

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÍVEL MESTRADO**

EDUARDO PIZONI

**DIRETRIZES PARA RECICLAGEM DO RCD GERADO NO MUNICÍPIO DE
FARROUPILHA COMO AGREGADO NA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS RURAIS**

São Leopoldo

2019

EDUARDO PIZONI

**DIRETRIZES PARA RECICLAGEM DO RCD GERADO NO MUNICÍPIO DE
FARROUPILHA COMO AGREGADO NA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS RURAIS**

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

Orientadora: Profa. Dra. Andrea Parisi Kern

São Leopoldo

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

P695d

Pizoni, Eduardo

Diretrizes para reciclagem do RCD gerado no município de Farroupilha como agregado na pavimentação de vias rurais

/ Eduardo Pizoni. – 2019.

93 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2019.

“Orientadora: Profa. Dra. Andrea Parisi Kern”

1. Engenharia Civil. 2. Resíduos de construção e demolição. 3. Agregado natural. 4. Usina de reciclagem. I. Título.

CDU 624

Catálogo na Fonte:

Mariana Dornelles Vargas – CRB 10/2145

EDUARDO PIZONI

DIRETRIZES PARA RECICLAGEM DO RCD GERADO NO MUNICÍPIO DE FARROUPILHA COMO AGREGADO NA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS RURAIS

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

Aprovado em 21 de Março de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Andrea Parisi Kern – UNISINOS

Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte – UFPA

Profa. Dra. Regina Célia Espinosa Modolo – UNISINOS

Dedico este trabalho a minha mãe Ivanes, meu pai Jandir,
minha irmã Aline e a minha namorada Thábata, meus
únicos motivos para ter chegado até aqui.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me concedido saúde e força para chegar até aqui, e por motivar minha fé para conseguir ir adiante.

À minha família por sempre acreditar em mim.

À Profa. Dra. Andrea Parisi Kern por me orientar, apoiar, confiar e dedicar seu tempo a mim, sempre me incentivando a seguir em frente.

A Prefeitura Municipal de Farroupilha que concederam as informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa.

A todos meus amigos que me acompanham desde a graduação, me apoiando e ajudando a superar as dificuldades do dia-a-dia com a amizade e companheirismo.

RESUMO

A significativa quantidade de resíduos gerados pelo setor da construção civil (resíduos de construção e demolição – RCD) é hoje um grande problema ambiental a ser enfrentado pelas construtoras e pelo poder público, exigindo esforços por parte dos municípios com foco no manejo e no reaproveitamento do material. O que se constata, porém, é que na prática o próprio poder público em muitos casos não reaproveita o resíduo, sendo a reciclagem do mesmo em agregado prevista em lei, priorizando o consumo do agregado natural. Neste contexto, essa dissertação de mestrado apresenta diretrizes para adaptação do britador municipal para reciclagem do RCD em agregado, com vistas ao uso na pavimentação de vias rurais. Dentre as etapas do estudo, foi estimada a quantidade de resíduos de construção e demolição “Classe A” gerada no município, a quantidade de agregado natural utilizada em revestimento primário de pavimentações na área rural, avaliação das diretrizes relativas à implantação da usina de reciclagem de RCD no britador municipal, avaliação das medidas e custos necessários para adequação do local. Por fim, foi realizado o levantamento dos custos da produção do agregado natural e reciclado. Como principais resultados, o trabalho apresenta o consumo de agregado natural utilizado, assim como o volume de RCD gerado no município, além dos custos para adaptação do britador municipal e comparação dos valores de produção de cada agregado. Com análise dos resultados obtidos, pode-se comparar a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado em pavimentação, onde se obteve uma economia de agregado natural de 68,42%. Em relação ao custo unitário do agregado reciclado, obteve-se uma redução de 14,08% em comparação ao custo unitário do agregado natural.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição. Agregado natural. Britador. Usina de reciclagem.

ABSTRACT

The significant amount of waste generated by the construction sector (construction and demolition waste - RCD) is now a major environmental problem to be faced by the construction companies and by the public authorities, requiring efforts by the municipalities with a focus on the management and reuse of the material. What is verified, however, is that in practice the public power itself in many cases does not recycle the waste, being recycled in the aggregate provided for by law, prioritizing the consumption of the natural aggregate. In this context, this master's dissertation presents guidelines for adapting the municipal crusher for recycling RCD in aggregate, with a view to the use of paving in rural roads. Among the stages of the study, the amount of "Class A" construction and demolition waste generated in the municipality was estimated, the amount of natural aggregate used in the primary coating of the pavements in the rural area, and the evaluation of the guidelines for the implementation of the recycling plant RCD in the municipal crusher, evaluation of measures and costs necessary to adapt the site. Finally, a survey was carried out of the costs of producing the natural and recycled aggregate. As main results, the work presents the consumption of natural aggregate used, as well as the volume of RCD generated in the municipality, besides the costs for adaptation of the municipal crusher and comparison of the production values of each aggregate. With the analysis of the results obtained, one can compare the replacement of the natural aggregate by the recycled aggregate in paving, where a natural aggregate saving of 68,42% was obtained. In relation to the unit cost of the recycled aggregate, a reduction of 14,08% was obtained in comparison to the unit cost of the natural aggregate.

Key-words: Construction and demolition waste. Natural aggregate. Crusher. Recycling plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo de reciclagem de RCD.....	31
Figura 2 – Mapeamento das usinas de reciclagem de RCD	35
Figura 3 – Principais consumidores de agregado reciclado	36
Figura 4 – Preço por m ³ de RCD recebido	36
Figura 5 – Principais causas de dificuldade	36
Figura 6 – Quantidade produzida de rocha britada	45
Figura 7 – Usinas de britagem instaladas	46
Figura 8 – Distribuição da produção mineral nos EUA.....	47
Figura 9 – Segmentação do consumo de brita no Brasil.....	51
Figura 10 – Delineamento da pesquisa.....	54
Figura 11 – Localização do britador municipal	66
Figura 12 – Separador magnético	72

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Equipamentos	67
Fotografia 2 – Área do britador.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de britadores e descrição.....	33
Quadro 2 – Principais utilizações dos agregados.....	50
Quadro 3 – Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação..	58
Quadro 4 – Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação	58
Quadro 5 – Avaliação das diretrizes – Projeto e implantação	59
Quadro 6 – Avaliação das diretrizes – Operação	60
Quadro 7 – Avaliação das diretrizes – Projeto e implantação	69
Quadro 8 – Avaliação das diretrizes – Operação	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa de geração de RCD em diversos países.....	23
Tabela 2 – Estimativa de coleta de RCD por origem (2008)	23
Tabela 3 – Composição média dos materiais de RCD em obras no Brasil	24
Tabela 4 – Fontes geradoras e componentes dos RCD (%).....	24
Tabela 5 – Equipamentos e descrição	32
Tabela 6 – Quantitativo de agregado natural utilizado para a pavimentação de estradas no ano de 2017.....	55
Tabela 7 – Registros de dados coletados	57
Tabela 8 – Quantitativo de agregado natural consumido	63
Tabela 9 – Levantamento das áreas de construção.....	64
Tabela 10 – Custo da edificação	73
Tabela 11 – Custo da obra civil da área de triagem e armazenamento	73
Tabela 12 – Custo total de salário.....	74
Tabela 13 – Custo das taxas de licenciamento ambiental	74
Tabela 14 – Materiais empregados na produção	76
Tabela 15 – Custo com mão de obra direta	76
Tabela 16 – Tabela do custo unitário	77
Tabela 17 – Materiais empregados na produção	78
Tabela 18 – Obras civis e equipamentos	78
Tabela 19 – Custo com mão de obra direta	79
Tabela 20 – Tabela do custo unitário	80
Tabela 21 – Tabela do custo unitário do agregado reciclado.....	80
Tabela 22 – Comparativo de custos.....	81

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Públicas e Resíduos Especiais
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção
ATT	Área de Transbordo e Triagem
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CDW	<i>Construction and Demolition Waste</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CUB	Custo Unitário Básico
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
HRM	<i>Healing Rubbing Method</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISC	Índice de Suporte Califórnia
MCidades	Ministério das Cidades
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
URPV	Unidades de recebimento de pequenos volumes
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 QUESTÕES DE PESQUISA	19
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 Objetivo Geral	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	20
2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	20
2.1 GERAÇÃO DE RCD	22
2.2 SISTEMAS DE GESTÃO DE RCD	25
2.3 RECICLAGEM DE RCD	27
2.3.1 Usina de reciclagem	30
2.3.2.1 Equipamentos utilizados	32
2.3.2.2 Usinas de reciclagem de RCD no Brasil	34
2.3.2.3 Viabilidade financeira	37
2.4 USOS DO RCD RECICLADO	39
2.4.1 Em base e sub-base de pavimentação	41
2.4.2 Revestimento primário de pavimentação	43
2.5 AGREGADO NATURAL	44
2.5.1 Panorama Internacional	46
2.5.2 Principais características do setor	48
2.5.3 Uso e substituições	49
3 METODOLOGIA	53
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	53
3.2 ETAPAS REALIZADAS	54
3.2.1 Etapa 1: Quantidade de agregado natural consumida pela Prefeitura Municipal em obras de pavimentação de vias rurais	54
3.2.2 Etapa 2: Quantidade de resíduos “Classe A” gerado em obras realizadas no município de Farroupilha	55
3.2.3 Etapa 3: Identificação de adaptações para uso do britador municipal para reciclagem do RCD	58
3.2.4 Etapa 4: Custos da produção do agregado natural e reciclado	61

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	63
4.1 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE AGREGADO NATURAL CONSUMIDO PELA PREFEITURA MUNICIPAL EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO.....	63
4.2 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE RCD NO MUNICÍPIO DE FARROUPILHA.....	63
4.2.1 Estimativa da geração de RCD das novas construções.....	64
4.2.2 Estimativa da geração de RCD “Classe A”.....	65
4.3 IDENTIFICAÇÃO DE ADAPTAÇÕES PARA USO DO BRITADOR MUNICIPAL PARA RECICLAGEM DE RCD.....	66
4.3.1 Britador Municipal.....	66
4.3.2 Avaliação do britador municipal para produção de agregado reciclado ..	68
4.3.2.1 Projeto e implantação.....	69
4.3.2.2 Condições de Operação.....	70
4.3.3 Custos de adequação.....	71
4.3.3.1 Custo de aquisição de equipamentos e instalação de equipamentos.....	72
4.3.3.2 Custo de obras civis.....	72
4.3.3.3 Custo de mão de obra.....	74
4.3.3.4 Custo de licenciamento.....	74
4.4 VERIFICAÇÃO DOS CUSTOS DA PRODUÇÃO DO AGREGADO NATURAL E RECICLADO.....	75
4.4.1 Custo da produção do agregado natural.....	75
4.4.2 Custo da produção de agregado reciclado.....	77
4.4.3 Custo da produção de agregado reciclado em 2018.....	80
4.4.4 Comparativo entre os custos do agregado natural e agregado reciclado	81
5 DIRETRIZES PARA RECICLAGEM DO RCD GERADO NO MUNICÍPIO DE FARROUPILHA PARA USO COMO AGREGADO NAS PAVIMENTAÇÕES.....	81
5.1 AÇÕES DA PREFEITURA MUNICIPAL.....	82
5.1.1 Definição de uma equipe técnica.....	82
5.1.2 Investimento por parte do município (compra, contratações, etc.).....	82
5.1.3 Garantia de características técnicas do material.....	83
5.1.4 Definição do processo de fiscalização.....	84
5.1.5 Programa de incentivos.....	84
6 CONCLUSÃO.....	86
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	86
REFERÊNCIAS.....	88

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos de construção e demolição - RCD constituem uma significativa fração dos resíduos sólidos urbanos (RSU), cujos valores referentes à geração de são apresentados em diversos estudos e trabalhos, nacionais e internacionais, os quais apresentam valores que variam entre 200 kg/hab.ano a 717 kg/hab.ano (COELHO e BRITO, 2011; OLIVEIRA et al., 2011; MELO, GONÇALVES E MARTINS, 2011; BERNARDES et al., 2008). A metodologia de quantificação emprega também índices de geração dos RCD por unidade de área, dependendo da origem (construção, reforma e demolição). A geração de RCD a partir de construção foram realizados no Brasil (PINTO, 1999; ANGULO et al., 2011). Os resultados obtidos nestes estudos, apresentam gerações de RCD por unidade de área (m²) de edificações verticais, variando entre 0,050 e 0,150 t/m². Em relação a reformas, os autores Morales, Mendes e Angulo (2006), obtiveram 0,470 t/m².

O elevado volume de RCD deve ser administrado visando à eliminação do descarte em locais inadequados, ocasionando problemas de saúde pública, no meio ambiente, aos cofres públicos e à redução da vida útil dos aterros. Dessa forma, a maior fração do volume de RCD deve ser encaminhada à reciclagem em agregado, contribuindo para a redução do impacto ambiental gerado pela atividade de construção e demolição de obras de duas maneiras: diminuição do volume de resíduos e uso de material reciclado em substituição a recursos naturais (KARPINSKI et al., 2008).

Esses números mostram a necessidade de uma reformulação técnica e administrativa no setor, da adoção de parâmetros de qualidade e da substituição do modelo linear de produção, no qual deve ser substituído pelo modelo de lógica circular de criação e reutilização, seguindo por exemplo o modelo “berço ao berço”, em tradução ao termo utilizado na língua inglesa (*cradle to cradle*), o qual busca o aproveitamento máximo dos recursos investidos, tornando um “ciclo fechado”, conforme apontam os autores Braungart e McDonough (2009). Ou seja, o resíduo gerado na execução de obras, torna-se matéria prima para a própria obra ou obras futuras, num ciclo fechado de produção.

A carência de gerenciamento do RCD afeta os municípios nos aspectos sociais, econômicos e ambientais. Desta maneira, ações de enfrentamento a este problema tiveram início no final do século XIV em alguns países europeus, enquanto

que no Brasil, somente no início do século XXI. No Brasil, não existiam políticas públicas para os resíduos gerados pelo setor da construção civil até 05 de julho de 2002, quando entrou em vigor a Resolução n.º 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), a qual estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, visando proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

Este marco regulatório define o que são esses resíduos, as classes, a triagem, o transporte, a reciclagem e o descarte. Além disso, estabelece o “Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil”, a ser elaborado pelos Municípios, que deve disciplinar o manuseio e disposição dos RCD produzidos nos canteiros de obras, envolvendo toda a cadeia, incluindo transportadores e áreas de destino final. No entanto, somente a taxa de crescimento da construção civil se elevou na última década, em consideração que poucos municípios cumprem com a Resolução (LIMA et al., 2013).

