tabela 4.1 - Caracterização dos canteiros de obra visitados.

Obra	Área construída (m ²)	nº de pavimentos	Duração da obra (meses)	Fase atual da obra	Possui certificação ISO 14.001?
1	19.370,23	34	45	Acabamento	Sim
2	17.399,77	34	45	Acabamento	Sim
3	37.233,88	34	24	Estrutura	Sim
4	11.609,00	29	36	Estrutura	Sim
5	9.460,42	28	41	Estrutura	Não
6	13.091,96	16	19	Acabamento	Sim
7	8.318,00	14	19	Acabamento	Sim
8	6.127,20	22	23	Acabamento	Não
9	13.706,05	29	37	Estrutura	Não
10	7.886,40	22	30	Acabamento	Não
11	-	22	34	Acabamento	Não
12	10.728,00	28	19	Acabamento	Sim
13	15.206,00	22	28	Acabamento	Sim
14	12.554,00	30	38	Acabamento	Não
15	-	24	36	Estrutura	Não
16	4.824,58	18	31	Acabamento	Não
17	9.406,64	37	35	Acabamento	Sim
18	18.190,80	17	-	Estrutura	Não
19	9.460,83	23	27	Acabamento	Não
20	13.691,00	33	30	Estrutura	Não

Fonte: O Autor (2014)

As obras visitadas estavam nas fases de estrutura ou acabamento, sendo em sua maioria na fase de acabamento (65%), ou seja, de revestimento interno e externo, instalações elétricas, hidráulicas, dentre outras.

Identificou-se que todas as obras possuem um sistema para segregar e acondicionar os resíduos recicláveis através do uso de bombonas e baias, como papel, plástico, metal e madeira (Figuras 4.1 e 4.2). Contudo, apesar do esforço para segregar os resíduos em muitas obras, encontrou-se resíduos misturados nas baias e bombonas, e muito resíduo no entorno destes locais.

Figura 4.1 – Utilização de bombonas nas obras.



Figura 4.2 – Utilização de baias nas obras.

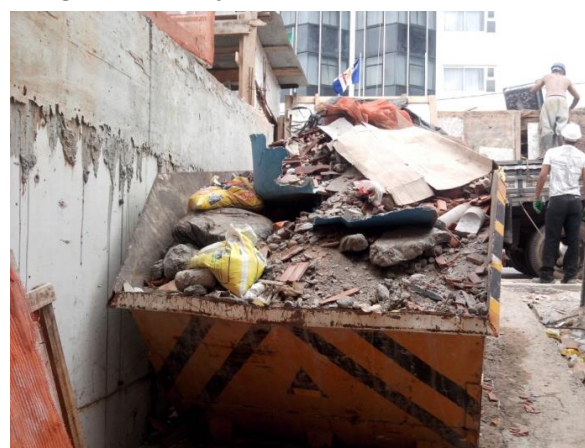


O mesmo fato se observou na utilização de caçambas para o acondicionamento de entulho, onde em algumas obras a segregação se encontrava adequada (Figura 4.3), enquanto em outras os resíduos estavam misturados (Figura 4.4), o que impossibilita a futura reciclagem.

Figura 4.3 – Caçamba com segregação adequada.



Figura 4.4 - Caçamba com mistura de resíduos.



Em relação ao destino final dos resíduos, a maioria das obras contrata empresas privadas para coletar e dar destino adequado aos resíduos. Os resíduos de papel, plástico, metal e madeira geralmente vão para reciclagem ou aterro sanitário e o entulho, quando bem segregado, é destinado à usina de reciclagem de entulho de Camaragibe/PE, e quando não é bem segregado, tem como destino o aterro sanitário local, que possui célula específica para recebimento de RCC. Apenas uma obra (nº 20) possui parceria com cooperativas de catadores.

Quanto ao monitoramento da geração de resíduos, muitas obras não possuíam os dados de forma sistematizada, de modo a ser possível realizar um acompanhamento e definir as metas de redução da geração. Não havia informações como geração mensal de resíduos, geração por fase da obra, custos com transporte e destinação de resíduos, o que dificultou bastante a coleta de dados nas obras.

Quanto à documentação de destinação, todas as obras rastreavam seus resíduos com o uso do Controle de Transporte de Resíduos (CTR), mas possuem muita dificuldade na elaboração do relatório final do gerenciamento de resíduos, que é entregue à EMLURB ao final da obra.

Das 20 obras visitadas, 9 são de construtoras que possuem certificação ISO 14.001, e 11 são de construtoras não certificadas. Identificou-se que não há grande diferença no gerenciamento de resíduos entre as obras com e sem certificação. Porém, observou-se que nas obras certificadas há um maior monitoramento da saída de caçambas das obras até sua destinação final, havendo uma maior preocupação com a documentação necessária, como os CTR, *tickets* de pesagem e licença ambiental dos transportadores e destinação final.

O quadro 4.1 apresenta os indicadores de sustentabilidade da segregação dos resíduos na fonte, que abrange desde a capacitação dos trabalhadores até o seu armazenamento final, considerando a forma de acondicionamento inicial e o transporte interno dos RCC, dentre outros. O Quadro 4.2 apresenta os indicadores de sustentabilidade para o transporte e armazenamento final dos resíduos, enquanto que o Quadro 4.3 apresenta os indicadores de sustentabilidade para a destinação final dos RCC gerados no canteiro de obras.

Quadro 4.1 - Indicadores de sustentabilidade para a segregação dos RCC e respectivas gradações.

Indicadores de sustentabilidade	Tendências à sustentabilidade		
	+	+/-	-
Geração de resíduos	Uso de tecnologias de racionalização de obras e de produção mais limpa	Criação de programas de conscientização	Elevada geração e desperdício de resíduos
Capacitação dos trabalhadores	Treinamento periódico com monitoramento	Treinamento de acordo com a necessidade	Inexistente
Acondicionamento dos resíduos Classe A	Acúmulo em pilhas em locais demarcados no pavimento	Acúmulo em pilhas em local determinado, sem sinalização	Acúmulo em pilhas espalhadas pelo pavimento
Acondicionamento dos resíduos Classe B	Utilização de bombonas para acondicionamento de madeira, metal, plástico e papel	Segregado em pilhas, no pavimento	Acúmulo dos resíduos sem segregação no pavimento
Sinalização	Sinalização adequada dos locais de acondicionamento	Sinalização dos locais de acondicionamento, porém pouco visíveis	Sem sinalização dos locais de acondicionamento

Quadro 4.2 - Indicadores de sustentabilidade para o transporte e armazenamento dos RCC e respectivas gradações.

Indicadores de sustentabilidade	Tendências à sustentabilidade		
	+	+/-	-
Transporte interno	Transporte dos resíduos pelo uso de dutos verticais e recicláveis segregados	Transporte dos resíduos segregados em sacos	Transporte dos resíduos misturados em carrinho-de-mão
Armazenamento final em caçambas	Segregação entre os resíduos de gesso, madeira e entulho	Caçamba única sem segregação entre gesso, madeira e entulho	Caçamba misturada com outros tipos de resíduos
Armazenamento final em bags/baias	Resíduos bem segregados; local sinalizado	Resíduos bem segregados; baias/bags muito cheios	Resíduos misturados
Limpeza	Sem presença de resíduo no entorno da área de armazenamento de resíduos	Presença de resíduo na área de armazenamento, em local sinalizado	Presença de resíduos espalhados no entorno da área de armazenamento de resíduos
Transporte externo	Empresa cadastrada na EMLURB com monitoramento da licença de operação	Empresa cadastrada na EMLURB sem monitoramento da Licença de Operação	Contratação informal de empresas sem cadastro na EMLURB / Transporte próprio

Quadro 4.3 - Indicadores de sustentabilidade para a destinação final dos RCC e respectivas gradações.

Indicadores de sustentabilidade	Tendências à sustentabilidade		
	+	+/-	-
Cooperativas de catadores	Possui parceria com cooperativas com contrato	Doação esporádica	Não possui
Resíduos não recicláveis	Logística reversa	Disposição em aterro sanitário	Disposição inadequada
Resíduos recicláveis como agregados	Destinação permanente em usina de reciclagem de RCC	Destinação em usina de reciclagem (Classe A) em conjunto com aterros sanitários (Classe C)	Destinação em aterros ou locais inadequados
Utilização de agregados reciclados	Utiliza agregados reciclados em argamassa ou concreto	Utiliza agregados reciclados para fins menos nobres	Utiliza agregados naturais para fins menos nobres
Reaproveitamento de resíduos	Reutilização de resíduos na própria obra	Venda de resíduo para ser reutilizado em outro local	Não reutiliza nenhum tipo de resíduo

Os quadros 4.4, 4.5 e 4.6 apresentam as matrizes de sustentabilidade resultantes para os 3 grupos de indicadores, referentes aos 20 canteiros de obras, a partir dos quais os indicadores e índices foram construídos.

Quadro 4.4 - Matriz de sustentabilidade na segregação dos RCC.

Segregação dos RCC							
Obras	Indicadores de sustentabilidade*					Sustentabilidade	
	1	2	3	4	5	Índice	Grau**
1	-	+/-	+	-	+/-	2	Médio
2	-	+/-	+	-	+/-	2	Médio
3	-	-	+	-	+/-	1,5	Baixo
4	+/-	+/-	+	+/-	+	3,5	Médio
5	-	-	+	-	+	2	Médio
6	+/-	+/-	+	+/-	+	3,5	Médio
7	+/-	+/-	+	+/-	+	3,5	Médio
8	-	-	+	+/-	+	2,5	Médio
9	+/-	+/-	+/-	+/-	+	3	Médio
10	+/-	+/-	+	+/-	+	3,5	Médio
11	+/-	-	+	+/-	+/-	2,5	Médio
12	-	+/-	+	+/-	+	3	Médio
13	+/-	+/-	+	+/-	+	3,5	Médio
14	-	-	+	+/-	+	2,5	Médio
15	-	-	+	-	+/-	1,5	Baixo
16	-	-	+	+/-	+	2,5	Médio
17	+/-	+/-	+/-	-	+/-	2	Médio
18	-	-	+	-	+/-	1,5	Baixo
19	+/-	+/-	+	+/-	+	3,5	Médio
20	+/-	-	+	+/-	+	3	Médio

* Notas e pontuação: (-) = 0 ponto, (+/-) = 0,5 ponto, (+) = 1 ponto,

** Grau: Baixo = 0 a 1,9 pontos, Médio = 2 a 3,9 pontos, Alto = 4 a 5 pontos.

Quadro 4.5 - Matriz de sustentabilidade no transporte e armazenamento dos RCC.

Transporte e armazenamento dos RCC							
Obras	Indicadores de sustentabilidade*					Sustentabilidade	
	1	2	3	4	5	Índice	Grau**
1	+/-	-	-	+	+	2,5	Médio
2	+/-	+	+	-	+	3,5	Médio
3	+	-	-	-	+/-	1,5	Baixo
4	+	-	+	+	+	4	Alto
5	-	+	-	+	+	3	Médio
6	+/-	+	+	+	+	4,5	Alto
7	+	+	+	-	+	4	Alto
8	+/-	-	-	-	-	0,5	Baixo
9	+/-	-	+	-	-	0,5	Baixo
10	+/-	+/-	+	+	+	4	Alto
11	+	-	+	-	+	3	Médio
12	+/-	+/-	+	+	+	4	Alto
13	+/-	+	+	+	+	4,5	Alto
14	+/-	+/-	-	-	+/-	1,5	Baixo
15	+	+/-	+	+	+/-	4	Alto
16	+/-	+/-	+	-	-	2	Médio
17	+/-	-	+	-	+	2,5	Médio
18	-	-	+/-	-	-	0,5	Baixo
19	+/-	+/-	+	+	-	3	Médio
20	+/-	+/-	+	+	+	4	Alto

* Notas e pontuação: (-) = 0 ponto, (+/-) = 0,5 ponto, (+) = 1 ponto,

** Grau: Baixo = 0 a 1,9 pontos, Médio = 2 a 3,9 pontos, Alto = 4 a 5 pontos.

Quadro 4.6 - Matriz de sustentabilidade na destinação final dos RCC.

Destinação final dos RCC							
Obras	Indicadores de sustentabilidade*					Sustentabilidade	
	1	2	3	4	5	Índice	Grau**
1	-	+/-	+	-	-	1,5	Baixo
2	-	+/-	+	-	-	1,5	Baixo
3	-	+/-	+/-	-	-	1	Baixo
4	-	+	+	-	+	3	Médio
5	-	+/-	+	-	-	1,5	Baixo
6	-	+	+	-	+	3	Médio
7	-	+	+	+	+	4	Alto
8	-	+/-	+/-	-	-	1	Baixo
9	-	+	+	-	-	2	Médio
10	-	+	+	-	+	3	Médio
11	-	+	+/-	-	+	2,5	Médio
12	-	+	+	-	-	2	Médio
13	-	+	+	-	+	3	Médio
14	-	+/-	+	-	-	1,5	Baixo
15	-	+/-	+	-	+	2,5	Médio
16	-	+	+	-	-	2	Médio
17	-	+	+	-	+	3	Médio
18	-	+/-	+/-	-	-	1	Baixo
19	-	+	+	-	+	3	Médio
20	+	+	+	+	+	5	Alto

* Notas e pontuação: (-) = 0 ponto, (+/-) = 0,5 ponto, (+) = 1 ponto,

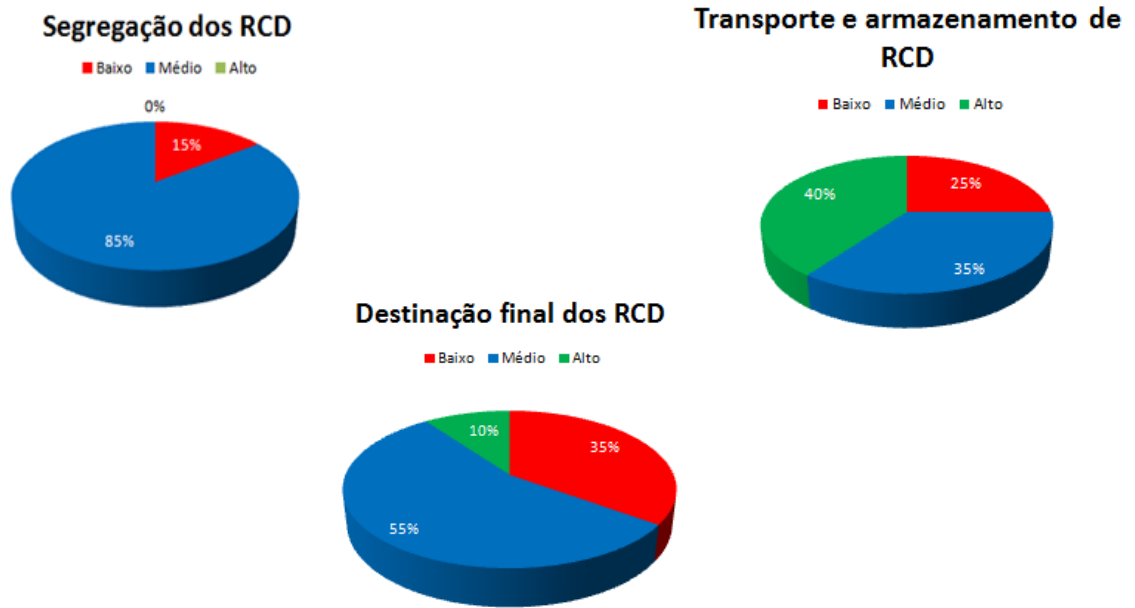
** Grau: Baixo = 0 a 1,9 pontos, Médio = 2 a 3,9 pontos, Alto = 4 a 5 pontos.

Com relação à sustentabilidade das obras, verificou-se que dentre os 20 canteiros, nenhuma obra obteve grau alto de sustentabilidade nos três grupos de indicadores. Apenas 2 canteiros (Obras 7 e 20) obtiveram pelo menos dois graus “Alto”, e 2 canteiros de obras (Obras 3 e 18) obtiveram grau “Baixo” nos três grupos. Da pontuação máxima de 15 pontos, o maior índice foi 12, e o menor índice foi 3.

Analisando-se o resultado por grupo de indicadores, foi observado que a etapa de transporte e armazenamento obteve o maior grau de sustentabilidade por parte das obras. O que mais colaborou com este resultado foi o fato de já ser de conhecimento das obras, como se deve segregar os resíduos e a diferenciação do que pode ser reciclado ou não. Com um mercado de recicláveis em ascensão, as empresas privadas de gerenciamento de resíduos vêm conscientizando os geradores da importância de segregar adequadamente os resíduos, pois além de contribuir com o desenvolvimento sustentável, ainda reduz os custos de destinação final.

Por outro lado, o grupo de menor pontuação foi o da destinação final, que pode ser explicado pelo baixo reaproveitamento de resíduos na própria obra e a inexistente utilização de agregados reciclados para fins menos nobres. Apesar das obras enviarem seus resíduos para a usina de reciclagem, nenhuma das obras analisadas utiliza agregados reciclados no seu processo construtivo, apesar do preço ser bem menor que o agregado natural (cerca de 30% mais barato). Questões como cultura, falta de confiança e conhecimento do produto foram os motivos identificados. A Figura 4.5 apresenta o resultado dos graus de sustentabilidade por grupo de indicadores.

Figura 4.5 – Grau de sustentabilidade para cada grupo de indicadores.



4.1.2 Geração de RCC nos canteiros de obras

4.1.2.1 Geração total de RCC nos canteiros de obra

A Figura 4.6 apresenta a geração total de resíduos das 28 obras com o banco de dados completo (Fundação + estrutura + acabamento). A Tabela 4.2 apresenta as características dessas obras, e o Apêndice C apresenta quantitativamente todos os dados coletados das obras. Algumas informações não puderam ser obtidas, pela falta de consistência dos dados, ou pelo fato de muitas obras ainda não terem sido finalizadas.

Figura 4.6 – Geração total de resíduos das obras com banco de dados completo.

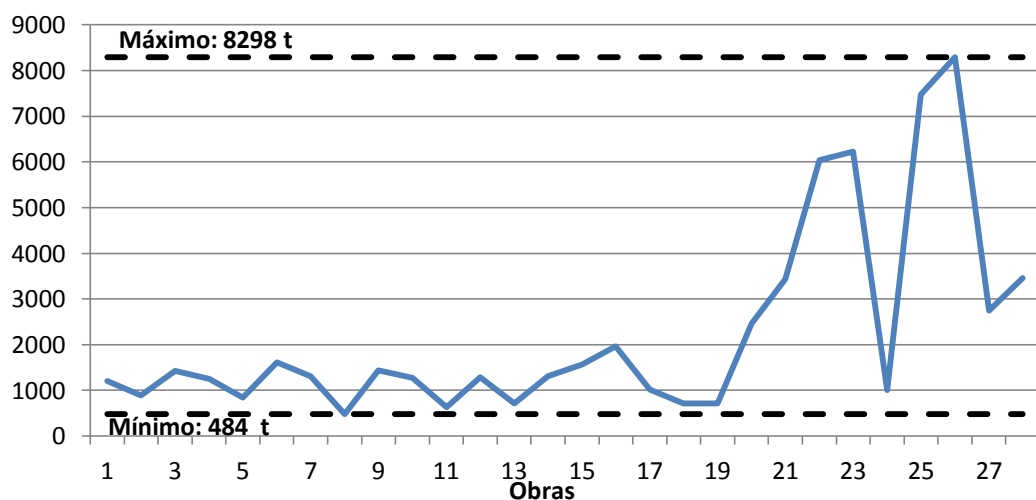


Tabela 4.2 - Caracterização das obras com banco de dados completo.

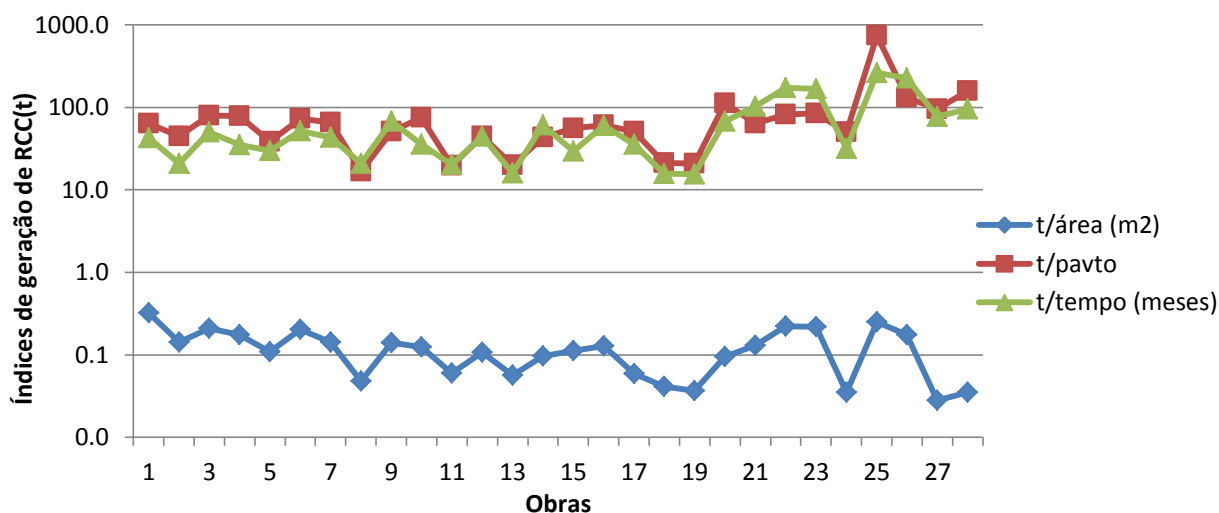
Obra	Área construída (m ²)	nº de pavimentos	Duração da obra (meses)	Possui certificação ISO 14.001?
1	3.379	19	28	Sim
2	6.226	20	43	Sim
3	6.861	18	28	Sim
4	7.099	16	36	Sim
5	7.706	22	28	Sim
6	7.886	22	31	Não
7	9.213	20	30	Sim
8	10.072	29	23	Sim
9	10.216	28	21	Sim
10	10.230	17	36	Sim
11	10.526	32	31	Sim
12	12.023	29	29	Sim
13	12.630	36	45	Sim
14	13.439	30	21	Sim
15	14.062	28	54	Sim
16	15.220	32	32	Sim
17	17.213	20	28	Sim
18	17.400	34	46	Sim
19	19.370	34	46	Sim
20	25.958	22	37	Sim
21	26.570	54	34	Sim
22	27.218	74	35	Não
23	28.480	74	37	Não
24	28.494	20	31	Sim
25	30.071	10	28	Sim
26	47.574	63	37	Sim
27	97.900	29	36	Sim
28	99.092	22	37	Sim

Fonte: O autor (2014)

Verifica-se que a geração total de resíduos se encontra entre 484 toneladas e 8.298 toneladas, com uma média de 1.304 toneladas. A quantidade de resíduos geralmente estimada pelos PGRCC na cidade do Recife, corresponde a valores em torno de 500 toneladas a 1.500 toneladas (obtido através de análise dos PGRCC nas obras visitadas), que abrange o valor obtido pela pesquisa.

A Figura 4.7 apresenta três séries de dados, as quais relacionam a quantidade de resíduos gerados com a área construída, com o número de pavimentos e com o prazo de conclusão da obra.

Figura 4.7 – Índices de geração de RCC em relação à área construída, tempo de conclusão da obra e nº de pavimentos.



Analisando-se estes dados, obteve-se um índice médio de geração de RCC por área construída de 125 kg/m^2 , para uma área construída total média de 22.232 m^2 , dentro da faixa estimada por Gusmão (2008) que varia de 100 kg/m^2 a 150 kg/m^2 . A Tabela 4.3 apresenta os índices de geração de acordo com faixas de área construída.

Tabela 4.3 – Índice de geração de RCC por faixa de área construída.

Área construída	Geração média total (t)	Índice de geração por área construída (kg/m^2)
$A_t \leq 8.000 \text{ m}^2$	1203	194
$8.000 \text{ m}^2 < A_t \leq 15.000 \text{ m}^2$	1111	94
$15.000 \text{ m}^2 < A_t \leq 25.000 \text{ m}^2$	1101	66
$A_t > 25.000 \text{ m}^2$	4570	117

Além desse indicador, que é o mais utilizado na estimativa da geração de resíduos, obteve-se o índice médio de geração de RCC por conclusão da obra que foi de $70,03 \text{ t/mês}$, para um prazo de conclusão médio das obras de 34 meses. A Tabela 4.4 apresenta os índices de geração de acordo com faixas de prazo de conclusão da obra.

Tabela 4.4 – Índice de geração de RCC por faixa de prazo de conclusão da obra.

Prazo de conclusão da obra	Geração média total (t)	Índice de geração por prazo de conclusão (t/mês)
$P_c \leq 30 \text{ meses}$	1839	68
$30 \text{ meses} < P_c \leq 35 \text{ meses}$	2446	73
$35 \text{ meses} < P_c \leq 40 \text{ meses}$	4071	112
$P_c > 40 \text{ meses}$	1152	21

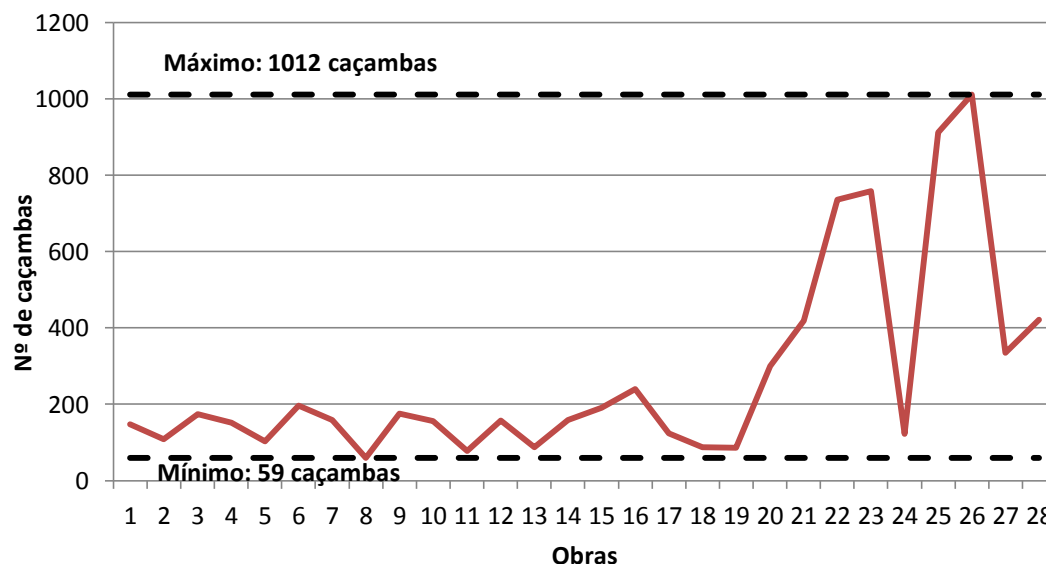
Obteve-se ainda um índice médio de geração de RCC por número de pavimentos de 63,68 t/pavimento, para uma média de 31 pavimentos nas obras do Recife. A Tabela 4.5 apresenta os índices de geração de acordo com faixas de número de pavimentos. A escolha do melhor indicador a ser utilizado vai depender da sua aplicação e comparação com várias outras obras.

