

INSTITUTO FEDERAL
MINAS GERAIS
Campus Bambuí

CRISTIANE FERREIRA PIMENTA

**PLANEJAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS DE BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS
DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

BELO HORIZONTE - MG

2017

CRISTIANE FERREIRA PIMENTA

**PLANEJAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS DE BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS
DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Professor Doutor Neimar de Freitas Duarte

BELO HORIZONTE - MG

2017

P644p

Pimenta, Cristiane Ferreira.

Planejamento e gestão de áreas de beneficiamento de resíduos da construção e demolição. / Cristiane Ferreira Pimenta. – 2017.
98 f.: il.; color.

Orientador: Dr. Neimar de Freitas Duarte.

Dissertação de mestrado (Pós-graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2017.

1. Usina. 2. Reciclagem. 3. Áreas receptoras. 4. Sustentabilidade. I. Duarte, Neimar de Freitas. II. Título.

CDD 711.42



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS

Avenida Professor Mário Werneck, n.º 2590, Bairro Buritis, Belo Horizonte, CEP 30575-180,
Estado de Minas Gerais

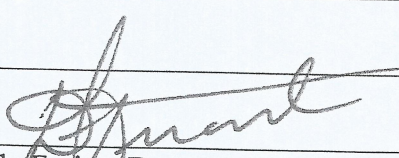


FICHA DE APROVAÇÃO


Dissertação de Mestrado, intitulada "*Planejamento e Gestão de Áreas de Beneficiamento de Resíduos da Construção e Demolição*", de autoria da mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental Cristiane Ferreira Pimenta, aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 10/08/2017, com a média de pontuação de 88,83.

Título do Trabalho – houve alteração () Sim (X) Não

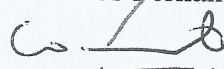
Se sim, qual o novo título _____



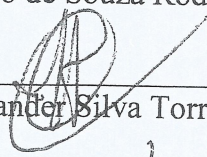
Prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte – Orientador (IFMG/Santa Luzia)



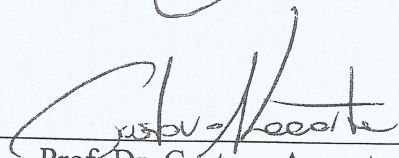
Prof. Dr. Carlos Fernando Lemos (UFV/Florestal)



Prof. Dr. Conrado de Souza Rodrigues (CEFET/MG)



Prof. Dr. Harley Sander Silva Torres (IFMG/Santa Luzia)



Prof. Dr. Gustavo Augusto Lacorte
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do IFMG

RESUMO

Este trabalho investigou as atividades realizadas pelos empreendimentos receptores de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) no Brasil e desenvolveu um modelo de usina de beneficiamento, economicamente viável e ambientalmente adequada, sendo o modelo aplicável, tanto para as áreas receptoras existentes, quanto para novos empreendimentos, possibilitando, assim, a redução do uso de áreas úteis para aterramento de materiais com valor agregado e da extração de recursos naturais. Para isto, foi determinada a quantificação e a composição dos RCD em 12 obras de grande porte e em duas Áreas de Transbordo e Triagem, todas localizadas na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. Foi realizado, também, um levantamento das áreas receptoras de RCD na região metropolitana, por meio das prefeituras dos municípios, e também por meio da Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM, órgão responsável pelas licenças ambientais estaduais. Foram identificadas as usinas de reciclagem de RCD em todo o Brasil, foram selecionadas 3 para visitas, sendo elas: Unidade de Valorização de Resíduos de Construção Civil Grajaú, Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil Proguaru e Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Geresol. Os resultados da composição dos resíduos da construção e demolição mostram que, independente do método construtivo utilizado, mais de 90% dos resíduos gerados são recicláveis, com predominância de entulho (Classe A) e madeira (Classe B), que podem representar de 53% a 63% do total de RCD gerado. Analisando a região de Belo Horizonte, constatou-se que, em 10 municípios analisados, só existem 3 usinas de beneficiamento da fração Classe A dos RCD, que, se operassem na sua capacidade nominal, só conseguiriam atender a demanda de 14% do total de resíduos gerados no ano de 2016. Em visitas às usinas existentes no Brasil, que funcionam de forma eficiente e eficaz, constatou-se que diversos métodos de gestão desses empreendimentos podem ser utilizados, e que os mesmos são desenvolvidos de acordo com as diversas características específicas das localidades onde se encontram. No modelo proposto, são considerados os aspectos gerais, técnicos-operacionais e financeiros, essenciais para o planejamento de empreendimentos deste porte.

Palavras-Chave: usina, reciclagem, áreas receptoras, sustentabilidade

PLANNING AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE BENEFIT AREAS

ABSTRACT

This work investigated the activities carried out by the enterprises that receive Construction and Demolition Waste (RCD) in Brazil and has developed an economically viable and environmentally adequate processing plant model, being the model applicable both to existing and new receiving areas making it possible to reduce the use of useful areas for the grounding of materials with added value and the extraction of natural resources. For this purpose, it was determined the quantification and composition of the RCD in 12 large works and in two Transshipment and Sorting Areas, all located in the metropolitan area of Belo Horizonte, Minas Gerais. A survey of the RCD receiving areas in the metropolitan region was also carried out by the municipalities as well as by the State Environmental Foundation - FEAM, the body responsible for state environmental licenses. RCD recycling plants were identified throughout Brazil and three of them were selected for visits including: Grajaú Civil Construction Waste Recovery Unit, Proguaru Civil Construction Waste Recycling Plant and Geresol Solid Waste Management Center. The results of the construction and demolition waste composition show that, regardless of the construction method used, more than 90% of the generated waste is recyclable with predominance of rubble (Class A) and wood (Class B) which can represent 53% to 63% of the total RCD generated. Analyzing the region of Belo Horizonte it was found that, in 10 municipalities analyzed, there are only three plants that benefit from the Class A fraction of the RCD and if they operated at their nominal capacity they could only meet the demand of 14% of the total waste generated in 2016. In visits to existing plants in Brazil that operate efficiently and effectively, it was found that several methods of management of these enterprises can be used and that they are developed according to the various specific characteristics of where they are. In the proposed model, the general, technical-operational and financial aspects are considered which are essential for the planning of this size projects.

Keywords: power plant, recycling, receiving areas, sustainability

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações iniciais	1
1.2	Objetivos	3
2	REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1	Arcabouço legal sobre os resíduos sólidos	4
2.2	A problemática dos resíduos da construção e demolição (RCD)	11
2.3	Aspectos técnicos relacionados às usinas de beneficiamento de resíduos da construção e demolição	14
2.3.1	Investimentos	16
2.3.2	Custos	22
2.3.3	Receitas	25
3	METODOLOGIA	28
3.1	Quantificação e composição dos RCD em edificações de grande porte	28
3.2	Quantificação e composição dos RCD em áreas de transbordo e triagem	30
3.3	Panorama das áreas receptoras de RCD em BH e municípios limítrofes	31
3.4	Estudo comportamental de usinas de beneficiamento de resíduos Classe A da construção e demolição	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	Quantificação e composição dos RCD em edificações de grande porte	35
4.2	Quantificação e composição dos RCD em áreas de transbordo e triagem	42
4.3	Panorama das áreas receptoras de RCD em BH e municípios limítrofes	47
4.4	Estudo comportamental de usinas de beneficiamento de resíduos Classe A da construção e demolição	53
4.4.1	Unidade de Valorização de Resíduos de Construção Civil Grajaú (URV)	53
4.4.2	Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil Proguaru (Proguaru)	58
4.4.3	Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Geresol	61
4.4.4	Comparativo entre os empreendimentos visitados	64
4.5	Modelo de usina de beneficiamento de RCD	68
4.5.1	Área	72
4.5.2	Projetos	73

4.5.3	Licenças ambientais e/ou urbanísticas	74
4.5.4	Equipe	75
4.5.5	Equipamentos	76
4.5.6	Matéria prima	77
4.5.7	Produtos	77
4.5.8	Impactos ambientais e/ou urbanísticos e medidas de controle.....	78
4.5.9	Parcerias.....	78
4.5.10	Investimentos	79
4.5.11	Custos mensais.....	79
4.5.12	Receitas.....	80
4.5.13	Resultado Operacional	80
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - HISTÓRICO DA LEGISLAÇÃO DOS RCD – BRASIL, ALEMANHA E ESPANHA	8
FIGURA 2 - VISÃO GERAL DAS OBRAS ANALISADAS.....	29
FIGURA 3 - CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS GERADOS, POR CLASSE DE RESÍDUOS E POR MÉTODO CONSTRUTIVO	40
FIGURA 4 - ARMAZENAMENTO DOS RESÍDUOS (ALTERNATIVA TRANSPORTES).....	44
FIGURA 5 - ARMAZENAMENTO DOS RESÍDUOS (ENTULHOS EBENEZER).....	44
FIGURA 6 - CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS, POR TIPO DE RESÍDUOS E DE EMPRESA ESTUDADA.....	46
FIGURA 7 - ANÁLISE DOS TIPOS DE ÁREAS RECEPTORAS DE RCD	49
FIGURA 8 - ANÁLISE DOS TIPOS DE RCD RECEBIDOS NAS ÁREAS RECEPTORAS	51
FIGURA 9 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS RECEPTORAS DE RCD CATALOGADAS	52
FIGURA 10 - VISÃO GERAL - URV.....	57
FIGURA 11 - VISÃO GERAL - PROGUARU.....	61
FIGURA 12 - VISÃO GERAL - CENTRO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS - GERESOL.....	64

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS, SEGUNDO A NBR Nº 10.004/2004	4
QUADRO 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS, SEGUNDO A PNRS (LEI Nº 12.305/2010)	5
QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS RCD, SEGUNDO A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307/2002...	6
QUADRO 4 - DEFINIÇÕES SEGUNDO A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307/2002	7
QUADRO 5 - EXIGÊNCIA DE PLANOS DE GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS (BRASIL, ALEMANHA E ESPANHA).....	9
QUADRO 6 - NORMAS DA ABNT QUE REGEM OS RCD NO BRASIL.....	11
QUADRO 7 - CARACTERÍSTICAS DOS BRITADORES.....	20
QUADRO 8 - INFORMAÇÕES RELATIVAS ÀS LICENÇAS AMBIENTAIS DAS EMPRESAS PESQUISADAS	43
QUADRO 9 - FORMAS DE DESTINAÇÃO PREFERENCIAL PELAS ATT	45
QUADRO 10 - ÁREAS RECEPTORAS DE RCD CATALOGADAS	48
QUADRO 11- SÍNTESE DA COMPARAÇÃO ENTRE OS EMPREENDIMENTOS	65
QUADRO 12 - ASPECTOS RELACIONADOS À ÁREA DO EMPREENDIMENTO	72
QUADRO 13 - PROJETOS A SEREM ELABORADOS	73
QUADRO 14 - ASPECTOS RELACIONADOS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL E/OU URBANÍSTICO.....	74
QUADRO 15 - DIMENSIONAMENTO DA EQUIPE	75
QUADRO 16 - RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	76
QUADRO 17 - INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE USO INTERMITENTE	76
QUADRO 18 - ASPECTOS RELACIONADOS À MATÉRIA PRIMA	77
QUADRO 19 - IMPACTOS E CONTROLE	78
QUADRO 20 - POSSÍVEIS PARCERIAS	78
QUADRO 21 - VALORES DOS INVESTIMENTOS	79
QUADRO 22 – VALORES DOS CUSTOS MENSAIS.....	79
QUADRO 23 – VALORES ESTIMADOS DAS RECEITAS.....	80
QUADRO 24 – RESULTADO OPERACIONAL.....	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE RCD POR DIVERSOS AUTORES	14
TABELA 2 - ÁREA PARA INSTALAÇÃO DE UMA USINA	16
TABELA 3 - ESTIMATIVA DE CUSTOS COM PROJETOS.....	18
TABELA 4 - ESTIMATIVA DE CUSTOS COM LICENÇAS AMBIENTAIS.....	18
TABELA 5 - ESTIMATIVA DE CUSTOS COM INFRAESTRUTURA.....	18
TABELA 6 - EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA FUNCIONAMENTO DA USINA	19
TABELA 7 - ESTIMATIVA DE INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTOS, DE ACORDO COM A CAPACIDADE DA USINA	21
TABELA 8 - ESTIMATIVA DE CUSTOS COM EQUIPE.....	22
TABELA 9 - ESTIMATIVA DE CUSTOS ADMINISTRATIVOS.....	23
TABELA 10 - ESTIMATIVA DE CONSUMO DE INSUMOS	24
TABELA 11 - CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS	25
TABELA 12 - CUSTO DE RECEBIMENTO DOS RESÍDUOS	26
TABELA 13 - VALOR DE VENDA DOS PRODUTOS - AGREGADOS RECICLADOS	26
TABELA 14 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS POR DOIS DIFERENTES MÉTODOS CONSTRUTIVOS, NOS EMPREENDIMENTOS EM ESTUDO	37
TABELA 15 - CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS GERADOS, POR TIPO DE RESÍDUO E MÉTODO CONSTRUTIVO	39
TABELA 16 - CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS, POR TIPO	45
TABELA 17 - VALOR DE RECEBIMENTO DOS RESÍDUOS - URV	54
TABELA 18 - LISTA DE PRODUTOS - URV	57
TABELA 19 - LISTA DE PRODUTOS - PROGUARU	60
TABELA 20 - LISTA DE PRODUTOS - GERESOL	63
TABELA 21 - COMPARAÇÃO DE DADOS QUANTITATIVOS ENTRE OS EMPREENDIMENTOS	67
TABELA 22 - ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE RCD EM BELO HORIZONTE E MUNICÍPIOS LIMÍTROFES	68
TABELA 23 - SÍNTESE DOS RCD CLASSE A NA REGIÃO DE BELO HORIZONTE.....	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O desenvolvimento dos municípios do Brasil vem ocorrendo de forma desordenada, acarretando impactos ambientais eminentes, com diversas consequências para o meio ambiente e para a qualidade de vida da população. Esse desenvolvimento resulta na aceleração da urbanização que, por sua vez, influencia no alto índice de geração de resíduos provenientes das atividades de construção, reforma e demolição, com consequentes problemas ambientais de difícil solução.

A indústria da construção civil possui papel significativo no desenvolvimento econômico e social do Brasil, porém o preço que se paga por isso é alto. Segundo Mália, Brito e Bravo (2011), o peso dessa atividade reflete na esfera ambiental, principalmente devido ao consumo de energia, à extração de matéria prima e ao alto índice de geração de resíduos. Sendo a construção civil uma atividade que gera grande quantidade de resíduos, o incremento do setor é alarmante para toda a sociedade.

O aumento da geração indiscriminada de resíduos e os impactos causados por suas possíveis formas de disposição final fazem desse assunto um dos mais discutidos na área ambiental.

Neste aspecto, Fukurozaki e Seo (2004) destacam que o complexo gerenciamento dos RCD e o alto custo com transporte e destinação final dos materiais estão entre os principais desafios resultantes do alto índice de geração de resíduos nas atividades da construção civil.

Além de serem gerados em grande quantidade, os RCD são volumosos e possuem diferentes tipologias, fato que demanda consideráveis recursos para: (a) obras - no gerenciamento interno, transporte externo e destinação, que, principalmente nos grandes centros, apresentam-se complexos e onerosos; e (b) poder público - na fiscalização dos agentes do fluxo dos resíduos e solução para os pontos de disposição irregular.

Castro (2012) afirma que a compreensão das características dos resíduos gerados, associada à combinação das formas apropriadas de disposição final, possibilitam um

gerenciamento eficaz e mostram-se necessárias, diante do fato de existirem diversas formas de disposição com características específicas, como localização e regularização da área, tipo de resíduo recebido, custo de recebimento e tipo de tratamento.

As normas que regem os RCD pactuam sobre a responsabilidade dos geradores - públicos e privados - com a correta destinação dos resíduos. Porém, mesmo com o aumento das discussões a respeito do tema e com as regulamentações em pauta, em grande parte dos municípios brasileiros esses encontram dificuldades em identificar locais adequados que estejam devidamente regularizados para receber os materiais e que atendam às exigências legais, ambientais e sociais.

Diante do exposto, é de suma importância que se estabeleça, nos municípios, uma rede estruturada de áreas receptoras para tratamento e destinação dos RCD. No entanto, várias dificuldades são encontradas, com ênfase na carência de informações precisas sobre os resíduos gerados, a quantidade de áreas que recebem esse tipo de material e suas características, dados indispensáveis para o planejamento urbano, dos geradores dos resíduos e, ainda, dos investidores do Setor.

Dentre as opções para destinação dos resíduos, a reciclagem possui destaque e é caracterizada por transformar os resíduos em novos recursos, trazendo-os de volta à cadeia produtiva, sendo uma alternativa para tratamento dos resíduos que colabora para o conceito de engenharia sustentável, definição apontada por Fonseca (2014), que vem sendo almejada cada vez mais pelo setor de construção, e que possibilita um alto número de benefícios relacionados com a preservação de recursos naturais e o aumento da vida útil dos aterros.

De acordo com Miranda, Ângulo e Careli (2009), os diversos atores que impulsionam o crescimento do país, incluindo o meio científico, a indústria e o poder público, vêm contribuindo para o progresso da reciclagem dos resíduos, mas não obstante, existe pouca informação sistematizada sobre o estado da arte nacional de RCD, dificultando o desenvolvimento da atividade.

Desta forma, este trabalho pretende investigar as atividades realizadas pelos empreendimentos receptores de RCD no Brasil e desenvolver um modelo de usina de beneficiamento, economicamente viável e ambientalmente adequada, sendo o

modelo aplicável, tanto para as áreas receptoras existentes, quanto para novos empreendimentos, possibilitando, assim, a redução do uso de áreas úteis para aterramento de materiais com valor agregado e da extração de recursos naturais.

Julga-se que a criação de um modelo de recebimento e valorização de RCD, proposto neste trabalho, poderá aumentar a atratividade pela compra dos resíduos, o que, em consequência, contribuirá para a redução da disposição irregular, ampliará os índices de reutilização e reciclagem, reduzindo os impactos ambientais associados. Assim, com a aplicação do modelo a ser desenvolvido, benefícios sociais, ambientais e econômicos serão gerados à toda sociedade.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal a proposição de um modelo de usina de beneficiamento da fração Classe A dos RCD, a ser replicado em áreas receptoras de RCD existentes, visando a sua melhoria, e em novos empreendimentos a serem implantados.

Para a viabilização desse objetivo principal, este estudo foi desmembrado nos seguintes objetivos específicos:

- Apresentar a legislação brasileira sobre resíduos sólidos, com ênfase nos RCD, e compará-la com a legislação de outros países;
- Apresentar a problemática dos RCD e os aspectos técnicos relacionados às usinas de beneficiamento de RCD;
- Analisar, quali-quantitativamente, os resíduos gerados pelas atividades de construção civil de obras de grande porte;
- Analisar, quali-quantitativamente, os resíduos destinados a áreas de transbordo e triagem;
- Identificar e analisar as áreas de recebimento de RCD em Belo Horizonte e municípios limítrofes;
- Analisar os casos de sucesso de beneficiamento da fração classe A dos RCD.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Arcabouço legal sobre os resíduos sólidos

No Brasil, desde o ano 2004, os resíduos sólidos são caracterizados e classificados pela norma técnica NBR nº 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em função do nível de risco que podem oferecer à população e à sua natureza, da seguinte forma:

Quadro 1 - Classificação dos resíduos, segundo a NBR nº 10.004/2004

Classe	Definição	Características
I	Perigosos	Aqueles que apresentam periculosidade, em função das suas características físicas, químicas ou infecto-contagiosas, apresentando risco à saúde pública e ao meio ambiente, se gerenciados de forma inadequada.
II	Não Perigosos	Aqueles que não apresentam periculosidade, em função das suas características físicas, químicas ou infecto-contagiosas, apresentando risco à saúde pública e ao meio ambiente, se gerenciados de forma inadequada.
IIA	Não Inertes	Aqueles que possuem as seguintes propriedades: biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água. Incluem-se nessa classificação os resíduos orgânicos em geral, como, por exemplo, os restos de alimentos.
IIB	Inertes	Aqueles que não apresentarem periculosidade e nem propriedades de biodegradabilidade combustibilidade e solubilidade em água, inserindo-se, nesse grupo, os minerais e minérios, como areia, pedra e ferro.

Fonte: ABNT NBR nº 10.004/2004

Em consenso com a classificação apresentada, o país dispõe de um arcabouço legislativo e de marcos regulatórios, por meio das Políticas Nacional, Estadual e Municipais de Resíduos Sólidos, que abordam o tema com maturidade e tratam de todos os tipos de resíduos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, Lei nº 12.305/2010, classifica os resíduos sólidos de forma diferente da NBR nº 10.004/2004, sendo que a classificação desta é quanto à origem dos materiais:

Quadro 2 - Classificação dos resíduos, segundo a PNRS (Lei nº 12.305/2010)

Definição	Características
a) Resíduos domiciliares	Originários de atividades domésticas em residências urbanas.
b) Resíduos de limpeza urbana	Originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.
c) Resíduos sólidos urbanos	Englobados nas alíneas “a” e “b”.
d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços	Gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”.
e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico	Gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”.
f) Resíduos industriais	Gerados nos processos produtivos e instalações industriais.
g) Resíduos de serviços de saúde	Gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS.
h) Resíduos da construção civil	Gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.
i) Resíduos agrossilvopastoris	Gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades.
j) Resíduos de serviços de transportes	Originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.
k) Resíduos de mineração	Gerados nas atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minério.