A relação entre academia, geradores e o poder público é de extrema importância para o avanço na gestão do RCD. Porém, de acordo com Mickwitz e Melanen (2009 apud BRÖNSTRUP, 2010), o sucesso da implementação de projetos propostos pela academia nesse tema é influenciado pela forma como eles são originalmente desenvolvidos, considerando as limitações de entendimento do contexto, do relacionamento entre *experts* e o público e do processo. Esses autores concluíram que o conhecimento produzido em conjunto, ao invés de ser individualizado e transferido da academia para o poder público, aumenta a relevância dos resultados e a capacidade de utilização dos mesmos

Baseando-se nos instrumentos de gestão pública para os RCD, é notável a importância da reciclagem de RCD como uma ferramenta aliada à sustentabilidade, capaz de satisfazer às necessidades da sociedade como um todo. De um ponto de vista amplo, a reciclagem e a possibilidade de eliminação de RCD ao mesmo tempo gera uma grande influência sobre a conservação dos recursos naturais, uma vez que evita a extração da matéria-prima e fornece substituintes aos materiais de construção, que exigem quantidade expressiva de matéria-prima e energia para produção (HUANG et al., 2002).

Entre as alternativas de uso dos agregados reciclados de RCD na atualidade, encontra-se a utilização em pavimentação como uma das mais vantajosas (CARNEIRO; BURGOS; ALBERTE, 2001). O pavimento é uma estrutura de

múltiplas camadas e espessuras finitas, construída sobre a superfície de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima. O trabalho apresentado por Bernucci et al. (2012), comprova o aproveitamento do material reciclado para pavimentação e apresenta vantagens como utilização de quantidade significativa do material reciclado, tanto na fração miúda quanto na graúda, simplificação dos processos de execução do pavimento e da produção do agregado reciclado, tais características mostram o seu grande potencial de reciclagem como agregado para pavimentação.

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo estabelecer diretrizes para reciclagem do RCD gerado no município de Farroupilha – RS para uso como agregado na pavimentação de vias rurais.

1.1 JUSTIFICATIVA

O município de Farroupilha conta com uma malha viária em área rural de extrema significância e demanda, tendo em vista a importância da agricultura, pois a cidade é a maior produtora de uvas moscatéis do Brasil, nomeada como Capital do Moscatel. Essas vias rurais, na sua grande maioria, possuem apenas o revestimento primário, que é composto por brita graduada, material oriundo de jazida de posse do município. Devido às condições climáticas e o tráfego pesado, é frequente a necessidade de reposição de brita graduada ao longo das vias, fazendo com que a demanda por agregado seja uma constante ao município.

Diante desse cenário apresentado, este trabalho compreende a necessidade da reciclagem da RCD como agregado reciclado e na substituição do agregado natural, com ênfase na utilização em vias rurais, onde demanda um volume expressivo de agregado para novas pavimentações, reparos e manutenções.

A utilização de RCD como agregado reciclado, em revestimento primário, base e sub-base de pavimentação, é uma das formas de reciclagem mais utilizadas para esse resíduo, devido à evolução das técnicas de pavimentação e dos materiais, que vem permitindo o aprimoramento de várias alternativas para a execução de revestimento de vias urbanas e rurais, utilizando o agregado reciclado ao invés do agregado natural (CARNEIRO; BURGOS; ALBERTE, 2001). Ainda segundo os autores, o aproveitamento do agregado reciclado na pavimentação apresenta diversas vantagens, como: a utilização de quantidade significativa de material

reciclado tanto na fração miúda, quanto na graúda; simplicidade dos processos de execução do pavimento e de produção do agregado reciclado (separação e britagem primária), contribuindo para a redução dos custos e a evolução dessa forma de reciclagem; possibilidade de utilização dos diversos materiais componentes do RCD (concretos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, rochas, entre outros); utilização de parte do material em granulometrias graúdas, reduzindo o consumo de energia necessário para a reciclagem do RCD.

O agregado reciclado apresenta propriedades interessantes para utilização na construção de pavimento. Do ponto de vista geotécnico, é considerado um material não plástico, o que permite sua utilização em locais com presença de água, por gerar pouca ou nenhuma lama. Pode ainda ser utilizado como redutor de plasticidade, contribuindo, assim, na estabilização dos solos. Apresenta, também, expansibilidade baixa ou nula, ou seja, mesmo sob saturação, não ocorre expansão das camadas compactadas (TRICHES; KRYCKYJ, 1999).

A reciclagem do resíduo também representa vantagens econômicas para a administração pública municipal (TRICHES; KRYCKYJ, 1999), tais como: redução dos custos com a remoção do material depositado clandestinamente ao longo das vias públicas, terrenos baldios, cursos d'água e encostas; aumento da vida útil dos aterros sanitários, reduzindo a necessidade de áreas para a implantação de novos aterros; diminuição nos custos de operação dos aterros sanitários, e diminuição nos custos de pavimentação e infraestrutura urbana.

Além das vantagens resultantes do baixo custo, da simplicidade do processo executivo e dos resultados positivos obtidos em experiências anteriores, deve-se considerar, também, a preservação do meio ambiente gerada pela reciclagem desse material, uma vez que a sua disposição inadequada causa vários problemas à população (alagamentos, deslizamentos de encostas, doenças, poluição ambiental e visual, entre outros). Esse modelo de reciclagem do RCD contribui, ainda, para a preservação dos recursos naturais, reduzindo a degradação ambiental causada pela extração das matérias-primas convencionais. Por fim, o uso do agregado reciclado em pavimentos apresenta-se como alternativa interessante para os administradores públicos aumentarem a oferta de vias necessárias ao desenvolvimento do município.

1.2 QUESTÕES DE PESQUISA

Nesse cenário, esse trabalho foi desenvolvido a partir das seguintes questões de pesquisa: qual é o volume de agregado natural consumido por ano pelo poder público municipal de Farroupilha? Qual é estimativa da geração de RCD? É possível adaptar o britador municipal para funcionamento da usina de reciclagem? Se sim, qual é o custo? Qual é o custo da produção do agregado natural? E do agregado reciclado?

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral e os objetivos específicos que motivaram o desenvolvimento dessa pesquisa foram descritos a seguir.

1.3.1 Objetivo Geral

Propor diretrizes para reciclagem do RCD gerado no município de Farroupilha, para uso como agregado na pavimentação de vias rurais.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) estimar a quantidade de agregado natural utilizado pela Prefeitura Municipal de Farroupilha na pavimentação de vias rurais;
- b) estimar a quantidade gerada de resíduos “Classe A”, oriundas das obras realizadas no município de Farroupilha;
- c) analisar a possibilidade da adaptação do britador municipal para implantação de usina de reciclagem de RCD;
- d) comparar os custos da produção do agregado natural e reciclado.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho delimitou-se a propor diretrizes para utilização do RCD como agregado na pavimentação de vias no município de Farroupilha, e para isso, foram levantadas e estimadas informações com base nas informações e documentos obtidos na Prefeitura Municipal. No aspecto técnico, não foram realizados ensaios mecânicos dos resíduos, partindo do pressuposto que o uso como agregado na pavimentação de vias é tecnicamente possível (CARNEIRO; BURGOS; ALBERTE, 2001).

2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Os resíduos da construção e demolição (RCD) são gerados nas atividades de construção, reforma ou demolição e constituídos por um conjunto de materiais, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, madeira, argamassa, gesso, entre outros, conforme definição da Resolução n.º 307/02, de 05 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), são:

(...) resíduos provenientes de construção, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terreno, tais como, tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. (BRASIL, 2002, p. 2).

Conforme art. 3º, os resíduos da construção civil deverão ser classificados em quatro classes, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

- a) classe A – resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados de construções, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem. Os resíduos de edificações (tijolos, blocos, telhas, argamassa, concreto) e de fabricação e/ou demolição de pré-moldados de concreto (blocos, tubos, meios-fios) produzidos nos canteiros de obras;
- b) classe B – resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;

- c) classe C – resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
- d) classe D – resíduos perigosos, como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais, telhas e demais objetos que contenham amianto.

O objetivo principal da Resolução 307/2002 é estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, considerando que:

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

Devido à implantação de uma gestão diferenciada do RCD, são notáveis os resultados concretos obtidos, através de uma política de desenvolvimento urbano sustentável, criando aos municípios um caráter regulador que os permitem aprimorar e impor instrumentos jurídicos para que novos procedimentos de gestão se apliquem na área.

Ainda que a legislação utilize para Resíduos de Construção Civil (RCC), no presente trabalho é utilizada a sigla RCD, termo utilizado com larga frequência pela literatura, em tradução ao termo utilizado pela língua inglesa (CDW – *Construction and Demolition Waste*).

2.1 GERAÇÃO DE RCD

A construção civil é um segmento de enorme importância para indústria brasileira, tida como um indicativo de crescimento econômico e social. Entretanto, esta também se constitui em uma atividade geradora de impactos ambientais (PINTO, 2005 apud KARPINSK et al., 2009). Além do intenso e frequente consumo de recursos naturais, os empreendimentos de construção acarretam a alteração da paisagem e, como todas as demais atividades da sociedade, geram grande quantidade de resíduos.

Os RCD representam um grave problema em muitas cidades brasileiras, a disposição irregular destes resíduos gera impasses na questão estética, ambiental e de saúde pública, e também representam uma dificuldade que sobrecarrega os sistemas de limpeza pública municipais, visto que, no Brasil, os RCD podem representar de 50% a 70% da massa dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU (BRASIL, 2005).

Para a implantação de ações que planejam o aumento da sustentabilidade social, econômica e ambiental na questão dos resíduos, é necessário um diagnóstico que inclua a identificação dos tipos de resíduos gerados, quantidade e destinação. Através de levantamento dos aspectos legais e técnicos relacionados ao assunto, é possível obter o conjunto de informações necessárias para o planejamento (PALAMIN, 2016).

Contudo, se torna importante diagnosticar a real situação atual dos RCD, buscando quantificar os resíduos por meio de dados existentes para a escala nacional, regional, estadual e municipal, bem como, identificar informações sobre coleta, tratamento e disposição final dos resíduos. O diagnóstico consiste no levantamento e no agrupamento das informações sobre a geração e o manejo de RCD no país. Identificar dados sobre a geração dos RCD no território nacional, bem como informações relativas à coleta, ao tratamento e à disposição final (IPEA, 2012).

Entretanto, no levantamento nas caracterizações dos RCD, verifica-se que as informações disponíveis são obtidas por meio de metodologias distintas, visto que não há controle ou padronização sobre as formas adotadas para estimar a geração de RCD.

No caso das pesquisas de maior abrangência realizadas por instituições, tais como IBGE e Ministério das Cidades (MCidades), a grande parte do levantamento é

realizado através de declaração das informações. Porém, alguns municípios não responderam às pesquisas disponibilizadas e outros respondem parcialmente (IPEA, 2012).

Para uma análise da estimativa nacional, é importante a comparação entre o Brasil e outros países, como mostra a Tabela 1, que apresenta uma estimativa de geração de RCD em diferentes países e continentes.

Tabela 1 – Estimativa de geração de RCD em diversos países

País	Quantidade anual		
	Em milhões (t/ano)	Em kg/hab/ano	Fonte
Suécia	1,2 - 6	136 - 680	Tolstoy, Borklund e Carlson (1998) e EU (1999)
Holanda	12,8 - 20,2	820 - 1.300	Lauritzen (1998, Brossink, Brouwers e Van Kessel (1996) e EU (1999)
EUA	136 - 171	463 - 584	EPA (1998), Peng, Grosskopf e Kibert (1994)
Reino Unido	50 - 70	880 - 1.120	Detr (1998) e Lauritzen (1998)
Bélgica	7,5 - 34,7	735 - 3.359	
Dinamarca	2,3 - 10,7	440 - 2.010	Lauritzen (1998) e EU (1999)
Itália	35 - 40	600 - 690	
Alemanha	79 - 300	963 - 3.658	
Japão	99	785	Kasai (1998)
Portugal	3,2 - 4,4	325 - 447	EU (1999) e Ruivo e Veiga (apud Marques Neto, 2009)
Brasil	31	230 - 760	Abrelpe (2011), Pinto (1999), Carneiro et al. (2001) e Pinto e González (2005)

Fonte: IPEA (2012).

A pesquisa do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (BRASIL, 2010), com base nos dados de 2008, identificou os municípios brasileiros que coletam RCD diretamente ou por terceiros. A soma das quantidades coletadas nos municípios participantes da pesquisa pode representar uma estimativa de geração de RCD nacional, conforme apresentado na Tabela 2. É importante esclarecer que estas quantidades não correspondem ao total de RCD gerados, mas apenas aos coletados.

Tabela 2 – Estimativa de coleta de RCD por origem (2008)

Brasil	Quantidade coletada de RCD de origem pública (t/ano)	Quantidade coletada de RCD de origem privada (t/ano)
Amostra de pesquisa: 372 municípios	7.192.372,71	7.365.566,51

Fonte: SNIS (Brasil, 2010).

O estudo realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Públicas e Resíduos Especiais (ABRELPE) estima a quantidade de RCD coletada em 2017, para o país, em torno de 123.421 t/dia.

Além dos dados quantitativos, para o diagnóstico da situação dos RCD, também é necessário conhecer a composição destes. A Tabela 3 apresenta um modelo de porcentagem de componentes dos materiais presentes nos RCD em obras no Brasil, conforme Santos (2009).

Tabela 3 – Composição média dos materiais de RCD em obras no Brasil

Componentes	Porcentagem (%)
Argamassa	63,0
Concreto e blocos	29,0
Outros	7,0
Orgânicos	1,0
Total	100,0

Fonte: Silva Filho (2005 apud SANTOS, 2009).

As fontes geradoras de RCD são de diversas áreas da construção, como se observa na Tabela 4.

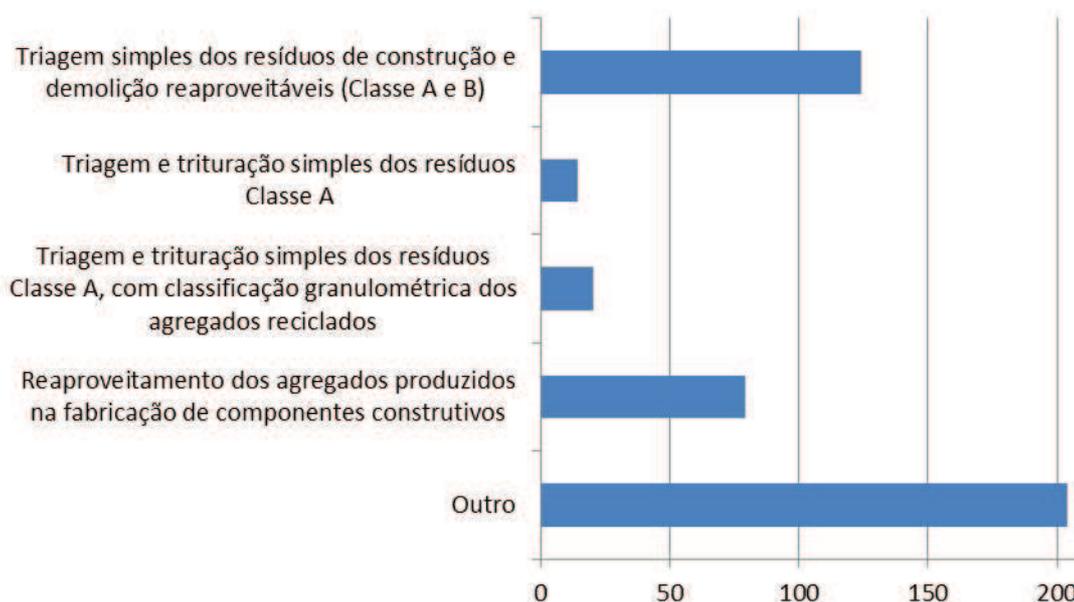
Tabela 4 – Fontes geradoras e componentes dos RCD (%)

Componentes	Trabalhos rodoviários	Escavações	Sobras de demolições	Obras diversas	Sobras de limpeza
Concreto	48,0	6,1	54,3	17,5	18,4
Tijolo	-	0,3	6,3	12,0	5,0
Areia	4,6	9,6	1,4	3,3	1,7
Solo, poeira e lama	16,8	48,9	11,9	16,1	30,5
Rocha	7,0	32,5	11,4	23,1	23,9
Asfalto	23,6	-	1,6	1,0	0,1
Metais	-	0,5	3,4	6,1	4,4
Madeira	0,1	1,1	1,6	2,7	3,5
Papel/material orgânico	-	1,0	1,6	2,7	3,5
Outros	-	-	0,9	0,9	2,0

Fonte: Santos (2009).