Tabela 4.5 – Índice de geração de RCC por faixa de número de pavimentos.

Número de pavimentos	Geração média total (t)	Índice de geração por número de pavimentos (t/pavto)
$N_p \leq 25$	1495	74
$25 < N_p \leq 30$	1506	52
$30 < N_p \leq 40$	946	29
$N_p > 40$	5289	88

A Figura 4.8 apresenta o número total de caçambas coletadas nas 28 obras analisadas, determinado a partir da geração total de RCC. A quantidade coletada se encontra na faixa entre 59 e 1.012 caçambas, com um valor mediano de 159 caçambas. O maior número de caçambas reflete diretamente no consumo de combustível durante o transporte e no aumento do congestionamento do trânsito, até a destinação final.

Figura 4.8 – Número total de caçambas coletadas nas obras analisadas.

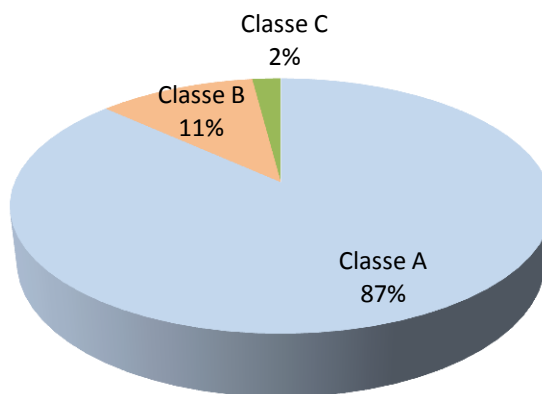


4.1.2.2 Geração de RCC por classe

A Figura 4.9 apresenta os resultados obtidos com a estimativa da geração de resíduos por classe, onde os resíduos Classe A predominam sobre as outras classes. Não houve

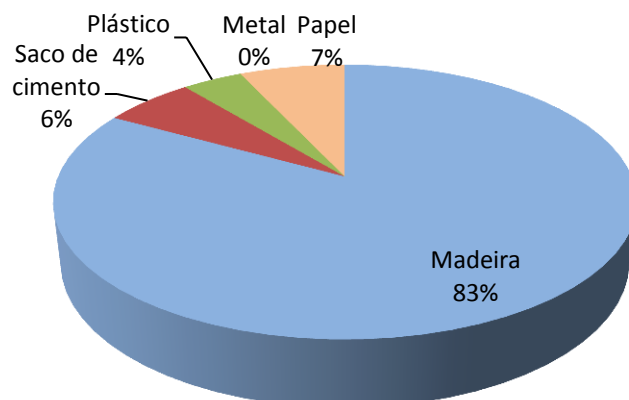
contabilização dos resíduos Classe D, pelo fato de que por ser gerado em pequena quantidade, não há um controle do gerenciamento e da destinação.

Figura 4.9 – Percentagem de geração de RCC por classe, segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002.



A geração média de resíduos foi de **1.062,24 toneladas** para os resíduos de classe A, **29,8 toneladas** para os resíduos de Classe B, e **1,99 toneladas** para os resíduos de Classe C. A Figura 4.10 apresenta a composição gravimétrica dos resíduos Classe B através dos dados disponibilizados por 10 obras.

Figura 4.10 – Composição gravimétrica dos resíduos Classe B.



4.1.2.3 Geração de RCC por fase da obra

No planejamento da gestão de RCC, é imprescindível conhecer o quanto se gera de resíduo em cada fase da obra e o tipo de material que é mais descartado, para que se possa planejar bem a estrutura que se deve ter na obra. A Figura 4.11 apresenta a geração de RCC por fase

da obra, considerando as 28 obras com banco de dados completo. A Figura 4.12 apresenta a percentagem de geração de RCC em cada fase.

Figura 4.11 – Geração de resíduos por fase da obra.

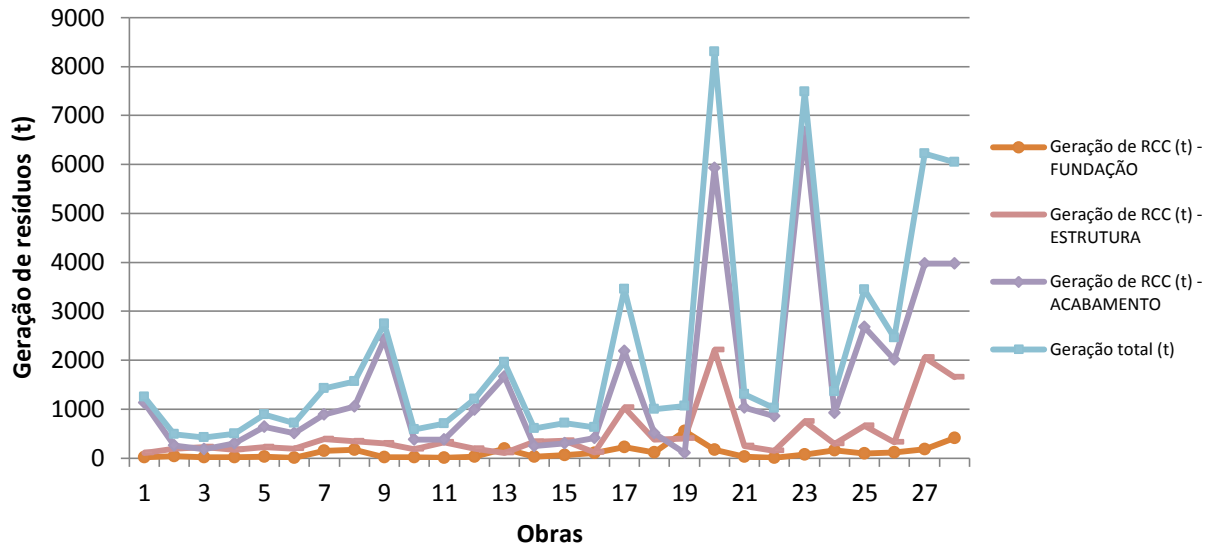
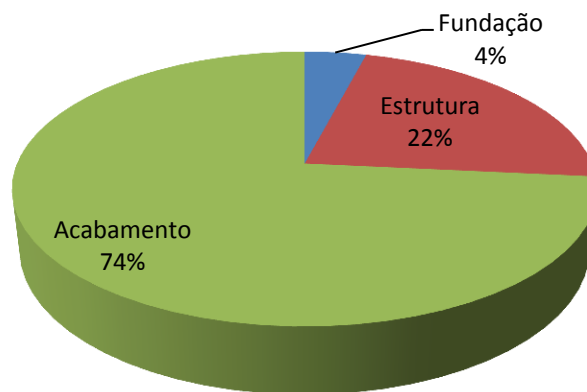


Figura 4.12 – Percentagem da geração de RCC por fase da obra.

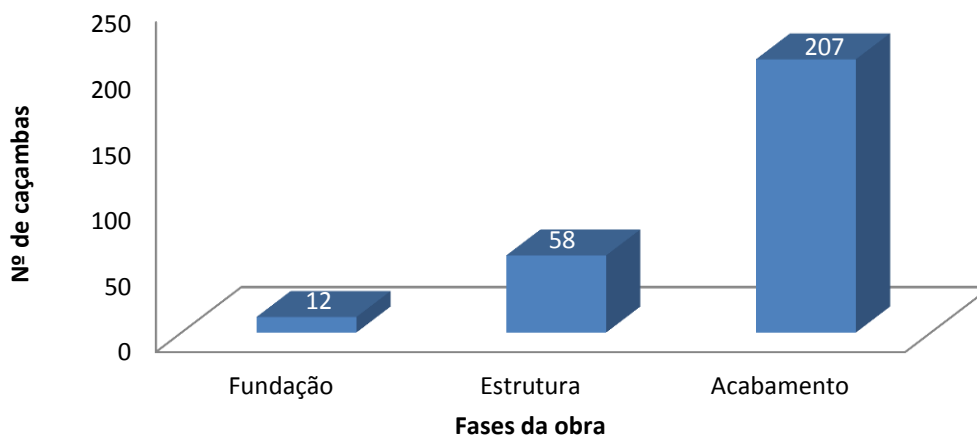


Considerando os dados das demais obras, obteve-se os seguintes índices médios de geração por fase da construção: **17,20 t/mês** na fase de fundação, com uma duração média de 6 meses, **45,86 t/mês** na fase de estrutura, com uma duração média de 11 meses e **107,93 t/mês** na fase de acabamento, com uma duração média de 15 meses.

A Figura 4.13 apresenta o número de caçambas coletadas em cada fase da obra. Verifica-se que a fase de acabamento é a mais crítica em relação à geração de resíduos, devido ao fato de ser a fase mais longa da obra, em que há mais desperdício de material com a instalação elétrica

e hidráulica, e por ser a fase final, onde o cronograma geralmente se encontra bastante comprometido em relação ao planejado.

Figura 4.13 – Número de caçambas coletadas por fase da obra.



As Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8 apresentam um resumo da geração média de RCC por fase de construção, considerando faixas de área construída e prazo de conclusão da obra, como forma de apresentar o comportamento das obras analisadas, sendo possível utilizar essas informações como indicador para identificar se outras obras estão gerando resíduos acima ou abaixo da média (Figura 4.14).

Tabela 4.6 – Geração de RCC na etapa de fundação para faixas de área construída e prazo de conclusão da obra.

Área construída	Fundação		
	Prazo de conclusão (meses)	Geração total de RCC (t)	Caçambas (un)
$A_t \leq 8.000 \text{ m}^2$	4	57	7
$8.000 \text{ m}^2 < A_t < 15.000 \text{ m}^2$	5	74	9
$15.000 \text{ m}^2 < A_t < 25.000 \text{ m}^2$	6	86	11
$A_t > 25.000 \text{ m}^2$	7	173	22

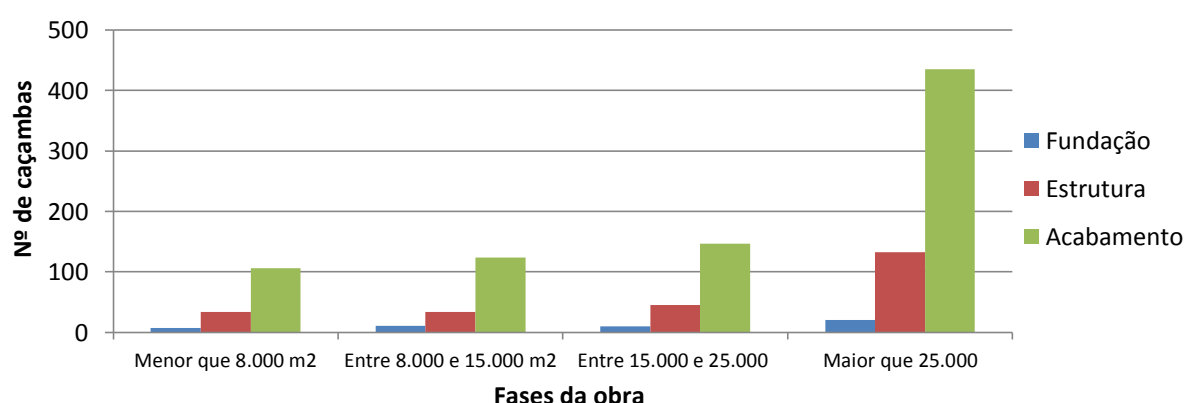
Tabela 4.7 – Geração de RCC na etapa de estrutura para faixas de área construída e prazo de conclusão da obra.

Área construída	Estrutura		
	Prazo de conclusão (meses)	Geração total de RCC (t)	Caçambas (un)
$A_t \leq 8.000 \text{ m}^2$	9	241	30
$8.000 \text{ m}^2 < A_t \leq 15.000 \text{ m}^2$	15	281	35
$15.000 \text{ m}^2 < A_t \leq 25.000 \text{ m}^2$	13	397	50
$A_t > 25.000 \text{ m}^2$	12	1124	147

Tabela 4.8 – Geração de RCC na etapa de acabamento para faixas de área construída e prazo de conclusão da obra.

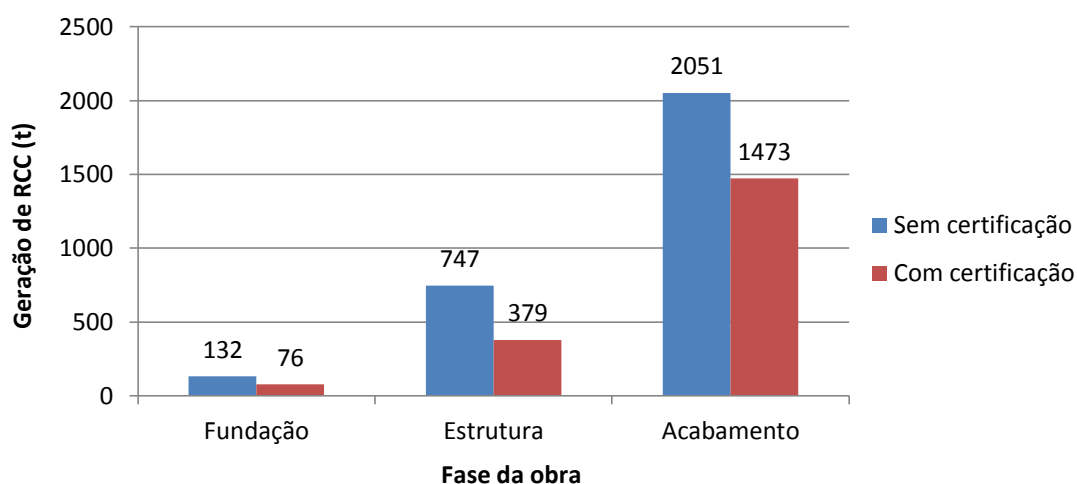
Faixa	Acabamento		
	Prazo de conclusão (meses)	Geração total de RCC (t)	Caçambas (un)
$A_t \leq 8.000 \text{ m}^2$	15	853	106
$8.000 \text{ m}^2 < A_t \leq 15.000 \text{ m}^2$	15	657	113
$15.000 \text{ m}^2 < A_t \leq 25.000 \text{ m}^2$	15	1090	133
$A_t > 25.000 \text{ m}^2$	15	2615	338

Figura 4.14 – Quantidade de caçambas coletadas em relação à área construída e por fase da obra



Foi realizada ainda uma comparação entre a geração de RCC das obras com certificação ISO 14001 e as obras sem certificação (Figura 4.15). Das 74 obras cadastradas, 58 (78%) são de construtoras com certificação, enquanto 16 (22%) são de construtoras sem certificação. O maior número de obras com certificação foi devido à dificuldade de se obter dados consistentes de construtoras sem um adequado sistema de monitoramento de resíduos implantado.

Figura 4.15 – Comparativo da geração de RCC entre obras certificadas e não certificadas.

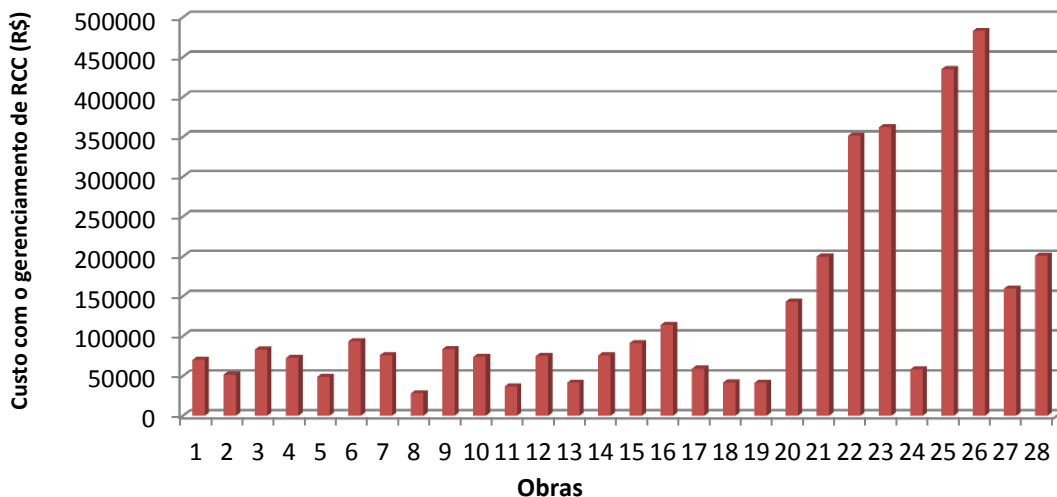


Observou-se que a geração de RCC em obras com certificação foi cerca de 30% menor que em obras sem certificação, ocasionado por diversos fatores como: gestão adequada de materiais dentro da obra; redução do desperdício de materiais; segregação mais adequada nos resíduos nos pavimentos, reduzindo o volume depositado na caçamba, além de treinamentos e capacitações contínuas.

4.1.2.4 Custos com o gerenciamento de RCC

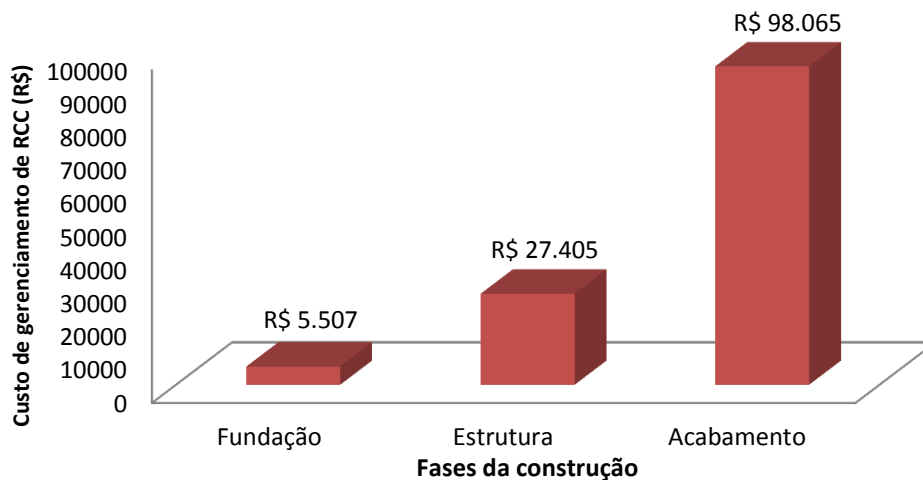
A Figura 4.16 apresenta os custos de gerenciamento de RCC classe A das 28 obras com banco de dados completo. Verifica-se que o custo total para o transporte e destinação de RCC varia de R\$ 28.000,00 a R\$ 485.000,00, a depender da quantidade de caçamba coletada e do destino a ser dado. Para este cálculo só foram consideradas as etapas de transporte e destinação final, outros gastos como compra de novos materiais advindos da perda no processo não puderam ser incluídos, pela dificuldade de mensuração.

Figura 4.16 – Custo com o gerenciamento de RCC nas obras.



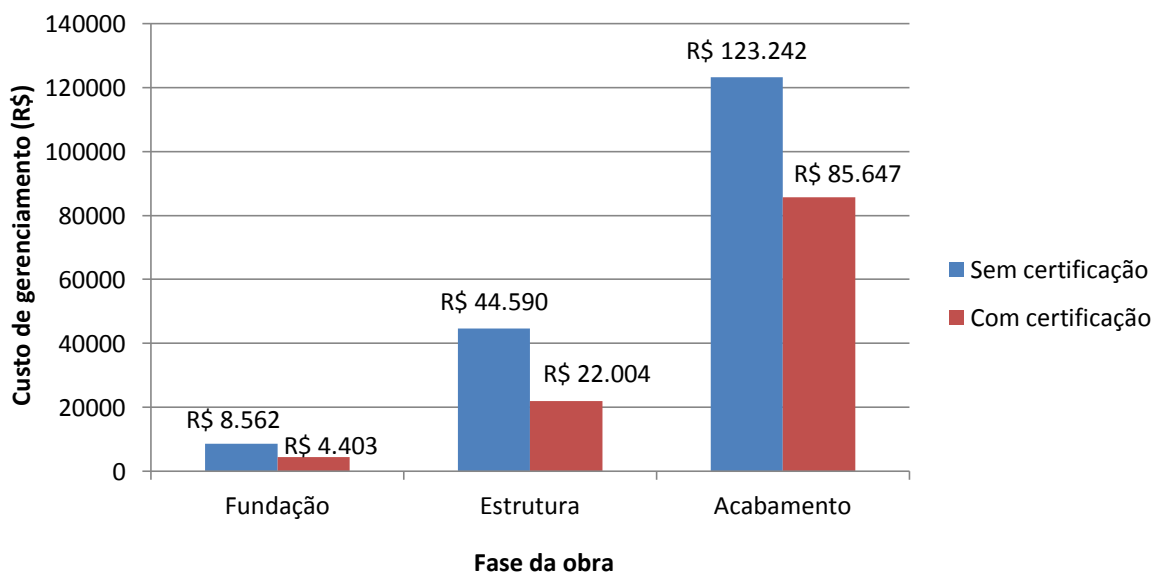
Com os dados das demais obras, calculou-se os custos médios com o gerenciamento de RCC por fase da obra, utilizando como referência a quantidade média de caçambas coletadas e destinadas em cada fase de construção, conforme apresenta a Figura 4.17.

Figura 4.17 – Custo de gerenciamento de RCC por fase da obra.



A Figura 4.18 apresenta a comparação dos custos médios de gerenciamento de resíduos entre obras com e sem certificação ISO 14001. O custo total das obras sem certificação foi cerca de R\$ 176.000,00, enquanto que obras com certificação foi cerca de R\$ 112.054,000, ou seja, 37% inferior.

Figura 4.18 – Custo de gerenciamento de RCC em relação à certificação ambiental.



O custo médio por m^2 varia de 1,63 R\$/ m^2 a 14,17 R\$/ m^2 , sendo o custo maior das obras de área construída menor que 8.000 m^2 (11,27 R\$/ m^2). Observou-se também que as obras certificadas possuem custo médio de 6,64 R\$/ m^2 , enquanto que as obras sem certificação possuem um custo médio de 12,49 R\$/ m^2 .

Como forma de prever os custos advindos com o gerenciamento de resíduos classe B, obteve-se dados de coleta de resíduos de 10 obras, as quais possuíam dados consistentes de geração para identificar os custos atuais com transporte e destinação final desses resíduos, em contraponto com a receita pela venda dos mesmos.

Identificou-se que o custo com manutenção das coletas realizadas pelas empresas privadas contratadas sofreu um grande aumento nos últimos meses (Figura 4.19), que associado a uma receita com aumento pouco significativo pela venda dos resíduos nos últimos anos (Figura 4.20), ocasionou em um crescimento do custo com o gerenciamento dos resíduos classe B (Figura 4.21). Isso se deve ao fato de que se tem aumentado a demanda por uma gestão adequada dos resíduos, em especial por consequência da legislação ambiental.

Figura 4.19 – Custo mensal com manutenção das coletas das 10 obras.

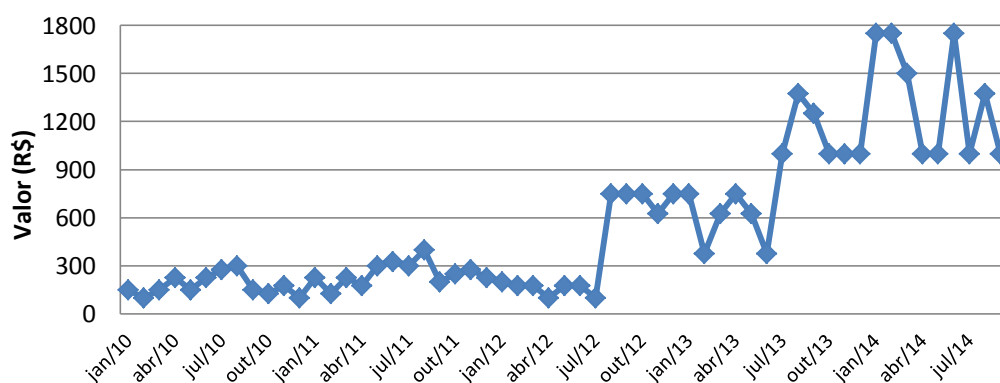


Figura 4.20 – Receita mensal com venda de resíduos classe B.