Fonte: PNRS (Lei nº 12.305/2010)

Em alguns casos, os resíduos classificados pela PNRS possuem leis específicas, como é o caso dos resíduos da construção civil, regidos exclusivamente pela Resolução CONAMA nº 307/ 2002, muito antes da publicação das políticas citadas.

Sancionada com o intuito de auxiliar nas demandas relacionadas ao gerenciamento dos RCD, a Resolução tem como preâmbulo “estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCD” e não só indica caminhos para a solução dos problemas, como também confere responsabilidades e tem conteúdo técnico, sendo a normativa principal utilizada pelos agentes do manejo desses materiais, em todas as etapas do seu fluxo.

A referida Resolução classifica os possíveis resíduos a serem gerados nas atividades de construção civil, proíbe a disposição em aterros de resíduos sólidos urbanos e em locais não regularizados para esse tipo de atividade, e estabelece as destinações adequadas para cada classe de resíduos, conforme mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação dos RCD, segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002

Classe	Descrição	Destinação
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, inclusive solos provenientes de terraplanagem, componentes cerâmicos, argamassa e concreto.	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de RCD, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: Resolução CONAMA nº 307/2002

A Resolução também apresenta algumas definições importantes para o presente estudo, conforme mostrado no Quadro 4.

Quadro 4 - Definições segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002

Item	Definição
Áreas de destinação de resíduos	São áreas destinadas ao beneficiamento ou à disposição final de resíduos.
Aterro de resíduos classe A, de reservação de material para usos futuros	É a área tecnicamente adequada, onde serão empregadas técnicas de destinação de RCD classe A no solo, visando a reservação de materiais segregados, de forma a possibilitar seu uso futuro ou futura utilização da área.
Área de transbordo e triagem de RCD e de resíduos volumosos (ATT)	É a área destinada ao recebimento de RCD e de resíduos volumosos, para triagem, armazenamento temporário dos materiais segregados, eventual transformação e posterior remoção para destinação adequada.
Beneficiamento	É o ato de submeter um resíduo a operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto.
Reciclagem	É o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação.

Fonte: Resolução CONAMA nº 307/2002

A preocupação com a problemática dos resíduos resultou na criação de legislações, não somente no Brasil, mas também em outros países.

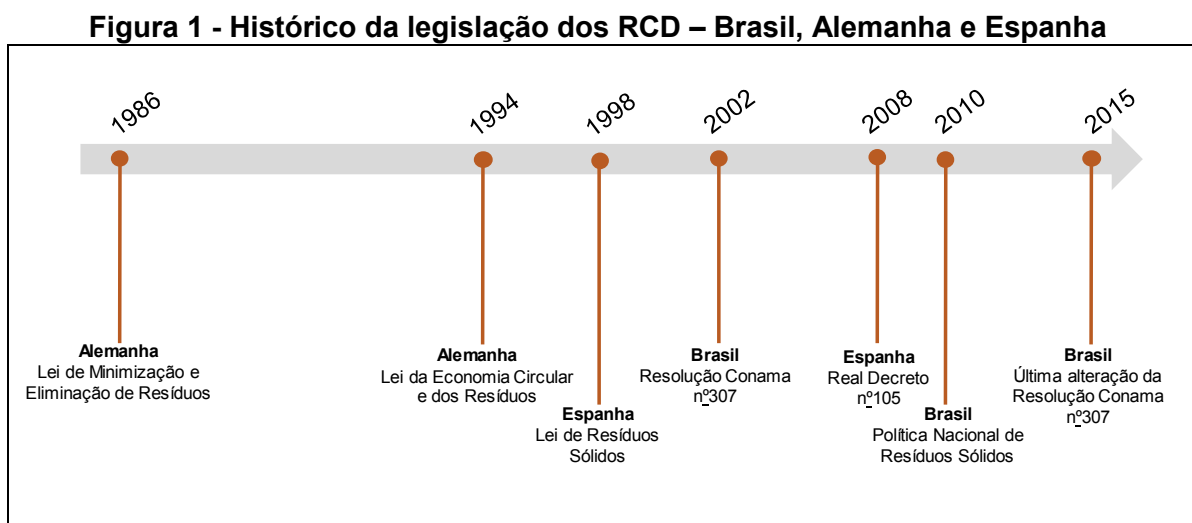
A Alemanha é considerada referência mundial em tecnologias e políticas de resíduos. Sua primeira lei acerca do tema é chamada de “Lei de Minimização e Eliminação de Resíduos” e foi publicada em 1986. Essa lei baseou a mudança em diversos outros regulamentos de várias áreas.

Em 1994, foi publicada a “Lei de Economia Circular e dos Resíduos”, substituindo a lei anterior, e essa rege o tema até os dias atuais e, segundo seu preâmbulo, “*dispõe sobre promoção da economia circular, segurança e manejo ambientalmente saudável dos resíduos*”.

A Alemanha é pioneira na adoção de medidas destinadas a equacionar a problemática dos resíduos sólidos. Inspirados na legislação alemã, a maior parte dos países europeus vem adotando regras bastante rígidas em relação ao tema. Além disso, com vistas a aproximar o tratamento dado à questão, a União Europeia vem editando várias normas referentes a resíduos sólidos e estas normas estão sendo transpostas para leis nacionais em vários países, como a Espanha (Juras, 2012).

Assim como o Brasil, a Espanha possui a Lei nº 10/1998, que rege os resíduos de forma ampla, e o Real Decreto nº 105/2008, que, de acordo com o preâmbulo, regulamenta a geração e a gestão dos RCD.

Com o intuito de contextualizar a situação dos instrumentos jurídicos dos países apresentados, a Figura 1, a seguir, ilustra a ordem cronológica de publicação das referidas leis.



A Figura 1 apresenta a grande distância da data de publicação da primeira lei alemã, em comparação com as leis dos demais países, e mostra que, no Brasil, a lei específica dos RCD foi publicada 8 anos antes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, confirmando a importância dada aos RCD no país.

Como o enfoque do trabalho são os RCD, foram comparadas as seguintes leis: Resolução CONAMA nº 307/2002 (Brasil), Lei de Economia Circular e dos Resíduos (Alemanha) e Real Decreto nº 105/2008 (Espanha).

As leis da Alemanha e Espanha trouxeram um ponto não apontado na lei brasileira. Nesses países, solos e pedras não contaminados por substâncias perigosas, reutilizadas na mesma obra, em outra obra ou em uma atividade de restauração, acondicionamento ou preenchimento, sempre e quando possa se provar, de forma confiável, seu destino ou reutilização, não são considerados resíduos. No Brasil, no entanto, independente da destinação dada ao solo, esses são considerados resíduos.

Os planos de gestão e gerenciamento de resíduos são exigidos em todos os países estudados, porém de formas distintas. O Quadro 5 apresenta uma compilação da forma como essa cobrança aparece em cada lei.

Quadro 5 - Exigência de planos de gestão e gerenciamento de resíduos (Brasil, Alemanha e Espanha)

País	Item	Nomenclatura/Responsabilidade		
Brasil	Nome	Planos Municipais de Gestão de Resíduos da Construção Civil	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil	
	Responsável	Municípios e Distrito Federal	Grandes geradores	
Espanha	Nome	Programas de Prevenção de Resíduos Sólidos	Estudo de Gestão de Resíduos da Construção Civil	Projeto Executivo do Estudo de Gestão de Resíduos da Construção Civil
	Responsável	Países da União Europeia	Gerador de Resíduo	
Alemanha	Nome	Planos de Gestão de Resíduos Sólidos	Programas de Prevenção de Resíduos Sólidos	
	Responsável	Municípios, condados e suas respectivas concentrações, transportadores e áreas receptoras	Países da União Europeia	

Fonte: Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010, Brasil; Resolução Conama nº 307/2002, Brasil; Real Decreto nº 105/2008, Espanha. Lei de Economia Circular e dos Resíduos, Alemanha;

Quanto aos dados apresentados no Quadro 5, merece destaque o fato de somente a Espanha não exigir a elaboração de planos municipais e somente a Alemanha não exigir a elaboração de planos aos geradores.

No que diz respeito à destinação dos RCD, a lei brasileira estabelece que os mesmos não podem ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, podendo ser destinados para aterros de resíduos inertes. A lei espanhola proíbe a disposição destes resíduos em qualquer tipo de aterro e, na Alemanha, nenhum tipo de resíduo pode ser aterrado, inclusive os domiciliares.

Quanto às obrigações dos agentes envolvidos nos fluxos dos RCD, a lei da Alemanha mostra-se bem mais exigente do que as dos demais países, mesmo sendo mais

abrangente. Nesse país, a lei exige que as áreas receptoras verifiquem as características dos resíduos recebidos, que os transportadores mantenham um diário de bordo, com detalhes das operações, e que os geradores caracterizem os resíduos destinados ao transporte.

A lei da Espanha também estabelece algumas exigências: o gerador deve dispor de documentação que comprove o gerenciamento dos resíduos por 5 anos; a administração pública deve garantir que as obras públicas sejam estimuladas à não geração, à valoração dos RCD, ao uso de agregado reciclado e de outros materiais reciclados e à utilização de materiais e resíduos inertes; o poder público espanhol pode instituir fiança, como forma de garantia do atendimento das obrigações.

Após a análise das regulamentações apresentadas, pode-se concluir que as leis estrangeiras trazem poucas novidades para a lei brasileira e que essa, mesmo sendo mais recente que a lei alemã, revela-se bastante sólida.

No Brasil, outras normas complementam os conceitos relacionados aos RCD, além de definirem padrões a serem adotados na elaboração de projetos, instalações e utilização das áreas de recebimento dos materiais.

Quadro 6 - Normas da ABNT que regem os RCD no Brasil

Conteúdo	NBR	Disposição
Manejo dos RCD	11.174/2004	Armazenamento de Resíduos Classe II - Não Inertes e III – Inertes*.
	13.221/2004	Transporte de resíduos.
Diretrizes para áreas de recebimento de RCD	15.112/2004	Diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e volumosos.
	15.113/2004	Diretrizes para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos da construção civil e resíduos inertes.
	15.114/2004	Diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos da construção civil.
Utilização de agregados reciclados	15.115/2004	Procedimentos para execução de camadas de pavimentação de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.
	15.116/2004	Requisitos para utilização, em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural, de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.

*Os resíduos Classes II e III da NBR 11.174/2004 correspondem aos classificados como IIA e IIB pela NBR 10.004/2004.

Das normas apresentadas, a norma ABNT NBR nº 15.114/2004 merece destaque pois, segundo Sobral (2012), é a primeira no hemisfério sul a tratar das diretrizes para implantação e operação de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil, apresentando procedimentos que garantam o controle da qualidade dos produtos gerados e, até mesmo, dos resíduos rejeitados.

O Brasil também se destaca pela elaboração das normas ABNT NBR nº 15.115 e 15.116 pois, segundo Esguícero (2010), é um dos poucos países que possui normas específicas para a utilização de agregados reciclados.

2.2 A problemática dos resíduos da construção e demolição (RCD)

Um dos maiores desafios da indústria da construção civil é o desenvolvimento de suas atividades, de forma a gerar o mínimo de perdas de materiais, quanto for possível, durante todas as etapas construtivas, questão que vem sendo discutida no Brasil, ao longo dos últimos anos, de forma acentuada, sendo que, para Formoso *et al.* (2002), é preocupante o elevado índice de perdas no setor.

No Brasil, há quase duas décadas, o autor Pinto (1999) evidenciou preocupação com os expressivos volumes de RCD gerados nas atividades construtivas, principalmente devido aos problemas agravados por sua disposição irregular, o que possibilita a proliferação de vetores. Segundo o autor, pesquisas realizadas sobre perdas de materiais na construção e demolição concluem que, em diversas metodologias utilizadas, as informações coletadas apontam uma estimativa de geração de resíduos situando-se no intervalo de 20 a 30% da massa total de materiais.

O autor estabelece ainda que a geração per capita dos RCD fica está entre 0,40 e 0,76 t/(habitante x ano), em alguns municípios brasileiros. Já Pinto e González (2005) adotam o valor de 0,52 t/(habitante x ano), que representa de 50 a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos.

Os RCD começam a chamar atenção a partir da comparação entre os seus índices de geração e os dos demais resíduos. Dias (2013) relata que, mundialmente, os RCD surgem com elevada participação no total de resíduos sólidos, o que também acontece no cenário brasileiro, no qual, segundo Pinto (1999), tais resíduos demonstram supremacia na composição dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU, em cidades de médio e grande porte.

Muito se discute sobre as causas do alto índice de geração de RCD. O método de construção artesanal, ainda utilizado no Brasil, e a falta de planejamento – escolha do método construtivo, superdimensionamento, contratação de mão de obra qualificada – são as mais citadas. Souza (2004) acrescenta que, além das causas apresentadas, a ineficiência em alguns processos e as grandes dimensões das construções contribuem para a alta geração dos RCD.

Além de serem gerados em grande quantidade, os RCD possuem excessivo volume e diferentes tipologias, características que, de acordo com Fukurozaki e Seo (2004), agravam o ônus financeiro com seu manuseio, principalmente com transporte e destinação. O poder público é afetado com o alto índice de disposições irregulares, enquanto, os próprios geradores, com o gerenciamento interno das obras, transporte externo e, em especial, destinação que, nos grandes centros, torna-se complexa e onerosa.

Dias (2013) afirma ainda que, devido a estes fatores, a necessidade de gerenciá-los de forma a atender a legislação nacional e reduzir os impactos causados é iminente.

A grande quantidade dos RCD gerados torna o seu gerenciamento indispensável, sendo que a ineficiência desse processo é definida, por Barreira (2005), como o “Colapso do Lixo”, agravado pela falta de locais para destinação dos materiais e pelas técnicas cada vez mais onerosas para seu tratamento.

O panorama geral, na maioria dos municípios brasileiros, é de ineficiência no manejo dos RCD, tanto em se tratando de ações privadas, quanto públicas. A realidade é que as administrações municipais não possuem recursos especializados, capazes de planejar, gerenciar e fiscalizar a grande quantidade de resíduos gerada. Além disso, as medidas adotadas no controle dos impactos acarretados por estes resíduos têm caráter apenas emergencial e corretivo.

Daher e Fabr (2012) discutem sobre a gravidade do descarte irregular dos resíduos provenientes de processos construtivos, reformas ou demolições, que, quando destinados a locais inapropriados, podem acarretar sérios problemas ambientais.

Os geradores, responsáveis pela correta destinação dos resíduos, juntamente com o poder público, responsável pela destinação dos descartes irregulares, buscam soluções que impeçam a destinação final para locais inapropriados.

Fukurozaki e Seo (2004) destacam que o complexo gerenciamento dos RCD e o alto custo com transporte e destinação final dos materiais estão entre os principais desafios resultantes do alto índice de geração de resíduos nas atividades de construção civil.

Apesar do consenso sobre os altos índices de geração dos RCD, dados precisos sobre quantidade e, principalmente, tipo do material gerado, ainda são escassos. Pinto (1999) analisa diversos documentos em busca dessas informações e relata que subsiste uma séria carência de informações sobre as completas características dos resíduos, principalmente dos RCD.

Oliveira (2008) afirma que a composição e a quantidade dos resíduos gerados nas atividades de construção civil dependem de diversos fatores, como os sistemas e técnicas construtivas utilizadas, o que faz com que tenham propriedades bem

peculiares. Segundo Dias (2013), essas características dependem também do estágio de desenvolvimento da indústria local.

Principalmente devido a essa diversidade de fatores que influenciam a geração dos RCD, sua quantificação, em especial, quando realizada por tipologia, torna-se um desafio. Dias (2013) realizou um minucioso trabalho de entendimento dos dados existentes de estimativa de RCD e concluiu que inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas, apresentando diversos métodos, a partir de características específicas.

Alguns dos dados identificados por diversos autores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativa de geração de RCD por diversos autores

Autor	País	Ano	Estimativa (m ³ /m ²)
Pinto	Brasil	1999	0,13
Miranda	Brasil	2009	0,10
Mañà I Reixach <i>et al.</i>	Espanha	2000	0,12
Ortiz <i>et al.</i>	Espanha	2010	0,17
Kharrufa	Bagda	2007	0,18
Katz e Baum	Israel	2010	0,20

Fonte: Dias, 2013, adaptado; Miranda, Angulo e Careli, 2009.

Para facilitar a comparação entre os dados existentes, os mesmos foram apresentados na unidade m³/m² de área construída, por ser a mais praticada. Para tanto, foi utilizada a densidade aparente dos RCD de 1,2 t/m³, calculada por Couto Neto (2007) e Tessaro, Sá e Scremin (2012), e adotada por Pinto e González (2005).

De acordo com Esguícero (2010), “os métodos de mensuração e estimativas dos RCD encontrados na literatura apresentam grande disparidade, dificultando a escolha por um método consistente”, o que é reforçado pelos dados apresentados na Tabela 1.

2.3 Aspectos técnicos relacionados às usinas de beneficiamento de resíduos da construção e demolição

Toda a legislação brasileira que aborda a gestão e o gerenciamento dos resíduos define a política dos 3Rs - redução, reutilização e reciclagem - como princípio para auxílio no enfrentamento das dificuldades oriundas do alto índice de descarte de materiais. Dentre as três técnicas sugeridas pelas normativas, a reciclagem se difere

por ser a única alternativa pós-descarte, que se resume em transformar os resíduos em novos recursos, trazendo-os de volta à cadeia produtiva.

Os RCD possuem alto potencial de reciclagem, com destaque para a fração classificada como Classe A. Porém, mesmo com o alto poder de reciclagem, no Brasil, a maioria dos empreendimentos receptores dos RCD somente aterram essa fração dos RCD, com iniciativas escassas de triagem e reciclagem dos mesmos.

Fonseca (2014) define as usinas de beneficiamento de RCD como alternativa sustentável para a destinação dos resíduos, pois permite a reinserção desses materiais na cadeia produtiva, com diminuição da extração de recursos naturais de fontes não renováveis, do consumo de energia e do desperdício.

Miranda, Ângulo e Careli (2009) investigaram a história da reciclagem da fração Classe A dos RCD no Brasil e descobriram que a atividade vem se fortalecendo desde seu início, na década de 90, mas que, até 2009, somente 4,5% do total dos resíduos gerados poderiam ser processados. Além disso, Silva (2012) complementa que as usinas existentes no país não possuem técnicas adequadas a um preço acessível, condição essencial para o bom desenvolvimento do setor.

Atualmente, no país, existem várias usinas de beneficiamento de RCD, a maioria administrada por municípios e algumas poucas pela iniciativa privada. Os resultados sociais e ambientais têm sido favoráveis, apesar de todas as dificuldades encontradas pelos seus administradores: técnicas, legais e sociais (Cunha, 2007).

Para um entendimento mais aprofundado sobre usinas de beneficiamento de RCD, foi realizada uma pesquisa bibliográfica a respeito dos dados operacionais e econômicos de empreendimentos em funcionamento ou a serem instalados.

As informações coletadas e analisadas para a construção deste item são oriundas de diversos estudos com objetivos, metodologias, escalas de produção e épocas distintas. O detalhamento de itens como projetos, infraestrutura, equipamentos, equipe e custos administrativos podem variar significativamente e foram padronizados, na medida do possível.

Os dados financeiros coletados foram corrigidos pela inflação, por meio do Índice Geral de Preços do Mercado – IGPM, definindo-se a data de início como 1º de janeiro

do ano informado pelo autor e a data final como 1º de janeiro de 2017. Tais valores corrigidos são apresentados neste estudo como “Valor 2017”.

2.3.1 Investimentos

2.3.1.1 Área

O primeiro item estudado foi o tamanho da área necessária para a instalação dos equipamentos e da infraestrutura para funcionamento da usina, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Área para instalação de uma usina

Autor	Capacidade (t/h)	Área (m ²)	
		Total	Construída
Sobral (2012)	20,0	11.600	-
Esguícero (2010)	25,0	10.000	-
Miranda (2009)	50,0	10.000	-
Jadovski (2006)	30,0	8.000	100
	50,0	12.000	100
	100,0	20.000	100
Júnior (2005)	37,5	11.000	-
Pinto (1999)	32,5	5.000	-

Como pode ser verificado na Tabela 2, o tamanho da área sugerida pelos autores pode variar muito, sendo que um dos principais pontos que podem influenciar no tamanho da usina é o *layout* utilizado, que pode otimizar o espaço disponível para as atividades.

Campagna (2012) sugere o uso do sistema SLP – Planejamento Sistemático de *Layout* para a determinação do *layout* ideal para usinas de beneficiamento de RCD, exemplificando-o, por meio do seu estudo, em uma usina de Porto Alegre. Segundo a autora, o sistema SLP analisa o fluxo dos materiais transportados entre os departamentos e a necessidade de proximidade entre cada um deles, sendo um sistema bastante útil para determinar o melhor uso de espaços industriais.