Em relação à gestão dos RCD, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (IBGE, 2010), dos 5.564 municípios brasileiros, 4.031 municípios (72,44%) apresentam serviços de gestão e controle dos RCD. Porém, apenas 392 municípios (9,7%) possuem alguma forma de processamento dos RCD, discriminados no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Informação nacional sobre o tipo de processamento entre 392 municípios brasileiros, com serviço de manejo de RCD



Fonte: PNSB (IBGE, 2010).

No Brasil, os RCD têm sido coletados, conforme o SNIS (BRASIL, 2010), no valor de 7.192.372,71 t/ano de origem pública e de 7.365.566,51 t/ano na coleta de origem privada, totalizando 14.557.939,22 t/ano.

2.2 SISTEMAS DE GESTÃO DE RCD

A indústria da construção civil tem sido cada vez mais pressionada para melhorar a gestão de RCD em função dos impactos ambientais, incluindo esgotamento dos recursos naturais, a poluição do ar da água e do solo, riscos para a saúde pública, e deposição em aterros sanitários. (SEADON, 2010).

A Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010), conceitua gestão de resíduos sólidos como:

Conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com o controle social e sob a permissão do desenvolvimento sustentável.

A gestão de resíduos engloba um sistema que integra geração, separação, coleta e disposição. Um sistema de gestão de resíduos sustentável incorpora adaptabilidade evitando o descarte de materiais. De acordo com Bakshan et al.

(2015), para criar um plano de gestão de RCD eficiente é importante ter as seguintes estratégias iniciais:

- a) identificar o atual estado da prática, caso exista;
- b) desenvolver orientações e identificar as responsabilidades de cada uma das principais partes interessadas na gestão de resíduos de construção;
- c) conscientizar sobre a importância e benefícios da implementação de práticas de gestão de RCD;
- d) incentivar economicamente a aplicação de técnicas de reciclagem.

O município de Belo Horizonte é uma referência em termos de gestão de RCD no Brasil. A cidade possui um plano de gestão diferenciada que trouxe como consequência, a diminuição nas áreas de descarte irregular de RCD nas regiões onde foram instaladas. Ressalta-se que esse plano de gestão é diferente ao previsto nos instrumentos de gestão pública, Resolução CONAMA n.º 307/2002 (BRASIL, 2002) e Lei n.º 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, porém, foi substituída pela Lei n.º 10.522/2012. De acordo com Jadovski (2005), o sistema de gestão da cidade de Belo Horizonte conta com unidades de recebimento de pequenos volumes (URPV) de RCD e com usinas de reciclagem. Cada uma das URPV pode receber até 2,0 m³ de resíduos de RCD, podas, móveis e eletrodomésticos, por habitante. Nessas áreas, são proporcionados aos carroceiros telefones que apoiam o contato entre eles e a população que necessita deste serviço, estrutura com necessidades pessoais e tratamentos veterinários. Essas ações visam à integração do carroceiro como sendo um agente de limpeza pública.

Outros municípios brasileiros possuem iniciativas voltadas a atender a legislação pertinente à gestão de RCD, porém em baixo número, e muitas vezes, de forma incipiente.

A gestão falha de RCD traz problemas ambientais para a sociedade como um todo. Por isso, deve-se concentrar em ações que visem o tratamento dos resíduos: desde a sua geração a partir do gerenciamento de RCD em canteiro de obra, até a destinação adequada do material. A Lei n.º 12.305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece que a destinação final ambientalmente adequada para resíduos inclui a reutilização e a reciclagem.

2.3 RECICLAGEM DE RCD

De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), 50% dos municípios brasileiros ainda destinam os resíduos oriundos da construção civil para lixões ou locais irregulares, ao invés de reciclar e utilizá-lo. A mesma, com intuito de alertar sobre o cenário, realizou uma pesquisa setorial no qual apresentou dados expressivos sobre o setor, verificando a presença de legislação nas regiões onde atuam as usinas, assim como a capacidade instalada, a qualidade dos resíduos, os tipos de produtos fabricados, obstáculos e principais empecilhos enfrentados pelo setor. Conforme dados apurados pela pesquisa, o setor de reciclagem de RCD deve apresentar crescimento nos próximos anos, o que ocasiona expectativas positivas para as empresas prestadoras de serviço da área de equipamentos (ABRECON, 2015).

O setor de reciclagem de resíduos da construção e demolição é constituído por 310 usinas, classificadas em pequenas e médias empresas que, juntas, movimentaram nos anos de 2014/2015, o montante de 391 milhões de reais, sendo que, 64% das usinas faturam até 100 mil reais por mês. Conforme os dados, o setor cresceu consideravelmente entre os anos de 2010 e 2014, e tende a permanecer crescendo, devido ao maior controle sobre a gestão do RCD realizado pelos órgãos responsáveis. Atualmente, 84% das usinas brasileiras são privadas, em consideração ao ano de 2002, onde 80% das usinas pertenciam ao poder público. Essa mudança significativa deve-se à criação da Resolução CONAMA 307, a qual incentivou e de certa forma obrigou as empresas privadas a investirem no ramo (ABRECON, 2015).

Uma grande parcela de resíduos potencialmente recicláveis está em aterros ou áreas de deposição. No entanto, devido às crescentes preocupações com o meio ambiente e desenvolvimento sustentável, alguns países já fazem uso de novas especificações e regulamentações para o uso do agregado reciclado, como por exemplo na Europa, Japão e Estados Unidos. Os incentivos incluem o aumento dos custos de deposição em aterros, a criação de taxas para o uso de agregados naturais e incentivos para o desenvolvimento de tecnologias e instalação de usinas de reciclagem. Estas práticas já estão mais estabelecidas na Europa, com países que apresentam taxas de reciclagem próximas a 90% (POON, 2007).

Algumas ações vêm sendo implementadas no país, nas diferentes etapas da construção civil, como nos canteiros de obras, para os quais já existem políticas de coleta segregada dos resíduos gerados, visando à sua reciclagem ou reuso no próprio empreendimento. Nesse sentido, embora seja muito importante dar uma destinação adequada aos resíduos gerados, tornam-se fundamental as ações que visem à sua redução diretamente na fonte de geração, ou seja, nos próprios canteiros de obras, as quais, somadas às ações de adequar a destinação desses resíduos, podem contribuir significativamente para a redução do impacto ambiental (SOUZA et al., 2004).

Conforme D'Almeida e Vilhena (2000), existem diferenças entre os RCD reciclados no próprio canteiro de obras e os RCD reciclados em usinas de resíduos municipais ou privadas. Os autores enfatizam que os RCD coletados em municípios apresentam uma composição bastante heterogênea, muitas vezes contaminados por solos, matérias orgânicas, plásticos, entre outros, o que causa dificuldades na segregação e na qualidade do agregado reciclado. Porém, os RCD reciclados no próprio canteiro de obra podem ser segregados antes da contaminação por outros resíduos, através da separação por classe (em baias) e assim proporcionar um agregado reciclado de melhor qualidade (D'ALMEIDA; VILHENA, 2000).

Bidone e Soares (2001) apontam que o emprego da reciclagem no canteiro favorece o aproveitamento do resíduo na própria obra, com resultados econômicos satisfatórios e possibilita um gerenciamento eficaz na construção. Enquanto as usinas de reciclagem fazem uso de equipamentos adaptados de mineração, os canteiros de obras utilizam equipamentos de pequeno porte que propiciam fácil instalação e mobilidade. Dentre os principais equipamentos, pode-se citar os moinhos com argamassadeira, britador de mandíbulas, moinho de martelo, moedor de caliça, moinho de bolas, entre outros.

Pinto e Gonzáles (2005) citam que para executar a reciclagem no próprio canteiro de obra, é necessária uma análise detalhada de alguns aspectos técnico-operacional da obra, bem como uma avaliação minuciosa da viabilidade econômica. Os autores ainda apontam os principais aspectos a serem considerados na implantação da reciclagem de resíduos de alvenaria, concreto e materiais cerâmicos (Classe A) na fonte geradora, sendo eles:

- a) estimar o volume e o fluxo de resíduos gerados;

- b) estudar o investimento e custos para reciclagem – equipamentos, mão de obra, energia, treinamento e outros;
- c) identificar os tipos de equipamentos disponíveis no mercado e especificações;
- d) dispor de áreas no canteiro de obras para armazenamento dos RCD, reciclagem e estoque de agregados;
- e) planejar possíveis aplicações para os agregados reciclados no próprio canteiro;
- f) estabelecer o controle tecnológico dos agregados produzidos;
- g) identificar o custo dos agregados naturais;
- h) identificar o custo da remoção dos RCD.

Os sistemas de reciclagem de RCD podem ser classificados em função dos critérios usados na eliminação dos contaminantes, conforme apresentados a seguir (CARNEIRO; BURGOS; ALBERTE, 2001):

- a) plantas de primeira geração – necessitam de elementos que possam eliminar metais, além dos equipamentos convencionais de britagem, as plantas apresentam dispositivos para remoção de elementos metálicos;
- b) plantas de segunda geração – similares às de primeira geração, porém apresentam sistemas preliminares de eliminação de contaminantes. A diferença é que as impurezas de maior dimensão (madeira, metal, plástico, papel, entre outros) são retiradas manualmente ou mecanicamente antes da britagem;
- c) plantas de terceira geração – visam à remoção praticamente integral de todos os materiais secundários, considerados como contaminantes dos agregados reciclados. Nestas plantas, além dos processos e equipamentos utilizados nas plantas de segunda geração, encontram-se também tanques de depuração por flutuação, processos úmidos e classificadores por ar.

A maioria das plantas de reciclagem utilizadas no Brasil é de primeira geração, sendo o processo mais simples das três gerações. A eliminação de contaminantes em plantas de segunda e terceira geração, por sua vez, encarece o processo e pode tornar inviável a reciclagem para pequenos geradores. Além da

classificação por geração, as unidades de reciclagem podem ser divididas em instalações fixas e plantas móveis (SILVA, 2007).

As instalações fixas permitem um maior controle de seu impacto ambiental e são preferíveis em relação às pequenas e móveis. A geração de ruídos e a distância dos centros urbanos são fatores que devem ser levados em consideração na seleção da localização das plantas. As áreas de reciclagem, tanto fixas quanto móveis, constituem o espaço mais adequado à destinação do entulho e à produção de agregados reciclados para confecção de materiais de construção (SILVA, 2007).

Ainda, Silva (2007) comenta que as plantas móveis são também consideradas uma opção de investimento, já que elas atuam pontualmente ou simultaneamente nas áreas onde haverá grande geração de resíduos (grandes construções ou demolições). Apesar da necessidade do deslocamento de todo maquinário, o custo de transporte dos resíduos até uma planta fixa, é considerável, tornando a versão móvel passível de análise em relação à planta fixa. Além disso, como a geração de resíduos ocorre em todas as etapas de uma construção, os resíduos são gerados de uma forma contínua.

No Japão, a produção de agregados reciclados de alta qualidade é direcionada principalmente na melhoria dos processos de remoção da pasta de cimento em resíduos de concreto (TOMOSAWA; NOGUCHI; TAMURA, 2005). Estes processos podem ser por cominuição e atrição em britador vertical de rotor excêntrico ou pela fragilização da pasta cimentícia por aquecimento, seguida de sua remoção por atrição e peneiramento, conforme descrito no método HRM (*Healing Rubbing Method*), utilizado na usina de reciclagem de concreto Seiyu em Tóquio, (ULSEN, 2011). Nas usinas japonesas, os finos gerados caracterizam-se pelo elevado teor de pasta de cimento e, por isso, são também empregadas em aplicações mais nobres, como a estabilização de solo ou matéria-prima na indústria, do cimento devido ao elevado teor de cálcio (SHIMA et al., 2005).

2.3.1 Usina de reciclagem

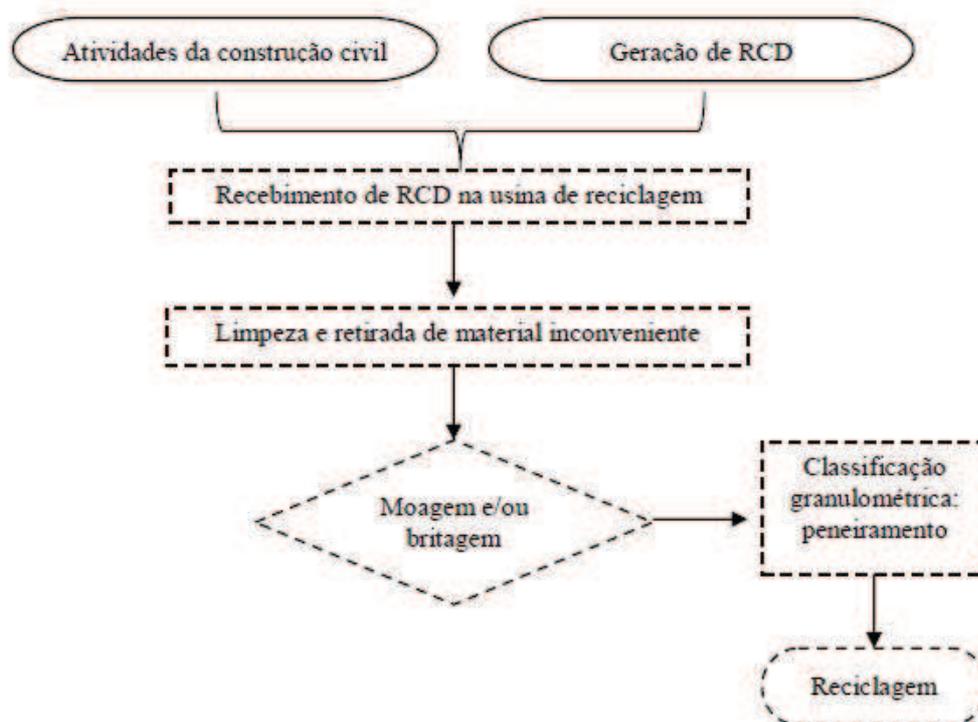
A NBR 15.114 (ABNT, 2004c) conceitua área de reciclagem como sendo local destinado ao recebimento e transformação de resíduos da construção civil Classe A, previamente triados, para a produção de agregados reciclados. Porém, optou-se por utilizar o termo “usinas de reciclagem” para o mesmo conceito dado pela norma

técnica ao termo “área de reciclagem”. Na mesma são estabelecidos critérios para projeto e condições físicas para implantação e operação de usinas de reciclagem de RCD. Nela, estão estabelecidas principais condições de operação, sendo elas:

- a) somente podem ser aceitos RCD de “Classe A”, outros deverão ser destinados a áreas adequadas de reciclagem;
- b) equipamentos e a instalação devem conter sistemas de controle de vibrações, ruídos e poluentes atmosféricos;
- c) funcionários devem receber treinamento adequado, além de receberem equipamentos de proteção individual (EPI), de proteção contra descargas atmosféricas e de combate a incêndio;
- d) a instalação deve possuir um plano de inspeção e manutenção.