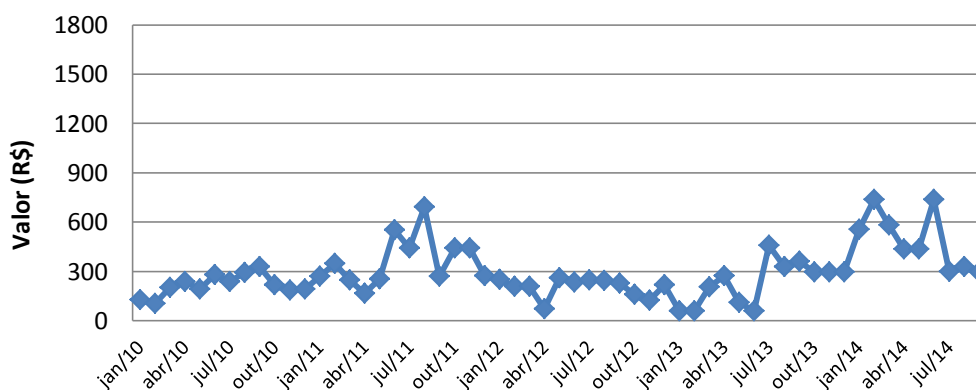
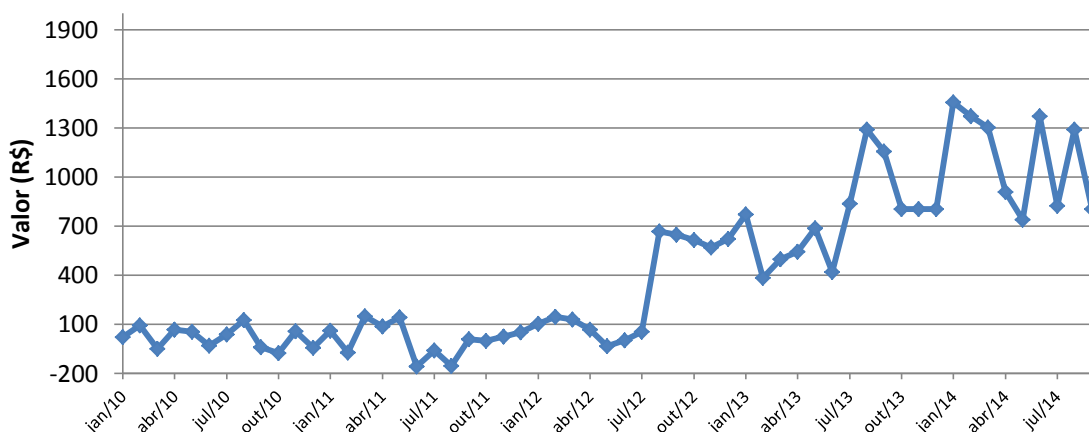


Figura 4.21 – Custo mensal com o gerenciamento de resíduos Classe B.



A Tabela 4.9 apresenta um resumo dos custos com manutenção da coleta, a receita pela venda dos resíduos e o custo final de gerenciamento de resíduos Classe B nos últimos quatro anos das 10 obras analisadas.

Tabela 4.9 – Resumo dos custos/receita total com o gerenciamento de resíduos classe B.

Custo/receita (R\$)	Ano				
	2010	2011	2012	2013	2014**
Manutenção de coletas	2.125	3.025	4.725	10.125	12.125
Venda de recicláveis	2.599	4.393	2.451	2.794	4.399
Gerenciamento de Classe B*	204	66	3.579	8.991	10.063

* Estão incluídos os custos com destinação de rejeitos e sacos de cimento.

** Até o mês de Set/14.

Considerando que se houvesse parceria com cooperativas de reciclagem, os resíduos seriam doados, e as mesmas seriam responsáveis pela coleta nos canteiro, não havendo custos para a construtora em termos de gerenciamento de resíduos classe B. Porém, é necessário que estes resíduos estejam bem segregados e armazenados de forma adequada, pois caso os resíduos sejam misturados, os mesmos deverão ser dispostos em aterro sanitário, o que aumenta os custos com gerenciamento.

4.2 Estruturação do sistema

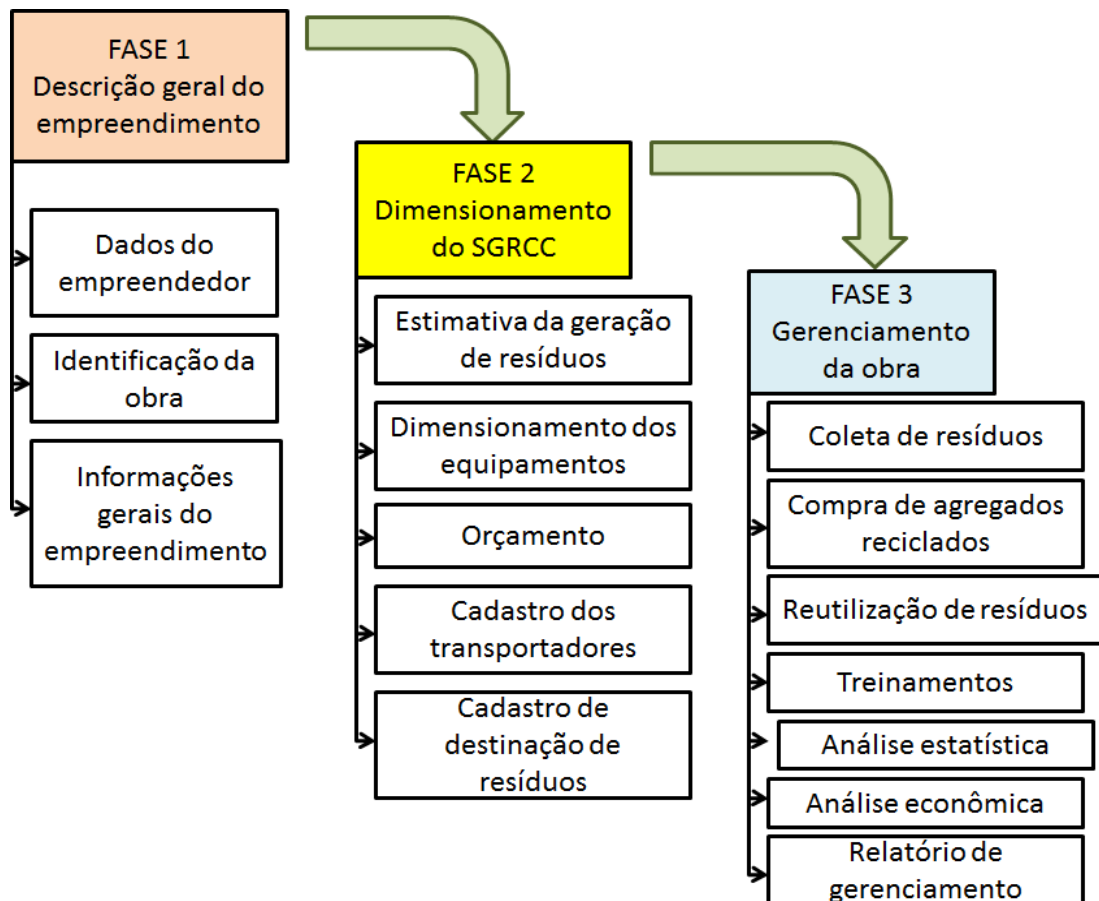
Nesta etapa são apresentados os resultados da etapa de estruturação do sistema de apoio ao gerenciamento de RCC em canteiros de obras, por meio do estabelecimento do modelo conceitual e a instanciação do mesmo, através da definição dos parâmetros e representação dos conhecimentos em fluxogramas.

4.2.1 Modelo conceitual

O estabelecimento do modelo conceitual baseou-se nos dados obtidos na etapa de aquisição de conhecimentos. Buscou-se solucionar a problemática da gestão de RCC nos canteiros de obras, partindo-se das dificuldades encontradas no diagnóstico das obras visitadas, que foram: controle de documentos, transporte e destinação adequada dos resíduos, reciclagem dentro dos canteiros de obras, controle dos gastos com o gerenciamento e monitoramento ambiental das obras.

Com base nessas necessidades, foi estabelecida uma solução em termos de modelo conceitual para o sistema, conforme mostrado na Figura 4.22.

Figura 4.22 - Esquema do modelo conceitual do sistema.



Fonte: O autor (2014)

Fase 1: Descrição geral do empreendimento

A fase inicial da utilização do sistema consiste na descrição do empreendimento, ou seja, no cadastro da obra, que equivale aos dados exigidos em um PGRCC como: dados de endereço, representante legal, engenheiro responsável da obra, área total construída, número de pavimentos, duração da obra, e descrição de toda a estrutura física do canteiro de obras.

Todas as informações obtidas na descrição geral do empreendimento são essenciais no dimensionamento do Sistema de Gerenciamento de Resíduos da Construção e Demolição, e devem ser preenchidas segundo a realidade da obra.

Fase 2: Dimensionamento do Sistema de Gerenciamento de RCC (SGRCC)

Após o usuário ter cadastrado todas as informações pertinentes ao empreendimento, se inicia a fase 2, que é a aplicação do SAD propriamente dito, com o cálculo das estimativas de geração de resíduo total, por classe e por fase da obra, por número de caçambas necessárias, o dimensionamento da quantidade de equipamentos, cadastro dos transportadores e receptores de resíduos e definição do orçamento. Os cálculos realizados nesta fase são baseados nos dados obtidos durante a aquisição de conhecimentos.

Ao fim da fase de dimensionamento do sistema de gerenciamento de resíduos será possível prever a geração de resíduos durante a execução da obra e planejar o gerenciamento adequado, considerando os gastos e os equipamentos necessários.

Fase 3: Gerenciamento da obra

Na fase de gerenciamento da obra, o usuário irá acompanhar o desempenho do sistema de gerenciamento de resíduos em relação à coleta, compra de agregados reciclados, reutilização de resíduos, treinamentos realizados sobre a gestão de resíduos, análise estatística e econômica e geração de relatórios de gerenciamento. É a fase de maior interface com o usuário, que acontece até o fim da obra.

Os dados desta fase poderão ser comparados com a média de todas as outras obras que utilizarem o sistema. Dessa forma, será possível identificar se a obra em questão possui um bom desempenho em relação à média, servindo de indicador de qualidade ambiental.

4.2.2 Instanciação do modelo

Após a definição do modelo conceitual a ser utilizado no sistema, foram incluídos os dados obtidos da etapa de aquisição de conhecimentos. Esses conhecimentos foram estruturados na forma de fluxogramas, baseado na metodologia utilizada por Scremin (2007), que após a instanciação serviu de base para a codificação do sistema. A estruturação dos fluxogramas com os parâmetros do sistema estão apresentados a seguir, de acordo com cada fase do sistema.

Fase 1: Descrição geral do empreendimento

Para a utilização do sistema *online*, o administrador irá gerar um *login* e uma senha ao usuário, que serão únicos para acessar os dados de todas as obras da construtora que forem cadastradas. Antes de inserir os dados solicitados, o usuário terá a opção de acessar um tutorial, contendo uma explanação de como utilizar a ferramenta e definições de termos utilizados no sistema, que são:

- Definição de Resíduos da Construção e Civil (RCC);
- Classificação dos RCC;
- Composição dos RCC;
- Legislação referente aos RCC;
- Metodologias de caracterização e gerenciamento de RCC;

Ao solicitar o cadastro de uma nova obra, uma série de dados serão solicitados para que a ferramenta funcione de forma adequada. O Quadro 4.7 apresenta a lista de informações necessárias ao sistema.

Quadro 4.7 – Dados solicitados na fase de descrição geral do empreendimento.

Dados do empreendedor	Identificação da obra	Informações gerais do empreendimento
-Nome da empresa -CNPJ -Endereço -Telefone -Representante Legal (RL) -Endereço (RL) -Fone (RL) -Fax (RL)	-Obra -Endereço -Telefone -Fax -Eng. Responsável -E-mail (Eng. Responsável) -CREA -Pessoa de contato (PC) -Telefone (PC) -E-mail (PC)	-Tipologia do empreendimento -Descrição da atividade -Estimativa do número médio de funcionários -Horas de trabalho/dia -Período de parada/ano -Área total do terreno -Nº de pavimentos -Área de pavimentos tipo -Área de pavimento do subsolo -Altura de escavação -Haverá demolição? (Sim/não) -Área de demolição -Prazo de demolição -Área do aterro -Altura do aterro -Área construída -Área do refeitório -Área do escritório -Prazo de construção -Central de corte/montagem de ferro -Central de corte de madeira -Central de produção de artefatos de concreto/argamassa -Possui ambulatório? (sim/não) -Empresa coletora contratada -Destino final dos RCC -Fase da obra -Nº de torres -Responsável técnico pelo PGRCC

Dados do empreendedor: os dados do empreendedor são informações da construtora que estará utilizando o sistema. Esses dados serão preenchidos pelo administrador do sistema antes de gerar o *login* e senha para o usuário, sendo esse cadastro realizado uma única vez, quando a construtora for utilizar o sistema pela primeira vez.

Identificação da obra: Assim que o usuário entrar no sistema, será solicitado que o mesmo identifique a obra que utilizará o sistema, descrevendo o nome, endereço, engenheiro responsável, dentre outros.

Informações gerais do empreendimento: É a etapa mais importante do cadastro, pois serão descritas todas as informações técnicas da obra, que são de extrema relevância para o dimensionamento do SGRCC. Todas as informações referentes à estrutura do canteiro de obras devem ser cuidadosamente preenchidas, pois a partir desses dados, todo o planejamento

da gestão de resíduos será definido, tendo como principais componentes a área total construída (m^2), o prazo de conclusão da obra (meses) e o número de pavimentos.

Ao ser solicitado a escolha da empresa coletora dos resíduos e o local de destinação final, o usuário poderá definir de acordo com sua experiência, ou escolher dentre as empresas cadastradas no banco de dados do sistema, que conterà informações sobre site, endereço, e-mail e contato de todas as empresas licenciadas no órgão responsável pela limpeza urbana, que no caso de Recife é a EMLURB, e que estejam aptas a transportar ou receber resíduos dentro da cidade do Recife.

Fase 2: Dimensionamento do Sistema de Gerenciamento de RCC (SGRCC)

Estimativa da geração de resíduos

Quando o usuário cadastrar uma obra que está iniciando, o sistema irá calcular uma série de informações indispensáveis para o correto gerenciamento dos resíduos (Figura 4.23). O primeiro passo é o cálculo da geração total de RCC em uma obra, onde o usuário poderá optar pelo cálculo em função da *área total construída (m^2)*, do *prazo de conclusão da obra (meses)* ou do *número de pavimentos*. A escolha vai depender do conhecimento prévio do usuário em relação ao índice que mais se adequa às obras da construtora, porém o sistema alerta que o índice de geração por área construída é o mais utilizado nos PGRCC (Figura 4.24).

Figura 4.23 – Fluxograma geral da fase 2.

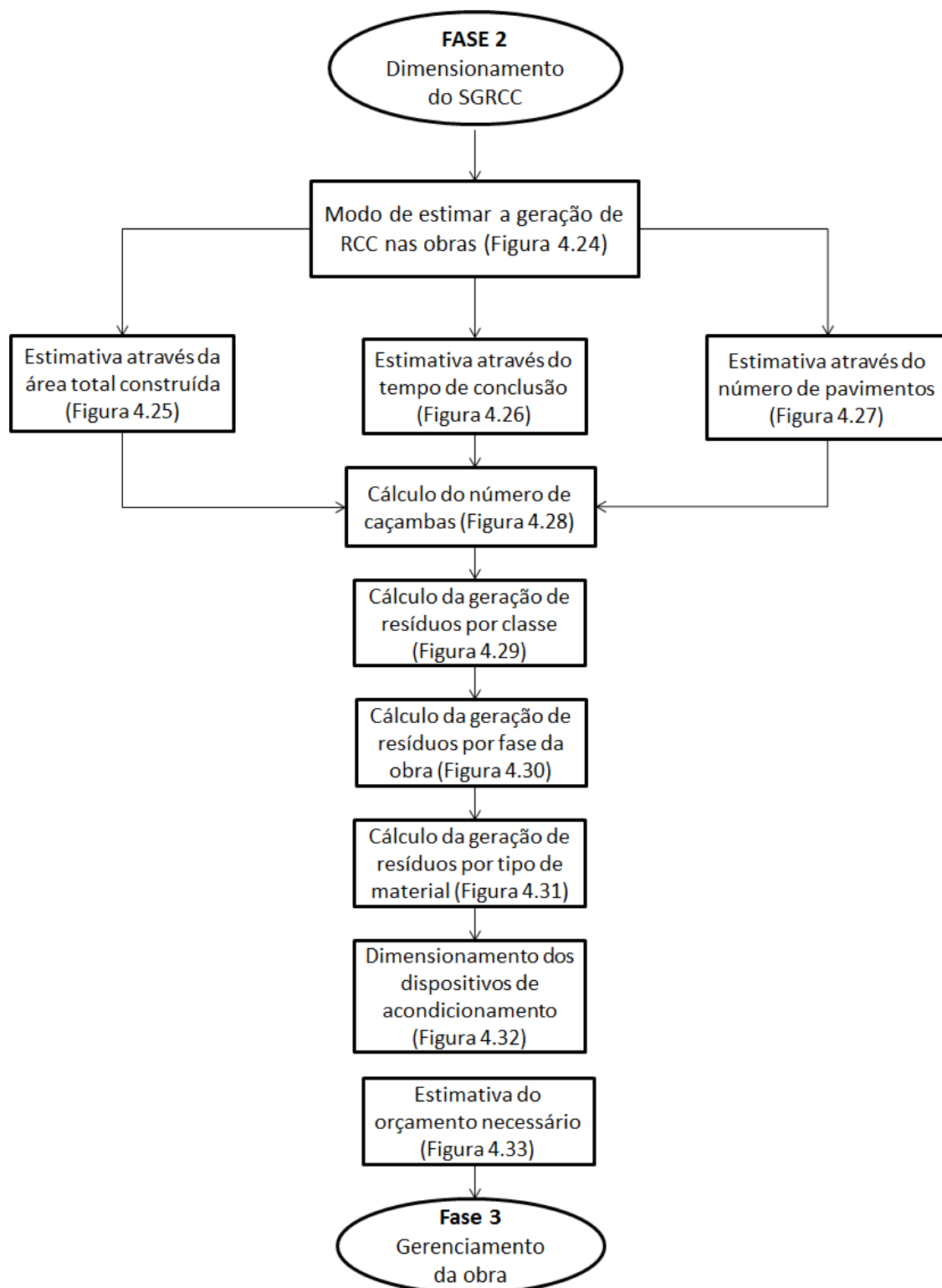
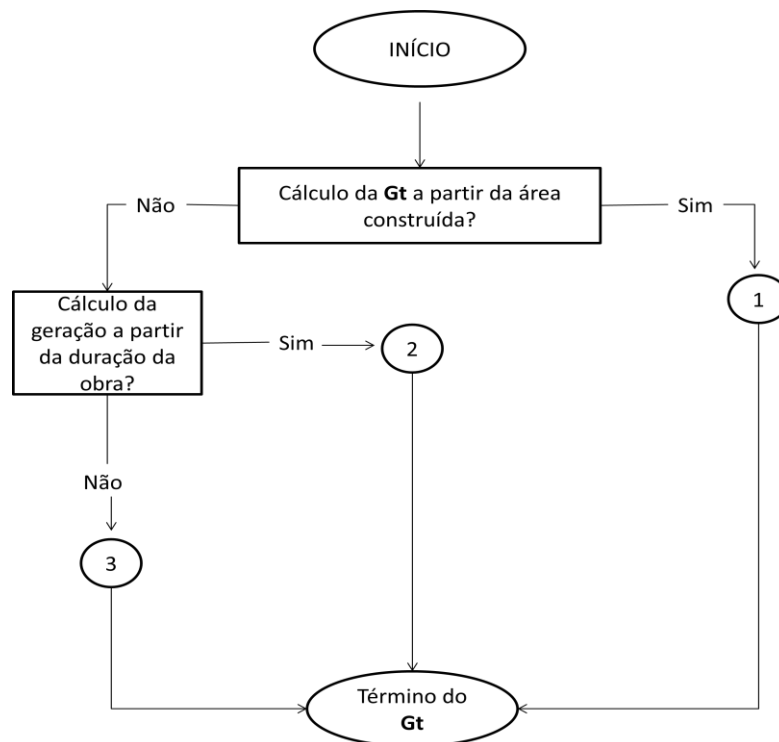


Figura 4.24 – Fluxograma de estimativa da geração de RCC.



O cálculo da geração total de resíduos pela *área total construída* se dá pela Equação 4.1:

$$G_t = (I_a \times A_t)/1000 \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde: G_t é a geração total de resíduos da obra (t)

I_a é o índice de geração de resíduos por área construída (kg/m^2)

A_t é a área total construída (m^2)

O índice de geração de RCC por área construída pode ser definido pelo usuário, ou pode ser utilizado o banco de dados do sistema (Figura 4.25). A partir dos dados obtidos na etapa de aquisição de conhecimentos, considera-se que:

- Se $A_t \leq 8.000\text{m}^2$, então $I_a = 194 \text{ kg/m}^2$;
- Se $8.000\text{m}^2 < A_t \leq 15.000\text{m}^2$, então $I_a = 94 \text{ kg/m}^2$
- Se $15.000\text{m}^2 < A_t \leq 25.000\text{m}^2$, então $I_a = 66 \text{ kg/m}^2$
- Se $A_t > 25.000\text{m}^2$, então $I_a = 117 \text{ kg/m}^2$

O cálculo da geração total de resíduos pelo *prazo de conclusão da obra* se dá pela Equação 4.2 (Figura 4.26):

$$G_t = I_D \times P_c \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde: **I_D** é o índice de geração de resíduos por prazo de conclusão da obra (t/mês);

P_c é o prazo de construção da obra (meses).

Considera-se que:

- Se **$P_c \leq 30$** , então **$I_D = 68 \text{ t/mês}$** ;
- Se **$30 < P_c \leq 35$** , então **$I_D = 73 \text{ t/mês}$**
- Se **$35 < P_c \leq 40$** , então **$I_D = 112 \text{ t/mês}$**
- Se **$P_c > 40$** , então **$I_D = 21 \text{ t/mês}$**

O cálculo da geração total de resíduos pelo *número de pavimentos* é determinado pela Equação 4.3 (Figura 4.27):

$$G_t = I_p \times N_p \quad (\text{Equação 4.3})$$

Onde: **I_p** é o índice de geração de resíduos pelo número de pavimentos (t/pavimento);

N_p é o número de pavimentos.

Considera-se que:

- Se **$N_p \leq 25$** , então **$I_p = 74 \text{ t/pavto}$** ;
- Se **$25 < N_p \leq 30$** , então **$I_p = 52 \text{ t/pavto}$** ;
- Se **$30 < N_p \leq 40$** , então **$I_p = 29 \text{ t/pavto}$** ;
- Se **$N_p > 40$** , então **$I_p = 88 \text{ t/pavto}$** .

Para o cálculo da geração diária de resíduos da obra, utiliza-se a Equação 4.4:

$$G_d = (G_t/P_c) \times 26^1 \quad (\text{Equação 4.4})$$

Onde: **G_d** é a geração diária de resíduos da obra (t/dia)

¹ Quantidade média de dias trabalhados no mês.

Figura 4.25 – Estimativa da geração de RCC pela área construída.

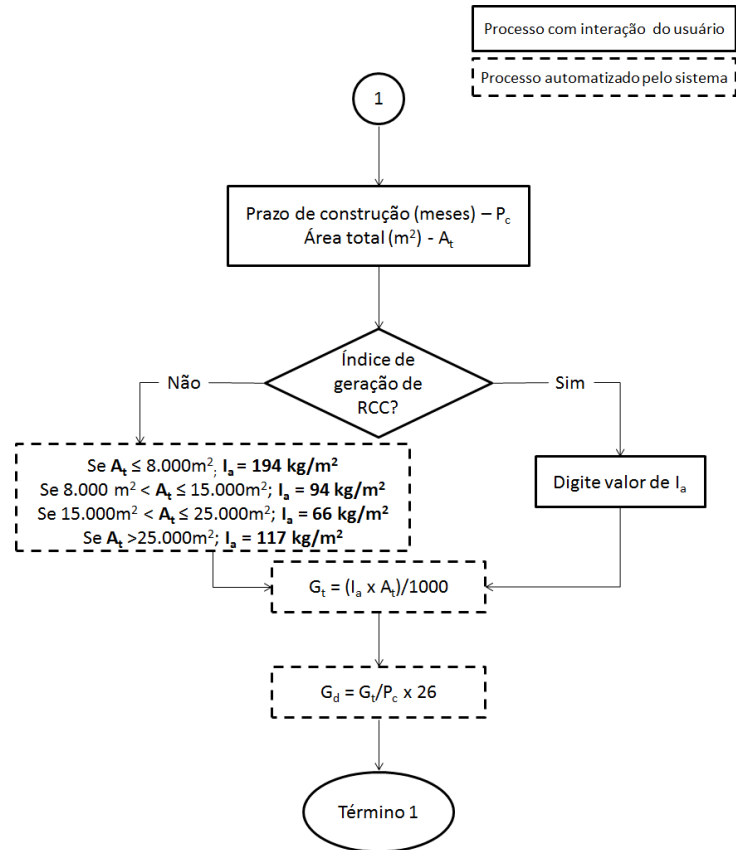


Figura 4.26 – Estimativa da geração de RCC pelo prazo de conclusão da obra.