Segundo Sobral (2012), a localização, a acessibilidade e a mobilidade da área onde a usina será instalada são aspectos que devem ser, obrigatoriamente, analisados durante a fase de projeto de instalação de um empreendimento desta natureza e porte,

o que é reafirmado por Miranda (2009), que cita a localização do empreendimento como um dos itens primordiais a ser considerado na fase de planejamento da instalação da usina.

Ainda de acordo com Miranda (2009), deve-se buscar um equilíbrio na definição da localização do empreendimento, para que o projeto não seja inviabilizado, nem pelo valor do frete, majorado devido às longas distâncias a serem percorridas entre a usina e os centros geradores/consumidores, nem por possíveis dificuldades com licenciamento ambiental, devido à necessidade de controle dos impactos, possivelmente intensificados pela proximidade a regiões urbanizadas.

Nesse sentido, outra orientação é dada por Sobral (2012), que enfatiza a necessidade de estudo do Código Urbanístico, ou similar, do município onde a usina será instalada, evitando, assim, conflitos com a legislação vigente.

Ressalta-se que nenhum dos autores estudados apresentou considerações sobre os custos com aquisição de terreno, porém estes são relevantes para as estimativas de investimento nas usinas.

2.3.1.2 Projetos e licenças ambientais

Apesar de pouco citado pelos autores estudados, os custos com projetos para a instalação das usinas de beneficiamento de RCD são importantes e devem ser previstos no cronograma de instalação e no orçamento, e o licenciamento ambiental deve ser previsto conjuntamente, por ser realizado no mesmo momento. As Tabelas 3 e 4 apresentam as estimativas de custos com esses itens, de acordo com diversos autores.

Tabela 3 - Estimativa de custos com projetos

Autor	Capacidade (t/h)	Valor (R\$)	Valor 2017 (R\$)
Fonseca (2014)	40	11.050,00	13.661,55
Prefeitura de Juiz de Fora - PJF, Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF (2010)	40	16.000,00	26.330,37

Tabela 4 - Estimativa de custos com licenças ambientais

Autor	Capacidade (t/h)	Valor (R\$)	Valor 2017 (R\$)
Fonseca (2014)	40	1.450,00	1.792,69
Miranda (2009)	-	6.000,00	9.873,89

É importante salientar que, na fase de planejamento do empreendimento, deve-se considerar o prazo para aprovação das licenças ambientais junto aos órgãos competentes. Segundo Miranda (2009), este processo pode demorar mais de 6 meses, desde a entrada do processo até a emissão da licença de operação.

2.3.1.3 Infraestrutura

Segundo os autores estudados, apresentados na Tabela 5, para a instalação de uma usina devem ser estimadas também as obras de infraestrutura, como sede administrativa, guarita, vestiários e refeitório, bem como as obras para instalação dos equipamentos, como terraplenagem e contenção.

Os dados referentes aos custos com infraestrutura, de acordo com diversos autores, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Estimativa de custos com infraestrutura

Autor	Capacidade (t/h)	Valor (R\$)	Valor 2017 (R\$)
Sobral (2012)	20	45.000,00	86.114,22
Esguícero (2010)	25	20.000,00	32.912,96
PJF, UFJF (2010)	40	190.815,66	314.015,45
Miranda (2009)	-	150.000,00	242.620,52
Júnior (2005)	37,5	50.000,00	122.871,54

Segundo Miranda (2009), como os equipamentos possuem desgaste excessivo e necessitam de manutenção constante, a previsão de uma pequena oficina na usina pode reduzir as paradas de produção e o custo de manutenção.

2.3.1.4 Bens de consumo

Segundo Sobral (2012), além do conjunto dos equipamentos que compõe a parte fixa da usina, também devem ser adquiridos bens de consumo para o funcionamento do escritório, como mobiliário, computadores, impressora e telefone.

O Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil de Juiz de Fora previu o valor de R\$30.463,00, gastos com esses itens no ano de 2010, equivalente a R\$50.131,38, quando atualizado para o ano de 2017 (PJF, UFJF, 2010).

2.3.1.5 Aquisição de equipamentos

Os equipamentos necessários para o processamento dos RCD em uma usina de beneficiamento são listados na Tabela 6.

Tabela 6 - Equipamentos necessários para funcionamento da usina					
Equipamento	Autor/ Capacidade (t/h)				
	Sobral (2012)	Manfriato (2008)	Jadovski (2006)		
	20	25	30	50	100
Alimentador vibratório	x	x	x	x	x
Britador	x	x	x	x	x
Rebritador	x	x	x	x	x
Peneiras vibratórias	x	x	x	x	x
Esteiras transportadoras	x	x	x	x	x
Imã permanente	x	-	-	-	-
Quadro elétrico	x	x	-	-	-
Retroescavadeira	-	-	-	x	x
Pá carregadeira	x	x	x	-	-
Caminhão basculante	-	-	x	x	x
Rompedor	x	-	-	-	-

Dos equipamentos apresentados pelos autores, o britador é o mais importante da usina, sendo responsável pela trituração dos materiais e transformação dos mesmos no produto final.

Quanto ao tipo de britador a ser utilizado no beneficiamento dos RCD, os mais usuais são os com sistemas de mandíbula e de impacto; porém, segundo Pinto (1999), não há um tipo específico de britador que apresente ótimos resultados em todas as condições, exigindo que diversas características sejam analisadas no momento da escolha do melhor equipamento.

O Quadro 7 apresenta algumas características dos britadores de mandíbula e impacto listadas pelos autores.

Quadro 7 - Características dos britadores

Autor	Características	
	Impacto	Mandíbula
Sobral (2012)	<ul style="list-style-type: none"> - Permitem alta produção, com menor consumo de energia; - Aceitam alimentação com materiais de grandes dimensões; - Geram produtos com maior quantidade de finos. 	<ul style="list-style-type: none"> - São recomendados apenas quando o material a ser trabalhado possui natureza cerâmica, com baixa dureza; - Garantem maior uniformidade das partículas produzidas; - São ideais para materiais a base de concreto, se associados a britador de martelo.
Esguícero (2010)	<ul style="list-style-type: none"> - São utilizados para obtenção de agregados com granulometria ideal para aplicação em obras rodoviárias; - São menos sensíveis aos materiais que não podem ser britados, como as barras de aço da armação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Em caso de necessidade de partículas com menores dimensões, é necessário rebitagem; - Geram produtos com granulometria ideal para a produção de concreto estrutural.
Miranda (2009)	<ul style="list-style-type: none"> - Devem ter aspersores de água em sua parte superior e central. 	<ul style="list-style-type: none"> - A emissão de poeira é muito menor e mais fácil de ser controlada.
Jadovski (2006)	<ul style="list-style-type: none"> - São equipamentos mais indicados para a produção de bica corrida. 	<ul style="list-style-type: none"> - Possuem maior vida útil; - São mais resistentes; - São mais indicados para a produção de areia e brita (agregados para concreto); - Exigem maior cuidado com a presença de materiais estranhos, como madeira e metais.
Pinto (1999)	<ul style="list-style-type: none"> - São menos sensíveis à presença de resíduos de madeira e metálicos; - Oferecem melhor capacidade de redução de partículas; - São considerados os melhores equipamentos para a produção de agregados para uso em serviços de pavimentação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Quando associados a um outro equipamento para britagem secundária, são os melhores produtores de agregados para concreto; - São bastante suscetíveis à presença de resíduos de madeira e metálicos, caso não disponham de dispositivo de alívio para essas eventualidades.

Para a estimativa dos investimentos em equipamentos, foi realizada pesquisa junto a um fabricante, a empresa Máquina Solo, que foi escolhida por ser conceituada no mercado de equipamentos no país e por ter interesse em colaborar com a pesquisa.

A Tabela 7 apresenta o custo de aquisição dos equipamentos:

Tabela 7 - Estimativa de investimento em equipamentos, de acordo com a capacidade da usina

Equipamento	Valor 2017 (R\$)	
	30 t/h	80 t/h
Britador*	175.000,00	640.000,00
Peneiras vibratórias	120.000,00	120.000,00
Esteiras transportadoras	35.000,00*	35.000,00**
Retroescavadeira	140.000,00	140.000,00
Pá carregadeira	320.000,00	320.000,00
Rompedor	25.000,00	25.000,00

Fonte: Máquina Solo

*Considerando uma esteira, associada ao britador, de 10 metros de extensão

Segundo o fabricante, o britador mais indicado para redução do tamanho das partículas dos RCD possui sistema de mandíbula. O equipamento cotado é composto por alimentador vibratório, britador, imã e quadro elétrico em uma única estrutura.

Outro diferencial desse fabricante é a compacidade do equipamento, que não requer instalação mecânica e elétrica e nem infraestrutura, como fundação e sustentação.

O transporte e a instalação do equipamento, incluindo testes de dois dias, variam aproximadamente entre R\$10,00/km, para o equipamento com capacidade de 30 t/h, e R\$20,00, para o equipamento com capacidade de 80 t/h, considerando a sede do fabricante em Cotia/SP.

2.3.1.6 Instalação de laboratório

A instalação de laboratório nas usinas ainda é incipiente no Brasil, porém mostra-se interessante por garantir maior controle de produção, com a qualidade requerida para produtos com elevada requisição de desempenho, o que, segundo Miranda (2009), pode facilitar a comercialização, pela segurança transmitida ao consumidor.

Segundo o mesmo autor, o custo estimado do controle tecnológico dos agregados reciclados, em uma usina com capacidade de produção de 48 t/h, considerando a densidade dos resíduos de 1,2 m³/t e a produção de 7 horas/dia, no ano de 2010, era de R\$2.940,00/mês, valor que, se corrigido para o ano de 2017, corresponde a

R\$4.838,21/mês, o que comumente representa menos de 2% do custo de implantação da usina.

2.3.2 Custos

2.3.2.1 Equipe

Os dados referentes à equipe necessária para o funcionamento de uma usina de beneficiamento, bem como o norteamto do custo com equipe, são compilados na Tabela 8.

Tabela 8 - Estimativa de custos com equipe

Autor	Fonseca (2014)	Sobral (2012)	PJF, UFJF (2010)	Júnior (2005)	Salário (R\$/mês)
Capacidade t/h	40	20	40	37,5	
Cargo	Número de Funcionários				
Engenheiro coordenador	1*	1	1	1	6.637,71
Administrador	-	-	1	-	3.626,20
Porteiro	1	-	-	1	1.180,92
Encarregado de triagem	1	-	1	-	2.350,17
Auxiliar de triagem	5	3	6	5	1.225,50
Operador de britagem	1	2	-	1	1.777,83
Operador de pá carregadeira	1	1	1	1	1.651,73
Ajudante geral	1	1	2	-	1.069,82
Motorista de caminhão	1	-	-	-	1.719,60
Ajudante administrativo	1	1	3	1	1.175,16
Mecânico/Eletricista	1	1	2	1	1.953,39
Vigia	-	6**	-	-	1.342,73
Fiscal	-	2	-	-	2.128,62
Total	14	18	17	11	-

*meio período

**turnos alternados

Para estimativa dos salários dos funcionários, foram utilizados dados disponibilizados pelo site www.salariobr.com.br, o qual utiliza como fonte os currículos cadastrados no Banco Nacional de Empregos e contribuições salariais do Salário BR dos últimos doze meses, considerando o empreendimento como pequena empresa, o nível profissional pleno e o valor do salário mínimo para o ano de 2017.

No valor apresentado também foram considerados os custos com salários os encargos e benefícios, que podem ser estimados em 60%, considerando que a empresa estaria enquadrada no Simples Nacional, incluindo FGTS, Férias, 13º Salário, Provisão para Aviso Prévio (com FGTS e multa, Vale Transporte, Auxílio Alimentação e Plano de Saúde.

2.3.2.2 Administração

As despesas administrativas coletadas, como contador, telefone, taxas diversas e internet, são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Estimativa de custos administrativos

Autor	Capacidade (t/h)	Valor (R\$/mês)	Valor 2017 (R\$/mês)
Fonseca (2014)	40	5.300,00	6.552,60
Jadovski (2006)	30	570,00	1.132,75

2.3.2.3 Manutenção

Segundo Esguícero (2010), os custos com manutenção estão relacionados com gastos inerentes à conservação dos equipamentos instalados, troca de peças desgastadas pelo uso e prevenção de desgaste das máquinas, equipamentos e veículos que compõem o patrimônio da usina.

Segundo a Máquina Solo, fabricante dos equipamentos orçados para o presente trabalho, os custos com manutenção e reposição das peças dos equipamentos previstos são de R\$1.852,20/mês, para os equipamentos com capacidade de produção de 30 t/h, e de R\$2.734,20/mês, com capacidade de produção de 80 t/h, considerando uma produção de 7 horas/dia em 21 dias/mês.

2.3.2.4 Insumos

Gastos com água e energia elétrica devem ser considerados na estimativa dos custos mensais da usina, mas a quantidade dependerá das atividades e dos equipamentos instalados. A Tabela 10 apresenta os consumos coletados, padronizados por capacidade de produção, considerando a densidade média dos RCD de 1.2 t/m³.

Tabela 10 - Estimativa de consumo de insumos

Autor	Capacidade (t/h)	Água (l/t)	Energia (kWh/t)
PJF, UFJF (2010)	40	11,43	1,39
Manfriato (2008)	25	66,67	1,64
Júnior (2005)	15	50,32	0,43

Para Miranda (2009), o consumo de água será relevante somente quando o empreendimento optar por instalar sistemas de aspersores de água para controle de poeira. Para a energia elétrica, o mesmo autor salienta que é necessária a disponibilidade de um transformador de, pelo menos, 50 kW, para usinas de menor porte, ou de 100 kW, para usinas com capacidade a partir de 50 t/h.

2.3.2.5 Destinação dos rejeitos

Em todas as usinas de beneficiamento de RCD estudadas, os processos operacionais se assemelham. A etapa de inspeção visual para classificação dos resíduos, em limpos ou contaminados, é, na maioria das vezes, seguida da separação dos materiais contaminantes enquadrados nas Classes B, C e D.

Segundo Miranda (2009), os materiais contaminantes, na maioria das vezes, são papel, plástico, madeira, gesso e amianto, e esses podem ser triados, de forma manual ou mecanizada.

Fonseca (2014) afirma que, em média, 15% dos resíduos destinados às usinas de reciclagem são classe B e C, sendo a metade desses recicláveis (Classe B).

Existe uma preocupação a respeito da triagem e destinação dos materiais considerados contaminantes, presentes nos resíduos classe A. A fração reciclável pode ser comercializada, porém, em todas as circunstâncias, existirá uma porcentagem considerada rejeito, que deverá ser destinada corretamente.

Os custos com a destinação dos rejeitos devem ser considerados no orçamento das usinas, porém nenhum dos autores citam esse item em seus estudos.

2.3.2.6 Total

Alguns autores apresentam, em seus estudos, o valor do custo total de produção do agregado reciclado. Segundo Pinto (1999), esses valores são referências gerais, que podem ser alteradas por peculiaridades locais.

Tabela 11 - Custo total de produção de agregados reciclados

Autor	Custo total de produção (R\$/t)	Valor 2017 (R\$/t)
Manfriato (2008)	3,00	5,33
Jadovski (2006)	8,50	16,89
Pinto (1999)	5,00	22,84

2.3.3 Receitas

As receitas de uma usina de beneficiamento podem ser oriundas de várias fontes, sendo, em ordem de prioridade: (a) venda dos produtos; (b) recebimento dos materiais; (c) venda dos materiais considerados rejeitos para o processo.

Segundo Pinto (1999), é parte da lógica do negócio da reciclagem a diferenciação dos preços, tanto para o descarte dos resíduos pelos geradores e coletores, como para a venda do material beneficiado.

2.3.3.1 Recebimento de matéria prima

A cobrança para recebimento dos resíduos é decisão lógica a ser tomada pelos investidores do setor, que prestam o serviço de agente receptor dos resíduos. A cobrança é considerada como um dos fatores principais para o sucesso do empreendimento. De acordo com Miranda (2009), a cobrança de uma taxa para o recebimento de RCD na usina não é fundamental para a viabilidade econômica, mas interessante, pois pode representar cerca de 30% dos custos mensais de operação da mesma.

Para a estimativa dos valores cobrados para o recebimento dos resíduos, foi realizada pesquisa de mercado nas áreas receptoras da região metropolitana de Belo Horizonte, a Tabela 12 apresenta os valores encontrados:

Tabela 12 - Custo de recebimento dos resíduos

Empresa	Solo (R\$/5m³)	Classe A (R\$/5m³)	Mix (R\$/5m³)	Madeira (R\$/5m³)
Radial	50,00	50,00	50,00	50,00
Elo Reciclagem	50,00	50,00	50,00	50,00
Alicerce	25	25	-	-
CTR Maquiné	90,00	180,00	270,00	-

Os valores da Tabela 12 foram apresentados em R\$/5m³, devido ao fato dos empreendimentos do setor cobrarem pelo serviço de recebimento de resíduos por caçambas recebidas, sendo a capacidade das mesmas 5m³.

2.3.3.2 Venda dos produtos

Segundo Miranda (2009), do ponto de vista puramente econômico, a reciclagem dos resíduos de construção é atrativa somente quando o produto reciclado é competitivo com o agregado natural, em relação ao custo e à quantidade.

O autor orienta que o preço de venda dos materiais reciclados não deve superar 75% do preço do agregado natural, para não dificultar a comercialização, enquanto Fonseca (2014) afirma que o preço estipulado para venda dos agregados reciclados é 60% do preço cotado para os agregados naturais.

Tabela 13 - Valor de venda dos produtos - Agregados reciclados

Autor	Características	Valor (R\$/m³)	Valor 2017 (R\$/m³)
PJF, UFJF (2010)	Brita marroada	22,00	36,20
	Brita 1	27,00	44,43
	Brita 0	27,00	44,43
	Areia pedrisco	25,00	41,14
Manfriato (2008)	Agregado reciclado	7,32	13,00
Jadovski (2006)	Brita	12,50	24,84
	Areia reciclada	25,00	49,68
Júnior (2005)	Agregado reciclado	3,41 - 7,00	8,38 - 17,20

Analisando os dados da Tabela 13, concomitantemente aos dados expostos no item 2.3.2.6 Custo Total, pode-se observar que os autores Manfriato (2008) e Jadovski (2006), respectivamente, afirmam que o custo de produção do agregado reciclado é 40 e 68% do valor de venda dos produtos gerados na usina.

Miranda (2009) salienta a importância do consumo dos agregados reciclados pelas prefeituras dos municípios, visto que a maior parte dos resíduos que chegam nas usinas é de origem cerâmica, gerando produtos com principal uso em base e sub-base de pavimentos, atividade realizada intensamente por esses órgãos públicos. Além disso, a capacidade de consumo de agregados reciclados pelo setor é suficiente para garantir o sucesso do empreendimento.

2.3.3.3 Venda dos recicláveis

A geração de receita com a venda dos resíduos Classe B destinados para a usina, como contaminantes dos resíduos Classe A, é possível, em alguns casos. Porém, segundo Miranda (2009), deve-se tomar cuidado ao inserir a renda com venda dos reciclados nas estimativas financeiras de novas usinas. É importante primeiro verificar se os resíduos recebidos terão materiais vendáveis em quantidade suficiente, se existe mercado comprador para esses produtos, quais são as suas exigências e se a usina terá espaço suficiente para a triagem dos materiais.

De acordo com o mesmo autor, em 2008, a renda obtida com a venda dos materiais recicláveis correspondia, em algumas usinas, a aproximadamente R\$1,00 por 1,2 t de resíduo Classe A recebido, dependendo da quantidade de impurezas Classe B e C presentes no RCD, valor que, se corrigido para o ano de 2017, corresponde a R\$1,71 por 1,2 t.

3 METODOLOGIA

3.1 Quantificação e composição dos RCD em edificações de grande porte

A quantificação e composição dos RCD em edificações de grande porte, apresentada no item 4.1, foi embasada na análise de dados de geração de resíduos em 12 obras de grande porte, localizadas na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, realizadas por construtoras certificadas pelo PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat) e que tiveram sistema de gerenciamento de resíduos em seus canteiros, garantindo o registro dos dados analisados.

Os dados utilizados foram obtidos a partir da análise dos registros de atividades de gerenciamento de resíduos, assistidas por empresa especializada - Ambiência Soluções Sustentáveis - realizadas nas obras avaliadas, que possibilitaram o efetivo registro e controle dos dados dos resíduos gerados e destinados pelas construções.