Um aspecto importante para a implantação de uma usina de reciclagem de RCD é o seu planejamento com a finalidade atender a todos os geradores, ou a grande parte. Isso porque a quantidade de RCD gerado por uma determinada região é um parâmetro fundamental para operação da atividade. O processo de reciclagem de RCD tem início com a classificação dos resíduos (uma ou mais etapas, separando material indesejável), que deve ser realizada no momento em que o RCD chega à usina, considerando que o resíduo não passa por uma triagem ainda na fonte geradora. Após essa etapa, o material pode então ser britado e peneirado, e transformado em diferentes granulometrias. (BARROS, 2012; COELHO; BRITO, 2011). De maneira simplificada, a Figura 1 apresenta o processo de reciclagem de RCD.

Figura 1 – Fluxograma do processo de reciclagem de RCD



Fonte: Barros (2012).

A implantação de uma usina de reciclagem de RCD deve considerar tantas ações de gestão como de gerenciamento desses resíduos, pois o estágio da gestão de resíduos é fundamental para a viabilidade de implantação de uma usina de reciclagem. Além disso, salienta-se que as tecnologias empregadas na usina de reciclagem é o que determina a qualidade e a quantidade do material beneficiado, que podem influenciar na viabilidade técnica e econômica da atividade, parâmetros essenciais no seu funcionamento (ANGULO et al., 2011).

2.3.2.1 Equipamentos utilizados

A Tabela 5 apresenta uma lista de equipamentos que podem fazer parte do processo realizado nas usinas de reciclagem, bem como uma breve descrição sobre o seu funcionamento. Ressalta-se que esses equipamentos foram buscados em referências bibliográficas de diversos autores. A maior parte da tecnologia aplicada à reciclagem de RCD é na etapa de triagem, na qual se separam materiais indesejáveis, etapa considerada a mais importante do processo.

Tabela 5 – Equipamentos e descrição

Equipamentos	Descrição
Máquina escavadeira	Após a inspeção visual dos resíduos, a escavadeira é utilizada para romper grandes pedaços do RCD
Alimentar vibratório	Encaminha o RCD para o britador
Separador magnético (ímã)	O eletroímã cruz-correia separa em torno de 70% de todos os metais ferrosos
Peneiras horizontais	Separa o material de acordo com as dimensões
Ventilador	Sopram ar em três posições diferentes, de modo a extrair materiais leves, especialmente de papel, materiais plásticos e madeira
Jigs ar	Em condições absolutamente secas, esta máquina separa, em duas etapas, cerâmica e materiais de gesso operando com um fluxo de ar constante pulsante, a separação funciona por meio da diferença de densidade
Aspirais	A fim de que as partículas pesadas se coloquem mais para o centro, enquanto as mais leves ficam mais perto das paredes externas, os aspirais separarão os metais pesados e cerâmicas, partículas de concreto, em duas etapas. Como se trata de um processo via úmida, irá gerar uma quantidade de lama úmida que deve ser eliminada

Fonte: Coelho e Brito (2011).

O Quadro 1 apresenta principais características de britadores de impacto, de mandíbula e de martelo, equipamentos utilizados em usinas de reciclagem de RCD.

No Brasil, as usinas de reciclagem de RCD possuem um processo simplificado, muitas vezes não adotando as tecnologias mais desenvolvidas. Na sua maioria, são formadas pelos os seguintes equipamentos: pá carregadeira ou retroescavadeira, alimentador vibratório, transportadores de correia, britador de mandíbula ou impacto, separador magnético permanente ou eletroímã, e peneira vibratória.

Quadro 1 – Tipos de britadores e descrição

(continua)

Britador	Descrição
Impacto	<p>Equipamento robusto, capaz de britar peças de concreto;</p> <p>Alta redução no tamanho do material britado, com alta geração de finos;</p> <p>Geração de grãos na forma cúbica, com boas características;</p> <p>Baixa emissão de ruídos.</p> <p>Alto custo de manutenção (troca das peças);</p> <p>Fragmentação feita por colisão do material em placas fixas de impacto.</p>

(conclusão)

Britador	Descrição
Mandíbula	Alta geração de material graúdo; Geração de grãos lamelares, com tendência a baixa qualidade; Dificuldade de britagem de material armado e/ou de grandes dimensões; Alta emissão de ruídos; Baixo custo de manutenção; Ideal para britagem de rochas;
Martelo	Usado como britador secundário, por apresentar pouco espaço para entrada do material; Produz alta porcentagem de material miúdo; Geralmente utilizado em conjunto com britadores de mandíbula; Fragmentação do material por impacto e por atrito.

Fonte: Santos (2009).

2.3.2.2 Usinas de reciclagem de RCD no Brasil

O mapa, apresentado por Grabasck (2016), demonstra a distribuição das usinas de reciclagem de RCD em todo o Brasil (Figura 2). Algumas delas, indicadas como “usinas não confirmadas” são usinas que surgem na bibliografia, porém não se confirmou o funcionamento. Na figura 2, pode-se observar que na Região Sudeste apresenta maior quantidade de usinas de reciclagem de RCD, o que é justificado através de dois itens: maior PIB e maior número de habitantes.

Das 105 usinas que responderam à pesquisa, 83% são privadas, 10% são públicas e 7% são pública/privadas, sendo o Estado de São Paulo o maior concentrador de usinas, 54%. O Estado do Rio Grande do Sul apresenta 7% do total de usinas instaladas no Brasil. De todas as usinas que responderam aos questionamentos, 74% operam plenamente, 9% estão em implantação, 8% operam em escala de testes, 7% das usinas estão paralisadas temporariamente, 1% encontra-se em projeto e 1% estão paralisadas definitivamente, conforme levantamento apresentado pela ABRECON (2015).

Sobre os aspectos financeiros, a maioria das usinas (60%) possui de 5 a 10 funcionários, 25% possui de 11 a 20 funcionários e 15% das usinas possuem de 21 a 50 funcionários. A maior parte das usinas (72%) não tem nenhuma atividade econômica complementar à reciclagem de RCD. Os principais clientes para os agregados reciclados estão descritos na Figura 3 e os valores cobrados por m³ de RCD que a usina recebe estão descritos na Figura 4, os valores variam de R\$ 5,00 a R\$ 30,00, no qual se considera uma grande variação.

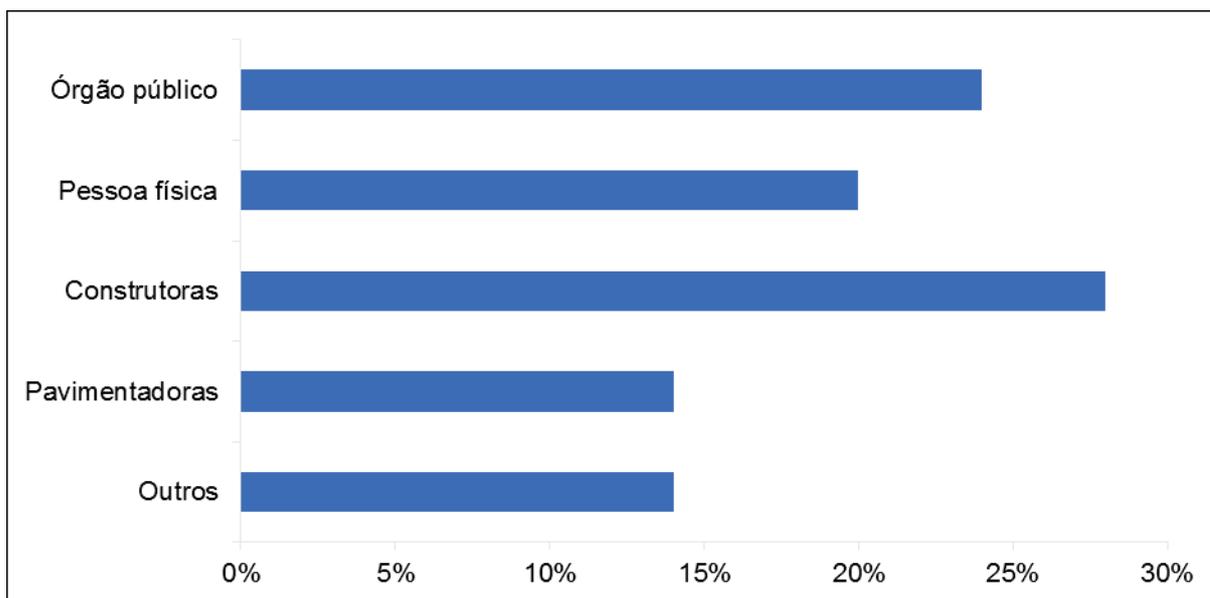
Figura 2 – Mapeamento das usinas de reciclagem de RCD



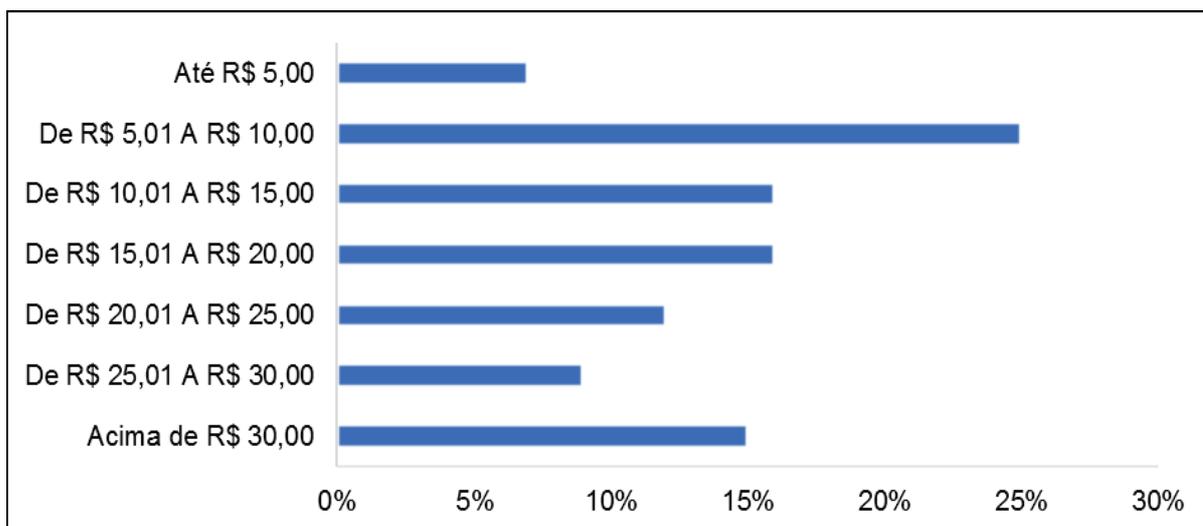
Fonte: Grabasck (2016).

As principais causas para a dificuldade da venda do agregado reciclado se devem à inexistência de legislação que incentive o consumo (31%), à elevada carga tributária (26%) e à falta de conhecimento do mercado (26%), de acordo com o relatório da ABRECON (2015). Realmente, é possível melhorar expressivamente estes aspectos através, por exemplo de uma maior aquisição de agregados reciclados pela iniciativa pública, exigindo o uso prioritário deste no edital de licitação, maior fiscalização do destino do RCD em pequenas e grandes obras, redução dos impostos para agregado reciclado e isenção do imposto territorial urbano (IPTU). Existem diretrizes em vários municípios do país que especificam o uso prioritário, porém na maioria dos locais as diretrizes não são utilizadas.

Figura 3 – Principais consumidores de agregado reciclado



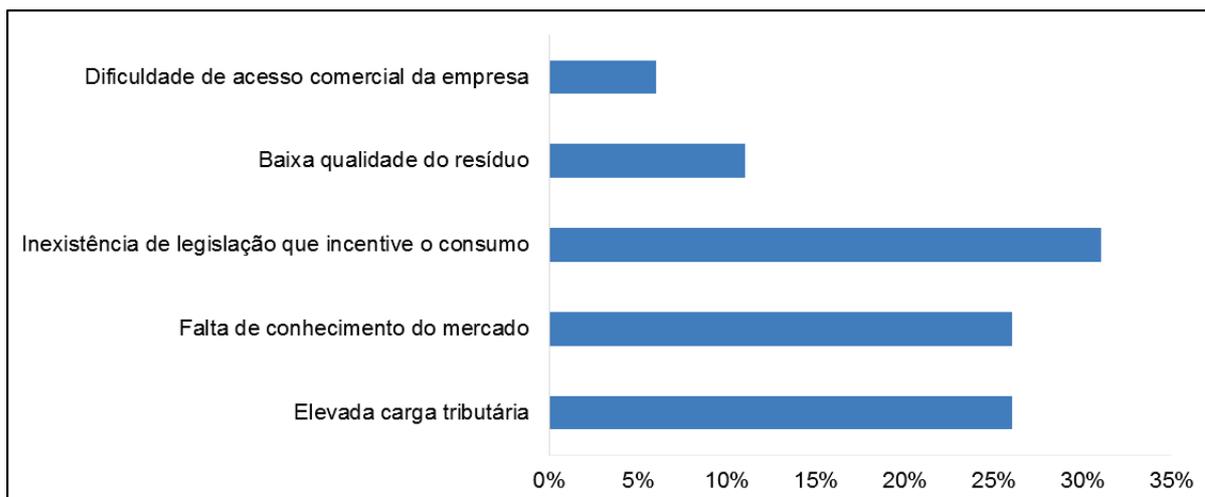
Fonte: ABRECON (2015).

Figura 4 – Preço por m³ de RCD recebido

Fonte: ABRECON (2015).