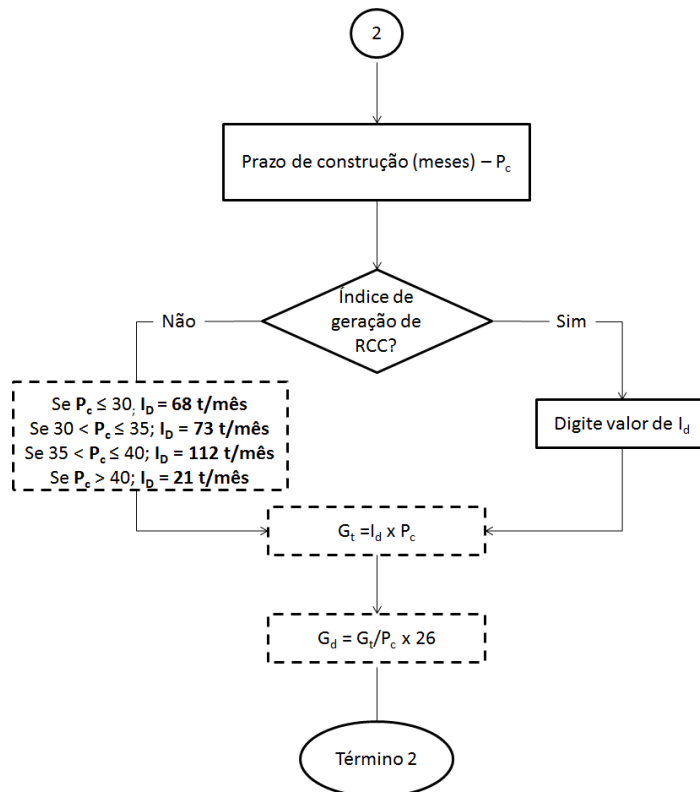
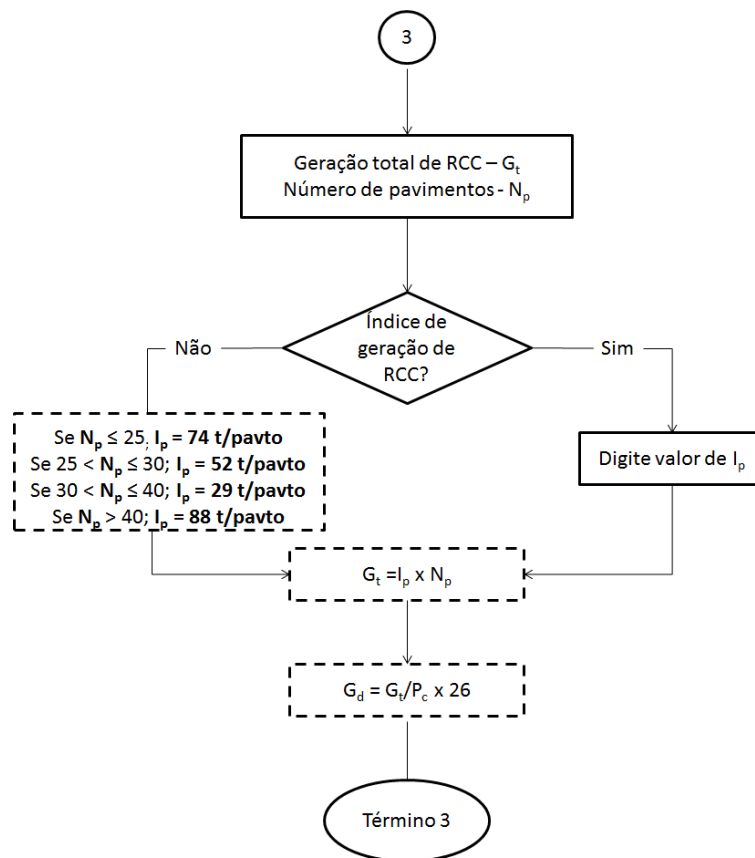


Figura 4.27 – Estimativa da geração de RCC por número de pavimentos.



Após a determinação da geração total de resíduos, calcula-se a quantidade de caçambas necessárias para coletar todos os resíduos gerados, representada pela Equação 4.5. Considera-se para o sistema que o canteiro de obra não possui um equipamento de beneficiamento para reutilização dos resíduos, e que todas as classes de resíduos (exceto a classe D) estão sendo armazenados nas caçambas. Posteriormente, o sistema calcula o número de caçambas considerando apenas os resíduos Classe A (Figura 4.28).

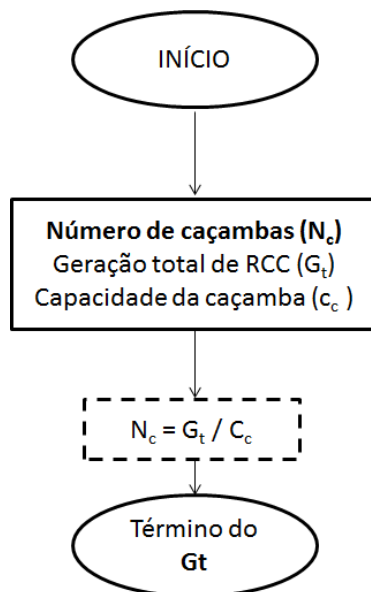
$$N_c = G_t \div C_c \quad (\text{Equação 4.5})$$

Onde: N_c é o número de caçambas necessárias para coletar todos os resíduos da obra;

C_c é a capacidade da caçamba = 8,2 t²

² Considera-se o volume da caçamba de 6 m³, e a massa unitária do RCC de 1,36 t/m³

Figura 4.28 – Estimativa do número total de caçambas.



Após a estimativa da geração total de resíduos da obra, o sistema irá calcular a quantidade de resíduo por classe, segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002 (Figura 4.29). A porcentagem de resíduo de cada classe utilizada no banco de dados do sistema foi baseada na etapa de aquisição de conhecimentos, e em pesquisas anteriores como Tessaro *et al.* (2012) e Bertol *et al.* (2013). Como não foi possível identificar a quantidade de resíduos Classe D das obras da etapa de aquisição de conhecimentos, considerou-se para o sistema 1% de geração de resíduos perigosos.

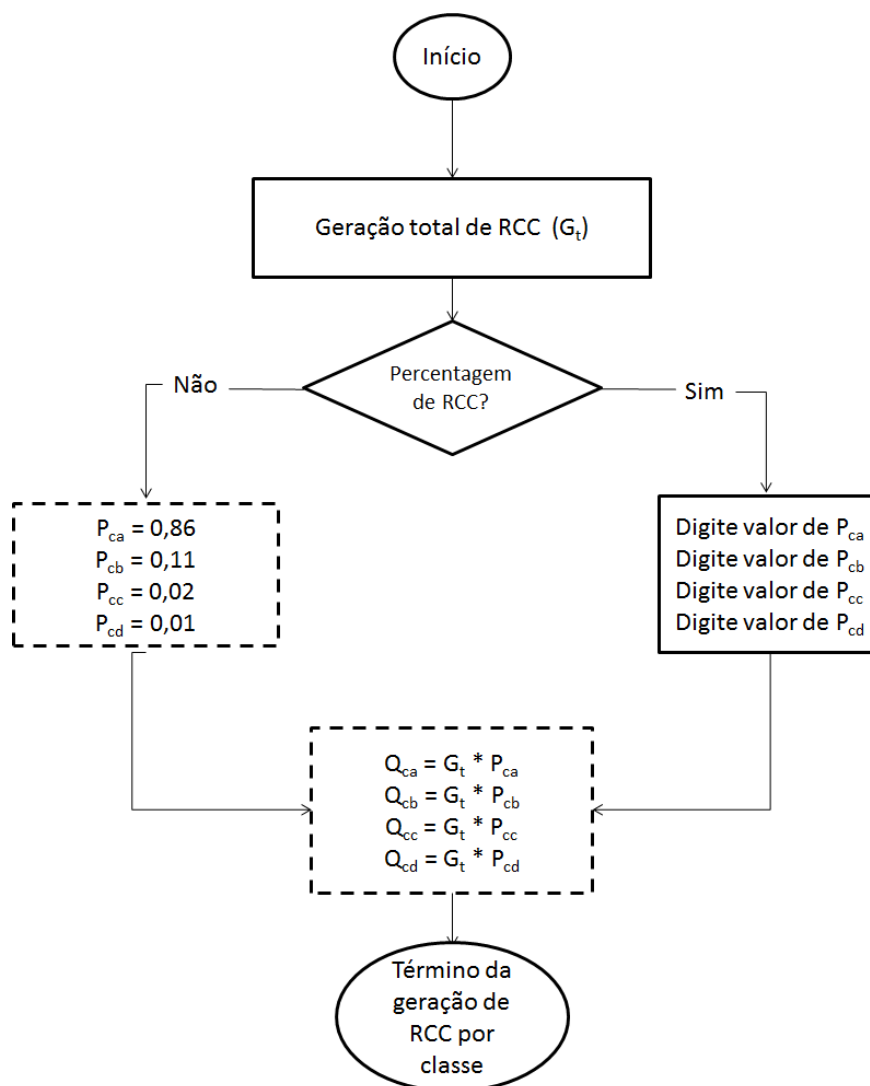
Dessa forma, o cálculo da geração de resíduo por classe é realizado conforme apresenta a Equação 4.6:

$$Q_{cx} = G_t * P_{cx} \quad (\text{Equação 4.6})$$

Onde: Q_{cx} é a quantidade de resíduos gerados pela classe X (t),
 P_{cx} é a porcentagem de resíduos da classe X³ (%).

³ P_{ca} é a porcentagem de resíduos Classe A; P_{cb} é a porcentagem de resíduos Classe B; P_{cc} é a porcentagem de resíduos Classe C e P_{cd} é a porcentagem de resíduos Classe D.

Figura 4.29 – Cálculo da geração de RCC por classe.



A percentagem de resíduo de cada fase da obra é obtida a partir das Equações 4.7, 4.8 e 4.9 (Figura 4.30):

$$Q_{\text{Fund}} = (G_t \times P_{\text{Fund}})/100 \quad (\text{Equação 4.7})$$

$$Q_{\text{Est}} = (G_t \times P_{\text{Est}})/100 \quad (\text{Equação 4.8})$$

$$Q_{\text{Acab}} = (G_t \times P_{\text{Acab}})/100 \quad (\text{Equação 4.9})$$

Onde: G_t é a geração total de resíduos (t);

Q_{Fund} é a quantidade de resíduos na fase da fundação (t);

P_{Fund} é a percentagem de resíduos na fase da fundação (%);

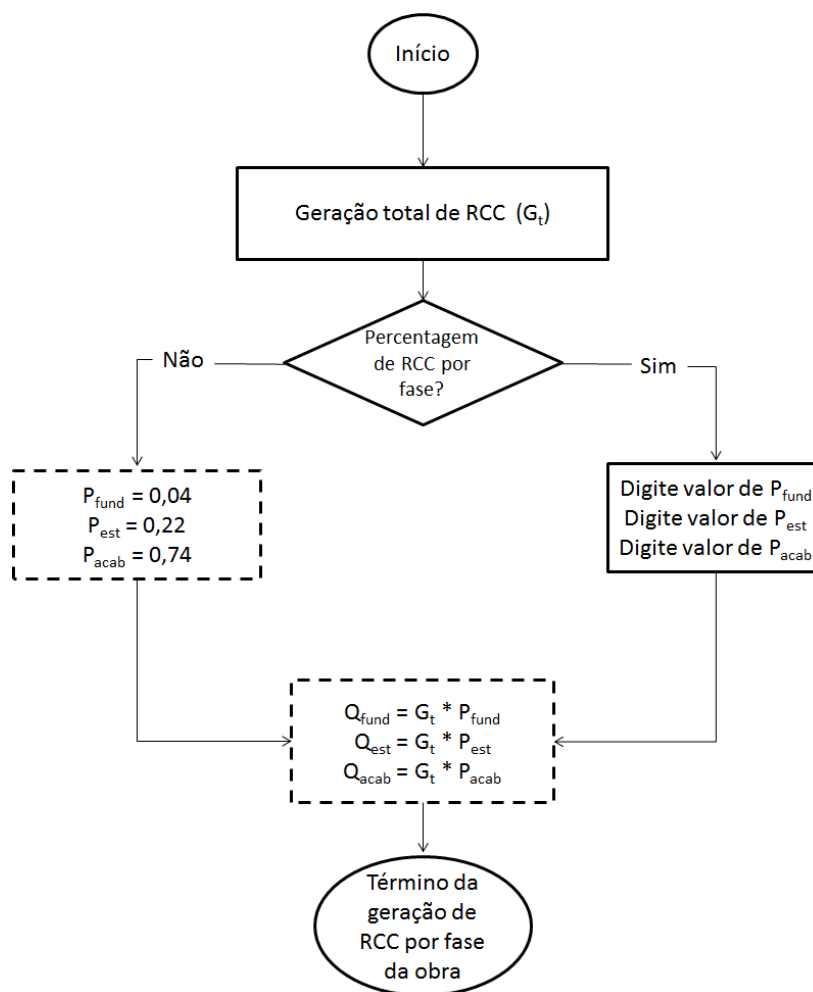
Q_{Est} é a quantidade de resíduos na fase da estrutura (t);

P_{Est} é a percentagem de resíduos na fase da estrutura (%);

Q_{Acab} é quantidade de resíduos na fase de acabamento (t);

P_{Acab} é a percentagem de resíduos na fase de acabamento (%).

Figura 4.30 – Cálculo da geração de RCC por fase da obra.



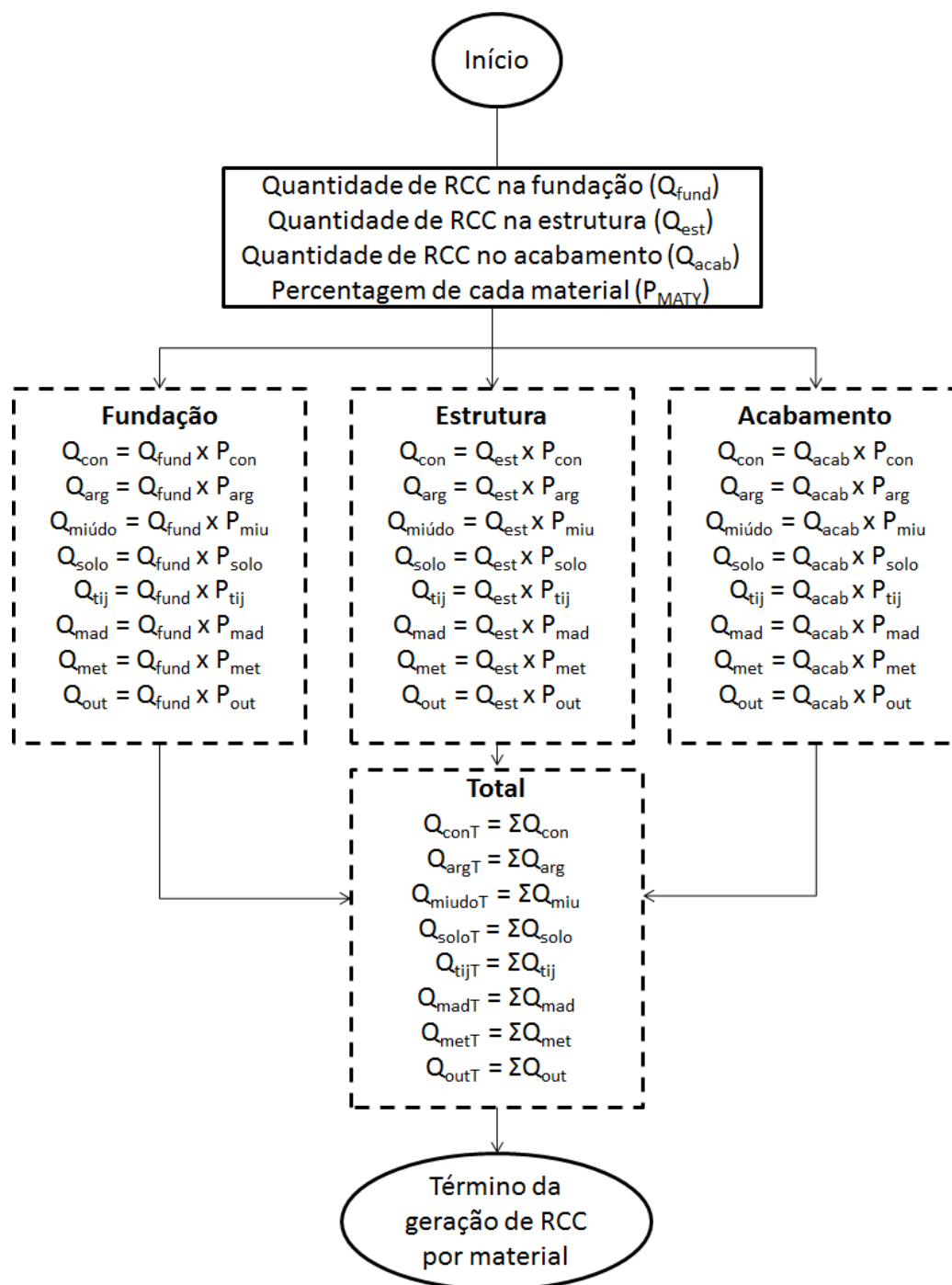
O sistema fornece ainda, para cada material, a quantidade (em toneladas) que será gerada ao longo da obra a partir da composição gravimétrica, conforme apresenta a Equação 4.10 (Figura 4.31). Os valores de composição gravimétrica por fase da obra, utilizados para preencher o banco de dados do sistema, foram baseados em Carneiro (2005) e Macedo e Lafayette (2011).

$$Q_{MATY} = \frac{(G_t \times P_{MATY})}{100} \quad (\text{Equação 4.10})$$

Onde: Q_{MATY} é a quantidade de resíduos referente ao material Y (t);
 P_{MATY} é a percentagem referente ao material Y (%)⁴;

⁴ P_{con} é a percentagem de concreto; P_{arg} é a percentagem de argamassa; P_{miu} é a percentagem de material miúdo; P_{solo} é a percentagem de solo; P_{tij} é a percentagem de tijolo; P_{mad} é a percentagem de madeira; P_{met} é a percentagem de metal; P_{out} é a percentagem de outros materiais;

Figura 4.31 – Cálculo da geração de RCC por material.

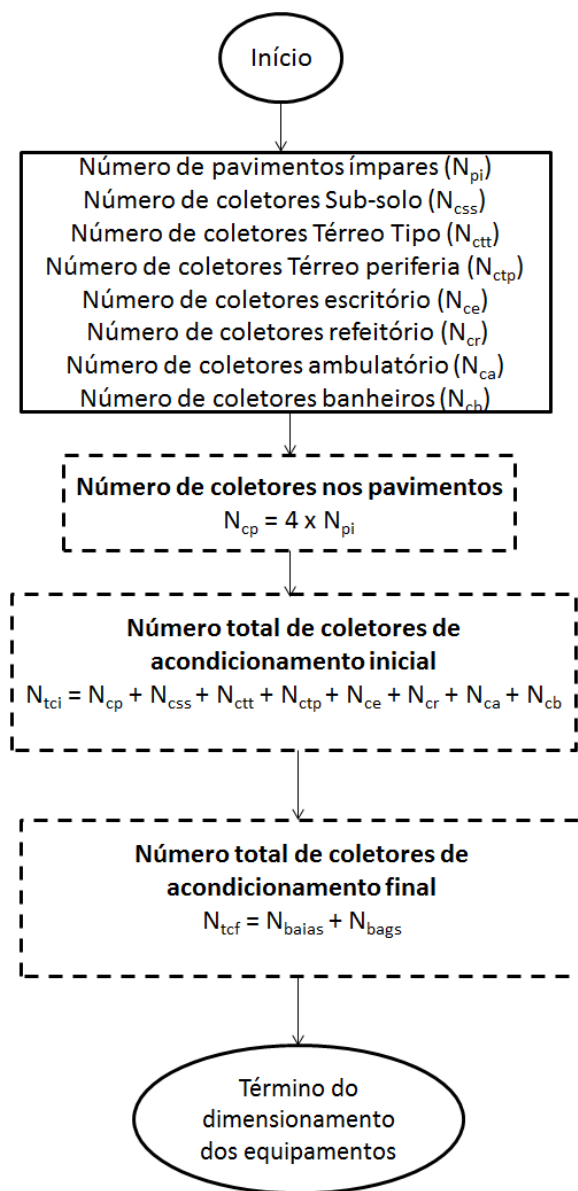


Dimensionamento dos equipamentos

O cálculo dos equipamentos necessários para a correta gestão dos RCC estão divididos em dispositivos de *acondicionamento inicial* e *acondicionamento final* (Figura 4.32). A metodologia de cálculo foi uma adaptação da metodologia Obra Limpa, desenvolvida por uma empresa de consultoria sediada em São Paulo, em parceria com o SINDUSCON/SP

(GUERRA, 2009), e por meio do diagnóstico realizado nas obras que compuseram a amostra desta pesquisa.

Figura 4.32 – Cálculo do número de coletores da obra.



Para o cálculo do número de dispositivos de *acondicionamento inicial*, considerou-se:

Bombonas sinalizadas e com saco de rafia:

- Pavimentos ímpares: 04 bombonas (plástico, papel, metal e madeira);
- Pavimentos pares: Não há dispositivos de acondicionamento;
- Sub-solo: 04 bombonas (plástico, papel, metal e madeira);
- Térreo (projeção dos tipos): 04 bombonas (plástico, papel, metal e madeira);

- Térreo (periferia): 05 bombonas (plástico, papel, metal, madeira e perigosos);
- Escritório: 02 bombonas (papel e plástico).

Lixeiras sinalizadas e com saco plástico para lixo:

- Refeitório: 04 recipientes (resíduos orgânicos - lixeira ou bombonas com tampa e adesivo – Coleta pública, papel, plástico e metal);
- Ambulatório: 02 recipientes (orgânico e perigosos);
- Banheiros: 04 recipientes (01 de papel e 03 de orgânico).

Dessa forma, a Equação 4.11 apresenta o cálculo da quantidade de resíduos nos pavimentos:

$$N_{cp} = 4 \times N_{pi} \quad (\text{Equação 4.11})$$

Onde: N_{cp} é o número de coletores nos pavimentos Tipo;
 N_{pi} é o número de pavimentos Tipo ímpares.

O cálculo do número total de dispositivos de acondicionamento inicial é apresentado pela Equação 4.12.

$$N_{tci} = N_{cp} + N_{css} + N_{ctt} + N_{ctp} + N_{ce} + N_{cr} + N_{ca} + N_{cb} \quad (\text{Equação 4.12})$$

Onde: N_{tci} é o número total de coletores de acondicionamento inicial;

N_{cp} é o número de coletores nos pavimentos;

N_{css} é o número de coletores no sub-solo;

N_{ctt} é o número de coletores no térreo projeção dos tipos;

N_{ctp} é o número de coletores no térreo periferia;

N_{ce} é o número de coletores no escritório;

N_{cr} é o número de coletores no refeitório;

N_{ca} é o número de coletores no ambulatório; e

N_{cb} é o número de coletores nos banheiros.

Quanto ao número de dispositivos de *acondicionamento final* considera-se:

Baias fixas e *bags* para acondicionamento de resíduos:

- Térreo (periferia): 05 baias (01 para papel, 01 para madeira, 01 para plástico, 01 para metal, 01 para não recicláveis) – Tamanho padrão: 2,00 x 2,00 x 1,00 m;
- Térreo (Proj.tipos): 05 bags (01 para papel, 01 para madeira, 01 para plástico, 01 para metal, 01 para não recicláveis).

No geral, as obras utilizam apenas uma opção de acondicionamento final dos resíduos. Contudo, o sistema permite a utilização em conjunto de baias e *bags*. O cálculo do número total de dispositivos de acondicionamento final é apresentado pela Equação 4.13.

$$N_{\text{tcf}} = N_{\text{baias}} + N_{\text{bags}} \quad (\text{Equação 4.13})$$

Onde: N_{tcf} é o número total de coletores de acondicionamento final;

N_{baias} é o número de baias na obra;

N_{bags} é o número de *bags* na obra.

Orçamento da gestão de resíduos

O orçamento da gestão de resíduos envolve dois cálculos conforme apresenta a Figura 4.33:

- Custo inicial de compra de equipamentos de acondicionamento e armazenamento;
- Custo final previsto com o gerenciamento de resíduos.

O *custo inicial de compra de equipamentos de acondicionamento e armazenamento* envolve todos os gastos com a instalação de equipamentos e materiais de apoio. As Equações 4.14 a 4.18 apresentam todos os custos iniciais com o gerenciamento de resíduos. O número de bombonas é determinado somando-se todos os coletores, exceto os de lixo orgânico, que são armazenados em lixeiras.

$$C_{\text{bo}} = (N_{\text{tc}} - N_{\text{li}}) * C_{\text{ubo}} \quad (\text{Equação 4.14})$$

$$C_{\text{li}} = N_{\text{li}} * C_{\text{uli}} \quad (\text{Equação 4.15})$$

$$C_{\text{ad}} = (N_{\text{tc}} * 2) * C_{\text{uad}} \quad (\text{Equação 4.16})$$

$$C_{\text{sr}} = (N_{\text{tc}} * 2) * C_{\text{usr}} \quad (\text{Equação 4.17})$$

$$C_{\text{ba}} = N_{\text{ba}} * C_{\text{uba}} \quad (\text{Equação 4.18})$$

Onde: C_{bo} é o custo das bombonas; N_{tc} é o número total de coletores;

C_{ubo} é o custo unitário das bombonas;

C_{li} é o custo das lixeiras;

N_{li} é o número de lixeiras;

C_{uli} é o custo unitário das lixeiras;

C_{ad} é o custo dos adesivos;

C_{uad} é o custo unitário dos adesivos;

C_{sr} é o custo dos sacos de rafia;

C_{usr} é o custo unitário dos sacos de rafia;

C_{ba} é o custo da instalação das baias ou bags;
 N_{ba} é o número de baias ou bags;
 C_{uba} é o custo unitário de instalação das baias e;

A Equação 4.19 apresenta o custo inicial total de compra de equipamentos.

$$C_i = C_{bo} + C_{li} + C_{ad} + C_{sr} + C_{ba} + C_{rb} \quad (\text{Equação 4.19})$$

Onde: C_i é o custo inicial total com a compra de equipamentos de acondicionamento e armazenamento;

C_{rb} é o custo do rolo de barbante.