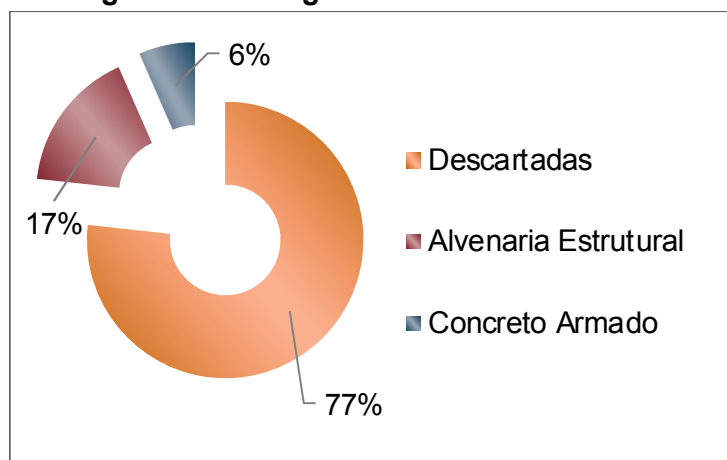
Para o desenvolvimento deste item, optou-se por trabalhar com dados de obras com as seguintes características:

- Com sistema gerenciamento de resíduos, do início ao fim das atividades construtivas.
- Concluídas até o momento da elaboração deste estudo.
- Com índice de segregação dos resíduos maior que 80%.
- Realizadas por construtoras certificadas no PBQP-H.
- Com finalidade de uso residencial.
- Localizadas na região metropolitana de Belo Horizonte.

Das 60 obras analisadas, 12 se enquadraram no perfil pré-estabelecido por este estudo, sendo todas multifamiliares, verticais e de grande porte, em construção entre os anos de 2011 e 2015. As obras selecionadas foram agrupadas de acordo com o método construtivo utilizado, pois essa característica influencia diretamente na composição dos resíduos gerados.

A Figura 2 apresenta a visão geral das obras analisadas para o presente estudo.

Figura 2 - Visão geral das obras analisadas



A empresa de consultoria especializada no gerenciamento de resíduos desenvolveu suas atividades nas obras analisadas por meio das etapas de planejamento, implantação e acompanhamento, nas quais foram realizadas diversas práticas que garantissem o correto manuseio desses materiais. Algumas das atividades desenvolvidas influenciam na geração dos resíduos, como: educação ambiental periódica para todos os funcionários, organização das áreas de armazenamento dos materiais, análise dos transportadores e das áreas receptoras dos resíduos e, principalmente, uso de sistema *online* para o registro e controle dos resíduos gerados – NET Resíduos.

Os dados utilizados neste estudo referente aos resíduos gerados são oriundos do procedimento denominado Registro e Controle, que ocorre habitualmente da seguinte forma:

- Quando os resíduos armazenados no canteiro de obras atingem quantidade pré-determinada, o funcionário encarregado entra em contato com a empresa transportadora e solicita a coleta e o transporte do material até a destinação.
- No momento da coleta dos resíduos, o transportador é responsável pela entrega do CTR - Comprovante de Transporte de Resíduos, documento que identifica o resíduo coletado, bem como os dados da obra, do transportador e da área receptora; o motorista, juntamente com o funcionário responsável pela obra,

confere os dados apresentados no documento, antes da saída dos resíduos da obra.

- Após a expedição dos resíduos, o funcionário responsável pelo registro e controle transfere os dados do CTR para a plataforma digital, onde os mesmos ficam armazenados permanentemente, de forma segura e centralizada.

Segundo Pimenta *et al.* (2015), o sistema *Online* utilizado pelas obras permite que os lançamentos das saídas de resíduos possam ser visualizados, por meio de listas e relatórios quali-quantitativos, que podem ser gerados aplicando diversos filtros de acordo com a demanda, os quais foram utilizados para elaboração deste estudo, garantindo, assim, sua confiabilidade e exatidão.

3.2 Quantificação e composição dos RCD em áreas de transbordo e triagem

A metodologia utilizada para a quantificação e composição dos RCD em áreas de transbordo e triagem foi um estudo de caso de duas ATT situadas na região metropolitana de Belo Horizonte, com coleta de dados quali-quantitativos sobre o recebimento, manejo e destino final dos RCD.

Os empreendimentos estudados, Alternativa Transportes e Entulhos Ebenezer, estão localizados nos municípios de Betim e Contagem, respectivamente, em Minas Gerais, e foram escolhidos por serem conceituados pelas empresas geradoras de RCD em toda a região, por estarem regularizados para exercerem suas atividades e por terem interesse em colaborar com a pesquisa.

Para o desenvolvimento do estudo, foram realizadas visitas técnicas para caracterização dos empreendimentos, entendimento das atividades realizadas e levantamento dos dados relativos aos resíduos, a serem analisados, os quais são listados a seguir:

- Métodos de manejo, obtidos através de entrevista com o gerente do empreendimento;
- Formas de destinação, obtidas através de documentação de destinação dos resíduos;

- Caracterização gravimétrica, obtida através de documentação de destinação dos resíduos.

No empreendimento a caracterização gravimétrica é realizada manualmente pela equipe de triagem, que separa os resíduos e dimensionam seu peso, através da cubagem e cálculo de densidade.

3.3 Panorama das áreas receptoras de RCD em BH e municípios limítrofes

A escolha dos municípios a serem estudados no panorama das áreas receptoras de RCD em Belo Horizonte e municípios limítrofes foi feita devido à verificação da carência de informações a respeito das áreas que recebem RCD em Belo Horizonte.

A delimitação de municípios próximos foi necessária devido à fluidez dos RCD, característica comum em regiões metropolitanas, onde os resíduos são gerados de forma difusa, permitindo a geração, o transporte, o transbordo e o destino em municípios vizinhos, uma vez que esses se situam muito próximos.

A coleta de dados para o estudo foi realizada da seguinte forma:

- Comunicação, por e-mails, ligações telefônicas e visitas, com as prefeituras dos municípios, por meio de suas secretarias que mais se relacionam ao tema, como as Secretarias de Obras e Meio Ambiente.

As informações repassadas por esses órgãos foram oriundas do conhecimento dos técnicos dos setores contatados, nem sempre sendo formais, de cadastros e registros existentes.

- Comunicação, por e-mails e ligações telefônicas, com a Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM, órgão responsável pelas licenças ambientais estaduais, por meio da Gerência de Resíduos Especiais.

As informações repassadas por esse órgão são referentes aos empreendimentos que deram entrada em processo de regularização ambiental até janeiro de 2016. Como a entrada no processo não garante que os empreendimentos estejam em operação atualmente, foi realizado contato telefônico com os mesmos, para atualização dos dados.

- Verificação das áreas de destinação de RCD gerados em obras de grande porte, cadastradas por empresa especializada em gerenciamento de resíduos (Ambiência Soluções Sustentáveis), até o ano de 2016.

Em todas as fontes de dados, foram verificadas as seguintes informações a respeito das áreas receptoras:

- Nome do empreendimento.
- Tipo de atividade exercida.
- Tipo de resíduo recebido.
- Endereço.

Ressalta-se que a intenção inicial foi a de pesquisar o maior número de informações sobre as áreas, como regularização e dados operacionais. Porém, como se tratam de dados confidenciais, os mesmos não foram disponibilizados pelos empreendimentos.

O contato com a empresa Ambiência possibilitou, além da verificação do funcionamento das áreas, o entendimento sobre as atividades realizadas, permitindo, assim, uma análise mais precisa da situação desse grupo de agentes do fluxo dos RCD.

Para o presente estudo, foram utilizadas as classificações dos resíduos e das áreas de recepção, em concordância com a Resolução Conama nº 307/2002. Porém, foi verificado que alguns empreendimentos realizam as atividades de triagem/transbordo e aterramento dos resíduos, por isso foi acrescentada a atividade denominada “Aterro Classe A e ATT”.

Para a organização dos dados coletados, os tipos de atividades exercidas foram classificados da seguinte forma:

- Aterro Classe A (Aterro CA).
- ATT.
- Aterro CA - ATT.

- Usina de Beneficiamento.

Os dados obtidos foram compilados e estão apresentados no capítulo a seguir - Resultados e Discussão.

A partir dos endereços dos empreendimentos, foi possível elaborar um mapa no software ArcGis, para a visualização da distribuição dos mesmos em toda a região.

Salienta-se que, para obtenção das coordenadas necessárias à elaboração do mapa, os endereços dos empreendimentos foram inseridos no Google Maps. Dessa forma, a localização dos mesmos pode apresentar pequena margem de erro, o que não influencia na qualidade do presente trabalho, que tem como intuito analisar a região por setores de forma ampla.

3.4 Estudo comportamental de usinas de beneficiamento de resíduos Classe A da construção e demolição

O estudo comportamental de usinas de beneficiamento da fração Classe A dos RCD pretende, por meio da análise de dados coletados em visitas técnicas realizadas em três usinas de reciclagem de RCD - Classe A, suprir a demanda de informações a respeito das usinas existentes, auxiliando no planejamento dos investidores do setor e na definição de políticas públicas de incentivo à reciclagem.

O estudo valeu-se de pesquisa documental das experiências de reciclagem de RCD Classe A, realizadas em todo o Brasil, visitas à algumas usinas de reciclagem, com coleta e análise de dados, sendo então definido como descritivo, segundo Cervo *et al.* (2007), e como documental, por Calado & Ferreira (2005).

Mesmo os resíduos provenientes das atividades de construção e demolição sendo enquadrados nas Classes A, B, C e D, as usinas visitadas beneficiam somente os resíduos Classe A. O presente estudo focou nos resíduos dessa classe, por representar a maior parcela do total de resíduos gerados pelas atividades de construção e por existirem poucas soluções para os mesmos no país.

Para o desenvolvimento do estudo, foi realizada uma pesquisa para identificação das usinas existentes no país, com a consulta de publicações na literatura técnica e acadêmica, eventos do setor (seminários e congressos), material disponível na

Internet e dados comerciais. Das usinas de reciclagem de RCD identificadas, foram selecionadas 3 para visitas, sendo elas: Unidade de Valorização de Resíduos de Construção Civil Grajaú, Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil Proguaru e Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Geresol.

As usinas visitadas, localizadas nos municípios de São Paulo, Guarulhos e Jundiaí, no estado de São Paulo, beneficiam os RCD - Classe A. A escolha das mesmas se deu em função de sua importância para o setor e por possuírem características distintas entre si, o que possibilitou uma análise mais abrangente do estado da arte desse tipo de atividade.

Por meio de entrevistas, com pretensão de obter uma visão geral das usinas, foram coletadas as seguintes informações:

- Dados gerais do empreendimento.
- Valor e fonte de investimentos.
- Características da matéria prima recebida e valor cobrado pelo recebimento.
- Procedimentos operacionais.
- Tipos e quantidades dos equipamentos utilizados.
- Características dos produtos e valor de venda dos mesmos.
- Destinação dos rejeitos.

Visando aprofundar o estudo sobre as usinas de beneficiamento de RCD, as informações sobre as despesas de operação e manutenção foram solicitadas, porém não foram disponibilizadas pelos empreendimentos.

Após a realização das visitas, os dados não informados foram obtidos por meio de contato telefônico, correspondências eletrônicas trocadas com funcionários e buscas em páginas da Internet. Em seguida, foi estabelecido um comparativo entre as áreas, com destaque para as melhores práticas realizadas em cada uma delas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Quantificação e composição dos RCD em edificações de grande porte

Baseado na diversidade de fatores que influenciam a geração de resíduos e nas peculiaridades de cada obra, a caracterização quantitativa dos resíduos torna-se um desafio, mas ainda se mostra essencial para o auxílio no planejamento das construções e para o gerenciamento de resíduos, principalmente na previsão de custos com transporte, destinação, organização do canteiro de obras e alocação de recursos humanos.

Nesse aspecto, há demanda por conhecimento desses dados, uma vez que as publicações disponíveis são desatualizadas, possuem metodologias de difícil replicação, desconsideram os diferentes métodos construtivos e não detalham as tipologias dos resíduos gerados.

O conhecimento da participação de cada tipo de material no total de resíduos sólidos gerados é essencialmente importante para traçar estratégias de gestão e gerenciamento. A caracterização qualitativa dos resíduos é fundamental, uma vez que, a partir da determinação dos constituintes e suas respectivas porcentagens em massa e volume, é possível estabelecer estudos e medidas que priorizem a redução, reutilização, reciclagem e recuperação energética (CÓRDOBA, 2010).

Nesse sentido, Angulo *et al.* (2011) complementam que a viabilidade técnica e econômica de uma área de triagem ou usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) depende da composição do material, condições de mercado para os potenciais produtos e escala de geração em cada município.

Dessa forma, este item apresenta o índice de geração de RCD, por tipologia, para obras de diferentes métodos construtivos, sendo informação gerencial de suma importância que pode ser empregada para diferentes finalidades, conforme Formoso *et al.* (2002). Dias (2013) acrescenta que a quantificação do RCD pode ser entendida como o primeiro passo para a gestão dos resíduos, pois permite um controle da geração e o estabelecimento de metas para a redução.

Em toda a bibliografia analisada, notou-se que, apesar da existência de alguns estudos que quantificam os resíduos gerados nas obras, esses apresentam grande disparidade e sua composição não é apresentada.

Na investigação em pauta, foram produzidos indicadores que podem ser utilizados como referência para quantificar e qualificar, de forma simples e consistente, os RCD a serem gerados em novas construções. A adequada estimativa permite, por exemplo, a realização de planejamentos financeiros assertivos, bem como contribui para a adequada organização do canteiro de obras e o fluxo de materiais e resíduos, aspectos que contribuirão, positivamente, para o desempenho da obra.

Salienta-se que, para o adequado gerenciamento dos resíduos, deve-se levar em consideração todo o processo construtivo, em todas as etapas, devidamente integralizadas, reduzindo o nível de perdas de materiais. Entre os fatores que influenciam a geração de resíduos, destacam-se:

- Escolha do método construtivo.
- Qualificação da mão de obra.
- Qualidade dos materiais a serem utilizados.
- Forma de armazenamento e transporte de materiais.

Dentre esses fatores, o comparativo entre a geração de resíduos em diferentes métodos construtivos é um dos objetivos deste estudo.

Observando a Tabela 14 pode-se verificar que os empreendimentos avaliados, bem como a geração de resíduos em cada um deles e a média, por método construtivo. As 8 (oito) obras que utilizaram o método construtivo Alvenaria Estrutural foram denominadas de AE-1 a AE-8 e as 4 obras que utilizaram o método construtivo Concreto Armado foram denominadas de CA-1 a CA-4.

Tabela 14 - Geração de resíduos por dois diferentes métodos construtivos, nos empreendimentos em estudo

Método construtivo	Obra	Área construída (m ²)	Índice de segregação (%)	Volume de resíduos gerados (m ³)	Índice de geração (m ³ /m ²)	Média do índice de geração/ Método construtivo (m ³ /m ²)
Alvenaria Estrutural	AE - 1	7.260,64	93	1.201,40	0,165	0,205
	AE - 2	19.353,04	97	3.313,00	0,171	
	AE - 3	9.903,65	85	1.839,00	0,186	
	AE - 4	13.632,84	97	2.709,00	0,199	
	AE - 5	19.399,93	83	4.077,00	0,210	
	AE - 6	22.272,00	100	4.994,00	0,224	
	AE - 7	6.078,99	99	1.445,00	0,238	
	AE - 8	11.813,65	95	2.934,00	0,248	
Concreto Armado	CA - 1	19.142,44	84	3.750,00	0,196	0,225
	CA - 2	19.841,59	81	4.422,00	0,223	
	CA - 3	49.947,33	89	11.935,90	0,239	
	CA - 4	7.093,68	81	1.730,00	0,244	

Quanto às áreas construídas, o maior empreendimento (CA-3) totalizou 49.947,33 m² e, o menor, (AE-7) 6.078,99 m². Segundo Ribeiro (2012), o índice de segregação (IS) representa a parcela de resíduos segregados adequadamente, por tipo. Quanto às obras em estudo, o menor IS foi de 81% (CA-2) e o maior foi de 100% (AE -6), com uma média geral de 90%. Esses valores demonstram a alta eficiência do gerenciamento de resíduos implantado nos empreendimentos em questão.

Ainda na Tabela 14, pode-se verificar a geração total de resíduos por empreendimento. Porém, devido à variação entre as áreas construídas, a título de comparação, esses devem ser analisados por meio do índice de geração (IG), o qual é resultante da razão entre o total de resíduos gerados e a área construída.

Do total de resíduos gerados nas obras apresentadas, não foi considerado o material caracterizado como solo, por estar relacionado ao nivelamento do terreno original e não, propriamente, à atividade de construção. O solo é usualmente reutilizado como matéria prima para o aterramento de outras áreas, não sendo caracterizado como resíduo.

Em se tratando do IG, a obra com menor valor apresentou $0,165 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (AE-1) e a, com maior, apresentou $0,248 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (AE-8), ambas construídas em Alvenaria Estrutural, o que representa uma variação de 50%, reforçando que não é apenas o método construtivo que influencia na geração de resíduos, como citado no capítulo Referencial Teórico. Além disso, para o método construtivo Concreto Armado, o índice de geração teve uma variação de $0,196$ (CA-1) a $0,244 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (CA-4).

A média de geração de resíduos é de $0,205 \text{ m}^3/\text{m}^2$, em obras construídas em Alvenaria Estrutural, e de $0,225 \text{ m}^3/\text{m}^2$, para obras em Concreto Armado, atingindo a média geral de $0,215 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Dessa forma, com base nos dados apresentados, pode-se afirmar que a geração de resíduos nas obras em Concreto Armado é 10% maior do que nas obras em Alvenaria Estrutural.

Considerando um empreendimento hipotético, com área construída de 13.000 m^2 e os índices médios de geração de resíduos apresentados na Tabela 14, a escolha do método construtivo Alvenaria Estrutural, em detrimento ao método Concreto Armado, poderia acarretar na redução da geração de resíduos em cerca de 267 m^3 , volume equivalente a 54 caçambas com capacidade de 5 m^3 cada. Essa menor geração representaria uma economia de mais de R\$ 100.000,00, somente considerando o valor do material perdido e o custo de transporte e destinação dos resíduos.

Nunes e Junges (2008) descrevem que o sistema de concreto armado não pode ser considerado racional pelo alto índice de perda de material durante o processo construtivo, como por exemplo, a necessidade de realizar rasgos nas paredes, para a instalação de tubulações hidráulicas e elétricas, dessa forma esses autores corroboram os dados encontrado nesta pesquisa.

Se comparado o índice de geração de resíduos encontrado pelo presente trabalho com os índices apresentados pelos autores nacionais - Pinto (1999) e Miranda (2009) - pode-se observar grande divergência, estes descrevem $0,13$ e $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2$ respectivamente. Desse modo, para a utilização do IG para o planejamento de obras sugere-se a análise de cada um dos estudos, de forma a utilizar o que melhor se enquadra com as especificidades do empreendimento em questão.

Além do quantitativo gerado nas obras, é de suma importância o conhecimento da tipologia de resíduos gerados, fator que também sofre influência, direta de acordo com

o método construtivo, uma vez que, cada um deles apresenta características construtivas específicas, alterando o uso de materiais utilizados e, conseqüentemente, a geração de resíduos.

A Tabela 15 apresenta a caracterização gravimétrica, em volume, de cada resíduo gerado nas obras em estudo, por método construtivo, separados de acordo com a classificação dos resíduos apresentada pela Resolução CONAMA nº 307/2002.

Tabela 15 - Caracterização gravimétrica dos resíduos gerados, por tipo de resíduo e método construtivo

Classe	Resíduo	Método construtivo	
		Alvenaria Estrutural (%)	Concreto Armado(%)
A	Entulho	63,77	53,18
	Papel	2,58	2,38
	Plástico	3,28	1,79
B	Isopor	1,25	0,00
	Metal	1,91	2,96
	Madeira	19,31	34,35
	Gesso	4,25	1,78
C	Rejeito - Sacaria	2,91	2,73
	Rejeito - Outros	0,72	0,83
D	Perigoso	0,02	0,00
Total		100,00%	100,00%

Para realizar uma análise mais precisa, os resíduos destinados sem segregação (mix de resíduos), que representaram 6,33%, nas obras em Alvenaria Estrutural, e 16,48%, nas obras em Concreto Armado, foram distribuídos nas demais tipologias, de acordo com a representatividade de cada um.

Ressalta-se que a ausência de resíduos perigosos, apontada na Tabela 15, para o método construtivo Concreto Armado, pode não significar que não houve geração dos mesmos, uma vez que a presença deste tipo de resíduo sempre é esperada, mesmo que em pequenas proporções. O que pode ter ocorrido neste caso é a mistura dos mesmos com outros, por exemplo rejeitos.

O resíduo com maior geração, em ambos os processos construtivos, foi o Entulho – Classe A, o qual, segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002, é composto de materiais cerâmicos e cimentícios, representando 63,77%, nas obras em Alvenaria Estrutural, e 53,18%, nas obras em Concreto Armado.