No entanto, apesar deste panorama desfavorável, 68% dos proprietários de usina de reciclagem entrevistados pela ABRECON (2015) pretendiam ampliar os negócios nos próximos 2 anos, valor inferior à pesquisa realizada em 2013, onde 85,7% das usinas pretendiam ampliar seus negócios. As principais causas de dificuldade na venda de agregado são apresentadas na Figura 5.

Figura 5 – Principais causas de dificuldade



Fonte: ABRECON (2015).

2.3.2.3 Viabilidade financeira

Diversos estudos foram realizados com intuito de investigar a viabilidade econômica de usinas de reciclagem de RCD em diferentes localizações. Nesses estudos, foram analisados a viabilidade econômica de uma usina de reciclagem dependendo de vários aspectos, que abrangem desde o gerenciamento e a gestão de resíduos, até o mercado para produto resultante do processo. Dentre esses aspectos, Coelho e Brito (2011) destacaram que os principais fatores que influenciam na viabilidade econômica são:

- a) capacidade de produção da usina;
- b) preço de venda do agregado reciclado;
- c) tarifas para disposição de rejeitos em aterro sanitário;
- d) volume de recebimento de resíduos.

No trabalho desenvolvido por Nunes et al. (2007) sobre viabilidade econômica de usinas de reciclagem de RCD no Brasil, foi concluído que, do ponto de vista econômico, a implantação de usinas de reciclagem no Brasil pode não ser viável, principalmente em relação aos projetos privados. A pesquisa mostra que, para tornar viável economicamente a reciclagem de RCD em usinas com capacidade igual ou inferior a 20 t/h, as taxas cobradas para recebimento de RCD deverão ser elevadas, quando comparadas a usinas de reciclagem com capacidade de produção de 100 t/h. Logo, a viabilidade financeira de usinas de reciclagem de RCD com capacidade

de 20 t/h ou menos, provavelmente será negativa. Além disso, os dados levantados comprovaram que uma usina com uma capacidade de processamento de cerca de 20 t/h possui custos operacionais equivalentes às usinas de 100 t/h, o que acarreta um custo de operação parecido, porém produção de agregado reciclado até 80 t/h inferior.

A partir do estudo de Nunes et al. (2007), pode-se afirmar a importância da capacidade da usina, combinada com a produção. Conforme o relatório da ABRECON (2015), a grande parte das usinas não opera com a capacidade máxima para qual foi projetada, o que pode estar acarretando danos econômicos negativos à indústria de reciclagem de RCD brasileira. Fica clara a importância do planejamento para a implantação da usina de reciclagem, pois o fluxo de recebimento de RCD é parâmetro indispensável para a viabilidade econômica, tanto quanto o mercado para o material reciclado.

Em análise semelhante, os custos levantados para análise de viabilidade econômica de usinas de reciclagem por Jadovski (2005), foram:

- a) custos de implantação: aquisição de equipamentos, máquinas e veículos; instalação de equipamentos; terreno; e obras civis;
- b) custo de operação: mão de obra, aluguéis de veículos, máquinas e equipamentos; operadores de veículos, máquinas e equipamentos; insumos de produção; despesas administrativas; e aluguel do terreno;
- c) custo de manutenção: troca de peças, manutenção preventiva de equipamentos; manutenção corretiva; depreciação de equipamentos; manutenção em obras civis, terraplenagem e contenções; depreciação de obras civis.

Esses dados foram levantados por meio de pesquisa de mercado e visitas técnicas a usinas de reciclagem de RCD no Brasil. Com a utilização destas informações, o autor desenvolveu duas planilhas que avaliam a viabilidade econômica, nas quais qualquer pessoa pode arbitrar valores para cada item dos custos de implantação, operação, manutenção e benefícios. Após o preenchimento destas telas, a planilha calcula automaticamente se há viabilidade econômica da usina de reciclagem de RCD para cada cenário estabelecido pelo autor.

2.4 USOS DO RCD RECICLADO

A prioridade nos canteiros de obra deve ser a minimização das geradoras de resíduos. Para alcançar isso, existem diversas formas, como por exemplo, optar por materiais certificados, com embalagens que facilitem o manuseio; mão de obra capacitada; uso de equipamentos com tecnologia adequada aos processos construtivos; e reutilização dos resíduos na própria obra. Atividade na construção civil produz, inevitavelmente, perdas; porém, como esta acontece em locais e momentos distintos, a simples separação prévia dos materiais evitaria a contaminação dos rejeitos que ocorre nas caçambas destinadas à sua remoção do canteiro de obras. Restos de madeira, gesso, materiais metálicos e plásticos deveriam ter destinos específicos, de acordo com seu potencial para a reciclagem ou grau de contaminação.

Independentemente da aplicação que se deseja dar ao RCD, deve-se ressaltar que o resíduo deve, primeiramente, passar por um processo de beneficiamento, antes de se tornar um agregado reciclado a ser aproveitado. De maneira técnica, existem muitas possibilidades de aplicação deste material, variando de acordo com as características técnicas do agregado. De modo geral, quanto mais adequado às normas (NBR 15.112 (ABNT, 2004a), NBR 15.113 (ABNT, 2004b), NBR 15.114 (ABNT, 2004c), NBR 15.115 (ABNT, 2004d) e NBR 15.116 (ABNT, 2004e)), maiores serão as possibilidades de utilização do material.

A construção civil é o setor que apresenta maior potencial para absorver os RCD. Exemplos de aplicações têm sido apresentados em diversos estudos. Dentre as várias possibilidades, a reciclagem de RCD pode ser aplicada para: camadas de base e sub-base de pavimentação, coberturas primárias de vias, fabricação de argamassas de assentamento e revestimento, fabricação de concretos, fabricação de pré-moldados (blocos, meio-fio, tubos), camadas drenantes, entre outros (ULSEN, 2011).

Em análise, as pesquisas utilizam o agregado de concreto para utilização em novos concretos e apontam bons resultados técnicos, como por exemplo, a melhoria de algumas propriedades do concreto, como resistência à compressão e durabilidade. Em termos de custos, é viável quando o custo de deposição em aterro exceder o custo de transporte para o centro de reciclagem, e utilização do agregado primário exceder o custo do agregado reciclado (RICHARDSON; ALLAIN; VEUILLE,

2010). O agregado de cerâmica vermelha é utilizado para fazer novos tijolos (REIS, 2007), como também se revelou um material com potencial em argamassas (SILVA; BRITO; VEIGA, 2007). A reciclagem de misturas betuminosas, principalmente da demolição de pavimentações asfálticas, tem sido estudada (AINCHIL; BURGUEÑO, 2004). Os autores também salientam a utilização do RCD em pavimentação de novas vias. Outros estudos foram realizados objetivando avaliar a viabilidade técnica, como também econômica, da utilização de RCD na produção de materiais de construção, como concretos, argamassas, blocos de concreto, elementos pré-moldados e em pavimentação (EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010).

Conforme Vieira e Dal Molin (2004), é possível avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização de agregados reciclados provenientes de RCD em concretos. Na pesquisa, realizaram uma comparação entre concretos produzidos com agregados naturais e reciclados, substituindo 50% e 100% de agregados graúdos e miúdos, em cinco composições diferentes. Os resultados da pesquisa indicaram que os agregados reciclados, em proporções devidamente dosadas, podem melhorar algumas propriedades do concreto, como resistência à compressão e durabilidade. Na cidade de São Paulo, desde a década de 1990, os RCD são reciclados, e usados em pavimentação de ruas, e também, como agregados do concreto. Em Belo Horizonte, os resíduos reciclados são utilizados como base de pavimentação e também na produção de argamassas, a utilização de ambas é gerada pela iniciativa privada e pública.

De acordo com Noronha, Gasparini e Cristina (2005), além das formas de reciclagem utilizadas nas cidades supracitadas, o entulho após o processo de moagem pode também ser utilizado na contenção de encostas, calçamento de concreto, blocos de concreto, tubos para a drenagem, entre outros. Lima (2005) analisou a utilização do entulho para a produção de argamassa, coletando trinta e três amostras distribuídas pelos depósitos de resíduos da cidade de São Carlos - SP. Os resíduos foram segregados de acordo com suas características granulométricas, em cinco classificações. Conforme aponta a pesquisa, o material apresentou bons resultados na resistência à compressão, das amostras de argamassa com traços de cal, atribuindo estes resultados a dois fatores: à reação pozolânica dos finos reativos dos resíduos, em presença da cal e à maior velocidade de carbonatação.

Há vinte e dois anos, o pesquisador Zordan (1997) investigou a utilização do RCD na confecção de concreto, produzindo com o agregado reciclado, concreto com variados traços e relação água/cimento, que foram ensaiados à compressão simples, à abrasão e a permeabilidade, em diferentes estágios de cura. Os resultados obtidos mostraram que o agregado reciclado pode ser incorporado na obtenção de concreto não estrutural, utilizado na infraestrutura urbana.

Leite (2001) analisou o desempenho de concreto produzido com diferentes proporções de agregado graúdo e miúdo de resíduos da construção civil, analisando ainda algumas propriedades físicas dos agregados reciclados. O autor considerou a influência de diferentes doses de substituição dos agregados graúdo e miúdo naturais por reciclados, e diferentes relações de água/cimento sobre as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. Conforme Leite (2001), o uso de agregado é perfeitamente viável para a produção de concreto considerando as propriedades mecânicas avaliadas, resistência à compressão, resistência à tração, resistência à tração na flexão e módulo de deformação.

2.4.1 Em base e sub-base de pavimentação

A utilização de agregados reciclados em aplicações em camadas de base e sub-base de pavimentos são algumas das aplicações mais comuns para o uso de RCD. As pesquisas realizadas comprovam a viabilidade do uso do RCD nas camadas inferiores de pavimentação, apresentando vantagens significantes (LEITE, 2001; MOTTA, 2005; CARNEIRO; BURGOS; ALBERTE, 2001; POON; CHAN, 2006; SILVA; MIRANDA, 2008), sendo elas:

- a) utilização de quantidade significativa de material reciclado tanto na fração miúda, quanto na graúda;
- b) simplicidade dos processos de execução do pavimento e de produção do agregado reciclado, contribuindo para a redução dos custos e a difusão dessa forma de reciclagem;
- c) possibilidade de utilização dos diversos materiais componentes do entulho;
- d) utilização de parte do material em granulometrias graúdas, reduzindo o consumo de energia necessário para a reciclagem do entulho;

- e) do ponto de vista geotécnico, é considerado um material não plástico, o que permite sua utilização em locais com presença de água, por gerar pouca ou nenhuma lama. Pode ainda ser usado como redutor de plasticidade, contribuindo assim na estabilização de solos. Apresenta também, expansibilidade baixa ou nula, ou seja, mesmo sob saturação, não ocorre a expansão das camadas compactadas;
- f) com relação aos aspectos econômicos e de durabilidade, as pesquisas apontam que as camadas de base e sub-base produzidas com agregado reciclado apresentam custo de construção significativamente menor que as camadas produzidas com brita graduada ou brita adicionada ao solo, representando uma economia entre 50 e 60%.

No Brasil, os pesquisadores Frota, Menta e Nunes (2003) substituíram o seixo (agregado graúdo) da mistura asfáltica por agregados reciclados produzidos na cidade de Manaus – AM. Realizaram três misturas, sendo uma com seixo e outras duas com agregado reciclado em diferentes proporções (50 e 60%), incluindo em todos os casos areia e também cimento Portland como filler. Com os ensaios, foi possível analisar que as misturas com agregado reciclado necessitam de uma maior quantidade de ligante, pois estes materiais apresentaram maior porosidade do que os convencionais, devido aos diversos tipos de materiais. O teor ótimo de ligante para a mistura apenas com seixo foi de 5,5%, enquanto para as outras misturas contendo agregado reciclado foi de 6,4 e 6,5%, respectivamente, para as misturas com 50 e 60%. Os autores concluíram que as misturas contendo agregado reciclado são tecnicamente viáveis, porém refletem um maior custo em função do maior consumo de ligante.

O artigo apresentado por Ron et al. (2008), na 15ª Reunião de Pavimentação Urbana em Salvador, consiste em utilizar o RCD reciclado como agregado alternativo em misturas asfálticas, comparando suas características mecânicas e físicas com misturas confeccionadas com agregado convencional. Foi possível concluir que os agregados reciclados estudados apresentam boas características, atendendo às especificações das normas na maioria dos aspectos, porém o teor ótimo de ligante da mistura também foi bastante elevado (7,6%), quando comparado com misturas que utilizam agregados convencionais, acarretando em custos maiores. A pesquisa realizada por Silva (2009) teve a confecção de quatro projetos

de mistura a quente contendo agregados de RCD, nas quais utilizou dois tipos de CAP, 30/45 e 50/70, e duas faixas granulométricas “B” e “C” do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Para fins de comparação, o mesmo realizou ensaios de caracterização dos agregados e dosagem do concreto asfáltico baseada na metodologia Marshall. Concluiu que, em virtude das suas propriedades físicas e mecânicas, associados aos ligantes, o RCD é adequado para substituir os agregados naturais em camadas betuminosas de vias urbanas de tráfego leve.

O receio que um armazenamento e uso de RCD possa trazer algum risco ambiental é relevante, pois o impacto ambiental pode ocorrer em função da lixiviação ou solubilização de algum material que possa estar agregado ao RCD. Por isso, a determinação da composição química do RCD pode apontar como se comportará se este material lixiviar ou solubilizar. No entanto, ensaios de lixiviação e solubilização podem fornecer resultados seguros sobre o comportamento destes resíduos, indicando quais tipos de elementos serão liberados e suas possíveis consequências para a qualidade da água e natureza. Esses parâmetros são importantes para destinação correta do agregado em pavimentações.

As misturas asfálticas a quente, utilizando como agregado o seixo, possuem grandes vantagens em relação a outras devido a sua elevada resistência mecânica. Paiva e Cartaxo (2014) investigaram os possíveis impactos ambientais devido a estas misturas. Conforme indicado pelos autores, os impactos causados são as emissões de gases de efeito estufa, bem como compostos orgânicos voláteis, sendo que os operários ou responsáveis pela execução do revestimento submetem-se à inalação destes compostos, comprometendo assim sua saúde.

2.4.2 Revestimento primário de pavimentação

Segundo Luz (2008), testar o aproveitamento do resíduo de pedreira e, por outro, sua aplicação à pavimentação rodoviária, é meta relevante na realização tecnológica atual, visto que essa atividade absorve grandes quantidades de materiais para construção civil e pavimentação urbana. Além disso, esse aproveitamento do filer pode contribuir para que se reduza a poluição por resíduos sólidos antes considerados inúteis, relacionados ao passivo ambiental, tornando-os

uma espécie de “nova” matéria-prima, promovendo-os no status econômico e ambiental.

A NBR 15.115 (ABNT, 2004d) estabelece os critérios para execução de camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos, bem como camada de revestimento primário, com agregado reciclado em obras de pavimentação. O Anexo A da norma tem como objetivo definir os procedimentos técnicos a serem seguidos na execução de revestimento primário de vias de terra (cascalhamento) com uso de agregado reciclado. Considera-se revestimento primário com agregado reciclado o serviço de melhoria das condições de trafegabilidade de vias não pavimentadas, compreendendo a regularização e compactação mecânica, para conformação transversal e longitudinal de greide, bem como a execução de camada de rolamento a partir da utilização de agregado reciclado.