O custo final previsto com o gerenciamento de resíduos envolve todos os gastos com a coleta, transporte e destinação final dos resíduos. As Equações 4.20 a 4.23 apresentam o cálculo da previsão de todos os custos com o gerenciamento resíduos.

$$C_{tran} = N_c * C_{utran} \quad (\text{Equação 4.20})$$

$$C_{dest} = Q_c * C_{udest} \quad (\text{Equação 4.21})$$

$$C_{tranB} = Q_{colB} * C_{utranB} \quad (\text{Equação 4.22})$$

$$R_{destB} = Q_{cb} * R_{udestB} \quad (\text{Equação 4.23})$$

Onde: C_{tran} é o custo final com o transporte de resíduos Classe A, C ou D;

N_c é o número de caçambas a serem coletadas;

C_{utran} é o custo unitário com o transporte de resíduos Classe A, C ou D;

C_{dest} é o custo final com a destinação de resíduos Classe A, C ou D;

Q_c é quantidade coletada de resíduos classe A, C ou D;

C_{udest} é o custo unitário da destinação de resíduos classe A, C ou D;

C_{tranB} é o custo final com o transporte de resíduos Classe B;

Q_{colB} é a quantidade de coletas de resíduos Classe B;

C_{utranB} é o custo unitário de transporte de resíduos classe B;

R_{destB} é a receita final com a venda de resíduos Classe B;

Q_{cb} é quantidade de resíduos classe B;

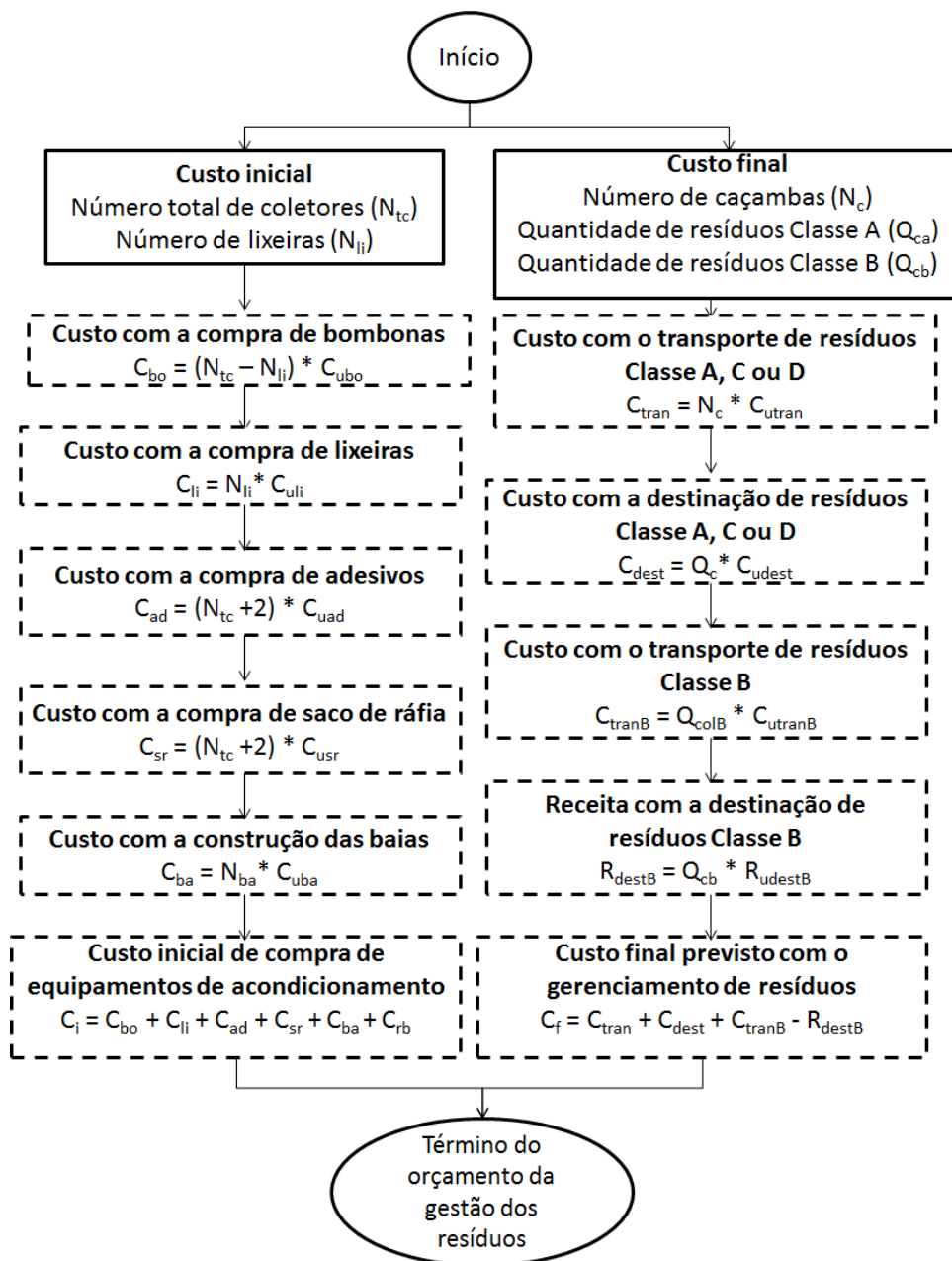
R_{udestB} é o valor unitário médio de venda resíduos classe B.

O custo final total com o gerenciamento de resíduos é apresentado na Equação 4.24.

$$C_f = C_{tran} + C_{dest} + C_{tranB} - R_{destB} \quad (\text{Equação 4.24})$$

Onde: C_f é o custo final total com o gerenciamento de resíduos;

Figura 4.33 – Cálculo do orçamento da gestão de resíduos.



Fase 3: Gerenciamento da obra

Coleta de resíduos

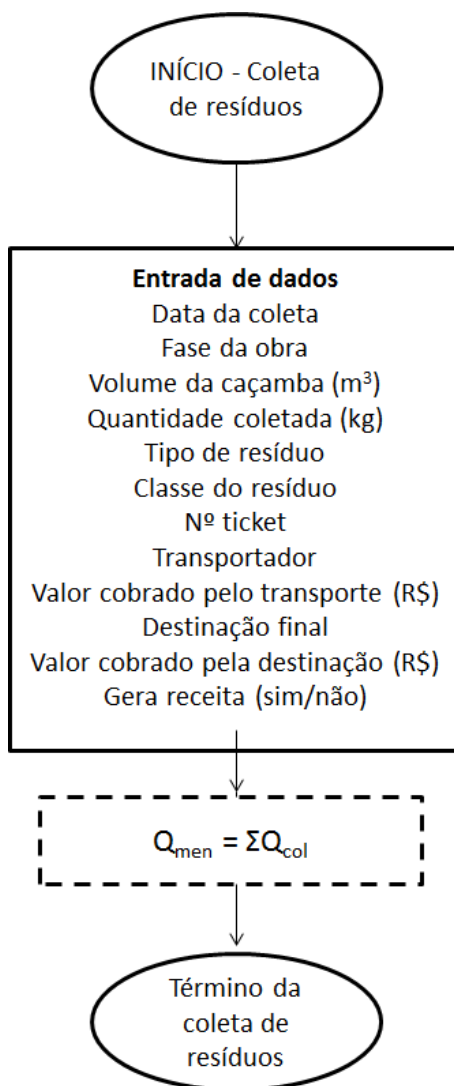
Quando houver uma coleta de resíduos de qualquer classe dentro do canteiro de obras, o sistema irá solicitar as seguintes informações ao usuário, apresentadas na Figura 4.34. O cálculo mensal da quantidade de resíduos que saem da obra é determinado de acordo com a Equação 4.25:

$$Q_{\text{men}} = \sum Q_{\text{col}} \quad (\text{Equação 4.25})$$

Onde: Q_{men} é a quantidade mensal de resíduos coletados (t)

Q_{col} é a quantidade de resíduos coletados em uma caçamba (t)

Figura 4.34 – Interface de coleta de resíduos.

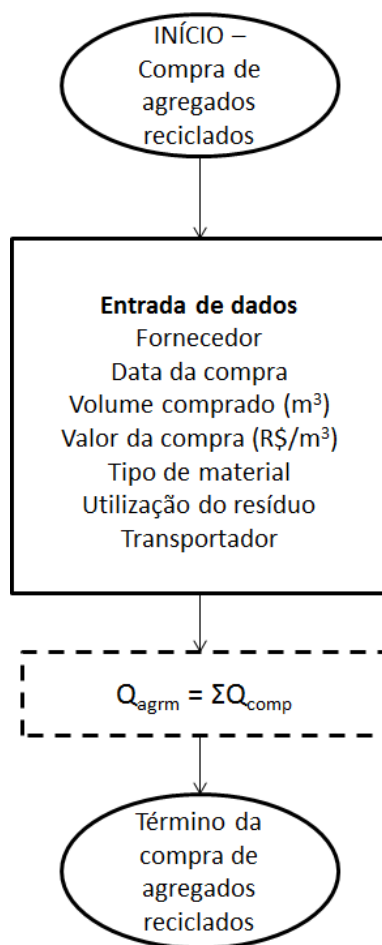


Após a inclusão dos dados solicitados, o sistema fornecerá uma tabela de acompanhamento das coletas. Existe ainda a possibilidade de gerar o CTR para a saída de cada caçamba em três vias, para ser assinada pelo gerador, transportador e destinação final.

Compra de agregados reciclados

Quando houver uma compra de agregados reciclados para serem utilizados na obra, o sistema irá solicitar as seguintes informações ao usuário, apresentadas na Figura 4.35.

Figura 4.35 – Interface de compra de agregados reciclados.



O cálculo volume mensal de agregados reciclados comprados é determinado conforme mostra a Equação 4.26.

$$Q_{agrm} = \sum Q_{comp} \quad (\text{Equação 4.26})$$

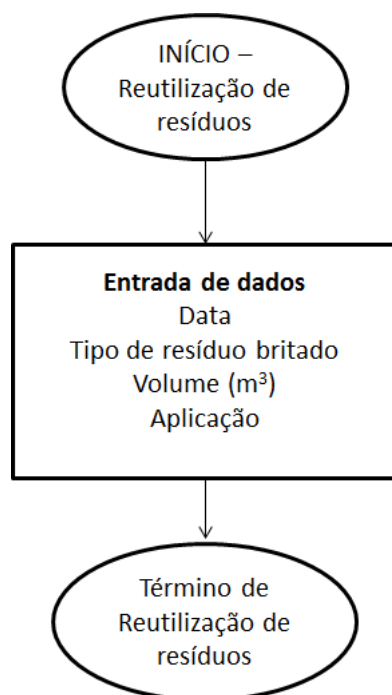
Onde: Q_{agrm} é o volume mensal de agregados reciclados comprados (m^3)

Q_{comp} é o volume de agregados reciclados comprados (m^3)

Reutilização de resíduos

Quando a obra reutilizar algum resíduo gerado no próprio local, os dados de quantidade e aplicação do material podem ser cadastrados no SIGERCON, de forma que seja possível calcular a redução de custo proveniente deste reaproveitamento, pelo fato de não haver o custo com transporte e destinação desses resíduos. A Figura 4.36 apresenta as informações solicitadas no cadastro.

Figura 4.36 – Interface de cadastro de reutilização de resíduos.



O cálculo mensal do volume de resíduos reutilizados é determinado de acordo com a Equação 4.27.

$$Q_{reutm} = \sum Q_{reut} \quad (\text{Equação 4.27})$$

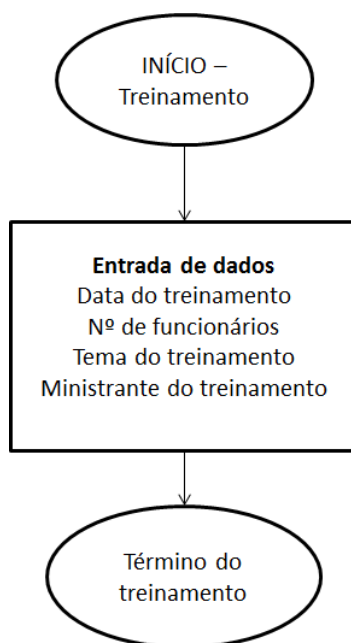
Onde: Q_{reutm} é o volume mensal de resíduos reutilizados (m³)

Q_{reut} é o volume de agregados reciclados comprados (m³)

Treinamento

Todos os treinamentos realizados na obra poderão ser cadastrados no SIGERCON, através das informações solicitadas, de acordo com a Figura 4.37. Além disso, as atas de treinamento poderão ser escaneadas e anexadas no sistema.

Figura 4.37 – Interface de cadastro de treinamentos.



Análise econômica do gerenciamento dos resíduos

A análise econômica do gerenciamento dos resíduos Classe A, C e D será calculada automaticamente para o usuário, a partir dos dados de gerenciamento da obra inseridos no sistema.

O cálculo do custo de cada coleta e destinação é apresentado pela Equação 4.28 (Figura 4.38):

$$C_{colm} = \sum(Q_{col} * [C_{tran} + C_{dest}]) \quad (\text{Equação 4.28})$$

Onde: C_{colm} é o custo mensal da coleta e destinação dos resíduos classe A, C ou D (R\$);

Q_{col} é a quantidade de resíduos por coleta (t);

C_{tran} é o custo do transporte da caçamba (R\$);

C_{dest} é o custo da destinação final dos resíduos (R\$/t).

No caso dos resíduos Classe B, se os materiais forem vendidos a terceiros, utiliza-se a variável de receita pela venda de recicláveis, conforme apresenta a Equação 4.29. Por outro lado, se os mesmos forem doados à cooperativas de catadores, não haverá custo nem receita.

$$C_{colbm} = \sum([Q_{colb} * C_{tranb}] - R_{rec}) \quad (\text{Equação 4.29})$$

Onde: C_{colbm} é o custo mensal da coleta e destinação dos resíduos Classe B (R\$);
 Q_{colb} é a quantidade de resíduos por coleta (t);
 C_{tranb} é o custo do transporte de resíduos Classe B (R\$);
 R_{rec} é a receita com a venda de resíduos recicláveis (R\$).

O cálculo do custo com a compra de agregados reciclados é representado pela Equação 4.30.

$$C_{agrm} = \sum(C_{agr} * Q_{comp}) \quad (\text{Equação 4.30})$$

Onde C_{agrm} é o custo com a compra de agregados reciclados (R\$);
 C_{agr} é o custo do agregado reciclado (R\$/m³);
 Q_{comp} é o volume de agregados reciclados comprados (m³)

Além desses custos, ainda podem ser acrescentados custos com compra de novos equipamentos (C_{equip}) ou outros custos (C_{out}) relacionados com o gerenciamento de resíduos no canteiro de obras.

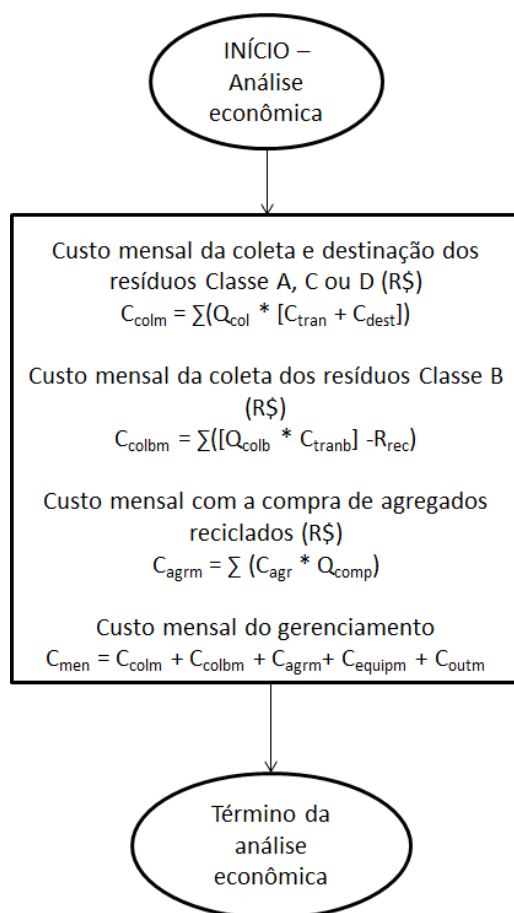
Dessa forma, o custo mensal do gerenciamento de resíduos se dá pela Equação 4.31.

$$C_{men} = C_{colm} + C_{colbm} + C_{agrm} + C_{equipm} + C_{outm} \quad (\text{Equação 4.31})$$

Onde: C_{men} é o custo mensal do gerenciamento de resíduos (R\$);
 C_{equipm} é o custo mensal com a compra de equipamentos (R\$);
 C_{outm} são outros custos mensais relacionados ao gerenciamento.

Durante toda a fase de instanciamento do sistema, o sistema sofreu constantes avaliações pelo próprio autor, buscando aperfeiçoar cada vez mais o sistema e adequá-lo à realidade dos canteiros de obras da região.

Figura 4.38 – Interface de análise econômica do gerenciamento de resíduos.



4.3 Codificação

Fase 1: Descrição geral do empreendimento

A Figura 4.39 apresenta a tela de abertura do Sistema de Gerenciamento de Resíduos da Construção (SIGERCON), onde se deve entrar com *login* e senha fornecido pelo administrador.

As Figuras 4.40 e 4.41 apresentam a etapa de cadastro da obra, onde são inseridas todas as informações iniciais da obra, que irão ser utilizadas no dimensionamento do sistema.

Figura 4.39 – Tela de abertura do SIGERCON.

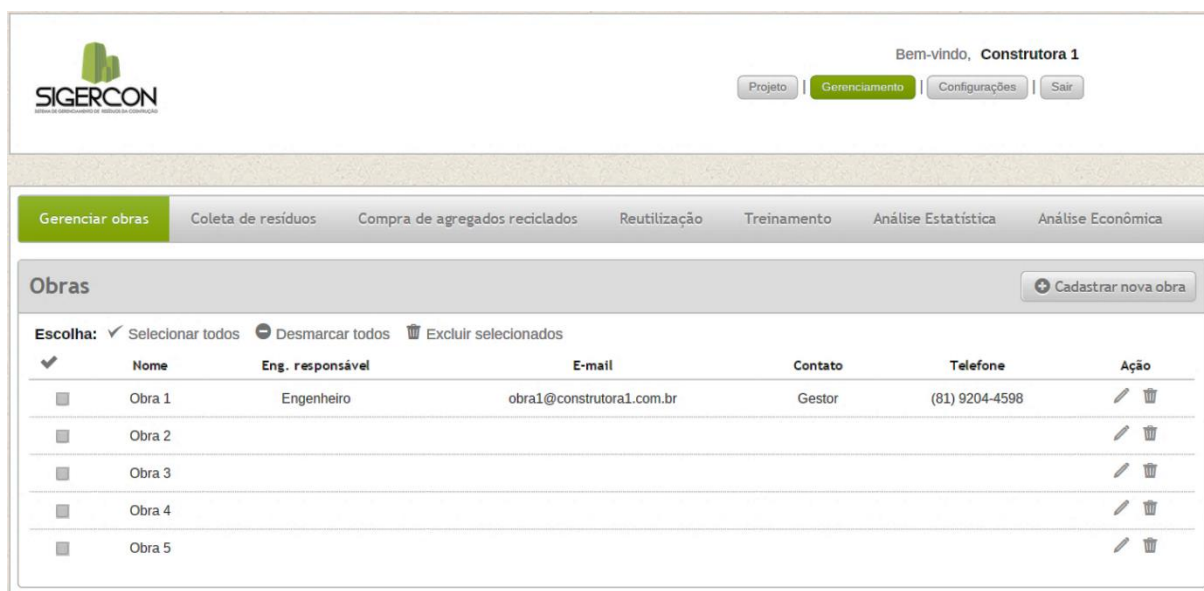



SIGERCON
SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO

E-mail

Senha

Figura 4.40 – Etapa de cadastro e gerenciamento de obras.




Bem-vindo, **Construtora 1**

|
 |
 |

Obras

Escolha: ☒ Selecionar todos ☐ Desmarcar todos

✓	Nome	Eng. responsável	E-mail	Contato	Telefone	Ação
☐	Obra 1	Engenheiro	obra1@construtora1.com.br	Gestor	(81) 9204-4598	Editar Excluir
☐	Obra 2					Editar Excluir
☐	Obra 3					Editar Excluir
☐	Obra 4					Editar Excluir
☐	Obra 5					Editar Excluir

Figura 4.41 – Interface do cadastro das informações da obra.

Fase 2: Dimensionamento do SGRCC

As Figuras 4.42, 4.43 e 4.44 apresentam as estimativas de geração total de RCC e por classe, geração por fase de construção, e geração por material, automaticamente calculadas pelo SIGERCON, a partir das informações do cadastro da obra.

Figura 4.42 – Tela de apresentação da estimativa total de geração de RCC.

Método	Geração total(t)	Taxa de geração(t/dia)	Nº de caçambas	Nº de caçambas/mês
Geração por área construída	1.176,42	1,74	143	6
Geração por prazo de conclusão	1.092,00	1,62	133	5
Geração por nº de pavimentos	1.606,00	2,38	196	8

Figura 4.43 – Tela de apresentação da estimativa da geração de RCC por fase de construção.

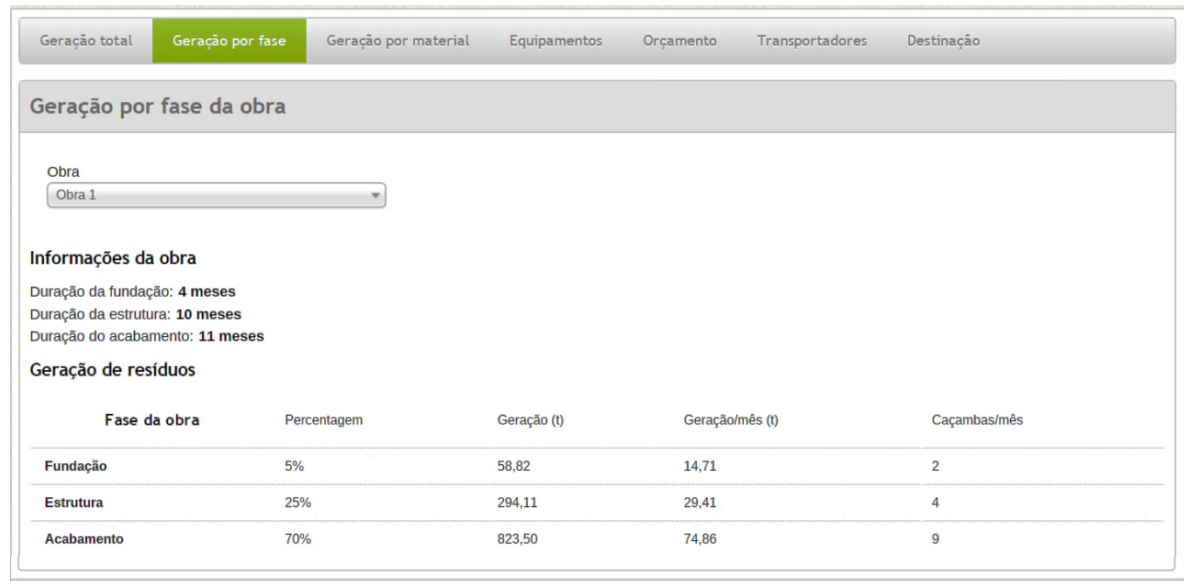
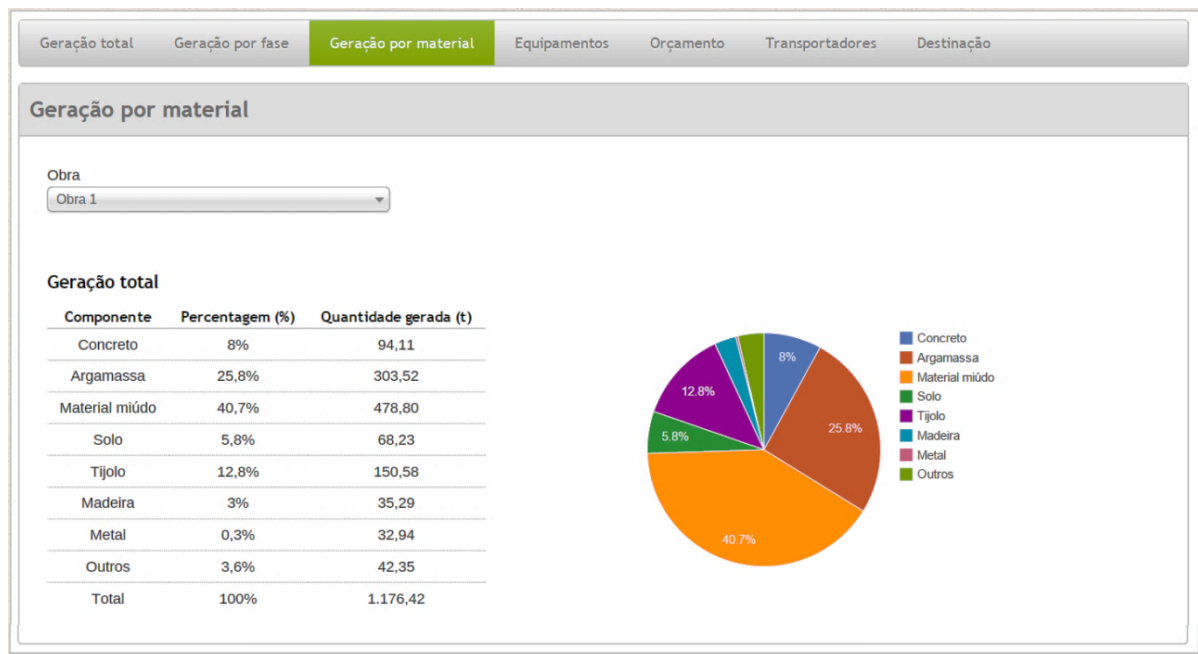


Figura 4.44 – Tela de apresentação da estimativa da geração de RCC por material.



A Figura 4.45 apresenta a tela de dimensionamento de equipamentos necessários para o correto gerenciamento de RCC nos canteiros de obras, e a Figura 4.46 apresenta a estimativa de orçamento necessária para o gerenciamento.

Figura 4.45 – Tela de apresentação do dimensionamento de equipamentos.