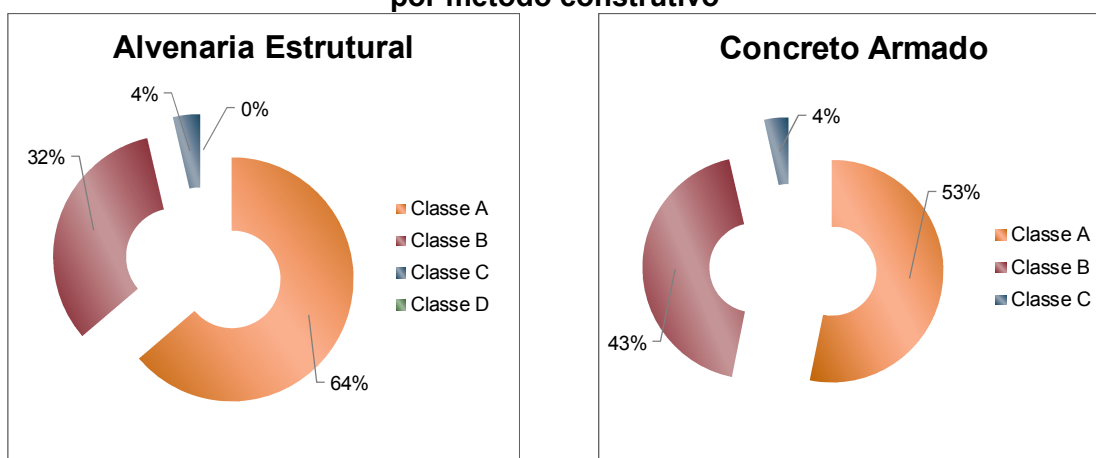
Também muito significativo, o resíduo de madeira representa 34,35%, nas obras de Concreto Armado, e 19,31%, nas obras em Alvenaria Estrutural. A maior geração desse resíduo nas obras em Concreto Armado era esperada, uma vez que esse método construtivo ainda é altamente demandante de madeira, para montagem das fôrmas das peças estruturais.

Os demais resíduos gerados totalizaram 16,92%, nas obras em Alvenaria Estrutural, e 12,46%, nas obras em Concreto Armado, não havendo grandes variações entre os índices de geração de cada um deles e os métodos construtivos.

A análise dos tipos de resíduos gerados, por método construtivo, demonstra a supremacia dos resíduos Entulho – Classe A e Madeira – Classe B, ambos recicláveis, o que remete à importância da priorização do adequado gerenciamento destes resíduos.

A Figura 3 agrupa os resíduos gerados nas obras em estudo, por classe, como definido pela Resolução CONAMA nº 307/2002, e possibilita melhor visualização da distribuição dos mesmos.

Figura 3 - Caracterização gravimétrica dos resíduos gerados, por classe de resíduos e por método construtivo



Legenda: Classe A – Recicláveis como agregado e solo; Classe B – Recicláveis, Classe C – Rejeitos, Classe D - Perigosos

Verifica-se que, dos resíduos gerados nas obras selecionadas, 96,34% são recicláveis (Classes A e B), nas obras de Alvenaria Estrutural, e 96,44%, nas obras de Concreto Armado, o que demonstra o alto potencial de reciclagem desses materiais que ainda é muito pouco explorado pelas obras no Brasil.

Angulo et. al. (2011) realizaram um estudo para analisar a distribuição dos materiais presentes no RCD na cidade de Macaé-RJ. Foram coletadas 52 amostras representativas de caçambas de RCD. As amostras foram peneiradas e suas frações granulométricas foram caracterizadas quanto à composição. Os resultados encontrados apontaram para uma fração mineral (concretos, argamassas, cerâmica e rochas naturais) de 94,9% nos RCD.

Outro estudo de caracterização qualitativa foi realizado por Córdoba (2010). No entanto, o autor utilizou uma metodologia de caracterização de RCD, por meio de análise de imagens, para o município de São Carlos-SP. Esta metodologia se mostrou eficiente na caracterização de amostras que apresentavam peças volumosas, como vigas, pilares e placas de concreto.

Além disso, os benefícios destacados, a partir da utilização desta metodologia, são o baixo custo e a forma rápida de obtenção das informações, podendo ser utilizada principalmente, como pré-caracterização de RCD em municípios que não possuem tais dados.

Os resultados encontrados por Angulo et al. (2011), para um município de aproximadamente 36.000 habitantes, na região noroeste do estado de São Paulo, indicaram a predominância do RCD na Classe A, em 91% da massa, e 9,0% de Classe B, sendo que os componentes pertencentes às Classes C e D não foram quantificados.

Segundo Tessaro, Sá, e Scremin (2012), em estudo realizado no município de Pelotas-RS, a composição gravimétrica do RCD gerado no município mostra que o da Classe A representa 88% do total de resíduos gerados e o restante é composto principalmente de resíduos Classe B (papel, plástico, vidro e metal). Isso demonstra a parcela significativa de resíduos que pode ser reutilizável ou reciclável na forma de agregado.

4.2 Quantificação e composição dos RCD em áreas de transbordo e triagem

É de suma importância que se estabeleça, nos municípios, uma rede estruturada de áreas receptoras de RCD, das quais destacam-se as Áreas de Transbordo e Triagem (ATT), especialmente importantes nos grandes centros, os quais comumente sofrem com problemas relacionados a tráfego e a restrições de uso e ocupação do solo.

As ATT têm se mostrado opção interessante para a destinação dos RCD, o que, segundo Fukurozaki e Seo (2004), ocorre devido ao fato desses locais facilitarem o descarte dos materiais, com redução dos percursos realizados pelos transportadores e garantia do aumento dos índices de reutilização e reciclagem dos materiais, diminuindo o contínuo aterramento de componentes plenamente reaproveitáveis e o esgotamento das áreas de sustentação ao desenvolvimento urbano.

Diante da importância das ATT como agente receptor dos RCD, a caracterização dos materiais recebidos, triados e/ou transbordados nesses empreendimentos mostra-se essencial para o auxílio nas decisões administrativas dos próprios empreendimentos, dos investidores do setor e, ainda, para a definição de políticas públicas de incentivo à melhoria da destinação e reciclagem dos resíduos. Porém, esses dados são escassos, existindo, na maioria das vezes, de forma descentralizada dentro dos empreendimentos.

Desta forma, o objetivo deste item é estudar duas ATT, situadas na região metropolitana de Belo Horizonte, visando contribuir no planejamento de novos empreendimentos e auxiliar na melhoria dos existentes. Julga-se que a compilação dos dados coletados permitirá planejamentos mais assertivos, bem como contribuirá para a melhoria da organização dos setores das ATT. Foram coletados dados qualitativos dos resíduos triados, transbordados e destinados no ano de 2016.

A Entulhos Ebenezer, localizada no município de Contagem, manejou um total de 20.135,06 m³ de RCD no ano de 2016. A Alternativa Transportes, localizada no município de Betim, recebeu e destinou 15.261,44 m³ de resíduos, no mesmo período.

Ambos os empreendimentos realizam as atividades de triagem e transbordo dos resíduos, além de transportá-los, da sua origem até seu destino final, e não recebem resíduos transportados por terceiros. As empresas desenvolvem as atividades de

forma similar, estão devidamente regularizadas, conforme informações apresentadas no Quadro 8, não realizam transformação dos materiais e garantem correta destinação aos resíduos manejados.

Quadro 8 - Informações relativas às licenças ambientais das empresas pesquisadas

Razão social	Alternativa Transportes	Entulhos Ebenezer
Órgão licenciador	Prefeitura Municipal de Betim - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - CODEMA	Prefeitura Municipal de Contagem - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade
Licença	Licença Ambiental nº 008/2014	Licença Ambiental Sumária nº 015/14
Validade	13/11/2018	07/04/2022
Atividade	Coleta de resíduos não perigosos/armazenamento temporário e segregação de resíduos classe II – inertes e não inertes, com predominância de RCD	Coleta de resíduos não perigosos e área de triagem, transbordo e armazenamento temporário de RCD e volumosos

Os resíduos recebidos pelos empreendimentos têm diversas origens e tipologias, podendo ser de obras de geradores particulares, de pequeno e grande porte, e que utilizam métodos construtivos diversificados.

Ambos os empreendimentos cobram valores variáveis pelos serviços de coleta, transporte e destinação correta dos resíduos, de acordo com as condições de cada contrato.

As caçambas coletadas com material considerado limpo, ou seja, com predominância de um único tipo de resíduo, e com, no máximo, 10% de contaminação por outros materiais, são descarregadas no pátio, em área pré-determinada, onde os resíduos são estocados, para posterior envio, em maior quantidade, para seu destino final. Essa atividade é chamada de transbordo e ocorre, na maioria das vezes, para os resíduos Classe A – Solo/Entulho para agregado, devido às práticas comuns de segregação desses materiais nas fontes geradoras.

Quando há necessidade de triagem dos resíduos coletados, essa é realizada manualmente, de acordo com as classificações e características dos resíduos, com posterior armazenamento e destinação.

Um diferencial da empresa Alternativa Transportes é que a mesma possui prensa para os materiais que possuem baixa densidade, como papel e plástico, o que otimiza o processo de destinação, dada a redução do volume dos resíduos.

As Figuras 4 e 5 ilustram o armazenamento dos materiais pós-triagem, em ambos os empreendimentos:

Figura 4 - Armazenamento dos resíduos (Alternativa Transportes)



Figura 5 - Armazenamento dos resíduos (Entulhos Ebenezer)



Na região onde estão localizadas as ATT, os resíduos Classe A – Solo/Entulho para agregado, em geral, não possuem valor de comercialização e são destinados para aterro, com custo para o empreendimento.

Os resíduos Classe B - Recicláveis, quando segregados, usualmente são comercializados com preços variáveis, de acordo com o mercado e com sua tipologia. Para os resíduos Classe C – Rejeitos, há custo de destinação, que também varia de acordo com o mercado.

No Quadro 9 estão apresentadas as formas de destinação comumente praticadas nos empreendimentos.

Quadro 9 - Formas de destinação preferencial pelas ATT

Classe	Resíduo	Destinação
A	Solo/Entulho para agregado	Aterro de inertes
B	Recicláveis Convencionais (Papel, Plástico e Metal)	Depósito atacadista de materiais recicláveis
	Gesso ¹	Reciclagem
	Madeira	Reciclagem para fins energéticos
C	Rejeitos	Aterro industrial
D	Perigosos ²	-

¹Este resíduo é recebido somente pela empresa Alternativa Transportes

²Não se aplica, uma vez que nenhuma das áreas recebe este tipo de material

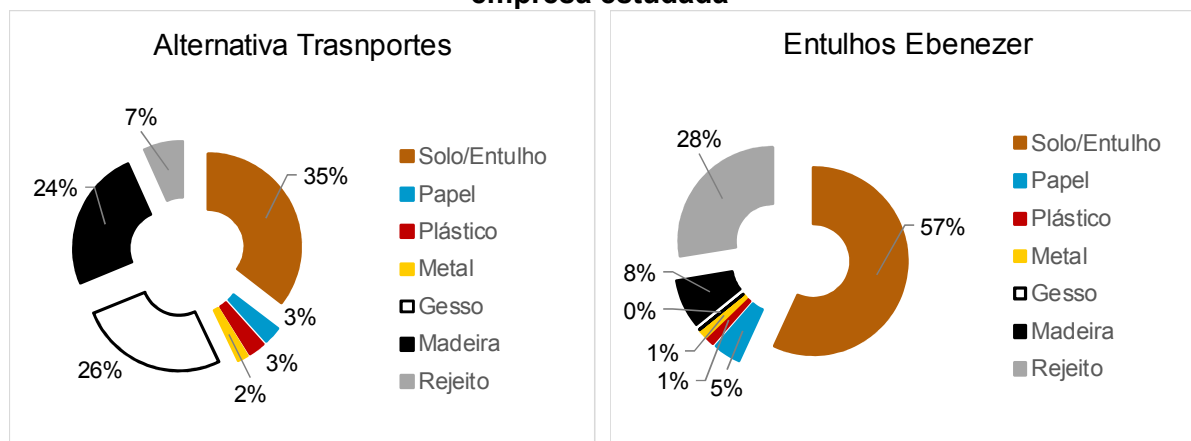
A caracterização gravimétrica dos resíduos triados nas ATT em estudo, separados de acordo com a classificação estabelecida pela Resolução CONAMA nº 307/2002, pode ser observada na Tabela 16.

Tabela 16 - Caracterização gravimétrica dos resíduos, por tipo

Classe	Resíduo	Alternativa Transportes		Entulhos Ebenezer	
		(m ³ /ano)	(%)	(m ³ /ano)	(%)
A	Solo/Entulho para agregado	5.400,00	35,38	11.440,00	56,82
B	Papel	450,00	2,95	926,50	4,60
	Plástico	432,00	2,83	251,40	1,25
	Metal	267,44	1,75	302,93	1,50
	Gesso	3.960,00	25,95	-	-
	Madeira	3.720,00	24,38	1.660,00	8,24
C	Rejeito	1.032,00	6,76	5.554,23	27,58
Total		15.261,44	100,00	20.135,06	100,00

Para melhor visualização, os quantitativos dos resíduos são ilustrados na Figura 6:

Figura 6 - Caracterização gravimétrica dos resíduos, por tipo de resíduos e de empresa estudada



A análise dos tipos de resíduos triados nos empreendimentos demonstra a predominância, em ambos os casos, dos resíduos Classe A – Solo/Entulho para agregado, representando 35,38%, na empresa Alternativa Transportes, e 56,82%, na empresa Entulhos Ebenezer. Outra semelhança significativa entre os resíduos triados nas empresas é constatada quando se avalia os resíduos Papel, Plástico e Metal (Classe B - Recicláveis Convencionais), os quais totalizam 7,53%, na empresa Alternativa Transportes, e 7,35%, na empresa Entulhos Ebenezer.

Deve-se destacar, ainda, a diferença entre as quantidades totais de resíduos recebidos e a diferença entre a proporção dos resíduos de Gesso, Madeira e Rejeito, as quais materializam a diferença da estratégia de atuação das empresas.

Em se tratando da Madeira, a empresa Alternativa Transportes oferece, aos grandes geradores, a opção de transporte dos materiais em caminhões do tipo *roll on/off*, com caçamba de capacidade de 35 m³, otimizando o transporte e reduzindo o custo, o que resulta em grande quantidade desses resíduos recebida nesta área.

Quanto ao Gesso, atualmente, em toda a região metropolitana de Belo Horizonte, a empresa Alternativa Transportes é a única ATT que recebe este resíduo, uma vez que a mesma possui parceria para tratamento e destinação, que garante a reciclagem do material.

Por sua vez, o Rejeito também é representativo neste aspecto. Pelo fato da empresa Alternativa Transportes receber Gesso e Madeira já segregados, a mesma apresenta proporção de Rejeitos a serem destinados inferior à empresa Entulhos Ebenezer.

Deve-se citar, ainda, que a caracterização gravimétrica apresentada na Figura 6 evidencia o potencial de reciclagem dos resíduos gerados na construção civil, uma vez que os resíduos Classes A e B, que possuem possibilidades de reciclagem, totalizam 93,24%, na empresa Alternativa Transportes, e 72,42%, na empresa Entulhos Ebenezer.

Os percentuais aqui apresentados são inferiores aos apresentados no item anterior, onde se afirma que em torno de 96% dos resíduos gerados em grandes obras são passíveis de reciclagem.

4.3 Panorama das áreas receptoras de RCD em BH e municípios limítrofes

Dentre as várias dificuldades a respeito do tratamento e destinação final dos RCD, uma das principais, é a carência de informações precisas sobre a quantidade de áreas que recebem esse tipo de material e suas características, dados indispensáveis para o planejamento urbano dos geradores dos resíduos e dos investidores do Setor.

Na Região Metropolitana de Belo Horizonte, esse cenário de desinformação não é diferente, o que motivou o desenvolvimento do presente item, que apresenta o panorama de áreas receptoras de RCD existentes em Belo Horizonte, Vespasiano, Ribeirão das Neves, Contagem, Ibirité, Brumadinho, Nova Lima, Sabará, Santa e Betim.

O objetivo do presente item é apresentar esses empreendimentos, bem como suas atividades e localizações, com verificação do tratamento dado aos materiais.

O Quadro 10 apresenta a relação das áreas de recepção de RCD catalogadas, bem como as atividades realizadas e os tipos de resíduos recebidos.

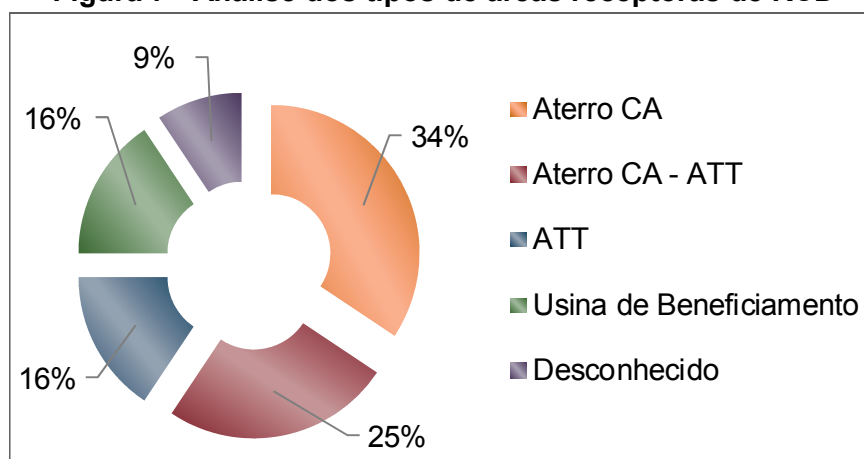
Quadro 10 - Áreas receptoras de RCD catalogadas

Município	Empreendimento	Atividade	Tipo de resíduo	Fonte
Belo Horizonte	Alicerce Empreendimentos Ltda	Aterro CA - ATT	Classe A	Prefeitura
	Estação de Reciclagem de Entulho - ERE BR-040	Usina de beneficiamento	Classe A	Prefeitura
	Estação de Reciclagem de Entulho - Pampulha	Usina de beneficiamento	Classe A	Prefeitura
	Geo Ambiental Serviços LTDA - ME	Aterro CA	Classe A	Prefeitura
Betim	Alternativa Transportes LTDA	ATT	Classe A, B e C	Prefeitura
	AR Locação de Caçambas Ltda	Aterro CA	Classe A	Prefeitura
	Gersol Resíduos LTDA-ME	ATT	Classe B	Prefeitura
	Prefeitura Municipal de Betim	Usina de beneficiamento	Classe A	Prefeitura
	Radial Tratamento de Resíduos Industriais LTDA	Aterro CA	Classe A	Prefeitura
Brumadinho	Aterro Sanitário de Brumadinho	Aterro CA - ATT	Classe A, B e C	FEAM
Contagem	Entulhos Ebenezer Ltda - ME	ATT	Classe A, B e C	Prefeitura
	Gramadus Ltda	ATT	Classe A, B e C	Prefeitura
	J & E Reciclagem	Usina de beneficiamento	Madeira	Prefeitura
	Rental Construção e Empreendimento LTDA	Aterro CA	Classe A	Prefeitura
Ibirité	Reabilitar - Soluções Ambientais LTDA	Aterro CA - ATT	Classe A, B e C	FEAM
	Augusto Oliveira Construções e Obras LTDA ME	Aterro CA	Classe A	Prefeitura
Nova Lima	Canadá Caçambas LTDA	ATT	Classe A, B e C	FEAM
	Aterro do Mingu	Aterro CA	Classe A	Prefeitura
Ribeirão das Neves	Depósito de Material Excedente	Aterro CA	Classe A	FEAM
	Fazenda Córrego Grande/CIF	Aterro CA	Classe A	FEAM
Sabará	Empreiteira São Judas Tadeu LTDA	Aterro CA	Classe A	FEAM
Santa Luzia	Associação Educacional Padre Vitor	-	-	FEAM
	Czar Serviços Ambientais LTDA	Aterro CA - ATT	Classe A, B e C	FEAM
	Empreiteira São Judas Tadeu LTDA	-	-	FEAM
	Odeon LTDA	-	-	FEAM
	Lafarge Brasil S.A.	Usina de beneficiamento	Gesso	Prefeitura
Vespasiano	Fazenda Cachoeirinha	Aterro CA - ATT	Classe A, B e C	FEAM
	Fazenda Maçarico de Cima	Aterro CA - ATT	Classe A, B e C	FEAM
	Fazenda Retiro Das Areias	Aterro CA - ATT	Classe A, B e C	FEAM
	State Express LTDA/ Transvalente	Aterro CA - ATT	Classe A, B e C	FEAM
	DD Transportes e Serviços LTDA	Aterro CA	Classe A	Prefeitura
	Lú Terraplanagem TODA - EPP	Aterro CA	Classe A	Prefeitura

Como pode ser observado no Quadro 10, foram identificados 32 empreendimentos que recebem RCD na região, a partir de dados disponibilizados pelos órgãos públicos (FEAM e prefeituras municipais). Os dados fornecidos pela empresa Ambiência Soluções Sustentável foram utilizados para verificação dos empreendimentos que estão em funcionamento. Não foi possível confirmar a atividade exercida pelos 3 empreendimentos de Santa Luzia, com ausência de informações no Quadro.

A partir dos dados do Quadro 10, elaborou-se o gráfico exibido na Figura 7, que permite uma análise geral das áreas estudadas.

Figura 7 - Análise dos tipos de áreas receptoras de RCD



Com base na Figura 7, pode-se afirmar que a maior parte das áreas receptoras existentes, 59%, aterram os resíduos, sendo que, quase metade delas, 25% do total, podem triar os materiais na própria área, quando necessário. Nota-se também que somente 16% dos empreendimentos realizam a atividade de beneficiamento dos materiais.