Para execução da camada de revestimento primário (cascalhamento) com utilização de agregado reciclado, deve observar as seguintes características:

- a) espessura máxima da camada compactada de revestimento primário: 20 cm;
- b) umidade de compactação: +- 1,5% em relação à umidade ótima obtida em laboratório (ensaio de Proctor, na energia normal);
- c) grau de compactação (%) deve ser de no mínimo 100% em relação ao ensaio de compactação (energia normal).

Conforme resultados obtidos pelos autores Triches e Kryckj (1999), os materiais “Classe A” oriundos de RCD apresentaram uma expansão praticamente nula, podendo assim serem empregados em locais onde o lençol freático é elevado, pois não irá gerar lama. Pode ainda ser empregado para a redução da plasticidade do solo de fundação.

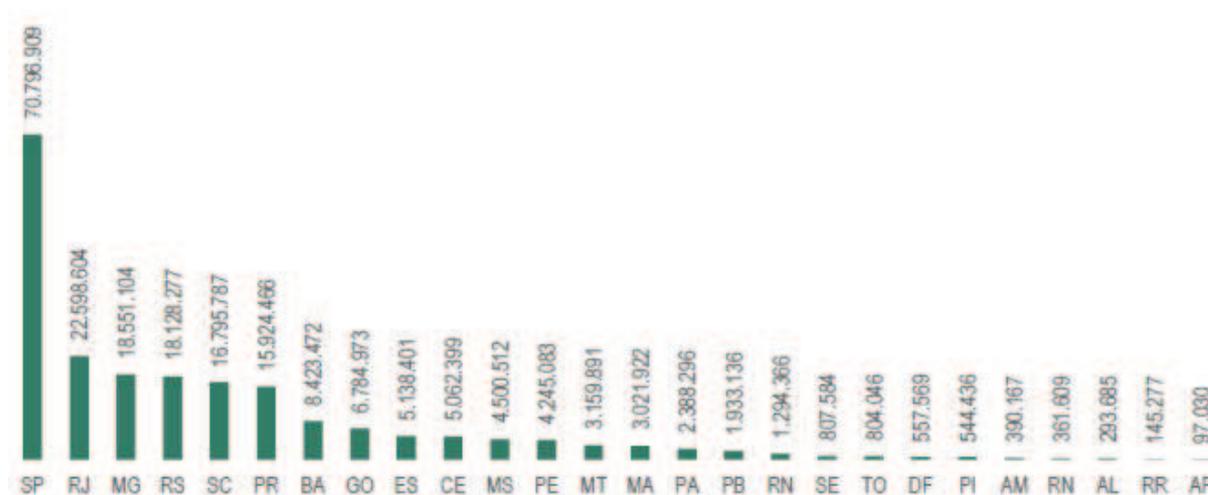
2.5 AGREGADO NATURAL

A mineração de areia e brita são uma das mais importantes atividades extrativas do setor mineral brasileiro, quando comparado ao volume produzido ao volume de produção do minério de ferro, principal produto mineral do país. A rocha de basalto britada corresponde ao segundo item mais expressivo da produção

mineral brasileira, só perdendo em quantidade para o minério de ferro, que atingiu a marca de 430.836.327,00 toneladas no ano de 2015 (DNPM, 2015). Apesar do número expressivo, a produção brasileira *per capita* de rocha britada, da ordem de 1,0 t/ano, é baixa quando comparada com outros países, traduzindo a carência do país em infraestrutura. A título comparativo, a França, país com menos de um terço da população do Brasil, produziu no ano de 2015, a quantidade de brita equivalente à produção brasileira de 210 milhões de toneladas.

A produção nacional de brita no ano de 2015 atingiu a marca de 212.749.004,00 toneladas, sendo que 76,52% desse total estão concentradas em apenas seis estados: São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (Figura 6).

Figura 6 – Quantidade produzida de rocha britada



Fonte: DNPM (2015).

Desde 2015, somam no total 996 usinas de britagem instaladas no país com registro de produção. Dessas, aproximadamente 887 usinas compõem o cadastro do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), visto que as demais foram criadas em decorrência de equívocos na declaração do minerador (mina declarada com produção bruta sem correspondente usina declarada). A análise dos dados evidencia uma concentração das usinas nas regiões Sul e Sudeste e, também acompanhando os centros urbanos e vias de escoamento, como é possível verificar na Figura 7 a concentração das usinas no país.

Figura 7 – Usinas de britagem instaladas



Fonte: DNPM (2015).

Diferentemente da maioria das publicações que tratam da produção de brita por via indireta (referenciada pelo consumo e utilização na produção de asfalto), a pesquisa utiliza dados de produção declarados pelo próprio empreendedor. Apesar de justificar valores mais conservadores, os dados declarados mostram-se mais confiáveis, fruto da crescente formalização das atividades, além da atuação mais criteriosa do DNPM na análise, refinamento e validação das informações apresentadas.

2.5.1 Panorama Internacional

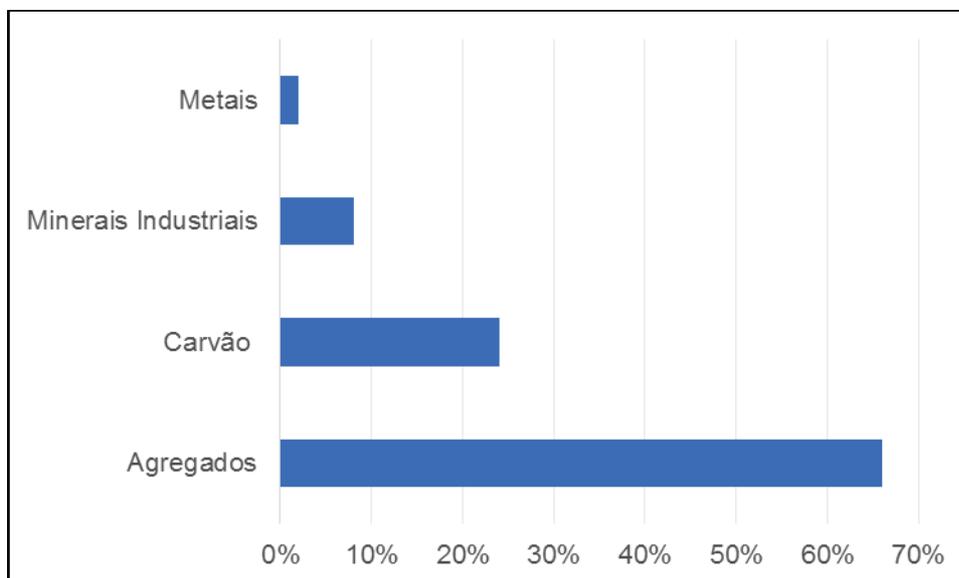
O *United States Geological Survey* (USGS) afirma que os agregados são os recursos minerais mais acessíveis à humanidade e as matérias-primas mais importante usadas na indústria da construção civil, sendo o concreto o segundo material mais consumido em volume, depois da água, pela humanidade.

O consumo anual de bens minerais *per capita* nos Estados Unidos da América é na ordem de 10 toneladas, sendo que 5,7 toneladas foram de rocha britada e 4,3 toneladas de areia. Considerando-se que parte da rocha britada foi usada com fins industriais (cimento, cal, indústria química e metalúrgica), o total de agregados para construção civil que cada americano consumiu, em média, ultrapassa 7,5 t/ano, ou seja, 75% do consumo médio americano de bens minerais são, em média, de agregados para a construção civil.

No século passado, a produção total de agregados nos EUA aumentou de uma modesta quantidade de 58 milhões de toneladas nos anos 90, para quase 2,5

bilhões de toneladas na virada do século. A Figura 8 demonstra a distribuição da produção mineral nos EUA em 2007.

Figura 8 – Distribuição da produção mineral nos EUA



Fonte: Balanço mineral brasileiro (2007).

O nível de consumo observado nos EUA se repete nos países industrializados. No Canadá, o consumo chega a 15 toneladas por habitantes.

Os EUA são os maiores produtores de brita do mundo e, em 2007, a sua produção chegou em torno de 1,5 bilhões de metros cúbicos apresentado valor da ordem de US\$ 10,00 bilhões. Esta produção foi sustentada por cerca de 1.500 empresas que operam 3.500 unidades de produção, distribuídas por 48 estados americanos. Em contrapartida, no país, a produção de areia girava também em torno de 1,6 bilhões de metros cúbicos, em 2007, com cerca de 4.000 empresas participando, distribuídas por 50 estados da federação. A produção de agregados em 2007 atingiu quase 3 bilhões de toneladas, o que representa a metade de toda a produção mineral total norte-americana, excluídos os minerais energéticos.

Na Europa Ocidental, o consumo de agregados *per capita* varia de 5,0 a 8,0 toneladas. A França se destaca como o principal produtor desses bens para a construção civil, e em 2005, produziu cerca de 350 milhões de metros cúbicos de agregados, sendo concentrada em 3.000 empresas de pequeno e médio porte. Ainda sobre este país, Valverde e Tsuchiya (2008) afirmam que 35% da quantidade produzida de agregados são destinados à construção de prédios, sendo a metade para moradias; 45% para a construção de novas vias públicas e manutenção das

existentes; os 20% restante são utilizados em outros tipos de construções. Metade da produção é consumida na preparação do concreto usinado, usado para vários fins e, da outra metade, uma parte é consumida na mistura com o betume (concreto asfáltico) e outra metade consumida *in natura* (base de pavimentação, enrocamento, lastro, entre outros).

Segundo estatísticas da União Europeia de produtores de agregados, cada europeu utiliza durante toda a vida, mais de 500 toneladas de agregados. Essa quantidade é maior do que qualquer outro bem mineral consumido no continente. A Europa é a líder mundial na reciclagem de entulho de construção e demolição, somente os países baixos contam com mais de 40 plantas de reciclagem de RCD, com índice de reciclagem em torno de 70%.

A Ásia responde por 50% da demanda mundial de agregados, ocupando posição de destaque, pois o crescimento vem sendo em torno de 9 a 12%. A China com consumo de mais de 4 bilhões de toneladas/ano, liderando a demanda mundial de consumo de agregado (ANEPAC, 2014).

2.5.2 Principais características do setor

Conforme Calaes, Netto e Tavares (2012), as principais características dos agregados naturais para a construção civil são:

- a) menor preço unitário dentre todos os minerais industriais – baixo valor agregado do produto;
- b) grande volume de produção, com muitos produtores, usinas de médio ou pequeno porte e gerenciamento precário;
- c) pesquisa geológica simples e com baixa incorporação de tecnologia constituída, em geral, por operações unitárias de lavagem, classificação e moagem dos bens minerais;
- d) mercado regional, sendo o internacional restrito ou inexistente;
- e) relativa abundância de recursos naturais (depósitos minerais);
- f) rigidez locacional – sendo geradores de produtos de baixo valor contido e que, por tanto, não suportam altos custos de transporte, os depósitos produtores de agregados minerais tendem a se localizar o mais próximo possível do mercado consumidor. Por esta razão, apesar da relativa

abundância de fontes de matérias-primas, as unidades de produção se notabilizam por sua específica rigidez locacional, determinada pela proximidade em relação aos polos de demanda;

- g) ordenamento territorial – o elevado conteúdo tecnológico do setor se faz presente também na superação de desafios de ordenamento territorial, assim como na busca de melhores soluções para a mitigação de conflitos de uso e ocupação do solo e de impactos ambientais, de forma a prevenir a ocorrência de externalidades negativas e a contribuir para o desenvolvimento sustentável;
- h) recursos exauríveis/ciclo de vida – na busca das melhores soluções de ordenamento territorial e de implementação de cuidados ambientais, deve-se ter em consideração que cada depósito de areia de cascalho ou de rocha dura para brita terá um ciclo de extração temporário, ao final do qual a área deverá estar preparada para reutilização, como reserva ecológica, área de lazer e entretenimento, empreendimento imobiliário, local de disposição de resíduos inertes ou qualquer outro fim de interesse da sociedade;
- i) capital intensivo – embora, no contexto da indústria mineral, seja considerado um segmento rude e pouco dinâmico, além de constituído predominantemente por pequenas e médias empresas, o setor de agregados minerais passa por grandes transformações, seja na mudança de seu perfil empresarial, na incorporação de avançados equipamentos e tecnologias de produção, ou ainda na adoção de modernos métodos de gestão da produção e de marketing de produto. Portanto, o setor de agregados minerais está se caracterizando como de capital intensivo.

2.5.3 Uso e substituições

Os usos das areias e britas estão relacionados ao seu tamanho e granulometria. Chegam ao consumidor final misturados ao cimento (quando da preparação do concreto), ou sem nenhuma mistura aglomerante. Entretanto, é misturado ao concreto que os maiores volumes de agregados chegam ao consumidor final. Uma menor fração da produção é utilizada sem mistura aglomerante, em drenos, em filtros, em ferrovias (na forma de lastro), na fabricação

de gabiões, de muros de contenção, em base e sub-base de pisos e estradas, e outras aplicações (Quadro 2).

Quadro 2 – Principais utilizações dos agregados

Areia artificial e areia natural	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pedrisco	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral.
Brita 1	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes.
Brita 2	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas.
Brita 3	Também denominada pedra de lastro, utilizada nas ferrovias.
Brita 4	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
Rachão, pedra de mão ou pedra marroada	Fabrição de gabiões, muros de contenção e bases.
Brita graduada	Em base e sub-base de pavimentação, pisos e estradas.

Fonte: KULAIF (2001).

Alguns produtos substitutos aos agregados minerais destacam-se, como os reciclados de entulho de demolição, as argilas expandidas (resultantes do cozimento do lodo oriundo do tratamento de esgotos, ou de material argiloso preparado especialmente para esse fim), os rejeitos de produtos siderúrgicos (escórias de alto-forno ou aciaria, contudo a sua quantidade disponível é bem limitada), os resíduos da indústria de plásticos para a fabricação de pré-fabricados leves, os resíduos de pneus triturados para a utilização no concreto e pavimentos, a areia de brita e a areia marinha. Mas nenhuma outra fonte é tão abundante quanto os próprios agregados minerais.