Geração total Geração por fase Geração por material **Equipamentos** Orçamento Transportadores Destinação

Equipamentos

Obra
Obra 1

Armazenamento inicial

Espaço	Área de construção	Bombonas e lixeiras						
		Papel	Plástico	Metal	Madeira	Orgânico	Sobressalentes	Perigosos
Pavimento TIPO	0,00 m²	11	11	11	11	0	0	0
Térreo - Proj. TIPO	0,00 m²	1	1	1	1	-	-	-
Térreo - Periferia	0,00 m²	1	1	1	1	-	-	1
Escritório	0,00 m²	1	1	-	-	-	-	-
Refeitório	0,00 m²	0	0	0	-	1	-	-
1º sub-solo	0,00 m²	1	1	1	1	-	4	-
Ambulatório	-	0	-	-	-	1	-	1
Banheiros	-	1	-	-	-	3	-	-
Quantidade total de dispositivos		16	15	14	14	5	4	1
Adesivos para sinalização		26	25	24	24	15	14	3

Figura 4.46 – Tela de apresentação da estimativa de orçamento para o gerenciamento da obra.

Geração total	Geração por fase	Geração por material	Equipamentos	Orçamento	Transportadores	Destinação
---------------	------------------	----------------------	--------------	------------------	-----------------	------------

Custo inicial de compra de equipamentos de acondicionamento e armazenamento

Item	Quantidade	Preço unitário	Custo total (R\$)
Bombonas (50 L)	64	R\$ 8,00	R\$ 512,00
Lixeira com tampa	5	R\$ 20,00	R\$ 100,00
Adesivos para sinalização - tamanho A4	149	R\$ 3,00	R\$ 447,00
Sacos de rafia - 0,9 x 0,6 m	149	R\$ 0,40	R\$ 59,60
Baixas	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00
Rolo de barbante	1	R\$ 4,00	R\$ 4,00
Total			R\$ 1.472,60

Custo final previsto com o gerenciamento de resíduos

Item	Quantidade	Preço unitário	Custo mensal (R\$)	Custo total (R\$)
Coleta de caçambas	123	R\$ 130,00	R\$ 616,46	R\$ 16.027,86
Destinação final de classe A	1.012	R\$ 35,00	R\$ 1.361,94	R\$ 35.410,31
Transporte de resíduos classe B	52	R\$ 75,00	R\$ 150,00	R\$ 3.900,00
Destinação final classe B	129.406	R\$ 0,08	R\$ 398,17	R\$ 10.352,52
Total			R\$ 1.730,22	R\$ 44.985,66

As Figuras 4.47 e 4.48 apresentam as etapas de cadastro de transportadores e de destinação final, importante para a geração do CTR.

Figura 4.47 – Interface do cadastro dos transportadores de resíduos.

Cadastro do transportador

Nome fantasia

Razão Social

Endereço

Município

UF
Selecione o estado

Telefone

Fax

CNPJ

Nº de licença ambiental

Cadastro na EMLURB?
☐ Sim ☐ Não

Enviar Cancelar

Figura 4.48 – Interface do cadastro de destinação de resíduos.

Cadastro da destinação

Nome fantasia

Razão Social

Classes que recebe
☐ Classe A ☐ Classe B ☐ Classe C ☐ Classe D

Tipologia
 Selecione

Endereço

Município

UF
Selecione o estado

Telefone

Fax

Cadastro na EMLURB?
☐ Sim ☐ Não

Enviar Cancelar

Fase 3: Gerenciamento da obra

A Figura 4.49 apresenta a etapa de coleta de resíduos, preenchida sempre que uma caçamba sai da obra. Nesta tela é possível gerar e imprimir CTRs para rastreamento da destinação dos resíduos.

Figura 4.49 – Interface da etapa de coleta de resíduos.

Bem-vindo, Construtora 1

Projeto | **Monitoramento** | Configurações | Sair

Gerenciar obras | **Coleta de resíduos** | Compra de agregados reciclados | Reutilização | Treinamento | Análise Estatística | Análise Econômica

Coleta de resíduos Cadastrar nova coleta Manifestos gerados

Obra: Todas Fase da obra: Todas Classe do resíduo: Todas

Escolha: ☒ Selecionar todos ☐ Desmarcar todos ☐ Excluir selecionados

☒	Data	Obra	Fase	Classe	Tipo	Transportador	Destinação	Qtd(kg)	Qtd Acumulada(kg)	Ação
☐	30/10/2013	Obra 1	Acabamento	A	Entulho	Via Limpa	CTR Candelas	3210	7390	
☐	30/10/2013	Obra 1	Acabamento	A	Entulho	Via Limpa	CTR Candelas	900	4180	
☐	12/03/2013	Obra 1	Fundação	B	Metal	A.J.C. Remoções	Ciclo Ambiental	3280	3280	

A interface referente à compra de agregados reciclados, que controla os gastos e a quantidade de material, e a interface de reutilização de resíduos são apresentados nas Figuras 4.50 e 4.51, enquanto que a Figura 4.52 apresenta o controle de treinamentos do sistema.

Figura 4.50 – Interface referente à compra de agregados reciclados.

Bem-vindo, Construtora 1

Projeto | **Gerenciamento** | Configurações | Sair

Gerenciar obras | Coleta de resíduos | **Compra de agregados reciclados** | Reutilização | Treinamento | Análise Estatística | Análise Econômica

Compra de agregados reciclados Cadastrar compra

Obra: Todas Material: Todos

Escolha: ☒ Selecionar todos ☐ Desmarcar todos ☐ Excluir selecionados

☒	Obra	Fornecedor	Data	Qtd (m³)	Qtd acumulada (m³)	Valor (R\$)	Material	Utilização	Ação
☐	Obra 1	Ciclo Ambiental	01/09/2014	784,59	3.552,22	36,00	Bica corrida	Pavimentação	
☐	Obra 1	Ciclo Ambiental	15/04/2014	13,36	2.767,63	36,00	Bica corrida	Pavimentação	
☐	Obra 1	Ciclo Ambiental	12/12/2013	206,60	2.754,27	36,00	Bica corrida	Pavimentação	
☐	Obra 1	Ciclo Ambiental	01/12/2013	213,15	2.547,67	36,00	Bica corrida	Pavimentação	
☐	Obra 1	Ciclo Ambiental	01/12/2013	118,33	2.334,52	36,00	Bica corrida	Pavimentação	
☐	Obra 1	Ciclo Ambiental	01/11/2013	146,34	2.216,19	36,00	Bica corrida	Pavimentação	
☐	Obra 1	Ciclo Ambiental	01/10/2013	73,44	2.069,85	36,00	Bica corrida	Pavimentação	

Figura 4.51 – Interface referente ao cadastro de reutilização de resíduos.

Bem-vindo, **Construtora 1**

Projeto | **Gerenciamento** | Configurações | Sair

Gerenciar obras | Coleta de resíduos | Compra de agregados reciclados | **Reutilização** | Treinamento | Análise Estatística | Análise Econômica

Reutilização de resíduos Inserir

Obra: Todas Tipo de resíduo: Todos

Escolha: ☒ Selecionar todos ☐ Desmarcar todos ☐ Excluir selecionados

✓	Obra	Data	Resíduo	Volume	Aplicação	Ação
☐	Obra 1	28/04/2014	Misto	13,25	Trecho 3	
☐	Obra 1	28/04/2014	Misto	26,50	Trecho 2	
☐	Obra 1	28/04/2014	Misto	105,98	Estoque	
☐	Obra 1	26/04/2014	Misto	65,92	Trecho 3	
☐	Obra 1	26/04/2014	Misto	79,40	Trecho 2	
☐	Obra 1	26/04/2014	Misto	131,10	Estoque	
☐	Obra 1	25/04/2014	Misto	53,91	Trecho 3	

Figura 4.52 – Interface referente ao controle de treinamentos.

Bem-vindo, **Construtora 1**

Projeto | **Gerenciamento** | Configurações | Sair

Gerenciar obras | Coleta de resíduos | Compra de agregados reciclados | Reutilização | **Treinamento** | Análise Estatística | Análise Econômica

Treinamentos Inserir

Obra: Todas

Escolha: ☒ Selecionar todos ☐ Desmarcar todos ☐ Excluir selecionados

✓	Data	Obra	Nº Func.	Tema	Ministrante	Obs	Ação
☐	29/07/2014	Obra 1	25	Utilização do kit de emergência e monitoramento do desperdício de alimentos	Diogo		
☐	22/07/2014	Obra 1	30	Orientação acerca de controle de vazamento de óleo e desperdício de comida	Diogo		
☐	15/07/2014	Obra 1	32	Utilização das caixas de contenção de produtos químicos e manutenção do isolamento de materiais	Diogo		
☐	08/07/2014	Obra 1	34	Segregação adequada dos resíduos nas baias e manutenção do isolamento de materiais	Diogo		
☐	01/07/2014	Obra 1	34	Segregação adequada de resíduos nas obras e utilização de masselras	Diogo		
☐	17/06/2014	Obra 1	33	Áreas para armazenamento de materiais e implantação de novas caixas de contenção	Diogo		
☐	10/06/2014	Obra 1	33	Utilização de caixas de contenção para produtos químicos	Diogo		

Através do cadastro de todas as informações da fase de gerenciamento da obra, o SIGERCON gera uma análise estatística como forma de apresentar os dados de forma resumida simples através de gráficos, conforme mostra a Figura 4.53, e uma análise econômica, que permite

que o usuário monitore os custos de gerenciamento e defina estratégias de manutenção ou redução de custo, conforme mostra a Figura 4.54.

Figura 4.53 – Tela de apresentação da análise estatística do gerenciamento de RCC.

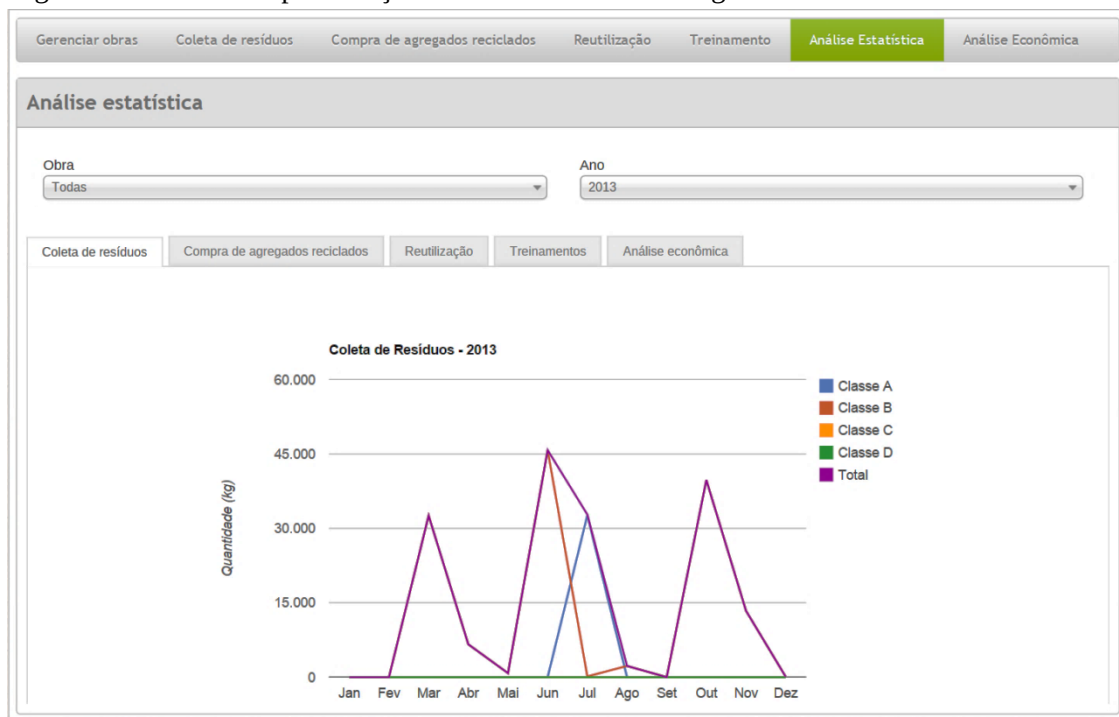


Figura 4.54 – Tela de apresentação da análise econômica do gerenciamento de RCC.

Análise econômica

Inserir novo gasto

Selecione o tipo do gasto Seleccione a obra

Data Descrição Custo unitário (R\$) Quantidade

Inserir

Mês: Todos Ano: Todos Obra: Todas

Data	Obra	Tipo Gasto	Valor (R\$)	Valor Acumulado (R\$)
21/12/2014	Obra 1	Compra de novos equipamentos	600,00	82.352,20
07/07/2014	Obra 1	Compra de novos equipamentos	2.250,00	81.752,20
04/09/2013	Obra 1	Transporte e destinação de resíduos Classe B	216,25	79.502,20
04/09/2013	Obra 1	Transporte e destinação de resíduos Classe A	405,60	79.285,95
03/09/2013	Obra 1	Transporte e destinação de resíduos Classe A	377,60	78.880,35
03/09/2013	Obra 1	Transporte e destinação de resíduos Classe A	377,60	78.502,75
30/08/2013	Obra 1	Transporte e destinação de resíduos Classe A	347,85	78.125,15
28/08/2013	Obra 1	Transporte e destinação de resíduos Classe A	372,35	77.777,30

4.4 Validação do sistema

A validação da *Fase 2: Dimensionamento do SGRCC* foi realizada por meio da aplicação do SIGERCON em doze obras da cidade do Recife, como forma de avaliar a concordância entre a geração total obtida na obra (real), e as estimativas de geração pelos três métodos utilizados pelo sistema: área construída, prazo de conclusão da obra e número de pavimentos. A Tabela 4.10 apresenta um resumo das obras analisadas.

Tabela 4.10 – Resumo das obras analisadas na etapa de validação do sistema.

Código da obra	Área construída (m ²)	Prazo de Conclusão	Nº de pavimentos
1	6.861	28 meses	18
2	14.062	43 meses	28
3	7.099	36 meses	26
4	97.900	36 meses	29
5	99.092	37 meses	22
6	7.886	31 meses	22
7	28.494	32 meses	23
8	17.213	29 meses	20
9	25.958	37 meses	22
10	3.739	28 meses	19
11	13.439	21 meses	30
12	26.570	34 meses	54

A partir da utilização do SAD, calcula-se a geração total de RCC nas obras com a utilização dos três métodos, conforme apresenta a Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Comparação das estimativas de geração de RCC com a geração real das obras.

Código da obra	Geração obtida na obra (real)	Geração estimada por área construída (t)	Geração estimada por prazo de construção (t)	Geração estimada por número de pavimentos (t)
1	1428	1317	1176	1314
2	1567	1167	3139	1540
3	1248	1384	2412	1168
4	2742	3230	2412	1595
5	3452	3270	2479	1210
6	1608	1514	1426	1606
7	1000	1254	1472	1679
8	1017	1136	1218	1480
9	2460	3037	2447	1628
10	1205	718	1176	1387
11	1304	1263	1451	1560
12	3436	3109	2450	4752

Para verificar qual o melhor método, estabeleceu-se que até o limite de 30% acima ou abaixo do valor real há uma boa concordância entre a geração observada e a estimada. Este limite foi

definido a partir das experiências entre as construtoras e a EMLURB, que avalia os relatórios finais de gerenciamento de resíduos, e só aprova o documento se a geração de RCC estimada pelo PGRCC estiver próxima a esse limite. Além disso, é o limite geralmente utilizado em modelos matemáticos, para verificar a consistência dos dados. A Tabela 4.12 apresenta a concordância para cada obra analisada, e as Figuras 4.55 a 4.60 mostra o cálculo da geração para cada mês.

Tabela 4.12 – Análise do grau de concordância entre as estimativas de geração de RCC com a geração real das obras.

Código da obra	Estimativa por área construída (%)	Estimativa por prazo de construção (%)	Estimativa por número de pavimentos (%)
1	92	82	92
2	74	200	98
3	110	193	93
4	117	87	58
5	94	71	35
6	94	88	99
7	125	147	168
8	111	119	145
9	123	100	66
10	60	98	115
11	97	111	120
12	90	71	138
Nº de concordâncias	11	9	6
%	92	75	50

Verifica-se que para as 12 obras analisadas, o método de estimativa pela área construída foi o que mais se aproximou da realidade observada nos canteiros de obra, por obter 92% de concordância.

Por outro lado, o método de estimativa pelo número de pavimentos obteve apenas 50% de concordância em relação às obras analisadas. Este método se torna limitado para obras com grande área construída, devido ao fato de muitas vezes o empreendimento possuir uma grande área externa ao edifício, dificultando esta estimativa.

O método de estimativa por prazo de conclusão da obra obteve 75% de concordância e também pode ser utilizado para estimar a geração de resíduos, porém é limitado para obras com prazo muito longo, fora do cronograma mais utilizado em obras da região.

Figura 4.55 – Estimativas de geração de RCC para as obras: a) 6.861 m²; b) 14.062 m².

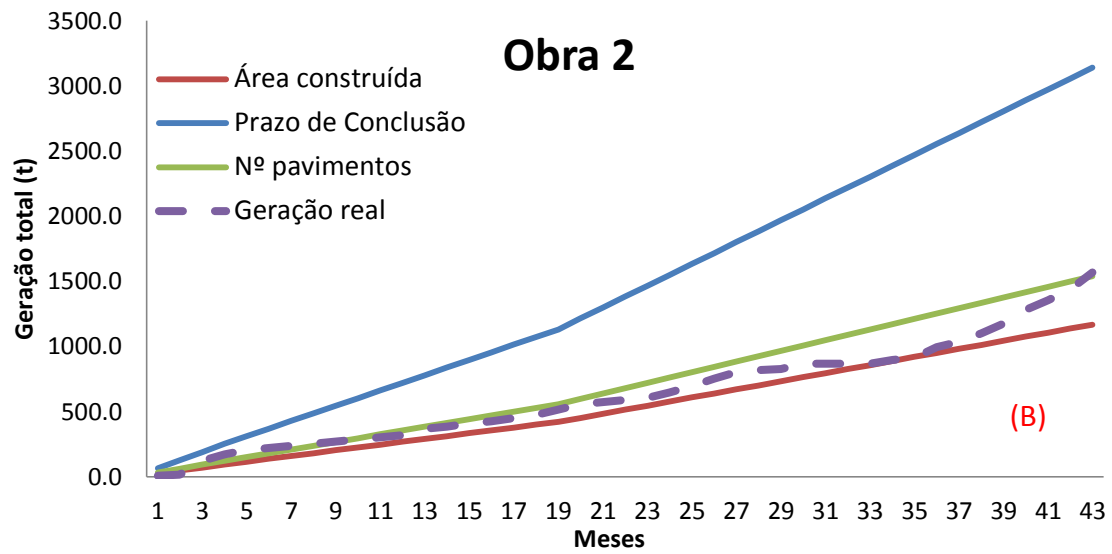
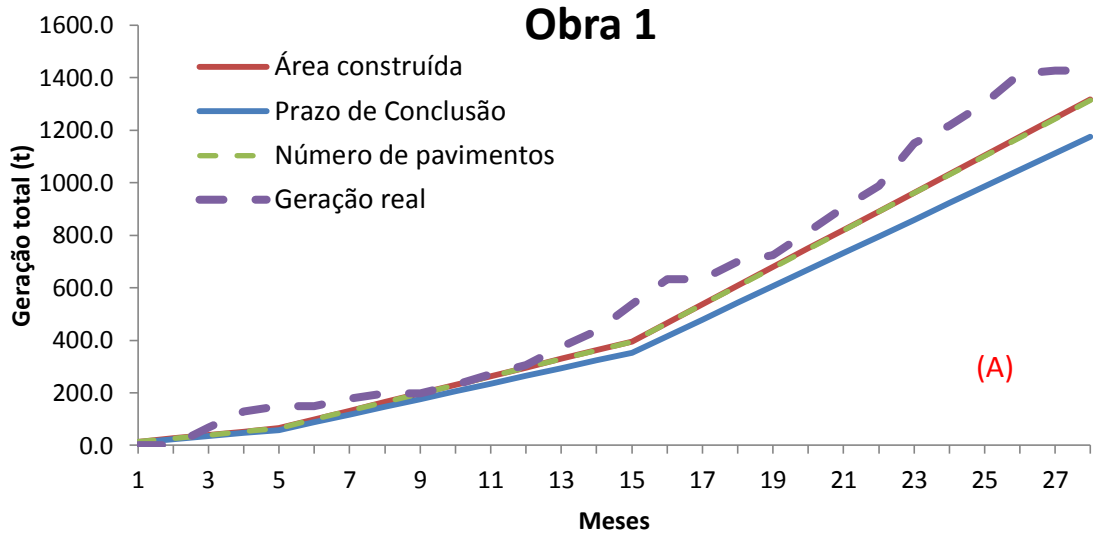


Figura 4.56 – Estimativas de geração de RCC para as obras: a) 7.099 m²; b) 97.900 m².

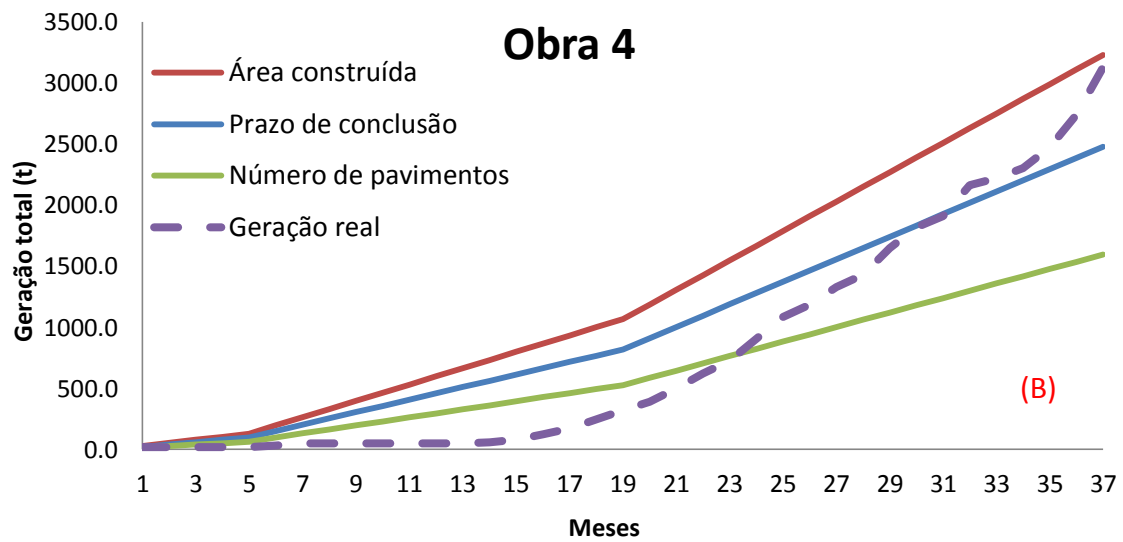
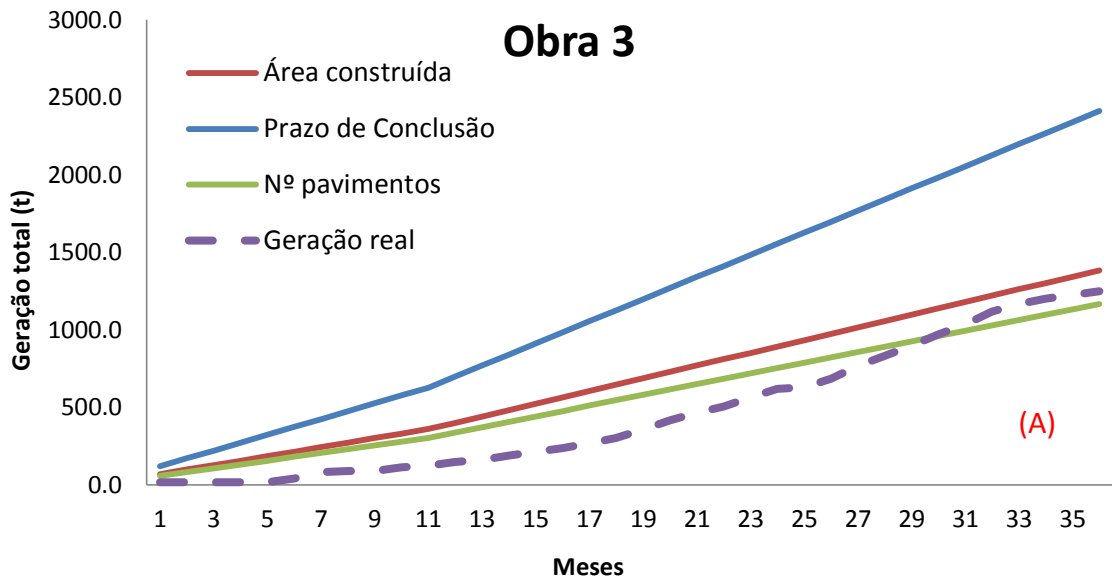


Figura 4.57 – Estimativas de geração de RCC para as obras: a) 99.092 m²; b) 7.886 m².