A situação dos aterros merece atenção, pois foi verificado que esse tipo de atividade é, na maioria dos casos, realizada para conformação de terrenos, principalmente em regiões montanhosas, como a do estudo e, dessa forma, funcionam durante um curto período de tempo. Os aterros para conformação de terrenos não se diferenciam dos aterros convencionais (resíduo classe A), pelos órgãos que disponibilizaram as informações.

Quanto às usinas de beneficiamento que constam no estudo, 3 delas recebem resíduos Classe A, enquanto 1 recebe somente Madeira e 1 somente Gesso, ambos Classe B. Para os Resíduos Recicláveis Convencionais (Papel, Plástico e Metal), Classe B, não foram identificadas usinas de beneficiamento sendo, na maioria das vezes, triados nas ATT e posteriormente destinados para atravessadores da reciclagem.

A baixa porcentagem de usinas de beneficiamento, somente 16%, comprova a carência existente nessa atividade, principalmente diante da alta proporção de resíduos recicláveis gerados na construção civil, conforme apresentado nos itens anteriores.

Essa lacuna no mercado de beneficiamento de RCD vem sendo apontada por estudiosos. Miranda, Ângulo e Careli (2009) estudaram a história da reciclagem de RCD no Brasil e, em 2009, constataram que, mesmo com todas as usinas em funcionamento na época, somente 4,5% do total dos RCD estariam sendo beneficiados.

Diante do exposto, confirma-se que o número de empreendimentos que trabalham com beneficiamento é baixo. A reciclagem é uma das ações necessárias para alcançar o desenvolvimento sustentável e, sob a ótica da cadeia produtiva da construção civil, é uma das formas de minimizar a exploração dos recursos naturais e, conseqüentemente de reduzir os impactos ambientais causados pelo setor. Ademais, a partir da reciclagem, é possível reduzir a disposição final de RCD possibilitando um ciclo reverso dos resíduos na cadeia de consumo do mesmos.

Nesse sentido, Cunha (2007) destaca que:

“A construção sustentável requer a prevenção e a redução dos resíduos. A opção pela sua reciclagem em agregados torna-se viável nos aspectos técnicos, econômicos e ambientais. A reciclagem pode ser encarada como uma forma de reeducar a sociedade em seus hábitos, buscando o consumo minimizado de recursos naturais e o melhor aproveitamento dos materiais.”

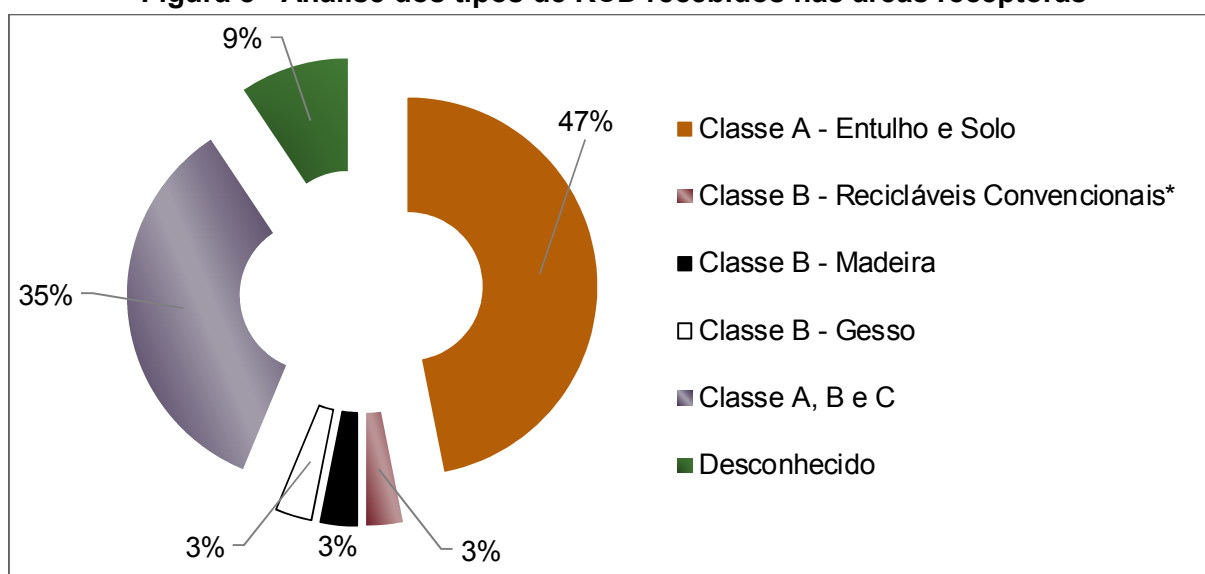
De acordo com Chung e Lo (2002), a partir de uma apropriada classificação na fonte de geração de RCD, o agregados naturais podem ser substituídos por agregados reciclados. Ainda, os autores afirmam que com a restrição de recursos naturais e de locais para a correta disposição final, a reutilização e a reciclagem são as primeiras ações acerca dos gerenciamento de RCD adotadas na maioria dos países desenvolvidos.

Em relação às ATT, constatou-se que, quando os resíduos chegam triados a essas áreas, esses empreendimentos atuam somente como transbordo, o que ocorre comumente para os resíduos Entulho e Solo (Classe A) e Madeira (Classe B). No caso dos resíduos Papel, Plástico e Metal, enquadrados na Classe B, após a triagem nestes locais, os mesmos são geralmente encaminhados para beneficiamento e/ou reciclagem.

Durante o desenvolvimento do trabalho, foi observado que a atividade de recebimento de RCD é efêmera, pois o número de áreas existentes pode flutuar consideravelmente em um curto período de tempo, devido à curta vida útil dos aterros para conformação de terrenos, mas também pela situação do mercado da construção civil e por mudanças nas exigências legais para regularização das áreas.

Outra análise importante a ser feita é a respeito dos tipos de resíduos recebidos nas áreas, como pode ser visualizado na Figura 8, a seguir:

Figura 8 - Análise dos tipos de RCD recebidos nas áreas receptoras



*Recicláveis Convencionais: Papel, Plástico e Metal

A Figura 8 indica que 47% das áreas existentes recebem somente resíduos Classe A e que 34% das áreas recebem todos os resíduos, exceto os perigosos. Salienta-se que o presente estudo identificou somente 1 empreendimento que recebe resíduos Classe B – Recicláveis Convencionais, provenientes da construção civil, o que também ocorre para os resíduos caracterizados como Madeira e Gesso.

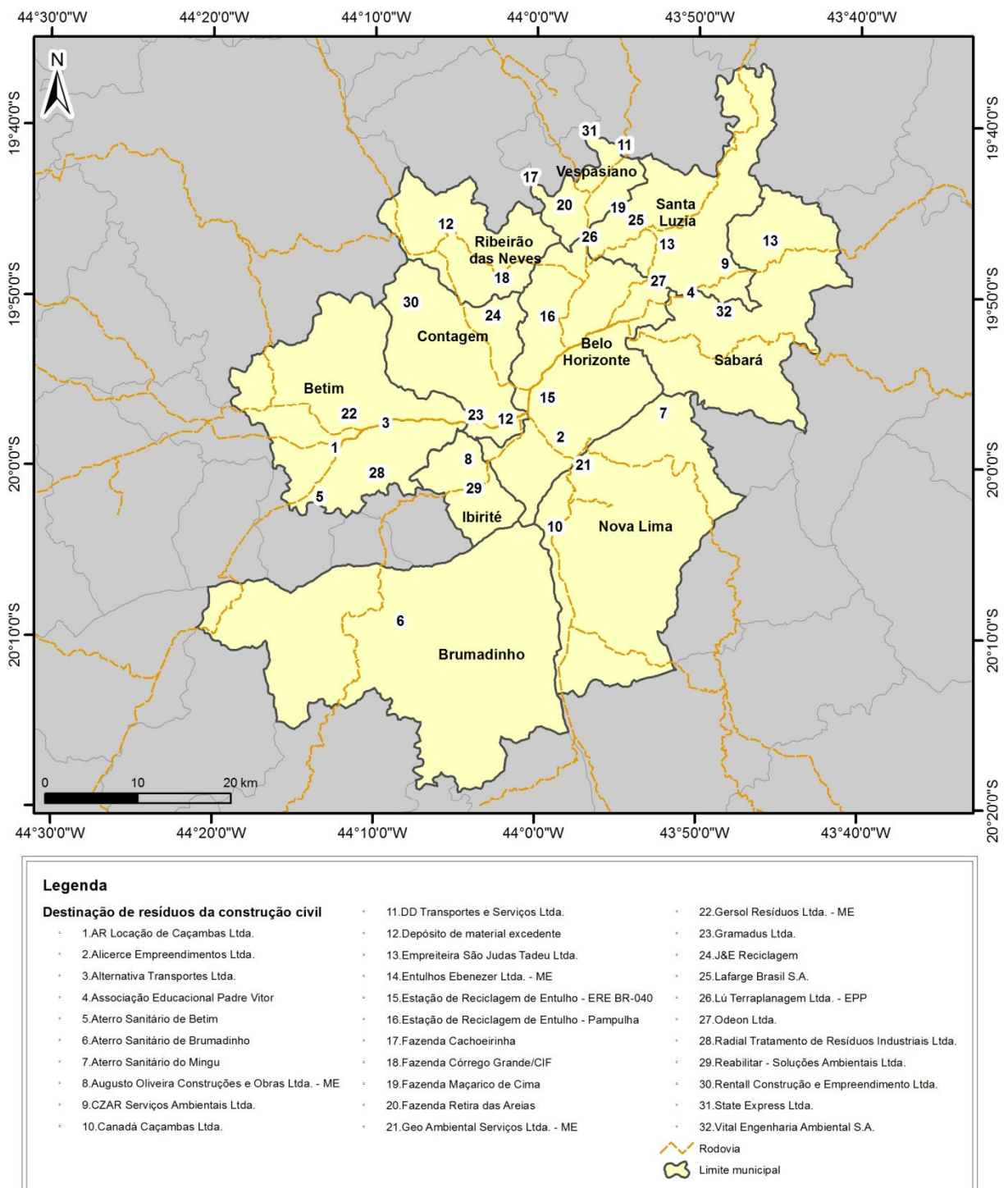
Deve-se destacar que, para os resíduos recicláveis convencionais, há inúmeras empresas e associações especializadas em coletá-los, triá-los e transbordá-los. Porém, estes empreendimentos atualmente não atendem o setor da construção civil e, por isso, não foram citados por nenhuma das fontes de dados.

Quanto aos resíduos Classe D – Perigosos, nenhuma das áreas citadas recebe este tipo de material. Porém, este fato pode ser justificado, pois, segundo resultados apresentados na Figura 3, menos de 0,1% dos resíduos provenientes de obras estão

enquadrados nessa categoria. Os resíduos perigosos da construção civil podem ser destinados para empreendimentos que recebem resíduos perigosos também de outras fontes.

A localização dos empreendimentos identificados na região de estudo pode ser visualizada no mapa apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Mapa de localização das áreas receptoras de RCD catalogadas



Todos os municípios da região possuem pelo menos 1 área receptora de RCD e os municípios que possuem maior número de empreendimentos são: Vespasiano (6), Betim (5), Santa Luzia (5), Belo Horizonte (4) e Contagem (4). Nota-se também que as regiões mais a norte, oeste e centro, abrangidas pelo estudo, são as que possuem maior quantidade de empreendimentos.

Foi possível verificar a existência de 32 áreas receptoras de RCD nos municípios em questão. A maioria desses empreendimentos realiza a atividade de aterramento dos resíduos, sendo que o material que possui mais locais para destinação é o enquadrado na Classe A – Solo e Entulho.

4.4 Estudo comportamental de usinas de beneficiamento de resíduos Classe A da construção e demolição

Este item pretende, através da análise de dados coletados em visitas técnicas realizadas em três usinas de reciclagem de resíduos da construção e demolição Classe A, suprir a demanda de informações a respeito das usinas existentes, auxiliando no planejamento dos investidores do setor e na definição de políticas públicas de incentivo à reciclagem.

4.4.1 Unidade de Valorização de Resíduos de Construção Civil Grajaú (URV)

A URV é uma usina de reciclagem de RCD - Classe A pertencente ao Grupo Odebrecht Ambiental, localizada no município de São Paulo, Bairro Jardim Santa Tereza, e possui Licença de Operação nº 33006374, emitida, em 26 de maio de 2016, pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB.

De acordo com a Licença Ambiental, a usina opera em uma área de 5.335,35 m². Porém, de acordo com o constatado na visita, acredita-se que essa área corresponda a todo o terreno do empreendimento, não somente ao local de operação das atividades relacionadas ao beneficiamento de RCD - Classe A.

Para a operação de todas as atividades do empreendimento, é necessária uma equipe de 13 funcionários, sendo 10 para produção e 3 para administração.

Inaugurada no ano de 2014, a usina teve um investimento de 30 milhões de reais, financiados pelo Programa Finep-Inova Sustentabilidade.

Com o objetivo de desenvolver um negócio lucrativo, por meio de uma solução ambiental para os resíduos gerados, a usina recebe, em média, 72.000 toneladas por mês de RCD - Classe A - Entulho para agregado e Classe B - Madeira, provenientes de construções, reformas e demolições, segregados com, no máximo, 10% de contaminação por outros materiais. Os RCD - Classe A são beneficiados no empreendimento e vendidos, enquanto que os resíduos Classe B são transbordados e destinados para usinas de reciclagem energética da região.

O valor cobrado pelo recebimento dos resíduos é apresentado na Tabela 17, variando de acordo com o tipo do material e com o contrato firmado entre as partes. A contratação da usina é feita pelo transportador que, por sua vez, é contratado pelo gerador.

Tabela 17 - Valor de recebimento dos resíduos - URV

Resíduo	Valor de recebimento (R\$/m³)
Solo	10,00 - 18,00
Entulho	8,00 - 18,00
Madeira	37,00

Existe uma parceria firmada entre os transportadores, a URV e a Prefeitura de São Paulo, que subsidia 60% do valor cobrado pelo recebimento dos resíduos, com o intuito de reduzir a quantidade de pontos de disposição irregular no município.

Cada carga de resíduos recebida, após ser descarregada no pátio de operações, é verificada visualmente, de forma a ratificar a segregação dos resíduos recebidos. No caso de contaminação acima dos 10% acordados, o empreendimento recusa o recebimento do material, ficando a cargo do transportador outra destinação.

Os RCD - Classe A passam por uma inspeção visual, na qual são separados em Cinza, resíduos provenientes de concreto puro, e Misto, resíduos provenientes da mistura de concreto e de materiais cerâmicos. Essa divisão ocorre devido à diferença das propriedades desses materiais, visto que o agregado reciclado proveniente de carga Cinza possui qualidade superior ao agregado Misto. Estes materiais são beneficiados separadamente, de acordo com a demanda do mercado.

O fluxo dos resíduos recebidos segue os seguintes passos:

- No início do processo, ocorre uma inspeção, que separa os resíduos no pátio, em pilhas de resíduos Cinza e Misto.
- Em seguida, é feita uma triagem primária manual, em esteira, da qual os catadores retiram os resíduos volumosos.
- Caminhões basculantes transportam os resíduos da esteira de triagem até a tremonha.
- Saindo da tremonha, o material é encaminhado para a peneira vibratória, para a primeira classificação, na qual as partículas com dimensões entre 0 e 10 mm são transportadas por uma esteira e dispostas em uma pilha denominada "natural". Ao longo dessa esteira, há a primeira separação de metais, por meio de um eletroímã.
- O material com dimensões acima de 10 mm é encaminhado, por esteira, para a fragmentadora, onde é triturado, com o objetivo de reduzir e uniformizar as dimensões das partículas em torno de 100 mm, encaminhando-o, posteriormente, para o silo. Nessa fase, é utilizado um segundo eletroímã.
- O material estocado no silo é encaminhado para uma peneira giratória denominada trommel, que classifica as partículas menores que 40 mm.
- Todo o material com dimensão superior a 40 mm é encaminhado, por esteira, ao britador secundário, onde há um terceiro eletroímã, e triturado até atingir tamanho inferior a 40 mm.
- Após atravessar o trommel, o material é conduzido, por esteira, para a segunda peneira vibratória, que classifica os agregados reciclados em três lotes, com granulometrias compreendidas entre 0-10 mm, 10-20 mm e 20-40 mm.
- Os materiais leves e finos são removidos por duplos ciclones, com fluxo de ar sobre o material britado. O último eletroímã atua na esteira principal.

Os equipamentos usados no processo operacional descrito estão listados a seguir:

- 1 tremonha
- 2 peneiras

- 1 trommel
- 1 fragmentador
- 1 britador secundário
- 1 silo
- 2 ciclones
- 4 separadores magnéticos
- 4 esteiras transportadoras
- 1 pá carregadeira
- 2 máquinas de artefato de concreto

Após serem beneficiados, os resíduos são transformados em agregado reciclado de diversas granulometrias, com produção total de 55.200 t/mês, que é utilizado na fabricação de artefatos e comercializado em lojas de materiais de construção e construtoras.

O valor de comercialização do produto varia de acordo com o mercado, sendo que o agregado reciclado Cinza é vendido por um valor 50% menor que o do material Natural, e o agregado reciclado Misto é vendido por um valor 75% menor que o do material Natural.

A lista dos produtos gerados pelo empreendimento é apresentada na Tabela 18

Tabela 18 - Lista de produtos - URV

Produto	Granulometria (mm)
Areia	0-5
Pedrisco	5-10
Bica fina	0-10
Bica grossa	0-40
Pedra 1	10-20
Pedra 2	20-40
Pedra 3	20-60
Agregado reciclado fino rico em solo	0-10
Rachão misto	-
Artefatos de agregados reciclados	-

Os resíduos provenientes da triagem pré-beneficiamento possuem destinações diversas, sendo que os Recicláveis Convencionais - Classe B são destinados para cooperativas de materiais recicláveis, enquanto que a Madeira, também Classe B, é destinada para indústrias de reciclagem energética e os Classe C - Rejeitos são enviados para aterro.

A Figura 10 permite uma visualização geral da URV.

Figura 10 - Visão geral - URV



4.4.2 Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil Proguaru (Proguaru)

A Proguaru pertence à Prefeitura de Guarulhos e está localizada no Bairro Vila Progresso. O empreendimento, inaugurado em 2003, possui Licença de Operação nº 15007297, emitida, em 10 de novembro de 2014, pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB.

De acordo com a Licença Ambiental, a Usina opera em uma área de 560 m² e são empregados 16 funcionários, sendo 14 para produção e 2 para administração.

Informações a respeito do valor de investimento não foram disponibilizadas para o presente trabalho.

A usina foi criada com o objetivo de solucionar o alto número de disposições clandestinas no município e, atualmente, recebe, em média 4.800 t/mês de RCD - Classe A, provenientes das diversas atividades de construção civil com, no máximo, 10% de contaminação por outros materiais.

Os resíduos recebidos na usina são, principalmente, provenientes dos Pontos de Entrega Voluntária públicos - PEV. Porém, o empreendimento recebe, também, resíduos provenientes de empresas transportadoras particulares que, por sua vez, são contratadas pelos geradores.

Os PEV recebem os resíduos dos pequenos geradores, até 1 m³/(pessoa x dia), sem cobrança, e, posteriormente, encaminham esse material para a usina. Os transportadores particulares destinam os resíduos diretamente à Proguaru, mediante pagamento de R\$ 6,00/t.

Assim como na URV, os resíduos recebidos na Proguaru passam por uma inspeção visual e são divididos em Cinza e Misto. Estes materiais são beneficiados separadamente, de acordo com o estoque no pátio de armazenamento, garantindo materiais de diversas qualidades e que atendem a demandas diferentes.

Ainda de forma similar à URV, a segregação dos resíduos destinados à Proguaru é verificada no pátio de operações. Para os resíduos provenientes dos PEV, quando há contaminação superior a 10% por outros materiais, a carga retorna para a origem, onde os materiais são segregados pelo funcionário do local. Para os resíduos

provenientes de transportadores particulares, quando isso ocorre, a usina também não recebe o material, ficando a cargo do transportador outra destinação.

Existe uma parceria firmada entre as Secretarias Municipais envolvidas no processo de coleta/beneficiamento dos resíduos e uso dos produtos, que inclui educação ambiental para os munícipes, incentivando-os a destinarem os resíduos corretamente, capacitação dos funcionários dos PEV, viabilizando a segregação dos resíduos, e capacitação dos funcionários da Secretaria de Obras, com incentivo do uso do material beneficiado.

O fluxo dos resíduos recebidos é apresentado a seguir:

- No início do processo, ocorre uma inspeção, que divide os resíduos, no pátio, em pilhas de Cinza e Misto.
- Após serem despejados no pátio de operações, os RCD volumosos e aqueles que não forem Classe A são triados manualmente e armazenados em baias separadas, de acordo com sua tipologia.
- Uma pá carregadeira alimenta o britador com o resíduo previamente triado.
- O britador é seguido pelas peneiras e o material, separado por granulometria, é transportado, por correias transportadoras, até seu local de armazenamento final.
- Em uma das correias transportadoras ocorre mais uma triagem manual.
- Separadores magnéticos são dispostos, ao longo do processo, para separação dos metais ferrosos.