Os RCD, dependendo do processamento a que são submetidos, podem gerar agregados para a construção de qualidade comparável aos agregados naturais. O agregado reciclado, em comparação ao natural, apresenta menores custos de energia e de transporte pela possibilidade de serem produzidos nos locais de consumo. Embora os substitutos das pedras britadas tenham certa relevância em alguns mercados localizados, a rocha natural, pela abundância das fontes de

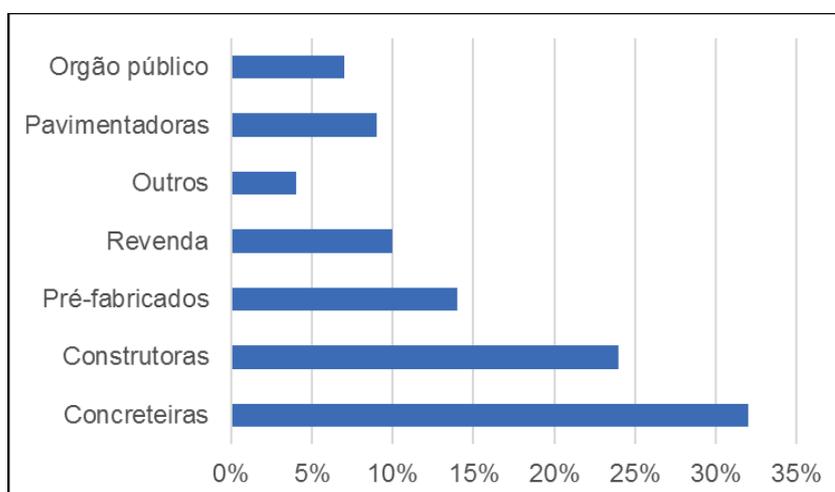
abastecimento disponíveis, mantém-se como a principal fonte de material de construção. O comércio de areia de brita, produto gerado a partir do pó de pedra produzido nas instalações de britagem de rochas tem crescido no Brasil. Esse produto encontra nicho de mercado devido à dificuldade crescente de se encontrar depósitos de areia próximos aos grandes centros urbanos.

Segundo a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas da Universidade de São Paulo (FIPE), o consumo médio de agregados no Brasil é:

- a) autoconstrução, unidade de até 35,00 m² são consumidas 21 t de agregados;
- b) habitações populares de 50,0 m² são consumidas 68 t de agregados;
- c) manutenção de vias municipais se consome entorno de 100 t/km;
- d) enquanto as estradas demandam cerca de 3.000 t/km;
- e) uma obra-padrão de 1.120 m² para escolas é consumido 985 m³ de agregados ou 1.675 t (IBGE);
- f) na pavimentação urbana, o consumo por metro quadrado varia de cidade de baixa densidade para de alta densidade. A primeira consome em média 0,116 m³/m², enquanto a segunda, 0,326 m³/m².

A Figura 9 compara o consumo de brita por diferentes segmentos (ANEPAC, 2014).

Figura 9 – Segmentação do consumo de brita no Brasil



Fonte: ANEPAC, 2014.

Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC), o consumo de brita e cascalho está dividido em 32% para concreteiras, 24% construtoras, 14% pré-fabricados, 10% revendedores/lojas, 9% pavimentadoras/usinas de asfalto, 7% órgãos públicos e 4% outros, conforme mostra a Figura 9.

3 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo geral da dissertação, foi realizado um estudo de caso tendo como objeto de estudo o resíduo de construção e demolição gerado por obras do município de Farroupilha e o uso de agregado natural em obras de pavimentação.

O município de Farroupilha está localizado na Região Metropolitana da Serra Gaúcha, a 110 km de distância de Porto Alegre, e possui área total de 361,684 km², sendo 40,32 km² de área urbana e 321,98 km² de área rural. Estima-se que 2.219 famílias moram na área rural, o que caracteriza uma região eminentemente de minifúndio, nesse total estão incluídas 606 propriedades que são de famílias que trabalham na área urbana. Entre a diversificação das lavouras, os principais ramos desenvolvidos na área são: fruticultura, avicultura e viveiristas. Estima-se que existam 1.200 km de estrada sem pavimentação na área rural.

O município investiu R\$ 2.575.260,55 em obras públicas no ano de 2017, valor recorrente de emendas parlamentares, programas do governo federal entre outros, obras do tipo: ampliação e reforma de escolas, revitalização de praças e parques, pavimentação na área urbana e rural, melhorias na rede coletora, implantação de pista de caminhada, construção de unidades de saúde, reparos e ampliação na rede de esgoto, manutenção na pavimentação das vias, entre outros. Além do valor investido de R\$ 16.013,600,00 referente aos gastos do legislativo e executivo da Secretaria Municipal de Desenvolvimento urbano, Infraestrutura e trânsito, valor que corresponde a 9,29% do orçamento total anual do município. Conforme levantamento do IBGE (2018), o município possui uma população de aproximadamente 71.570 habitantes.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O estudo de caso foi realizado através de quatro etapas principais, correspondentes aos objetivos específicos do trabalho. A Figura 10 apresenta o delineamento da pesquisa através das quatro etapas, seus objetivos específicos, as questões de pesquisa e os objetos de estudo utilizados.

Figura 10 – Delineamento da pesquisa

Objetivo geral: Propor diretrizes para reciclagem do RCD gerado no município de Farroupilha para uso como agregado na pavimentação de vias rurais.			
	Objetivos específicos	Questões de pesquisa	Fontes de informação
1. CONTEXTO	Estimar a quantidade de agregado natural utilizado pela Prefeitura Municipal de Farroupilha na pavimentação de vias rurais	Como quantificar a quantidade de agregado natural utilizado em obras de pavimentação, pela prefeitura?	Secretaria Municipal de Obras
	Estimar a quantidade gerada de resíduos "Classe A", oriundas das obras realizadas no município de Farroupilha	Qual é o volume de RCD gerado no município? Qual o melhor método para quantificar RCD? E dos resíduos "Classe A"?	Prefeitura Municipal e demais órgãos que prestam serviços, mé todos de estimativas (bibliografia)
	Analisar a possibilidade da adaptação do britador municipal para implantação de usina de reciclagem de RCD	Quais são os aspectos necessários para implantação de uma usina de reciclagem?	Britador Municipal e demais órgãos que prestam serviços
	Comparar os custos da produção do agregado natural e reciclado	Levantar todos os processos que envolvam a reciclagem dos resíduos e produção do agregado natural. Quais são os processos? Custo por etapa? Custo final?	Prefeitura Municipal e demais órgãos que prestam serviços

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 ETAPAS REALIZADAS

3.2.1 Etapa 1: Quantidade de agregado natural consumida pela Prefeitura Municipal em obras de pavimentação de vias rurais

A etapa 1 tem como propósito quantificar o agregado natural consumido pela Prefeitura Municipal em obras de pavimentação. Para realização desta etapa do trabalho, foi consultado o banco de dados da Secretaria Municipal de Obras, que é

responsável pela operação de britagem, realizada no britador municipal, distribuição e utilização do agregado natural.

Em consulta aos dados disponibilizados pela secretaria através de planilhas preenchidas a mão pelos operadores das máquinas e coordenadores de cada setor, foi elaborada uma planilha síntese, onde constam as informações a respeito do tipo de agregado e o local para onde foi destinado. Foi considerado apenas o agregado destinado à área rural, visto que nesta, a utilização é 100% destinada à pavimentação das vias, diferente do agregado utilizado na área urbana, onde existem diversos tipos de uso. Os dados coletados referem-se ao ano de 2017.

Através das informações coletadas foi desenvolvido o modelo de planilha geral de agregado natural utilizado no ano de 2017, está representada na Tabela 6.

Tabela 6 – Quantitativo de agregado natural utilizado para a pavimentação de estradas no ano de 2017

TIPO	QUANTIDADE (M³)	URBANA	RURAL
Pedrisco			
Brita n.º 01			
Brita n.º 02			
TOTAL			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando o volume utilizado de material reciclado, foi estimado a área pavimentada, utilizando a espessura da camada de 10 cm após compactação e a largura das vias de 6 metros.

3.2.2 Etapa 2: Quantidade de resíduos “Classe A” gerado em obras realizadas no município de Farroupilha

Essa etapa de pesquisa foi realizada em duas partes. A primeira foi pesquisar no banco de dados da Secretaria Municipal de Planejamento, os alvarás para construção aprovados no ano de 2017 no município. Através destes dados, foi possível detectar quais as obras de construção foram aprovadas e respectivas características, como área, endereço e o uso. Em segundo lugar, o foco esteve na estimativa da quantidade de geração de resíduos de construção civil (RCD) destas obras. Para isso, foi realizada primeiramente uma pesquisa bibliográfica sobre métodos de estimativas da geração de RCD, apresentados na literatura. Dentre os

vários autores pesquisados, foi possível notar que os trabalhos sobre o assunto são fortemente baseados no método apresentado por Pinto (1999). Assim, optou-se por utilizar esse método como referência para as construções novas, em virtude da ampla utilização do método por outros pesquisadores para quantificar resíduos em diversos municípios do Brasil. Ainda que o método utilizado seja antigo, por considerar obras realizadas com método construtivo tradicional (materiais cerâmicos, concreto armado, revestimentos cimentícios, e outros), entende-se que seja adequado à realidade das obras realizadas pela Prefeitura de Farroupilha.

Conforme Pinto (1999), a construção de indicadores sobre a geração de RCD pode ser realizada a partir de três bases de informações:

- a) das estimativas de área construída, inclusos os serviços executados e as perdas efetivadas;
- b) da movimentação de coleta;
- c) monitoramento de descargas nas áreas utilizadas como destino dos resíduos da construção e demolição.

Pinto (1999) destaca que a consulta a esta última base de informação constitui um processo extremamente complexo, tanto pela distribuição das descargas em diversos pontos localizados em área urbana e rural, assim como pela impossibilidade de acompanhamento físico das descargas em cada local, por longo período de tempo. Neste sentido, especialmente no município estudado, por estar localizado na região da Serra Gaúcha, a existência de vegetação densa e o relevo acidental, torna inviável a identificação de descartes clandestinos. Assim, foi utilizada a primeira base de informação, possibilitando a conformação de um método de quantificação a partir dos registros das construções licenciadas.

Em síntese, o método utilizado permite estabelecer um indicador ao agregar duas parcelas importantes da atividade construtiva urbana: as construções formais de novas edificações, cuja intensidade pode ser extraída dos registros públicos de licenciamento, e a execução informal de reformas e ampliações, que podem ter sua intensidade reconhecida através de pesquisas junto aos diversos agentes coletores em atuação. Nesse trabalho, foram consideradas apenas as construções formais de novas edificações. Não foram consideradas as demolições devido à falta de informações por parte do poder público e das empresas coletoras.

A partir das estimativas de referências realizadas no trabalho de Pinto (1999), foi proposto uma “taxa de geração de resíduos de construção” equivalente a 150 kg/m² da área construída. Essa taxa foi utilizada no trabalho para estimar a geração de resíduos referentes às novas edificações.

Através das informações coletadas, foi desenvolvido o modelo de planilha para registro, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Registros de dados coletados

Ano	Mês	Área Aprovada (m ²)	Alvará para Construção
-----	-----	---------------------------------	------------------------

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após estimativa do quantitativo dos resíduos por dia, mês e ano gerados nas construções, foi calculada a porcentagem de resíduos “Classe A” para cada. Adotou-se a fração de 91% da massa do RCD gerado, baseada nos resultados apresentados em estudos nacionais e internacionais propostos por Angulo et al. (2011).

Considerando que 100% do resíduo “Classe A” gerado no município atenda todos os requisitos estipulados pela NBR 15.116 (ABNT, 2004e), a qual estabelece requisitos para utilização do agregado reciclado destinado a pavimentação. Os requisitos gerais e específicos são explícitos nos Quadros 3 e 4.

Com o quantitativo de RCD “Classe A” calculado, pode-se comparar os valores entre o volume de agregado natural consumido com o volume gerado de RCD “Classe A”.

Quadro 3 – Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação

Propriedades	Agregado reciclado "Classe A"	
	Graúdo	Miúdo
Composição granulométrica	Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade > 10	
Dimensão máxima característica	≤ 63 mm	
Índice de forma	≤ 3	-
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm	Entre 10% e 40%	
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	de mesmas características (1)	2
	de características distintas (1)	3
	Sulfatos	2
(1) Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.		

Fonte: Adaptado da NBR 15.116 (ABNT, 2004e).

Quadro 4 – Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação

Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação
Material para execução de reforço de subleito	≥ 12	≤ 1,0	Normal
Material para execução de revestimento primário e sub-base	≥ 20	≤ 1,0	Intermediária
Material para execução de base de pavimento (1)	≥ 60	≤ 0,5	Intermediária ou modificada
(1) Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2 tf (80 kN) no período de projeto.			

Fonte: Adaptado da NBR 15.116 (ABNT, 2004e).

3.2.3 Etapa 3: Identificação de adaptações para uso do britador municipal para reciclagem do RCD

Nesta etapa foi realizado o levantamento de dados qualitativos para avaliação da viabilidade da adaptação do britador municipal.

Para tanto, utilizou-se como fonte de evidência a observação direta *in loco*, pesquisa documental e o levantamento fotográfico. A visita *in loco* ao britador municipal teve como objetivo verificar se contempla as diretrizes de implantação, projeto e operação mencionados na NBR 15.114, que se refere a áreas de reciclagem de RCD – Diretrizes para projeto, implantação e operação (ABNT, 2004c), bem como as normas complementares nela citada.

Para a pesquisa em campo, com base nos itens exigidos em norma, foi elaborado um *check list* dos itens implantados no local a fim de avaliar a viabilidade da adaptação do espaço, equipamentos, funcionários, logística do local, entre outros.

O Quadro 5 faz uma síntese do *check list* elaborado para analisar os itens citados em norma e itens que se mostram relevantes na revisão literária no que diz respeito a boas práticas implantadas em usinas.

Quadro 5 – Avaliação das diretrizes – Projeto e implantação

Referências Normativas	Diretrizes Observadas	Item(s) da NBR 15.114 (ABNT, 2004c)	Britador
			Condição
Projeto e Implantação	Localização	Local (Espaço)	-
		Acesso Externo	5.2.1.c / 5.4
		Hidrologia Local	5.2.1.a / 5.6
		Vegetação	5.2.1.b
		Plano Diretor	5.2.c
		Licença Ambiental	5.2.c
	Generalidades	Cerca Vegetal	5.2.a / 5.3.d
		Aceitação Popular	5.3.a / 5.3.d
		Isolamento	5.3.a / 5.3.b / 5.3.d
		Sinalização	5.3.c
		Acesso Interno	5.2.1.c
		Emissão de Pó	5.3.d / 7.1.3
		Local de Recepção	7.1.1
		Local de Triagem	7.1.2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para avaliação do local por meio dos requisitos do questionário foram atribuídos os conceitos:

- a) não atende: quando se identificou que não existe correlação de conformidade à descrição da norma ou revisão literária;
- b) atende parcialmente: quando atende em partes, sendo necessária adequação do item, existindo condição favorável à conformidade, apesar do parcial desacordo;
- c) atende: correspondem as exigências de conformidade e boas práticas.

No Quadro 6, são apresentados os aspectos críticos relacionados à dinâmica produtiva do agregado reciclado, considerando a área de acesso do resíduo, seu pré-beneficiamento, área de triagem e armazenagem, equipamentos, operadores e controle de qualidade após beneficiamento.