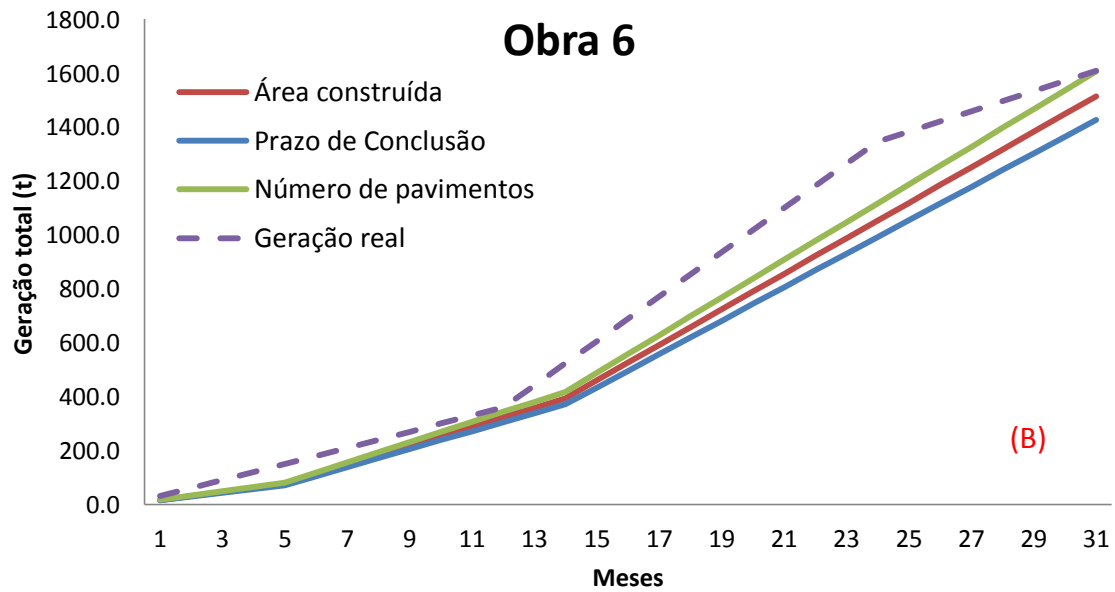
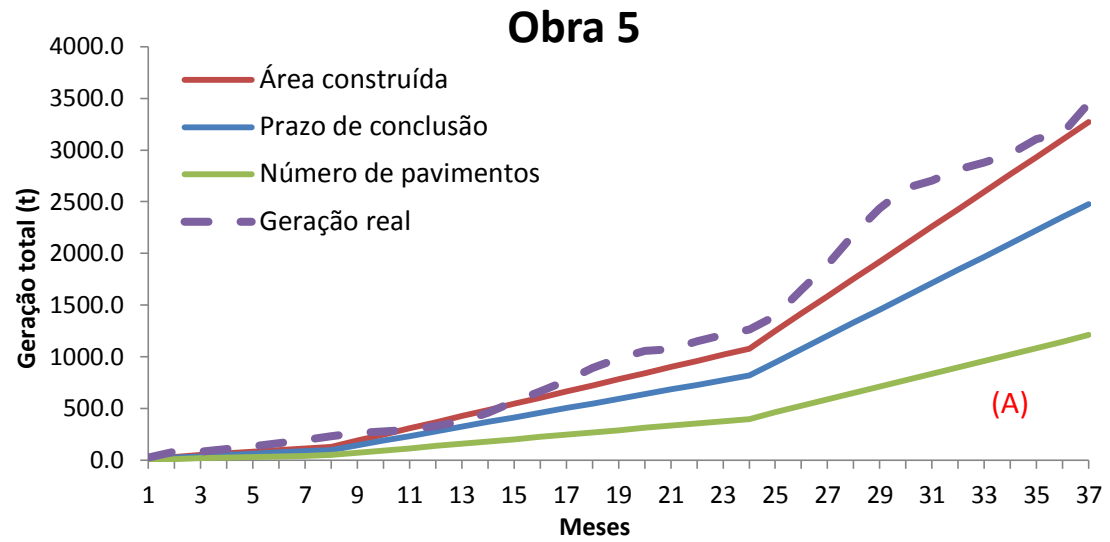


Figura 4.58 – Estimativas de geração de RCC para as obras: a) 28.494 m²; b) 17.213 m².

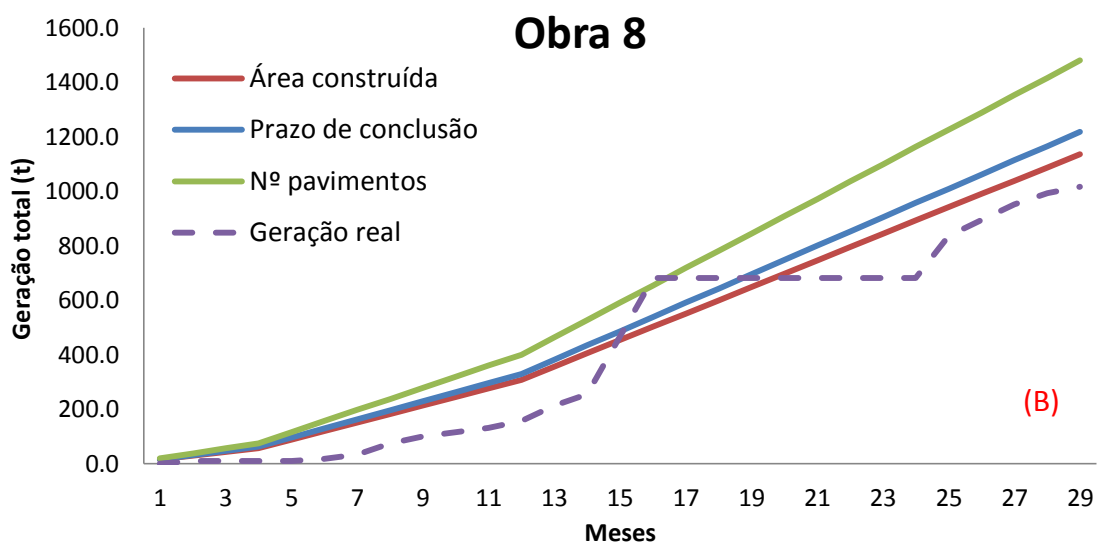
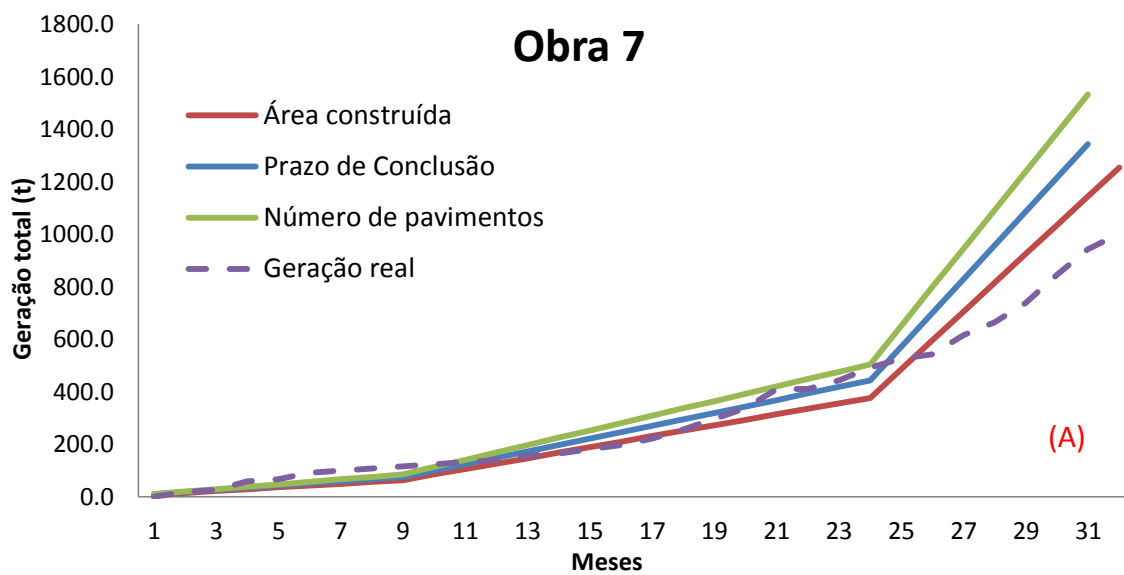


Figura 4.59 – Estimativas de geração de RCC para as obras: a) 25.958 m²; b) 3.739 m².

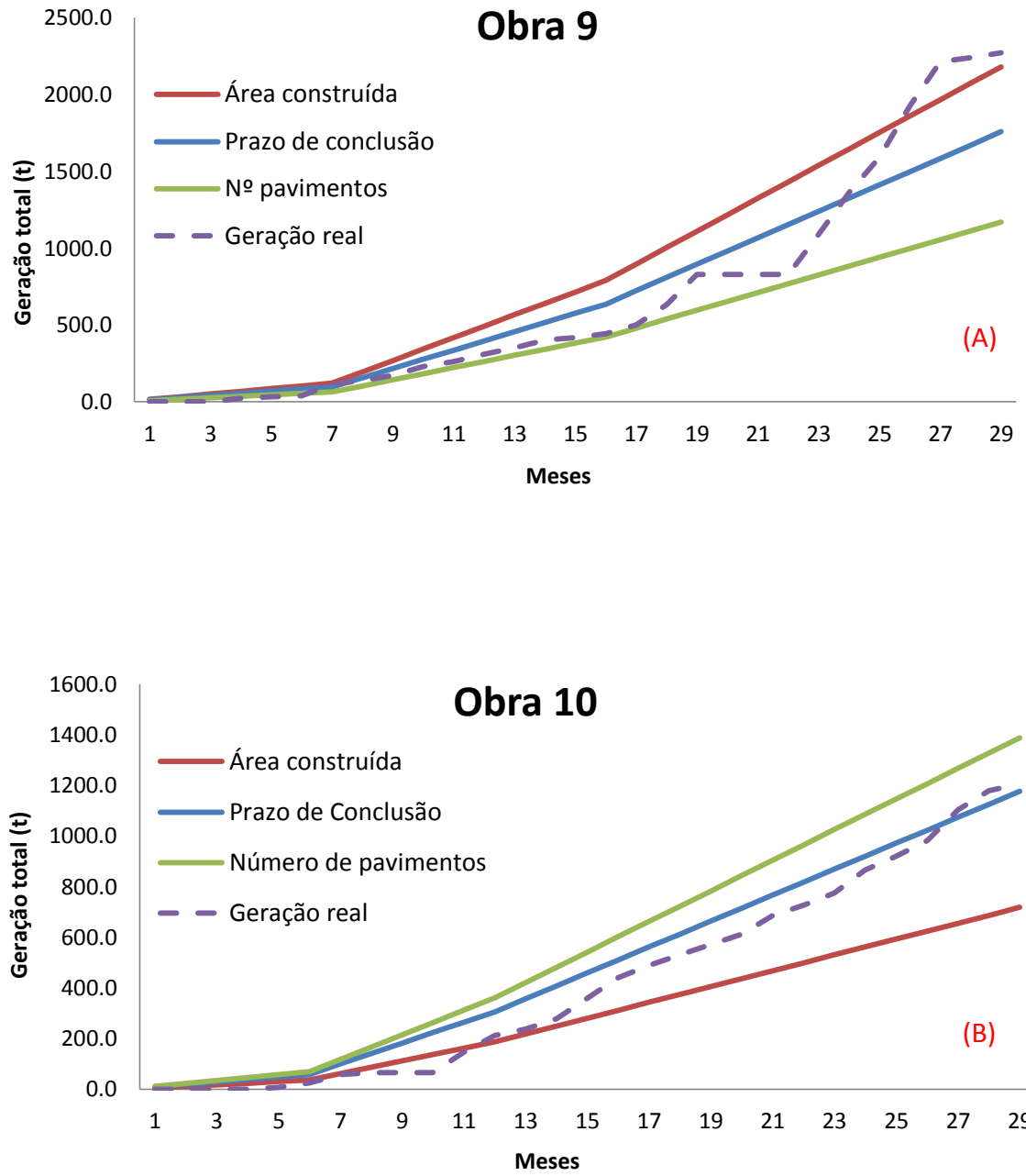
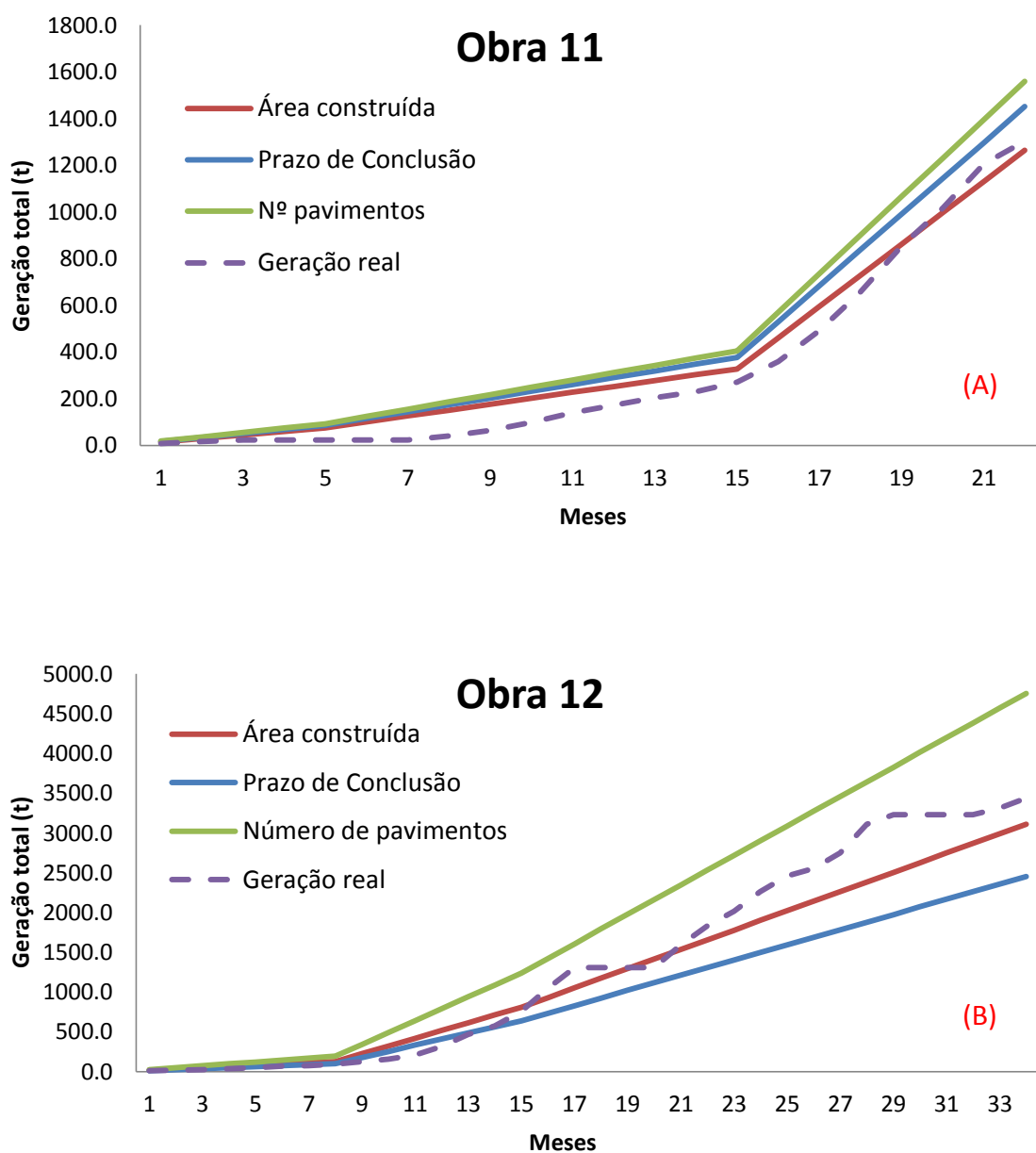


Figura 4.60 – Estimativas de geração de RCC para as obras: a) 13.439 m²; b) 26.570 m².



Dessa forma, observou-se que na maioria dos casos as estimativas de geração de RCC foram menores do que de fato foi gerado nas obras, principalmente na estimativa da geração pelo número de pavimentos, que não considera a área da periferia da obra.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões dos resultados do desenvolvimento do SIGERCON. Posteriormente, são recomendadas algumas ações de aprimoramento da pesquisa realizada, e do gerenciamento de RCC nas obras.

5.1 Conclusões

A etapa de aquisição de conhecimentos permitiu obter informações importantes para o desenvolvimento do sistema de gerenciamento de resíduos, ao identificar as principais dificuldades encontradas pelas construtoras em relação ao gerenciamento dos resíduos da construção.

As matrizes de sustentabilidade foram essenciais para análise com relação ao grau de sustentabilidade dos 20 canteiros de obras no que se refere à gestão de RCC e também estabelecer comparações entre o porte das obras e o desempenho ambiental.

Verificou-se que houve pequeno avanço em relação à gestão de RCC nas obras, pois poucas são as obras que realmente possuem um sistema de gestão efetivamente implementado e monitorado. Questões como parcerias com cooperativas, uso de tecnologias de produção mais limpa, reaproveitamento de resíduos na própria obra e utilização de agregados reciclados já deveriam fazer parte do sistema de gestão de RCC. Assim, poderia-se afirmar que apenas 2 obras sejam sustentáveis no quesito de gerenciamento de resíduos da construção civil.

A etapa de transporte e armazenamento de resíduos obteve o maior grau de sustentabilidade, enquanto que a etapa de destinação final obteve a menor pontuação. Estes resultados foram de extrema importância no desenvolvimento do sistema, ao incluir funções que subsidiaram a correta destinação dos resíduos.

A metodologia aplicada se mostrou eficiente para analisar o grau de sustentabilidade nas obras em relação aos RCC. A partir desta pesquisa, é possível utilizar esta metodologia para outros canteiros de obras da cidade e de outras regiões.

Apesar da dificuldade na obtenção de dados sobre a geração de resíduos nas obras, criou-se um banco de dados com informações adequadas para o correto desenvolvimento do sistema, sendo possível compreender as principais características do gerenciamento de resíduos das obras, como a geração total de RCC, a geração por fase da obra (fundação, estrutura e acabamento), a geração de RCC em relação à área construída, ao prazo de conclusão da obra e número de pavimentos, a geração de RCC por classe, de acordo com o que estabelece a Resolução nº 307/2002 do CONAMA, e os custos com o gerenciamento dos resíduos.

Analizando-se as obras que possuíam banco de dados completo, ou seja, dados de geração de resíduos desde a fase de fundação até a sua conclusão, obteve-se um valor médio de 1304 toneladas, e um índice de geração por área construída de 125 kg/m^2 , para uma área construída média de 22.232 m^2 . Ao comparar essas informações com os dados da literatura, como Carneiro (2005), Gusmão (2008), Marques Neto e Schalch (2010) e Costa (2012), identifica-se que está muito próximo do obtido pelos pesquisadores citados.

Pelo fato de alguns pesquisadores e construtoras questionarem a eficiência do índice de geração de RCC por área construída, foram avaliados outros índices, como a geração de resíduos por prazo de conclusão da obra, que foi de 70,03 t/mês, para uma duração média de 34 meses, ou a geração por número de pavimentos, que teve como resultado 63,68 t/pavimento, para uma média de 31 pavimentos.

Além dos índices supracitados, foram propostos outros indicadores, como a geração por fase da obra. Para a fase da fundação, obteve-se 17,20 t/mês, para a fase de estrutura obteve-se 45,86 t/mês, e para a fase de acabamento obteve-se 107,93 t/mês. Dessa forma, pode-se especificar a quantidade de resíduos ao longo da obra, facilitando assim o correto planejamento e gerenciamento dos RCC.

A se comparar as obras de construtoras certificadas com obras de construtoras não certificadas, observou-se que há uma redução de 30% na geração de RCC, e consequentemente redução nos custos de coleta, transporte e destinação dos resíduos, demonstrando as vantagens de se implementar a ISO 14001. Contudo, é necessário que haja um monitoramento eficiente do Sistema de Gestão Ambiental (SGA), de forma a garantir uma

gestão adequada dos materiais dentro dos canteiros de obras, e a redução da geração dos resíduos.

Identificou-se que os custos das construtoras em relação ao gerenciamento de RCC vêm aumentando consideravelmente ao longo dos meses, principalmente no valor do transporte da caçamba, devido ao aumento na demanda de coleta de RCC. As soluções oferecidas pelo sistema é destinar os RCC para usinas de beneficiamento, por ter um custo de destinação menor, comprar agregados reciclados dessas usinas ou reaproveitar ao máximo os resíduos na própria obra.

A etapa de estruturação do sistema utilizou todos os conhecimentos obtidos na etapa de aquisição de conhecimentos para a elaboração do modelo conceitual, que dividiu o sistema nas seguintes fases: *Fase 1 – Descrição geral do empreendimento*, *Fase 2 – Dimensionamento do SGRCC*, e *Fase 3 – Gerenciamento da obra*. Todas as atividades realizadas pelo sistema foram representadas através de fluxogramas, e todas as equações utilizadas nos cálculos foram apresentadas, de forma a permitir que outros pesquisadores possam compreender todo o processo de desenvolvimento do sistema.

O dimensionamento do SGRCC é capaz de estimar tudo o que a obra vai gerar de resíduos, em termos quantitativos e qualitativos, além de prever os custos iniciais e finais do gerenciamento desses resíduos, dando subsídios às construtoras para um correto planejamento.

As equações utilizadas no sistema foram resultado das informações levantadas anteriormente, e com o auxílio de dados da literatura, adequando as metodologias de gerenciamento de RCC já consolidadas no meio acadêmico, com a prática vivenciada nos canteiros de obras.

A fase de gerenciamento da obra permite que o sistema seja sempre utilizado, do início ao fim da obra, de forma a acompanhar as coletas de resíduos, compras de agregados reciclados, treinamentos realizados e os custos oriundos do gerenciamento, ao gerar relatórios mensais às construtoras.

Após a conclusão da etapa de codificação do SIGERCON, foi realizada uma validação do SAD proveniente da fase de projetos em 12 obras, de modo a analisar a concordância entre os

dados reais das obras com as estimativas do modelo, pela área construída, prazo de conclusão e número de pavimentos. O método da estimativa pela área construída mostrou-se como sendo o mais adequado para ser utilizado para calcular a geração de RCC nas obras, com 92% de concordância. Os métodos de estimativa pelo prazo de conclusão da obra e pelo número de pavimentos mostram-se pouco eficazes na estimativa, com 75% e 50% de concordância, respectivamente.

5.2 Recomendações

A partir das limitações encontradas no desenvolvimento da pesquisa, apresenta-se algumas recomendações para estudos futuros:

- Ampliação do banco de dados do sistema, incluindo dados de mais obras, de diferentes construtoras;
- Ampliação do sistema de modo a incluir obras com sistemas construtivos não convencionais, e para outras finalidades, que não a residencial e empresarial;
- Incluir indicadores de estimativa da geração de RCC na fase de demolição da obra, a depender do tipo de tecnologia adotada;
- Incluir indicadores de estimativa da geração de RCC para as principais atividades executadas nas obras, como alvenaria, revestimento, instalações elétricas e hidráulicas, dentre outros;
- Ampliação do acervo técnico disponível no sistema, que permita aperfeiçoar a caracterização e o gerenciamento dos resíduos gerados nas obras, como inclusão de índices de perdas de materiais por fase da obra;
- Aperfeiçoar a análise econômica e estatística do sistema, de modo a fornecer ao usuário mais ferramentas de planejamento;
- Aplicação do sistema de gerenciamento de resíduos em obras desde o início da sua construção até a sua conclusão, e comparar os dados estimados pelo sistema com os dados observados na obra;
- Integração do sistema com outros possíveis usuários, como empresas de transporte, de destinação de resíduos e órgãos públicos;

Espera-se que os resultados apresentados nesta pesquisa possam contribuir para um melhor gerenciamento dos RCC nos canteiros de obras, ao dar subsídios aos gestores na tomada de

decisão sobre como reduzir o desperdício de materiais e, conseqüentemente, a geração de resíduos. É preciso que as construtoras se utilizem de certificações, como a ISO 14001 e a PBQP-H, e implementem programas de capacitação e educação ambiental dos seus colaboradores, e sejam utilizadas novas tecnologias, como o pré-moldado.

É também de suma importância que haja o fortalecimento do controle dos órgãos fiscalizadores, de modo a se fazer cumprir o que estabelece os PGRCC, além de estimular a reciclagem de resíduos Classe A na própria obra, e a realização de parcerias entre cooperativas de catadores para coleta de resíduos Classe B.

Com o aprimoramento do SIGERCON, será possível incluir os órgãos ambientais como usuários do sistema, através de um módulo específico para controle e gestão municipal de resíduos. Dessa forma, poderá haver uma maior integração de dados com as empreiteiras, aumentando significativamente a confiabilidade das informações prestadas, garantindo um melhor monitoramento.

Recomenda-se, ainda, que haja uma integração entre as construtoras e as empresas de reciclagem e destinação de resíduos, para que haja a troca de informações e seja aperfeiçoado o rastreamento dos RCC, que será facilitado com a correta aplicação das ferramentas do SIGERCON.

O SIGERCON também poderá ser ampliado, através da criação de um módulo específico para empresas de transporte e destinação de resíduos. Isso permitirá uma maior facilidade de rastreamento da coleta e destinação final dos resíduos, gerando relatórios contendo a quantidade de resíduos manuseados, de forma automática e confiável.

A utilização do SIGERCON de forma integrada permitirá identificar com maior facilidade as empresas cadastradas de transporte e destinação final, as cooperativas cadastradas e apoiadas pelos órgãos fiscalizadores, e rastrear de forma eficiente todo o caminho percorrido pelos RCC até a sua destinação adequada.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

_____. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos: procedimento. Rio de Janeiro, 2004b.

_____. **NBR 15.112**: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004c.

_____. **NBR 15.113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004d.

_____. **NBR 15.114**: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004e.

_____. **NBR 15.115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004f.

_____. **NBR 15.116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004 g.

ANGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. 2005. Tese (doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

ANGULO, S.C.; TEIXEIRA, C.E.; CASTRO, A.L.; NOGUEIRA, T.P. Resíduos de construção e demolição: validação de métodos de quantificação. **Eng Sanit Ambient**, v. 16, n.3, p. 299-306. Jul./set. 2011.

ARAÚJO, N.M.C.; MEIRA, A.R.; NÓBREGA, C.C.; SILVA, J.S. Proposta de Programa de reciclagem de resíduos oriundos da construção civil para a grande João Pessoa-PB: Um estudo preliminar quanto à viabilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama Nacional dos Resíduos Sólidos 2010**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/download_2008.php>. Acesso em 15 de Abril de 2013.

BANIAS, G.; ACHILLAS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; MOUSSIPOULOS, N.; PAPAIOANNOU, I. A web-based decision support system for the optimal management of construction and demolition waste. **Waste management**, v.31, p. 2497-2502, 2011.