Os equipamentos usados no processo operacional descrito estão listados a seguir:

- 1 tremonha
- 2 peneiras
- 1 britador
- 1 separador magnético

- 5 esteiras transportadoras
- 1 pá carregadeira

Após serem beneficiados, os resíduos são transformados em agregado reciclado de diversas granulometrias, com produção média de 2.431 t/mês, que é usado, em sua totalidade, pela própria Prefeitura de Guarulhos.

A lista dos produtos gerados no empreendimento é apresentada na Tabela 19.

Tabela 19 - Lista de produtos - Proguaru

Produto	Granulometria (mm)
Areia	0-5
Pedrisco	5-10
Pedra 1	10-20
Pedra 2	20-40
Graúdo	40-60
BCR	60-100

Os resíduos Classe B - Recicláveis Convencionais, provenientes da triagem pré-beneficiamento, são destinados para cooperativas de materiais recicláveis, enquanto que a Madeira, também Classe B, é destinada para indústrias de reciclagem energética e os resíduos Classe C - Rejeitos são enviados para aterro.

A Figura 11 permite uma visualização geral do beneficiamento de resíduos da Proguaru.

Figura 11 - Visão geral - Proguaru



4.4.3 Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Geresol

Para destinação dos RCD, o município de Jundiaí conta com o Geresol. Gerido por meio de parceria público-privada, o empreendimento está localizado no Jardim Industrial do próprio município, foi inaugurado em 2002 e possui Licença de Operação nº 36006631, emitida, em 13 de maio de 2013, pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB.

De acordo com a Licença Ambiental, o Geresol opera em uma área de 255,25 m² e, para o funcionamento do mesmo, são necessários 14 funcionários, sendo 11 para produção e 3 para administração.

Informações a respeito do valor de investimento não foram disponibilizadas para o presente trabalho.

O objetivo principal do Geresol, no momento de sua criação, foi solucionar disposições clandestinas de RCD no município e seus inúmeros impactos ambientais e financeiros.

O Geresol recebe, em média, 15.000 t/mês de RCD, provenientes de todas as atividades de construção do município, visto que não existem outros locais regularizados para realizar essa atividade. O empreendimento recebe, principalmente, resíduos provenientes de transportadores particulares e também dos Ecopontos, que

são equipamentos públicos responsáveis pelos resíduos dos pequenos geradores, até 1 m³/(pessoa.dia).

O valor de R\$11,00/t, cobrado pelo recebimento dos resíduos, é pago diretamente pelo gerador à Prefeitura, no momento da contratação do transportador, e esse fica responsável por garantir a destinação final correta.

Uma característica peculiar do Geresol é que o empreendimento recebe os RCD do município, estando esses segregados ou não.

Assim como os outros empreendimentos visitados, os resíduos recebidos no Geresol passam por uma inspeção visual e são divididos em Cinza e Misto. De forma similar à Proguaru, estes materiais são beneficiados separadamente, de acordo com o estoque no pátio de armazenamento, garantindo materiais de diversas qualidades e que atendem a demandas diferentes.

O fluxo dos resíduos recebidos é apresentado a seguir:

- No início do processo, ocorre uma inspeção, que divide os resíduos, no pátio, em pilhas de Cinza e Misto.
- Após serem despejados no pátio de operações, os resíduos volumosos, como eletrodomésticos da linha branca, móveis e resíduos provenientes de poda, são triados, com o auxílio de pás carregadeiras, e armazenados em locais separados, de acordo com sua tipologia.
- Uma pá carregadeira alimenta uma esteira transportadora, na qual o material passa por catadores que retiram, de forma superficial, os resíduos Classe B e C.
- Os RCD - Classe A, após a triagem manual, são dispostos em uma pilha temporária, para o posterior transporte, por caminhões basculantes, até a área de beneficiamento.
- O britador, que é alimentado por uma pá carregadeira, é seguido pelas peneiras, de onde o material, separado por granulometria, é transportado, por correias transportadoras, até seu local de armazenamento final.

- Separadores magnéticos são dispostos ao longo do processo, para separação dos metais ferrosos.

A lista dos equipamentos usados no processo operacional deste empreendimento não foi disponibilizada para essa pesquisa.

Após beneficiados, os RCD - Classe A são transformados em agregado reciclado de diversas granulometrias, com produção de, aproximadamente, 5.550 t/mês. Toda a produção é utilizada nas obras de infraestrutura da Prefeitura de Jundiaí.

A lista dos produtos gerados no empreendimento é apresentada na Tabela 20.

Tabela 20 - Lista de produtos - GERESOL

Produto	Granulometria (mm)
Areia	0-5
Pedrisco	5-10
Bica Corrida	0-10
Brita 1	10-20
Brita 2	20-40
Brita 3	20-60
Rachão misto	-

A área onde são desenvolvidas as atividades do Geresol é de propriedade da Prefeitura de Jundiaí, com locação, por meio de concessão, e nela estão instaladas outras unidades com diversas atividades relacionadas aos resíduos, como aterramento, compostagem e triagem de recicláveis. Os resíduos Classe B e C provenientes das atividades de construção e demolição, quando segregados na fonte geradora, são destinados para essas outras unidades, bem como os resíduos provenientes da triagem pré-beneficiamento do Geresol.

A Figura 12 permite uma visualização geral do Geresol.

Figura 12 - Visão geral - Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - GERESOL



4.4.4 Comparativo entre os empreendimentos visitados

Como pôde ser observado, as usinas visitadas possuem algumas diferenças, relacionadas às estratégias de negócios e às formas de gerenciamento.

Todos os três empreendimentos beneficiam RCD - Classe A e somente a URV recebe, também, resíduos de madeira – Classe B. Porém, esse material é transbordado e destinado para usinas de reciclagem energética.

Em relação à propriedade, a URV é um empreendimento particular, enquanto que a Proguaru é pública e o Geresol é público-privada.

Mesmo as usinas sendo geridas por iniciativas distintas, todas possuem apoio das Prefeituras dos municípios onde estão instaladas, as quais viabilizam seu funcionamento.

O poder público dos municípios de Guarulhos e Jundiaí garante o uso total dos materiais produzidos, dos empreendimentos Proguaru e Gerosol, respectivamente, os quais são utilizados, predominantemente, como base e sub-base em obras de pavimentação. Em São Paulo, a Prefeitura subsidia 60% do valor cobrado pelo recebimento dos resíduos, pela URV, estimulando o destino dos materiais para este local.

Enquanto os produtos dos empreendimentos Proguaru e Geresol são utilizados pelas prefeituras, os produtos do empreendimento URV são comercializados.

Os resíduos provenientes da triagem pré-beneficiamento possuem diversos destinos. Em sua maioria, os Recicláveis Convencionais – Classe B são destinados para as cooperativas de catadores de cada município, e a Madeira, também Classe B, é destinada para usinas de reciclagem energética, exceto a Geresol, que encaminha esse material para compostagem. Os resíduos Classe C - Rejeitos são destinados para aterro por todos os empreendimentos.

O Quadro 11, a seguir, apresenta a síntese da comparação apresentada.

Quadro 11- Síntese da comparação entre os empreendimentos

Discriminação		URV	Proguaru	GERESOL
Resíduos recebidos		Classe A - Limpos	Classe A - Limpos	Classe A - Misturados
		Classe B - Madeira		
Propriedade		Particular	Pública	Público-Privada
Parceria com poder público		Subsídio de 60% do valor cobrado para recebimento	Uso do produto	Uso do produto
Destino dos produtos		Venda	Uso pela prefeitura	Uso pela prefeitura
Destino dos resíduos	Classe B Convencionais	Cooperativa de catadores	Cooperativa de catadores	Cooperativa de catadores
	Classe B Madeira	Reciclagem energética	Reciclagem energética	Compostagem
	Classe C Rejeito	Aterro	Aterro	Aterro

Cabe ressaltar que a diferença no processo produtivo da URV é o principal fator que permite a comercialização dos seus produtos. Esse empreendimento, além de receber somente resíduos segregados, o que resulta em um produto de melhor qualidade, possui duplos ciclones em seu processo produtivo, que possibilitam a produção de um material livre de partículas de baixa granulometria (pó), com aspecto visual adequado para comercialização. Além disso, o mesmo recebe quantidade muito maior de materiais, se comparado com os outros empreendimentos, o que garante estoque para melhor negociação com os clientes, possibilitando-lhes garantia de fornecimento.

O processo produtivo do empreendimento Geresol merece destaque, pelo fato de ser o único, dentre os estudados, a receber RCD - Classe A sem segregação. Essa particularidade do empreendimento garante o recebimento dos resíduos gerados em todas as obras do município, porém, acarreta em menores possibilidades de uso para o produto - somente obras de pavimentação viária - devido às suas características. Neste caso, pode ser um aspecto irrelevante, visto que a Prefeitura consome toda a produção da usina.

O fato de o Geresol receber resíduos não segregados pode ser prejudicial para o gerenciamento dos resíduos na fonte geradora, principalmente nas obras de grande porte, pois desmotiva a segregação, dificultando o conhecimento das características dos resíduos e, assim, diminuindo as possibilidades de minimização da geração.

Outra característica peculiar do Geresol é a contratação e o pagamento pelo serviço de recebimento/tratamento dos resíduos, diretamente realizados pelo Gerador, e não pelo Transportador, como acontece normalmente. Essa forma de contrato é considerada inovadora no Brasil, visto que ainda não acontece em outros municípios e possibilita maior eficácia do controle do fluxo dos resíduos, reduzindo as chances de serem dispostos irregularmente pelas vias e logradouros de Jundiá.

A comparação de dados quantitativos dos empreendimentos é apresentada na Tabela

21

Tabela 21 - Comparação de dados quantitativos entre os empreendimentos

Discriminação		URV	Proguaru	GERESOL
Cidade		São Paulo	Guarulhos	Jundiaí
Ano de inauguração		2014	2003	2002
Área (m ²)		-	560,00	255,25
Número de funcionários	Administrativo	3	2	3
	Operacional	10	14	11
	Total	13	16	14
Quantidade de resíduos recebidos (t/mês)		72.000	4.800	15.000
Valor de recebimento dos resíduos (R\$/t)	Solo	10,00-18,00		
	Entulho	8,00-18,00	6,00	11,00
	Madeira	37,00		
Equipamentos		1 tremonha	1 tremonha	
		2 peneiras	2 peneiras	
		1 britador secundário	1 britador	
		4 eletroímãs	1 eletroímã	
		4 esteiras	5 esteiras	
		1 pá carregadeira	1 pá carregadeira	Não informado
		2 ciclones		
		1 fragmentadora		
		1 trommel		
		1 silo		
		2 máquinas de artefato		
Produção (t/mês)		55.200	2.431	5.550
Produtos	Areia	0-5	x	x
	Pedrisco	5-10	x	x
	Bica fina	0-10	x	x
	Agregado rico em solo	0-10	x	
	Bica grossa	0-40	x	
	Pedra 1	10-20	x	x
	Pedra 2	20-40	x	x
	Pedra 3	20-60	x	x
	Rachão misto	-	x	x
	Graúdo	40-60		x
	BCR	60-100		x
	Artefatos de agregados reciclados		x	

Comparando a quantidade de resíduos recebidos pelos empreendimentos com a quantidade de produtos finais, pode ser obtido o índice de eficiência dos processos. Verifica-se que a URV possui um aproveitamento de aproximadamente 76% dos resíduos recebidos, enquanto que a Proguaru aproveita 50% e o Geresol somente 36%.

A diferença na eficiência das atividades de beneficiamento dos empreendimentos está relacionada com o processo operacional dos mesmos e com a qualidade dos resíduos recebidos. Nota-se que a URV é a usina que tem o processo mais complexo, enquanto que o Geresol é o único empreendimento a receber resíduos não segregados.

4.5 Modelo de usina de beneficiamento de RCD

O principal produto deste estudo se resume em um modelo de usina de beneficiamento de RCD, baseado na análise crítica e compilação das informações coletadas ao longo de todo trabalho de pesquisa, inclusive do referencial teórico.

Ao utilizar a estimativa de geração de RCD, adotada por Pinto e González (2005), de 0,52 t/(habitante x ano), para a cidade de Belo Horizonte e municípios limítrofes, pode-se explicitar o alto índice de geração de RCD, conforme mostra a Tabela 22.

Tabela 22 - Estimativa de geração de RCD em Belo Horizonte e municípios limítrofes

Município	População (hab 2016)*	Estimativa de geração per capita t/(habitante x ano)	Estimativa de geração (t 2016)
Belo Horizonte	2.513.451	0,52	1.306.994,52
Betim	422.354		219.624,08
Brumadinho	38.373		19.953,96
Contagem	653.800		339.976,00
Ibirité	175.721		91.374,92
Nova Lima	91.069		47.355,88
Ribeirão das Neves	325.846		169.439,92
Sabará	135.196		70.301,92
Santa Luzia	217.610		113.157,20
Vespasiano	120.510		62.665,20
Total	4.693.930	-	2.440.843,60

*Fonte: IBGE Cidades

Considerando a densidade dos RCD como 1,2 t/m³ e o volume da caçamba convencional como 5 m³, pode-se dizer que seriam necessárias 406.808 caçambas para o armazenamento de todo o RCD estimado para a região no ano de 2016.

Se colocadas lado a lado, essas caçambas ocupariam uma área de, aproximadamente, 2 km², o que equivale à área de mais de 200 campos de futebol.

Neste trabalho, é dada ênfase aos RCD Classe A com potencial para reciclagem na forma de agregado, por representarem a maior fração da composição dos RCD e por possuírem poucas alternativas de destinação coerentes com a atual preocupação social com o meio ambiente.

Considerando as informações apresentadas nesta pesquisa para RCD Classe A, a Tabela 23 sintetiza a situação destes resíduos, na região de Belo Horizonte, para o ano de 2016.

Tabela 23 - Síntese dos RCD Classe A na região de Belo Horizonte

Item	Mínimo	Máximo	Média
Representatividade (%)	53	63	58
Quantidade (t 2016)	1.293.647,11	1.562.139,9	1.427.893,51
Número de caçambas (un)	215.608	260.357	237.983

Foi verificado que, na região em questão, há 3 usinas de beneficiamento de RCD Classe A (ERE BR-040, ERE Pampulha e Usina Betim), as quais, se somadas suas capacidades produtivas (30, 50 e 50 t/h), considerando a média dos resíduos Classe A estimados pra região, e que todas estariam produzindo em sua capacidade nominal, menos de 14% dos RCD produzidos na região estariam sendo reciclados.

Cabe ressaltar que a porcentagem de resíduos possíveis de serem reciclados na região, 14%, está acima do valor apresentado por Miranda, Ângulo e Careli (2009) que, à época, era de 4,5%, para o panorama nacional, mas ainda assim é um valor irrisório para o setor.

Para o beneficiamento total da média dos RCD Classe A estimados, seriam necessárias cerca de 11 usinas, com capacidade de 80 t/h, ou 27 usinas, com capacidade de 30 t/h, números possíveis de serem alcançados, considerando o tamanho e porte dos municípios em questão.

Cabe ressaltar que o Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos com Foco em Resíduos de Serviço de Saúde e Resíduos da Construção Civil, elaborado no ano de 2015, propunha a implantação de 8 usinas nestes mesmos municípios.

Os dados apresentados exemplificam a situação dos RCD e sua fração Classe A, por meio da análise da região de Belo Horizonte, e deixa clara a necessidade de expansão do setor de beneficiamento desses materiais. O planejamento da implantação desses empreendimentos deve ser realizado de forma robusta, o que é contra a cultura do setor, que, na maioria das vezes, trabalha com imediatismo e de forma corretiva.

O planejamento para a implantação das usinas de beneficiamento sugerido é etapa primordial, que garante o bom funcionamento das mesmas de forma eficaz, evitando o desperdício de recursos, principalmente financeiros, visto que esses são os principais limitadores para a implantação de empreendimentos desse porte.

Usinas de beneficiamento de RCD possuem processo operacional complexo, principalmente devido ao alto grau de influência de vários fatores externos sobre o empreendimento, como tipo de geradores dos RCD, perfil dos principais consumidores dos produtos, parcerias firmadas com os órgãos públicos, dentre outros.

Para desenvolvimento de um empreendimento de sucesso, que seja capaz de atender às demandas de mercado, tanto em se tratando do recebimento e tratamento do resíduo (Classe A), quanto ao fornecimento de agregado reciclado de qualidade, é fundamental que alguns aspectos sejam considerados.

A etapa de planejamento é indispensável e deve ser iniciada com o estudo de mercado, o qual demonstrará a oferta de resíduos (matéria prima), mapeará os concorrentes (diretos ou indiretos), bem como apresentará a demanda pelo consumo dos produtos (agregado reciclado e artefatos de concreto, por exemplo), o que facilitará a escolha pela região onde será implantada a unidade.

A definição da área para implantação da usina de beneficiamento deverá considerar inicialmente a localização, que, além das informações fornecidas pelo estudo de mercado, deverá considerar as exigências legais, uma vez que a operação da unidade apresenta características que podem ser restritivas em determinados locais. Outro

aspecto a ser considerado na definição da área é a malha viária da região, que deverá comportar o fluxo de caminhões previsto.

A última ação da etapa de planejamento, antes do início da operação, será a elaboração da documentação necessária e aprovação da mesma junto aos órgãos públicos competentes, quando for o caso. Dentre as autorizações indispensáveis para o funcionamento das usinas destacam-se: alvará de funcionamento e licença ambiental.

Deve-se priorizar o uso de equipamentos móveis, o que tornará a operação mais flexível e permitirá alterações futuras, caso seja necessário. Esses deverão ser adquiridos, considerando a capacidade de produção esperada. Para o presente estudo, foram consideradas usinas com capacidade de 30t/h ou 80t/h.

Visando ampliar a oferta da prestação de serviço, devem ser recebidos resíduos Classe A em qualquer condição de segregação, o que demandará a implantação de esteira para triagem. A definição dos materiais a serem produzidos será embasada, inicialmente, na pesquisa de mercado, e poderá ser alterada ao longo do tempo, com a ampliação da atuação e da melhoria da relação com os clientes.

Neste aspecto, a busca e a consolidação de parcerias poderá ser um interessante diferencial para o desenvolvimento do negócio, com destaque para órgãos públicos, grandes geradores e grandes consumidores.

A seguir, apresenta-se o detalhamento dos itens primordiais a serem considerados:

4.5.1 Área

Quadro 12 - Aspectos relacionados à área do empreendimento

Item	Observações
Área de operação (m ²)	5.000 – 12.000
Área construída (m ²)	100
<i>Layout</i>	<p>O principal fator que influencia o tamanho da área de operação não é a capacidade produtiva do empreendimento, mas sim o <i>layout</i> determinado.</p> <p>Sugere-se o uso do sistema SLP – Planejamento Sistemático de <i>Layout</i>, antes da instalação dos equipamentos, para melhor uso da área e facilitação do processo operacional.</p>
Localização	<p>Para escolha da localização do empreendimento, diversos itens devem ser levados em consideração, principalmente devido ao fato do custo de aquisição da área influenciar diretamente na viabilidade econômica do empreendimento.</p> <p>No caso de usinas a serem implantadas em parceria com o poder público, devem ser levantadas as áreas públicas disponíveis para, dessa forma, possibilitar a economia na aquisição do terreno, por meio de concessão ou algum modelo similar.</p> <p>Um estudo aprofundado sobre as leis municipais deve ser realizado (Lei Orgânica e Plano Diretor, dentre outros), de forma a se evitar áreas com restrições de usos industriais e possíveis dificuldades com licenciamento ambiental e controle dos impactos ambientais.</p> <p>A distância entre a usina e os centros geradores/consumidores deve ser considerada, para que o valor do frete, majorado devido às longas distâncias a serem percorridas, não inviabilize o empreendimento.</p> <p>A existência de indústrias de artefatos de concreto no município (corpos de prova, tubulações e paredes de concretos) deve ser verificada, pois, caso existam, podem ser ótimas geradoras de matéria prima de qualidade e, até mesmo, consumidoras dos produtos da usina. A proximidade desses empreendimentos pode facilitar a viabilidade da usina.</p> <p>A análise de regiões municipais em expansão deve ser realizada, pois estes locais tendem a possuir uma maior quantidade de geradores de matéria prima e consumidores de produtos, o que pode ser um atrativo para o empreendimento.</p>

4.5.2 Projetos

Quadro 13 - Projetos a serem elaborados

Tipo	Observações
Arquitetônico	Devem ser previstas instalações físicas necessárias para: <ul style="list-style-type: none">- Guarita;- Estacionamento;- Recepção;- Instalações sanitárias e vestiários;- Copa e refeitório;- Setor administrativo;- Unidades produtivas. O <i>layout</i> deve ser aprovado pela prefeitura do município.
Elétrico	Deve ser verificada a compatibilidade entre a disponibilidade elétrica da rede e o consumo dos equipamentos a serem instalados.
Hidráulico-sanitário	Além do projeto hidráulico-sanitário das edificações, deve ser considerado o projeto dos aspersores de água para o controle de poeira. O projeto deve contemplar o aproveitamento de água pluvial.
Estrutural	Para o modelo aqui proposto, não é necessária a elaboração de projeto estrutural para instalação dos equipamentos, visto que serão propostos equipamentos móveis. Caso o empreendedor opte por outro tipo de equipamento, deve ser verificada a necessidade deste tipo de projeto.
Prevenção e combate a incêndio	Deve ser realizado de acordo com as exigências do Corpo de bombeiros.