BESSEN, G.R.; RIBEIRO, H.; JACOBI, P.R.; GUNTHER, W.M.R.; DEMAJOROVIC, J. Evaluation of sustainability of municipal programs of selective waste collection of recyclables in partnership with scavengers organizations in metropolitan São Paulo. In: KURIAN, K.;

NAGENDRAN, R.; THANASEKARAN, K. (org). **Sustainable Solid Waste Management**. 1ª edição. Allied Publishers Pvt. Ltd, Chennai, vol. Único, p. 90-96. 2007.

BLUMENSCHNEIN, R.N. **Manual técnico: Gestão de resíduos em canteiros de obras**. Brasília: SEBRAE/DF, 2007. 48 p.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2010a.

_____. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2010b.

BERTOL, C.A.; RAFFLER, A.; SANTOS, J.P. **Análise da correlação entre a geração de resíduos da construção civil e as características das obras**. 2013. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

BORBA, A.E.O. **Proposta de indicadores de sustentabilidade para o setor da construção civil**. 2009. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco. Recife, 2009.

CABRAL, A.E.B.; MOREIRA, K.M.V. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará. Programa Qualidade de Vida na Construção. Fortaleza, 2011.

CALIJURI, M.C.; CUNHA, D.G.F. **Engenharia Ambiental: Conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CARDOSO, A.C.F. **Estimativa de geração de resíduos da construção civil nos municípios de Criciúma e Içara e estudo de viabilidade de usinas de triagem e reciclagem**. 2011. 107 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2011.

CARELLI, E.; MIRANDA, L. **Apostila do curso de Gestão Integrada de Resíduos da Construção Civil e operação de usina de reciclagem de entulho**. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição e Instituto Nova Ágora. São Paulo, 2013.

CARNEIRO, F.P. **Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e demolição na Cidade do Recife**. 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2005.

CHEN, Z.; LI, J.; WONG, C.T.C. An application of bar code system for reducing construction wastes. **Automation in Construction**, n. 11. p. 521-533, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Brasília, 2001.

_____. **Resolução nº 348**, de 16 de agosto de 2004. Brasília, 2004.

_____. **Resolução nº 431**, de 24 de maio de 2011. Brasília, 2011.

_____. **Resolução nº 448**, de 18 de janeiro de 2012. Brasília, 2012.

CÓRDOBA, R.E. **Estudo do Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção e Demolição do Município de São Carlos-SP**. 2010. 372 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

COSTA, R.V.G. **Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa**. 2012. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de João Pessoa, João Pessoa, 2012.

CUNHA, G.N.M.; MICELI, V.M. **Análise da viabilidade econômica de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil a partir de sistemas dinâmicos**. 2013. 66 f. Projeto de Graduação – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

DIAS, M. (Coord.); PEREIRA, M.; DIAS, P.; VIRGÍLIO, J. **Manual de impactos ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.

ESGUICERO, F. J. **Análise econômica e ambiental na implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição – Estudo de caso no município de Lençóis Paulista**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Produção – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2010.

ESIN, T.; COSGUN, N. A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey. **Building and Environment**, v.42, n.4, p.1667-1674, 2007.

EVANGELISTA, P.P.A.; COSTA, D.B.; ZANTA, V.M. Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção Classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.10, n.3, p. 23-40, jul./set. 2010.

FALCÃO, N.C.B. **Diagnóstico da situação atual dos resíduos da construção civil no município de Olinda**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco. Universidade de Pernambuco. Recife, 2011.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Proposta de política industrial para a construção civil – Edificações**. Departamento da Indústria da Construção. FIESP, 2012.

FREITAS, W.C. **Análise da geração de resíduos da construção civil no município de Batatais-SP para implantação de gerenciamento integrado**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2009.

GOMES, C.F.S. Modelagem analítica aplicada a negociação e decisão em grupo. **Revista Pesquisa Operacional**, v. 26, n.3, p.537-566, 2006.

GUERRA, J.S. **Gestão de resíduos da construção civil em obras de edificações**. 2009. 104 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2009.

GUERRERO, L.A.; MASS, G., HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste management**, v. 33, p. 220-232, 2013.

GUSMÃO, A.D. **Manual de Gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Camaragibe: CCS Gráfica Editora, 2008. 140 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/PAIC2012.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2012.

JÚNIOR, F.H.C.; CARNEIRO, F.R.; GONÇALVES, S.C. **Resíduos sólidos urbanos: coleta e destino final**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. 2003.

JÚNIOR, E.D.A. **Uso de resíduos da construção e demolição (RCD) em estacas de compactação para melhoramento de solos**. 2010. 166 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco. Recife, 2010.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. **Choice, values and frames**. Cambridge: University Press, 2000. 860 p.

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

KROETZ, C.E. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio ao Dimensionamento e Estimativa de Custos de Aterros Sanitários em Trincheiras para Municípios de Pequeno Porte**. 2003. 174 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

LEITE, R.A.; PANDOLFO, A.; GOMES, A.P.; CORRÊA, R.; PANDOLFO, L.M.; MARTINS, M.S. Usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição do município de Passo Fundo (RS): Validação da viabilidade econômica. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v.12, n.1, p.107-129, jan./jun.2010.

LI, Y., ZHANG, X. Web-based construction waste estimation system for building construction projects. **Automation in construction**, v.35, p. 142-156, 2013.

LIEBOWITZ, J. **Introduction to Expert Systems**. Santa Cruz, California. USA: Mitchell Publishing Inc.; 1988.

LIMA, F.S.N.S. **Aproveitamento de resíduos de construção na fabricação de argamassas**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

LIMA, R.S.; LIMA, R.R.R. **Guia para elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. Série de publicações temática do CREA-PR. CREA-PR, 2009.

LIMA, A.; RODRIGUES, C.; ALBUQUERQUE, PAZ, D.; LAFAYETTE, K. Avaliação dos impactos ambientais e destinação dos resíduos da construção civil em área urbana na cidade do Recife/Brasil. In: Congresso Nacional de Geotecnia, 14, Covilhã, Portugal. **Anais...** Covilhã, 2014.

LOVATO, P.S. **Verificação dos parâmetros de controle dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto.** 2007. 180 p. Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

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

LUPATINI, G. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à decisão em Escolha de Áreas para aterros sanitários.** Florianópolis, 2002. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

MACEDO, T.F. **Análise do desempenho mecânico da mistura agregado reciclado-solo-cimento para pavimentação.** 2013. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco. Recife, 2013.

MACEDO, T.F.; LAFAYETTE, K.P.V. Physical and grain sized characterization of the wastes generated in the civil construction in the city of Recife. In: Geo-frontiers, 2011, Dallas, México. **Anais...** Dallas: ASCE, 2011. P. 2928-2937.

MÁLIA, M.A.B. **Indicadores de resíduos de construção e demolição.** 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

MÁLIA, M.A.B; BRITO, J.; PINHEIRO, M.D.; BRAVO, M. Construction and demolition waste indicators. **Waste management & Research**, v.31, n.3, p.241-255, 2013.

MARQUES NETO, J.C. **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na bacia hidrográfica do Turvo Grande (UGRHI-15).** 2009. 669 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

_____. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil.** São Carlos: RiMa, 2005. 162 p.

MARQUES NETO, J.C.; SCHALCH, V. Diagnóstico ambiental para gestão sustentável dos resíduos de construção e demolição. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 13, 2010. **Anais...** Figueira da Foz, Portugal. 2010.

MARTINS, F.G. **Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte – Estudo de caso.** 2012. 186 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

MASSUKADO, L.M. **Sistema de Apoio à Decisão**: Validação de cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares. 2004. 230 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2004.

MELLO, L.C.B.B.; AMORIM, S.R.L. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: Uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. **Produção**, v.19, n.2, p.388-399, mai/ago, 2009.

MENDIS, D.; HEWAGE, K.H. WRZESNIEWSKI, J. Reduction of construction wastes by improving construction contract management: a multinational evaluation. **Waste Management & Research**, v.31, n.10, p.1062-1069, 2013.

MESQUITA, A.S.G. Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí. **Revista Holos**, v.2, p.58-65, 2012.

MIRANDA, L.F.R.; ANGULO, S.C.; CARELI, E.D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente construído**, v.9, n.1, p. 57-71, jan./ mar. 2009.

MORALES, G.; BORGES, L.P.P.; LOPES, P.M.; ZAMAIA, V.P.A.; JÚNIOR, V.G.A. Técnicas de manejo e gestão adequadas de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil-RCC. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2, Londrina/PR **Anais...**Londrina/PR, 2011.

MOTA, J.C.; ALMEIDA, M.M.; ALENCAR, V.C.; LOPES, I.V.; CURI, W.F. Desenvolvimento de uma aplicação com a finalidade de manter uma base de dados aplicada a um sistema de suporte a decisão em recursos hídricos. **Engenharia Ambiental**, v. 8, n.1, p.246-263, 2011.

NAGALLI, A.; NAZÁRIO, P.L.; DA SILVA, F.C.F.; CASTRO, A.P.V. Computational system for construction waste management. In: **XIV International Waste Management and Landfill Symposium**. Sardinia, 2013.

NICOLAU, S.H.F. **Potencial de uso de resíduos da construção civil de João Pessoa como agregados miúdos em concretos**. 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2008.

NOVAES, M.V.; MOURÃO, C.A.M.A. **Manual de gestão ambiental de resíduos da construção civil**. 1ª ed. Fortaleza: COOPERCON, 2008. 100 p.

NUNES, K.R.A.; MAHLER, C.F.; VALLE, R.; NEVES, C. Evaluation of investments in recycling centres for construction and demolition wastes in brazilian municipalities. **Waste Management**, v.27, p. 1531-1540, 2007.

O'BRIEN, J.A. Sistemas de informação para apoio à decisão gerencial. In: _____. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da Internet**. São Paulo: Ed. Saraiva, 2001. P.246-258.

OLIVEIRA, F.M.D.R.; BUFFON, N.M.; FREITAS, S.S. The effectiveness of C&D Waste Management considering the stationary buckets contents. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v.19, p.3047-3060, 2014.

PACHECO, T.C. **Diagnóstico da gestão de resíduos na construção civil**: comparação de obras no Rio de Janeiro visando a certificação LEED e obras sem certificação. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

PAIVA, E.C.R.; SILVA, C.M.; BERNARDES, S.D. Viabilidade econômica de uma usina de reciclagem de entulho em Catalão-GO. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2, 2012, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia, GO, 2012.

PASA, C.C.M.U. **Utilização de modelo de referência para melhoria dos processos construtivos de edificações buscando a redução da geração de resíduo no setor de construção residenciais**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de pesquisa e pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2012.

PAZ, D.H.F.; CARDOSO, F.C.N.; LAFAYETTE, K.P.V.; ALENCAR, S.F. Estimativa da geração atual de resíduos da construção e demolição (RCD) nos municípios brasileiros. In: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 15, São Paulo/SP. **Anais...** São Paulo/SP, 2013.

PERNAMBUCO. **Lei nº 14.236**, de 13 de Dezembro de 2010. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Lei%2014236;141010;20101229.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2013.

PERNAMBUCO. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos**. Governo do Estado de Pernambuco, Recife, 2012.

PESQUISA EMPRESAS & EMPRESÁRIOS. Conhecer para competir: passado e futuro empresarial em Pernambuco. **Workshop 8 – Documento preliminar**. Edição 10/INTG e TGI, 2008.

PINHEIRO, R.J.B.; DELONGUI, L.; PEREIRA, D.S. Adequação dos resíduos da construção civil e demolição para utilização em pavimentação na cidade de Santa Maria-RS-Brasil. In: Congresso Nacional de Geotecnia, 14, Covilhã, Portugal. **Anais...** Covilhã, 2014.

PINHO, S.A.C. **Desenvolvimento de programa de indicadores de desempenho para tecnologias construtivas à base de cimento**: Perdas, consumo e produtividade. 2013. 269 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco. Recife, 2013.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo. 1999. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, USP, São Paulo.

_____. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: A experiência do SINDUSCON-SP.** Obra Limpa, Instituto de Técnicas em Construção civil, São Paulo. 2005. 49 p.

POLETO, C (org). **Introdução ao gerenciamento ambiental.** Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

RECIFE. **Lei nº 16.377**, de 17 de janeiro de 1998. Introduz modificações na Lei 14.903, de 03 de outubro de 1986, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.recife.pe.gov.br/pr/servicospublicos/emlurb/lei1637798.doc>>. Acesso em: 30 jun.2013.

_____. **Lei nº 17.0272**, de 04 de janeiro de 2005. Estabelece as diretrizes e critérios para o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Disponível em: <<http://www.recife.pe.gov.br/meioambiente/legislacao/municipal/leis/lei17072-05.pdf>>. Acesso em: 28 mai.2013.

RIBEIRO, H.; JACOBI, P.R.; BESEN, G.R.; GUNTHER, W.M.R.; DEMAJOROVIC, J.; VIVEIROS, M. **Coleta seletiva com inclusão social: cooperativismo e sustentabilidade.** São Paulo: Annablume, 2009.

SÁEZ, P.V.; MERINO, M.R.; PORRAS-AMORES, C. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. **Journal of Waste Management & Research**, v. 30, p. 137-146, 2011.

SANTOS, E.C.G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado.** 2007. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

SCHMITZ, S. **Os resíduos da construção em dois municípios do litoral do Paraná.** 2012. 45 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Centro de Estudos do mar, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2012.

SCREMIN, L.B.; JUNIOR, A.B.C.; ROCHA, J.C. Sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 19, n. 2, abr/jun. 2014.

SCREMIN, L.B. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos da construção e demolição para municípios de pequeno porte.** 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, L.M. **Gestão de resíduos da construção civil:** Dificuldades para implementação do plano integrado de gestão de resíduos no município de São Leopoldo. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVA, P. D.R. **Reutilização de elementos construtivos na construção.** 104 f. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, 2008.

SOBRAL, R.F.C. **Viabilidade econômica de usina de reciclagem de resíduos da construção civil**: Estudo de caso da USIBEN – João Pessoa/PB. 2012. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2012.

SOUZA, P.C.M. **Gestão de resíduos da construção civil em canteiros de obras de edifícios multipiso na cidade do Recife/PE**. 2007. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2007.

SOUZA, P.C.M.; MELO, A.B.; GUSMÃO, A.D.; CARNEIRO, F.P.; NASCIMENTO, C.F. Gestão de resíduos da construção civil: Uma análise do modelo aplicado em obras de edifícios multipiso na Cidade do Recife. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 10, n.16, p. 04-08, 2008.

TESSARO, A.B.; SÁ, J.S.; SCREMIN, L.B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.12, n.2, p.121-130, abr./jun.2012.

VIEIRA, G.L. **Estudo do processo de corrosão sob ação de íons cloreto obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

WESTMACOTT, S. Developing decision support systems for integrated coastal management in the tropics: Is the ICM decision-making environment too complex for the development of a useable and useful DSS?. **Journal of Environmental Management**, n.62, p.55-74, 2001.

WIERZBICKI, A.P. Decision support methods and applications: the cross-sections of economics and engineering or environmental issues. **Annual reviews in Control**, n.24, p.9-19, 2000.

YE, G.; YUAN, H; SHEN, L.; WANG, H. Simulating effects of management measures on the improvement of the environmental performance of construction waste management. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 62, p. 56-63. 2012.

YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. **Waste Management**, v.31, p.670-679, dez, 2011.

ZANTA, V.M.; JUCÁ, J.F.T.; GOMES, H.P.; CASTRO, M.A.H. **Resíduos Sólidos: gerenciamento e reciclagem de resíduos da construção e demolição**. SNSA-NURENE. 2008.

APÊNDICE A

Modelo de relatório de visita técnica às obras analisadas

Relatório de visita técnica

Obra: _____

Código: _____

Construtora: _____

Data: ____/____/____

Dado	Descrição	Dado	Descrição
Tipo de obra/finalidade		Data de início e término da obra	
Área construída		Tempo de execução da fundação	
Processo construtivo		Tempo de execução da estrutura	
Nº de pavimentos TIPO/VAZADO		Tempo de execução do acabamento	
Análise dos Equipamentos de segregação			
Baías:			
Bags:			
Bombonas:			
Caçambas:			
Destinação dos resíduos			
Produto	Acondicionamento	Destinação	Situação
Classe A			
Papel			
Plástico			
Metal			
Orgânico			
Madeira			
Classe C			
Classe D			
Saco de cimento			

Possui alguma certificação? _____

Possui logística reversa?: _____

Obs:

APÊNDICE B

Tipos de informações obtidas nas obras analisadas

Quadro B1 – Banco de dados de geração de resíduos na fase de fundação das obras analisadas.

Código da obra	Diagnóstico	Resíduos Classe A			Resíduos Classe B	Validação
		Fundação	Estrutura	Acabamento		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						

Quadro B1 – CONTINUAÇÃO

Código da obra	Diagnóstico	Resíduos Classe A			Resíduos Classe B	Validação
		Fundação	Estrutura	Acabamento		
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						
71						
72						
73						
74						
75						
76						
77						
78						
79						
80						
81						
TOTAL	20	47	62	45	10	12

APÊNDICE C

Banco de dados de geração de resíduos das obras analisadas

Quadro C1 – Banco de dados de geração de resíduos na fase de fundação das obras analisadas.

Código da obra	Pavimentos TIPO	Prazo de conclusão	Área construída (m²)	Duração da FUNDAÇÃO	Geração total (t) FUNDAÇÃO	Nº de caçambas FUNDAÇÃO	Geração mensal (t/mês) FUNDAÇÃO
1	14	25	8318	6	22	3	4
3	44	28	15207	7	121	15	17
4	33	34	17614	7	28	3	4
5	20	33	17646	7	22	3	3
7	17	36	10230	5	20	2	4
8	18	28	6861	5	150	18	30
9	29	29	12023	5	102	12	20
11	24	35	93555	5	20	2	4
12	22	25	6127	4	19	2	5
20	34	46	19370	6	7	1	1
21	34	46	17400	7	57	7	8
22	36	45	12630	5	7	1	1
23	28	36	11000	7	65	8	9
24	32	31	10526	7	102	12	15
28	15	27	15573	6	48	6	8
30	20	43	6226	4	24	3	6
32	28	43	14062	5	171	21	34
33	22	28	7706	3	16	2	5
34	19	28	3739	6	24	3	4
35	16	36	7099	1	16	2	16
36	37	35	9407	4	7	1	2
37	29	36	97900	5	16	2	3
40	32	32	15220	6	189	23	31
41	22	37	99092	8	230	28	29
43	-	31	28494	9	115	14	13
44	29	23	10072	3	41	5	14
48	20	51	6243	1	52	6	52
49	74	37	28480	9	187	25	21
50	74	35	27218	6	414	55	69
51	22	31	7886	5	150	20	30
52	22	-	10290	6	45	6	8

Quadro C1 – CONTINUAÇÃO

Código da obra	Pavimentos TIPO	Prazo de conclusão	Área construída (m ²)	Duração da FUNDAÇÃO	Geração total (t) FUNDAÇÃO	Nº de caçambas FUNDAÇÃO	Geração mensal (t/mês) FUNDAÇÃO
53	42	-	22927	5	224	30	44
54	17	-	18172	5	75	10	15
55	52	-	29980	5	75	10	15
56	17	-	14399	5	187	25	38
57	63	37	47574	5	172	21	34
62	30	21	13439	5	25	3	5
64	20	28	17213	4	8	1	2
65	10	28	30071	5	74	9	15
69	27	32	2661	5	90	11	18
70	54	34	26570	8	90	11	11
71	20	19	11491	7	115	14	16
72	22	37	25958	7	115	14	16
73	44	-	14984	10	131	16	13

Quadro C2 – Banco de dados de geração de resíduos na fase de estrutura das obras analisadas.

Código da obra	Pavimentos TIPO	Prazo de conclusão	Área construída (m ²)	Duração da ESTRUTURA	Geração total (t) ESTRUTURA	Nº de caçambas ESTRUTURA	Geração mensal (t/mês) ESTRUTURA
1	14	25	8318	7	183	22	26
2	33	52	11667	28	502	61	18
3	44	28	15207	10	482	59	48
4	33	34	17614	12	335	41	28
6	28	31	10728	11	153	18	14
7	17	36	10230	13	245	28	18
8	18	28	6861	10	388	47	39
9	29	29	12023	11	340	40	31
12	22	25	6127	10	171	21	17
13	14	31	6031	11	91	11	8
14	15	38	16099	11	51	6	5
15	23	27	9461	28	118	14	4
16	25	30	7734	11	401	49	37
17	30	36	12555	9	305	35	34
19	33	52	17682	18	408	50	23
20	34	46	19370	17	318	39	19
21	34	46	17400	15	359	44	24
22	36	45	12630	16	192	23	12
24	32	31	10526	11	114	14	11
25	29	36	16650	13	383	45	29
26	28	35	11609	15	221	26	5
27	38	46	15778	15	114	13	8
29	34	46	18597	12	286	33	24
30	20	43	6226	11	228	28	21
31	32	42	17750	16	307	37	19
32	28	43	14062	15	343	42	23
33	22	28	7706	8	220	27	28
34	19	28	3739	6	188	23	31
35	16	36	7099	10	106	13	11
37	29	36	97900	14	302	37	22
40	32	32	15220	14	107	13	8
41	22	37	99092	16	1033	126	65
43	-	31	28494	15	377	46	25

Quadro C2- CONTINUAÇÃO

Código da obra	Pavimentos TIPO	Prazo de conclusão	Área construída (m²)	Duração da ESTRUTURA	Geração total (t) ESTRUTURA	Nº de caçambas ESTRUTURA	Geração mensal (t/mês) ESTRUTURA
44	29	23	10072	12	189	23	16
46	36	27	12650	19	221	27	12
47	28	21	10216	10	377	46	38
49	74	37	28480	11	2057	275	187
50	74	35	27218	9	1649	221	183
51	22	31	7886	6	374	50	62
52	22	-	10290	11	456	61	41
53	42	-	22927	9	1152	154	128
54	17	-	14399	9	396	53	44
55	52	-	29980	9	1324	177	147
56	17	-	14399	9	396	53	44
57	63	37	47574	10	2206	269	221
58	27	-	14998	10	549	67	55
59	54	-	40558	11	1525	186	139
60	30	-	9603	12	336	41	28
61	26	20	10728	10	139	17	14
62	30	21	13439	10	246	30	25
63	20	-	9465	8	115	14	14
64	20	28	17213	8	148	18	18
65	10	28	30071	8	746	91	93
66	20	30	9213	9	287	35	32
67	20	27	28005	8	320	39	40
68	25	-	16536	10	189	23	19
69	27	32	2661	9	599	73	67
70	54	34	26570	7	664	81	95
71	20	19	11491	8	418	51	52
72	22	37	25958	9	328	40	36
73	44	-	14984	9	139	17	15
74	18	-	13603	7	213	26	30

Quadro C3 – Banco de dados de geração de resíduos na fase de acabamento das obras analisadas.

Código da obra	Pavimentos TIPO	Prazo de conclusão	Área construída (m²)	Duração do ACABAMENTO	Geração total (t) ACABAMENTO	Nº de caçambas ACABAMENTO	Geração mensal (t/mês) ACABAMENTO
7	17	36	10230	18	1007	117	57
8	18	28	6861	20	890	109	44
9	29	29	12023	13	848	99	65
15	23	27	9461	13	658	80	51
17	30	36	12555	27	558	65	21
19	33	52	17682	18	775	95	43
20	34	46	19370	20	384	47	19
21	34	46	17400	19	302	37	16
22	36	45	12630	19	514	63	27
24	32	31	10526	12	416	51	35
28	15	27	15573	10	487	59	49
30	20	43	6226	12	636	78	53
31	32	42	17750	15	873	106	58
32	28	43	14062	24	1053	128	44
33	22	28	7706	9	604	74	67
34	19	28	3739	17	993	121	58
35	16	36	7099	25	1126	137	45
37	29	36	97900	17	2424	296	153
38	16	19	13092	18	900	110	50
39	31	47	19997	12	1314	160	109
40	32	32	15220	13	1665	203	128
41	22	37	99092	13	2189	267	168
42	-	32	4962	13	640	78	49
43	-	31	28494	10	508	62	51
44	29	23	10072	9	254	31	28
45	32	-	15615	21	1427	174	68
47	28	21	10216	11	1050	128	95
49	74	37	28480	15	3979	532	265
50	74	35	27128	20	3976	532	199
51	22	31	7886	9	1085	145	120
57	63	37	47574	22	5920	722	269
58	27	-	14998	18	2042	249	113
59	54	-	40558	17	4551	555	268

Quadro C3 – CONTINUAÇÃO

Código da obra	Pavimentos TIPO	Prazo de Conclusão	Área construída (m ²)	Duração do ACABAMENTO	Geração total (t) ACABAMENTO	Nº de caçambas ACABAMENTO	Geração mensal (t/mês) ACABAMENTO
60	30	-	9603	14	1886	230	135
61	26	20	10728	8	1025	125	128
62	30	21	13439	7	1033	126	148
63	20	-	9465	18	1656	202	92
64	20	28	17213	17	861	105	51
65	10	28	30071	16	6658	812	416
66	20	30	9213	16	918	112	57
68	25	-	16536	21	2239	273	107
70	54	34	26570	19	2681	327	141
72	22	37	25958	21	2017	246	96
74	18	-	13603	13	689	84	53

Quadro C4 – Banco de dados de geração de resíduos Classe B das obras analisadas.

Código da obra	Pavimentos TIPO	Prazo de conclusão	Área construída (m ²)	Madeira (kg)	Papel (kg)	Plástico (kg)	Sacos de cimento (kg)	Metal (kg)
1	14	25	8318.42	7995	2515	1578	4634	7
2	33	52	11667.16	22230	46	334	452	0
3	44	28	15206.9	20280	72	461	57	0
4	33	34	17614.1	33150	2094	554	2267	2
5	20	33	17645.7	-	134	80	117	0
6	28	31	10728	10920	45	181	72	0
7	20	22	7059.7	14235	-	-	-	0
8	-	-	-	38142	4382	1555	2301	0
9	18	28	6861	27573	3793	1959	3489	4
10	-	-	-	43368	5114	2289	4153	0
11	-	-	-	42003	2942	1969	2397	0