4.5.3 Licenças ambientais e/ou urbanísticas

Quadro 14 - Aspectos relacionados ao licenciamento ambiental e/ou urbanístico

Item	Observações
Licenças ambientais e/ou urbanísticas	Pelo fato de usinas de beneficiamento de resíduos serem empreendimentos potencialmente causadores de impactos, as licenças são indispensáveis.
Órgãos responsáveis	O primeiro passo para o licenciamento é a análise das leis vigentes, municipais, estaduais e federais, e identificação do órgão responsável pela regularização desse tipo de empreendimento na localidade desejada.
Responsabilidade técnica	Sugere-se a contratação de responsáveis técnicos, com experiência comprovada na realização dos estudos e atividades relacionados ao licenciamento.
Cronograma	O processo de licenciamento deve ser iniciado logo após a finalização do planejamento do empreendimento, momento no qual os detalhes técnicos já foram definidos, e antes do início das atividades.
	Deve ser previsto o prazo de análise e aprovação das licenças ambientais para o início das atividades da usina, devendo ser considerado no cronograma de implantação. Esse prazo pode variar de acordo com o órgão competente, sendo comumente previsto entre 6 meses e 1 ano.

4.5.4 Equipe

Quadro 15 - Dimensionamento da equipe

Cargo	Capacidade (t/h)		Função
	30	80	
Gerente	1	1	Coordenar as atividades e a equipe.
Porteiro	1	1	Receber as cargas. Direcionar o carregamento/ descarregamento. Conferir e assinar documentação de recepção/expedição.
Encarregado de produção	1	1	Inspecionar os resíduos recebidos Orientar e liberar as cargas de produtos.
Auxiliar administrativo e financeiro	1	1	Realizar tarefas relacionadas ao controle administrativo e financeiro.
Auxiliar de triagem	4	6	Triar o material. (Esse serviço pode ser terceirizado para uma cooperativa de catadores de materiais recicláveis, porém, deve ser realizado o pagamento pela prestação de serviços)
Operador de equipamento	1	1	Operar o equipamento e realizar manutenção preventiva, quando necessário.
Operador de carregadeira	1	1	Operar a carregadeira.
Ajudante geral	1	1	Realizar atividades gerais, como limpeza e apoio à produção.
Vendedor	1	1	Captar geradores de matéria-prima e consumidores de produtos.

4.5.5 Equipamentos

Quadro 16 - Relação de equipamentos

Equipamento	Observações
Britador	O tipo de britador sugerido é o de mandíbula, principalmente por ter menor emissão de poeira e por permitir a produção de materiais com granulometrias mais variáveis.
	São indicados os equipamentos mais compactos e que realizam mais funções.
Peneiras vibratórias	A quantidade de peneiras vibratórias depende do tipo de material a ser produzido, o que será definido em estudo de mercado específico e poderá variar de acordo a demanda.
Esteiras transportadoras	O tamanho e a quantidade das esteiras transportadoras depende do <i>layout</i> definido para a área e do tipo de material a ser produzido, o que será definido em estudo de mercado específico.
	A instalação de esteira fixa para catação manual dos resíduos Classes B, C e D melhora a ergonomia e, por consequência, a saúde ocupacional da equipe de triagem.
Pá carregadeira Retroescavadeira	A escolha entre o uso de retroescavadeira ou pá carregadeira para o transporte dos materiais no empreendimento dependerá da disponibilidade de recursos financeiros. A pá carregadeira possibilita maior produtividade. Porém, o custo de aquisição é, aproximadamente, o dobro do custo da retroescavadeira.
Sistema eletrônico de segurança	A segurança de todo o empreendimento deverá ser garantida por meio de sistema eletrônico, que será composto por câmeras, sensores de presença e alarmes automatizados.

Alguns itens são importantes para o bom funcionamento da usina, mas, devido ao uso esporádico, esses podem ser alugados ou terceirizados, sempre que necessário. Alguns desses itens são apresentados no Quadro 17.

Quadro 17 - Instalações e equipamentos de uso intermitente

Item	Observações
Laboratório	Salienta-se a importância das análises dos produtos, para maior controle de produção. Porém, a instalação de laboratório na própria usina torna os investimentos e custos altos e a terceirização desse serviço é uma opção mais adequada.
Oficina mecânica	A manutenção preventiva dos equipamentos e as trocas de peças em tempo hábil garantem o funcionamento intermitente da usina, porém, a construção de uma oficina mecânica pode ser inviável e a terceirização do serviço não prejudica a sua qualidade.
Balança	O mercado de recebimento de resíduos usualmente utiliza o método de medição dos materiais recebidos e destinados por cubagem dos veículos transportadores, sendo dispensável a compra de balança para empreendimentos similares.
Rompedor	Sugere-se que o rompedor, equipamento utilizado para diminuição dos materiais a serem britados, seja alugado quando necessário, visto que não é utilizado frequentemente.

4.5.6 Matéria prima

Quadro 18 - Aspectos relacionados à matéria prima

Item	Observações
Tipo de resíduos recebidos	Visando atender à demanda de destinação dos RCD Classe A gerados na região, a usina deverá receber os materiais em qualquer condição, segregados (Classe A com menos de 10% de contaminação por outros resíduos) ou não (Classe A com mais de 10% de contaminação por outros resíduos).
Cobrança pelo serviço	Deverá haver cobrança pelo serviço de recebimento dos resíduos, a qual deverá apresentar valores diferenciados, de acordo com a segregação, sendo mais alto para cargas contendo resíduos classe A não segregados e mais baixo para cargas contendo resíduos segregados.
	Caso a carga seja classificada pelo gerador e/ou transportador como segregada (limpa) e, no momento de inspeção, for verificado o oposto, deverá ser cobrado o valor para cargas não segregadas acrescido de multa.
Registro e controle	Para controle de entrada e saída de materiais na usina, deve ser utilizado o sistema <i>online</i> de gerenciamento de resíduos, o qual deverá considerar o cadastro dos fornecedores e clientes, o registro de toda movimentação de resíduos e produtos, e permitir o arquivamento digital de todos os documentos e comprovantes.

4.5.7 Produtos

Diversos são os produtos possíveis de serem gerados nas usinas de beneficiamento. A escolha depende da demanda de uso dos consumidores, identificada por estudo de mercado específico. Segue lista dos principais produtos gerados por este tipo de empreendimento:

- Areia
- Pedrisco
- Bica fina
- Agregado rico em solo
- Bica grossa
- Pedra 1
- Pedra 2
- Pedra 3
- Rachão misto
- Graúdo
- BCR
- Artefatos de agregados reciclados

4.5.8 Impactos ambientais e/ou urbanísticos e medidas de controle

Quadro 19 - Impactos e controle

Impacto	Controle
Emissão de poeira	Pavimentação das vias Aspersão de água no pátio de descarga e no britador Plantio de cortina verde
Emissão de ruído	Plantio de cortina verde Manutenção preventiva dos equipamentos
Alteração de tráfego	Orientação aos motoristas para uso correto das vias e atendimento às leis de trânsito Sinalização nas vias próximas à usina

4.5.9 Parcerias

Quadro 20 - Possíveis parcerias

Parceiros	Observações
Poder público	A atuação da usina vai além do interesse econômico particular do empreendedor, uma vez que é um serviço ambiental de interesse público, que influencia na qualidade de vida da população e facilita a limpeza pública, altamente onerosa. Por isso, parcerias com o poder público municipal são importantes para ambas às partes.
	Pode ser analisada a possibilidade de concessão de área pública para a implantação da usina, em contrapartida à destinação dos resíduos oriundos dos serviços de limpeza pública, em condições a serem negociadas.
	O uso dos produtos para obras públicas deve ser priorizado.
	Devem ser elaboradas leis de incentivo à implantação de usinas de beneficiamento, contemplando: Isenção de impostos/ redução da carga tributária; Exigência do uso dos produtos em obras de grande porte; Exigência do uso dos produtos em licitações para obras públicas.
	Devem ser realizadas ações sociais e educativas sobre a correta destinação dos resíduos e uso dos produtos reciclados.
Grandes geradores e consumidores	São importantes para o fornecimento de matéria prima e consumo dos produtos. Dentre os possíveis parceiros, destacam-se as fábricas de artefatos de concreto e as grandes construtoras.
Cooperativas	Para a triagem dos resíduos, pode ser realizada parceria com essas entidades, que poderão se responsabilizar pela destinação dos rejeitos e compra dos recicláveis.

4.5.10 Investimentos

Quadro 21 - Valores dos investimentos

Item		Mínimo (R\$)	Máximo (R\$)
Área		1.938.950,00	4.653.240,00
Estudo de mercado		10.000,00	20.000,00
Projetos		13.000,00	27.000,00
Licenças ambientais		2.000,00	10.000,00
Infraestrutura		30.000,00	315.000,00
Sistema eletrônico de segurança		5.000,00	15.000,00
Equipamentos	Britador	175.000,00	640.000,00
	Peneiras vibratórias	360.000,00	720.000,00
	Esteiras transportadoras	35.000,00*	70.000,00
	Retroescavadeira	140.000,00	-
	Pá carregadeira	-	320.000,00
Total		2.673.950,00	6.720.240,00

4.5.11 Custos mensais

Quadro 22 – Valores dos custos mensais

Item		Mínimo (R\$/mês)	Máximo (R\$/mês)
Equipe	Gerente	10.424,78	10.424,78
	Recepcionista	1.889,34	1.889,34
	Encarregado de produção	3.895,20	7.790,40
	Auxiliar administrativo	1.966,53	1.966,53
	Auxiliar de triagem	7.249,54	10.874,30
	Operador de equipamento	2.650,98	2.650,98
	Operador de carregadeira	2.650,98	2.650,98
	Ajudante geral	1.812,38	1.812,38
	Vendedor	4.000,00	4.000,00
Encargos administrativos		1.000,00	7.000,00
Insumos	Água	420,00	6.500,00
	Energia	4.600,00	47.200,00
Bens de consumo		2.000,00	9.000,00
Total		44.559,73	113.759,69

Não foram considerados os custos com destinação de rejeitos, pois é proposta uma parceria com a associação de catadores de materiais recicláveis, na qual os materiais

recicláveis são doados, em troca da destinação ambientalmente adequada dos rejeitos.

4.5.12 Receitas

Quadro 23 – Valores estimados das receitas

Item		Valor (R\$/caçamba 5m ³)
Recebimento de resíduos	Segregados	7,00
	Não segregados	12,00
Venda dos produtos		30,00

Não foram consideradas receitas com venda dos rejeitos recicláveis, que serão doados, em troca de sua destinação ambientalmente adequada.

4.5.13 Resultado Operacional

Considerando uma produção média de 70% das capacidades instaladas propostas, 30 t/h e 80 t/h, é apresentado no Quadro 24 o resultado estimado para o empreendimento, considerando as receitas e custos apresentados anteriormente.

Quadro 24 – Resultado Operacional

Descrição		Mínimo (R\$)	Máximo (R\$)
Receita Mensal	Recebimento (Valor Médio)	28.297,50	75.460,00
	Venda	92.610,00	246.960,00
Custo Mensal		44.559,73	113.759,69
Resultado Operacional Mensal		76.347,77	208.660,31

De acordo com os dados apresentados, a obtenção do *payback* do empreendimento ocorreria entre 32 a 35 meses.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da composição dos resíduos da construção e demolição do presente estudo mostram que, independente do método construtivo utilizado, mais de 90% dos resíduos gerados são recicláveis, com predominância de entulho (Classe A) e madeira (Classe B), demonstrando o alto potencial de reciclagem dos resíduos gerados na construção civil.

Foi verificado que há uma diferença na caracterização dos resíduos gerados nas obras de grande porte e os recebidos pelas Áreas de Transbordo e Triagem, principal agente receptor de RCD nos grandes centros, principalmente devido às técnicas de segregação utilizadas nas obras e às destinações dadas para alguns resíduos, como Gesso e Madeira.

Porém, mesmo com essa diferença, para ambos os agentes do fluxo dos resíduos – geradores e receptores – há concordância quanto há predominância dos resíduos Classe A, que podem representar de 53% a 63% do total de RCD gerado. A supremacia dessa fração dos resíduos justifica a ênfase deste trabalho em usinas que beneficiam estes materiais.

Analisando a região de Belo Horizonte, constatou-se que, em 10 municípios analisados, só existem 3 usinas de beneficiamento da fração Classe A dos RCD, que, se operassem na sua capacidade nominal, só conseguiriam atender a demanda de 14% do total de resíduos gerados no ano de 2016, exemplificando a carência de expansão do setor.

Em visitas às usinas existentes no Brasil, que funcionam de forma eficiente e eficaz, constatou-se que diversos métodos de gestão desses empreendimentos podem ser utilizados, e que os mesmos são desenvolvidos de acordo com as diversas características específicas das localidades onde se encontram. Salienta-se que, em todas as usinas visitadas, foram observadas diversas parcerias firmadas com o poder público, que foram essenciais para o sucesso dos empreendimentos.

No modelo apresentado, concluiu-se que não é possível estabelecer valores fixos de investimentos e custos, devido à complexidade dos diversos fatores que têm a influencia o sucesso do empreendimento. Porém, destaca-se que, para a implantação

de novas usinas, deve ser priorizada a fase de planejamento, na qual devem ser considerados os diversos aspectos gerais, técnicos-operacionais e financeiros, sendo eles: área, projetos, licenças ambientais e urbanísticos, equipe, equipamentos, matéria prima, produtos, impactos ambientais e medidas de controle, parcerias, investimentos, custos e receitas.

Dentre as faixas apresentadas de investimento, custo e receita, pode-se verificar que a implantação do modelo de usina proposto, se operada nas condições planejadas, é viável, tanto operacionalmente, quanto economicamente.

Por fim, notou-se que, se adaptado, o modelo aqui estabelecido, bem como a metodologia de estudo adotada, podem ser replicados para os diversos setores de beneficiamento de resíduos, como: madeira, gesso, vidro, papel e plástico.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004:** Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.174:** Armazenamento de resíduos classes II – não inertes e III - inertes. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. 7p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.221:** Transporte terrestre de resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 4p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.112:** Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 7p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.113:** Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 12p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.114:** Resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 7p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.115:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação – procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 10p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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: ABNT, 2004. 12p.

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE. **Plano metropolitano de gestão integrada de resíduos com foco em resíduos de serviços de saúde (RSS) e resíduos da construção civil e volumosos (RCCV)**. Belo Horizonte, 2015. 4v.

ÂNGULO, S. C., et al. **Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação**. Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 16 n. 3, pág 299-306. 2011.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 204 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2005.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, nº 147, 03 de agosto de 2010.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº. 307, de 05 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, nº 136, de 17 de julho de 2002, págs. 95-96. Alterada pelas Resoluções 348, de 2004, nº 431, de 2011, e nº 448/2012.

CALADO, S.; FERREIRA, S.C. **Análise de documentos: método de recolha e análise de dados.** Metodologia de Investigação I. DEFCUL. 2004-2005.

CAMPAGNA,C,S, NEUMANN, C.S.R., DANILEVICZ,A.M.F. **Desenvolvimento de um layout para uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil.** In: XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** Bento Gonçalves/RS: ENEGEP, 2012. p.1-14.

CASTRO,C.X. **Gestão de resíduos na construção civil.** 2012. 54f. Monografia. Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2012.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica.** 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007

CHUNG, S., LO, C. W. H. **Evaluating sustainability in waste management: the case of construction and demolition, chemical and clinical wastes in Hong Kong.** Resources, Conservation and Recycling. 2002.

COUTO NETO,A.G. **Construção civil sustentável: avaliação da aplicação do modelo de gerenciamento de resíduos da construção civil do SINDUSCON-MG em um canteiro de obras - um estudo de caso.** 2007. 103f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2007.

CÓRDOBA, E. R. **Estudo do Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos de Construção e Demolição no município de São Carlos – SP.** 2010. 372p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CUNHA, N.A. **Resíduos da construção civil análise de usinas de reciclagem.** 2007. 187f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007.

DAHER, A.M., FABR, E.S. Gestão de rejeitos de madeira na construção civil: impactos no empreendimento Way Pampulha. **Pós em Revista do Centro Universitário Newton Paiva**, ed. 6, p.151-156, fev. 2012. Disponível em:<<http://blog.newtonpaiva.br/pos/wp-content/uploads/2013/04/PDF-E6-ENG17.pdf>> Acesso em

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

ESGUÍCERO,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. 128f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo, 2010.

ESPAÑA. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto n.105 de 1 de febrero de 2008. **Regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.** Madri, ES, 13 feb. 2008. Disponível em: <<https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/D7F2AD2C-56F6-4C23-AD0D-F2E7DBDB0F5A/102302/1052008.pdf>> Acesso em 30 de janeiro de 2017.

FONSECA, Y.R. **Avaliação de usinas de reciclagem de resíduo da construção civil pelo método de opções reais combinadas.** 2014. 69f. Trabalho Final de Curso (Monografia). Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2014.

FORMOSO, C.T., et al. **As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor.** 2002. Disponível em: <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/perdas.pdf>> Acesso em 30 de janeiro de 2017.

FUKUROZAKI, S.H., SEO, E.S.M. Desafios para a destinação de resíduos da construção civil: a implantação das áreas de transbordo e triagem no município de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Anais...** Florianópolis/SC: ICTR, 2004. p.4750-4759.

JADOVSKI, I. MASUERO, A.B. Estudo dos custos de implantação, operação e manutenção de usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Florianópolis/SC: ENTAC, 2006. p.1842-1851.

JUIZ DE FORA. Prefeitura de Juiz de Fora. **Plano integrado de gerenciamento de resíduos de construção civil de Juiz de Fora.** Juiz de Fora. Minas Gerais, 2010. 310p.

JÚNIOR, G.B.A., et al. Verificação da viabilidade econômica de uma usina de reciclagem de resíduos de demolição e construção civil. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...** Campo Grande/MS: ABES, 2005. p.1-7.

JURAS, I. A. G. M. **Legislação sobre Resíduos Sólidos: comparação da Lei 12.305/2010 com a legislação de países desenvolvidos.** Consultoria Legislativa da Câmara de Deputados. Brasília. Abr 2012.

MÁLIA, M. BRITO, J., BRAVO, M. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. **Ambiente Construído (Online)**, Porto Alegre, v.11, n.3, p.117-130, Jul. Set. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212011000300009>> Acesso em 30 de janeiro de 2017.

MANFRINATO, J.W.S., ESGUÍCERO, F.J., MARTINS, B.L.M. Implementação de usina para reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) como ação para o desenvolvimento sustentável - estudo de caso. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** Rio de Janeiro/RJ: ENEGEP, 2008. p.1-12.

MIRANDA, L. F. R., ANGULO, S. C., CARELI, E. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído** (Online), Porto Alegre, v. 9, p. 57-71, 2009. Disponível em:< <http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/7183/4909>> Acesso em 30 de janeiro de 2017.

MIRANDA, L.F.R. Usinas de reciclagem de resíduos classe A da construção civil. In: _____. **Metodologia para a reciclagem de resíduos de construção classe A em canteiros de obras**. Relatório Final de Pesquisa. Projeto CNPq Universal. 2009. cap.1.

NUNES, C. C., JUNGES, E. **Comparação de custo entre estrutura convencional em concreto armado e alvenaria estrutural de blocos de concreto para edifício residencial em Cuiabá – MT**. XII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. Fortaleza – CE. 2008

OLIVEIRA, D.M. **Desenvolvimento de ferramenta para apoio à gestão de resíduos de construção e demolição com uso de geoprocessamento: caso Bauru – SP**. 2008. 119f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, 2007.

PIMENTA, C. F.. et al. SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, 4., 2015, São Carlos. **Ferramenta Computacional para Gestão de Resíduos da Construção Civil. Anais...** São Carlos:2015.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1999.

PINTO, T.P., GONZÁLEZ, J.L.R.(Coord.) **Manejo e gestão de resíduos da construção civil: manual de orientação**. Brasília: CAIXA, 2005.

SALÁRIO BR – **Pesquisa salarial do Brasil**. Disponível em:<www.salariobr.com.br> Acesso em 30 de janeiro de 2017.

SILVA,M.C.G. **Utilização do método *analytic hierarchy process* (AHP) para localização de usina de reciclagem de resíduos da construção civil**. 2012. 83f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, 2012.

SOBRAL,R.F.C. **Viabilidade econômica de usina de reciclagem de resíduos da construção civil: estudo de caso da USIBEN**. 2012. 117f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2012.

SOUZA, U.E.L., et al. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.4, n.4, p.33-46, out./dez. 2004. Disponível em:< <http://ftp-acd.puc-campinas.edu.br/pub/professores/ceatec/juleusa/Eng.%20Civil/Diagn%C3%B3stico%20e%20combate%20%C3%A0%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20res%C3%ADduos.pdf>> Acesso em 30 de janeiro de 2017.

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 (Online)**, Porto Alegre, v.12, n.2, p.121-130, abr./jun. 2012. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/ac/v12n2/08.pdf>> Acesso em 30 de janeiro de 2017.