Quadro 6 – Avaliação das diretrizes – Operação

(continua)

Referências Normativas	Diretrizes Observadas	Item (s) da NBR 15.114 (ABNT, 2004c)	Britador
			Condição
Condições de Operação	Admissão	Vistoria	-
		Medição	-
		Controle de Transporte de Resíduos (CTR)	3.1 7.1.1 Anexo A
	Pré - Beneficiamento	Mecânico	-
	Triagem	Manual	-
		Mecânico	-
		Magnética (Eletroimã)	-
	Controle de Qualidade - antes do beneficiamento	Tipo	7.4
	Britador	Modelo	-
		Produção	-
		Peneiras	-

(conclusão)

Referências Normativas		Diretrizes Observadas	Item (s) da NBR 15.114 (ABNT, 2004c)	Britador
				Condição
Condições de Operação	Máquinas e Equipamentos	Pá Carregadeira		
		Caminhão Basculante	-	
		Peneira Vibratória	-	
		Alimentador Vibratório	-	
	Treinamento	Operação	7.2.1	
		Emergência	7.2.2 / 7.3	
	Controle de Qualidade - após beneficiamento	Tipo	7.4.1	
		Operadores	Quantidade	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após avaliação, foram analisadas e diagnosticadas as necessidades de adequação das condições que não atenderam os requisitos da norma.

3.2.4 Etapa 4: Custos da produção do agregado natural e reciclado

A quarta etapa teve como objetivo verificar os custos da produção do agregado natural e do reciclado. Buscou-se os custos de produção através do levantamento das despesas diretas e indiretas que envolvem a produção. Entre os itens pesquisados estão: manutenção mensal, folha salarial dos funcionários, custo da energia elétrica, abastecimento de água, combustível utilizado nos veículos, custo das detonações, insumos, equipamentos, entre outros. Os dados foram coletados *in loco* e através dos documentos disponibilizados pela Prefeitura Municipal, os mesmos foram coletados nos setores de compras, financeiro e administrativo.

Através do contato com os funcionários responsáveis pela operação da usina, foi possível identificar também a forma de operação e o fluxo das atividades desenvolvidas, os equipamentos utilizados, a quantidade dos profissionais envolvidos (auxiliares, profissionais da área, mecânicos, operadores de máquinas, encarregado e administrativo).

Para verificar os custos do agregado reciclado, considerou-se o custo da produção do agregado natural com o acréscimo dos itens em desconformidade com o britador para reciclagem de RCD e suprimido o valor da matéria-prima do agregado natural.

Foram identificados os equipamentos necessários para a operação das usinas de reciclagem de RCD, por meio de pesquisa de mercado. Com essas informações, foram identificados fabricantes e fornecedores, portanto não foram incluídos custos de frete. Somente foram levantados os dados de custos de equipamentos novos e instalação.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos na realização do trabalho, bem como as suas respectivas análises e discussões são a seguir apresentados, organizados de acordo com as etapas da pesquisa.

4.1 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE AGREGADO NATURAL CONSUMIDO PELA PREFEITURA MUNICIPAL EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Para essa etapa, foram consultados o banco de dados da Secretaria Municipal de Obras, onde pode se analisar a planilha de preenchimento diário com o destino, tipo e quantidade agregado consumido. Verificou-se que, no ano de 2017, foram distribuídos 15.831 m³ de brita destinados para pavimentação em área rural. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 8 – Quantitativo de agregado natural consumido

TIPO	QUANTIDADE (M ³)	URBANA	RURAL
Pedrisco	9.013	6.281	2.732
Brita n.º 01	14.990	4.256	10.734
Brita n.º 02	3.513	1.148	2.365
TOTAL	27.516	11.685	15.831

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base no volume utilizado na área rural, considerando a espessura da camada de agregado natural de 10 cm, foram pavimentados, no ano de 2017, cerca de 158.310,00 m² ou 26,38 km de vias, levando em consideração que as vias e estradas da área rural possuem largura de aproximadamente 6 metros, compostas por camada de base, sub-base e revestimento primário de pavimentação (brita).

4.2 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE RCD NO MUNICÍPIO DE FARROUPILHA

Para essa pesquisa, foram utilizados os primeiros dados coletados para a estimativa da geração de RCD e posterior estimativa da geração de RCD “Classe A”. Os dados foram obtidos através dos alvarás para construção, aprovados pela Prefeitura no ano de 2017, no município de Farroupilha.

A partir do levantamento das informações contidas nos documentos analisados, verificou-se que foi aprovada uma área total de 103.156,59 m² de novas

construções no ano de 2017, sendo que, 14.070,00 m² são de obras localizadas em área rural e 89.086,59 m² em área urbana. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos com o levantamento.

Tabela 9 – Levantamento das áreas de construção

Ano	Mês	Área Aprovada (m ²)	Alvará para Construção
	Janeiro	4.678,27	11
	Fevereiro	10.878,75	10
	Março	12.226,99	19
	Abril	5.303,15	13
2	Maio	5.403,64	12
0	Junho	1.957,39	10
1	Julho	8.200,49	10
7	Agosto	13.292,88	13
	Setembro	7.659,40	14
	Outubro	19.470,04	27
	Novembro	5.934,87	12
	Dezembro	8.150,72	14
Total		103.156,59	165

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1 Estimativa da geração de RCD das novas construções

A estimativa da geração de RCD das novas construções foi realizada utilizando a Taxa proposta por Pinto (1999) e as áreas de projetos aprovados:

- área aprovada/ano = **103.156,59 m²**; Taxa (kg/m²) = **150 kg/m²**;
- provável geração anual = 103.156,59 m² * 150 kg/m² = **15.473.488,50 kg** ou **15.473,48 t/ano** ou **11.902,68 m³/ano**;
- provável geração mensal = 15.473.488,50 kg / 12 meses = **1.289.457,37 kg/mês** ou **1.289,45 t/mês** ou **991,89 m³/mês**;
- provável geração diária = 1.289.457,37 kg/mês / 26 dias = **49.594,51 kg/dia** ou **49,59 t/dia** ou **38,14 m³/dia**.

4.2.2 Estimativa da geração de RCD “Classe A”

A estimativa da geração de RCD “Classe A” foi realizada utilizando o quantitativo de RCD gerado, e baseando-se nos resultados apresentados nos estudos nacionais e internacionais (ANGULO et al., 2011), que propõem a fração de 91% da massa do RCD gerado como “Classe A”. Utilizando o valor da massa específica dos RCD, que em média é de 1.300 kg/m³ (MONTEIRO, 2001), obteve-se o valor estimado do volume de RCD “Classe A” em m³, estimando-se as quantidades de:

- a) RCD/ano = **15.474.488,50 kg/m²**; Fração = **91,0 %**;
- b) provável geração anual resíduo Classe A = 103.156,59 m² * 91% = **14.081.784,54 kg/ano ou 14.081,78 t/ano ou 10.832,14 m³/ano**;
- c) provável geração mensal de resíduo Classe A = 14.081.784,54 kg / 12 meses = **1.173.482,04 kg/mês ou 1.173,48 t/mês ou 902,67 m³/mês**;
- d) provável geração diária de resíduo Classe A = 1.173.482,04 kg/mês / 26 dias = **45.133,92 kg/dia ou 45,13 t/dia ou 34,71 m³/dia**.

A título comparativo, a NBR 15.116 (ABNT, 2004e) apresenta recomendações técnicas para o emprego de agregados reciclados de resíduos da construção civil em obras de pavimentação viária: em camadas de reforço de subleito, sub-base de pavimentação ou revestimento primário de vias não pavimentadas.

O agregado reciclado pode ser utilizado em pavimentação, desde que proveniente de material “Classe A” e atenda aos requisitos gerais estabelecidos pela norma,

Considerando que 100% do resíduo “Classe A” gerado no município atenda todos os requisitos da norma, seria necessário utilizar somente 4.998,87 m³ de agregado natural para suprimir a demanda ao invés dos 15.831,00 m³ consumidos, tendo uma economia de 68,42%.

4.3 IDENTIFICAÇÃO DE ADAPTAÇÕES PARA USO DO BRITADOR MUNICIPAL PARA RECICLAGEM DE RCD

Para essa etapa, o presente trabalho teve como objetivo identificar os fatores críticos para a produção do agregado reciclado no britador municipal por meio da avaliação do britador existente em operação. Na avaliação, foram usados os parâmetros estipulados na NBR 15.114 (ABNT, 2004c), quanto às diretrizes de projeto, implantação e operação da área proposta para adaptação.

4.3.1 Britador Municipal

O britador localizado em Farroupilha, Rio Grande do Sul, pertence ao Poder Público Municipal e é utilizado para operação, manutenção e distribuição do agregado natural. O britador passou por reformas de modernização, operando com os novos equipamentos desde o ano de 2015. A Figura 11 ilustra a localização do britador.

Figura 11 – Localização do britador municipal



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2018.

A área destinada à produção de brita, que inclui o britador e o armazenamento da matéria é de 4,92 hectares (49.200,00 m²), sendo que 1,42 hectares (14.200,00 m²) são de área de compensação ambiental com adensamento da vegetação existente, e 3,5 hectares (35.000,00 m²) são de área útil, onde se encontram os pátios para armazenamento do material rochoso extraído durante o decapeamento, pátio de britagem e estoque de brita graduada, área coberta para guardar o maquinário e o prédio administrativo.

A área onde se encontra implantado o britador fica a uma distância de 3,6 km da Prefeitura Municipal, localizada no bairro Centro do município.

A Fotografia 1 contém duas fotografias dos equipamentos utilizados no britador.

Fotografia 1 – Equipamentos



Fonte: O autor em visita ao local.

No local, foram observados três equipamentos: uma pá carregadeira, um caminhão truck com caçamba basculante e o britador fixo de mandíbulas da marca Faço 62x60. Ao todo, operam seis funcionários: três operadores de máquina, dois operários que auxiliam na conferência e remoção manual dos contaminantes do material despejado no alimentador vibratório e uma pessoa responsável pelo administrativo. A área onde está localizada o britador fixo é de superfície plana,

utilizada para armazenamento/depósito de materiais como: tubos de concreto e pallet de tijolos/blocos, também utilizado como local para estacionamento dos veículos. O espaço conta com uma área de aproximadamente 3.000,00 m². A Fotografia 2 ilustra a área.

Fotografia 2 – Área do britador



Fonte: O autor em visita ao local.

4.3.2 Avaliação do britador municipal para produção de agregado reciclado

A avaliação do britador foi organizada conforme diretrizes da NBR 15.114 (ABNT, 2004c) para as áreas de reciclagem de RCD - Classe A e da NBR 15.112 (ABNT, 2004a), que estabelece diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de RCD.

4.3.2.1 Projeto e implantação

O Quadro 7 apresenta o resumo da avaliação das diretrizes relativas à implantação da usina de reciclagem de RCD no britador municipal, quanto aos aspectos da localização e do terreno.

Quadro 7 – Avaliação das diretrizes – Projeto e implantação

Referências Normativas	Diretrizes Observadas	Item(s) da NBR 15.114 (ABNT, 2004c)	Britador	
			Condição	
Projeto e Implantação	Localização	Local (Espaço)	-	Atende
		Acesso Externo	5.2.1.c / 5.4	Atende
		Hidrologia Local	5.2.1.a / 5.6	Atende
		Vegetação	5.2.1.b	Atende
		Plano Diretor	5.2.c	Atende
		Licença Ambiental	5.2.c	Não Atende
	Generalidades	Cerca Vegetal	5.2.a / 5.3.d	Atende
		Aceitação Popular	5.3.a / 5.3.d	Atende
		Isolamento	5.3.a / 5.3.b / 5.3.d	Atende
		Sinalização	5.3.c	Atende
		Acesso Interno	5.2.1.c	Atende
		Emissão de Pó	5.3.d / 7.1.3	Atende
		Local de Recepção	7.1.1	Não Atende
		Local de Triagem	7.1.2	Não Atende

Fonte: Elaborado pelo autor.

O britador municipal possui licenciamento ambiental de operação (LO N.º 08020/2015 – DL) com validade até 26/11/2019, emitida pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), para promover a operação relativa à atividade de lavra de rocha para uso imediato na construção civil – a céu aberto, com uso de explosivos, com britagem e com recuperação de área degradada.

Por tanto, o britador não se encontra em conformidade para operar a atividade necessária para produção de agregado reciclado. Deverá adequar seu licenciamento ambiental.

No local avaliado, não existe espaço para o recebimento de material, pois a matéria-prima é extraída do próprio local. Para a implantação da usina de reciclagem, deverá ser implantando um espaço para recepção e armazenamento dos resíduos, onde somente poderão ser aceitos resíduos da construção da “Classe A”.

Esse espaço deve permitir a movimentação, entrega e carregamento de material, de modo que fique explícita a constatação do teor de contaminação do resíduo recebido. Os resíduos que não fazem parte da “Classe A” deverão ser armazenados temporariamente em local específico, conforme norma técnica, para ter destino final adequado.

Não existe área de transbordo e triagem (ATT), que deverá ser implantada adotando-se os seguintes critérios:

- a) portão e cercamento do perímetro da área de operação;
- b) sistema de proteção ambiental, que contemple o controle de poeira, dispositivos de contenção de ruídos (veículos e equipamentos), sistema de drenagem superficial com dispositivos que evitem o carreamento de materiais;
- c) revestimento primário do piso da área utilizada, conforme descrito na NBR 15.112 (ABNT, 2004a).

4.3.2.2 Condições de Operação

No Quadro 8, contém a avaliação das diretrizes relativas à possível operação da implantação da usina de reciclagem de RCD no britador municipal, quanto aos aspectos de recebimento, transbordo e triagem, controle de qualidade, maquinário, equipamento e funcionários.

Após levantamento das informações, é possível constatar os pontos que não atendem a normativa, esses os pontos serão considerados no levantamento de custos da adaptação do espaço.

Quadro 8 – Avaliação das diretrizes – Operação

Referências Normativas		Diretrizes Observadas	Item (s) da NBR 15.114 (ABNT, 2004c)	Britador
				Condição
Condições de Operação	Admissão	Vistoria	-	Não Atende
		Medição	-	Não Atende
		Controle de Transporte de Resíduos (CTR)	3.1 7.1.1 Anexo A	Não Atende
	Pré - Beneficiamento	Mecânico	-	Atende
	Triagem	Manual	-	Atende
		Mecânico	-	Atende
		Magnética (Eletroimã)	-	Não Atende
	Controle de Qualidade - antes do beneficiamento	Tipo	7.4	Não Atende
	Britador	Modelo	-	Atende Parcialmente
		Produção	-	Atende
		Peneiras	-	Atende
	Máquinas e Equipamentos	Pá Carregadeira		Atende
		Caminhão Basculante	-	Atende
		Peneira Vibratória	-	Atende
		Alimentador Vibratório	-	Atende
	Treinamento	Operação	7.2.1	Não Atende
		Emergência	7.2.2 / 7.3	Não Atende
	Controle de Qualidade - após beneficiamento	Tipo	7.4.1	Não Atende
Operadores	Quantidade	-	Não Atende	

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.3 Custos de adequação

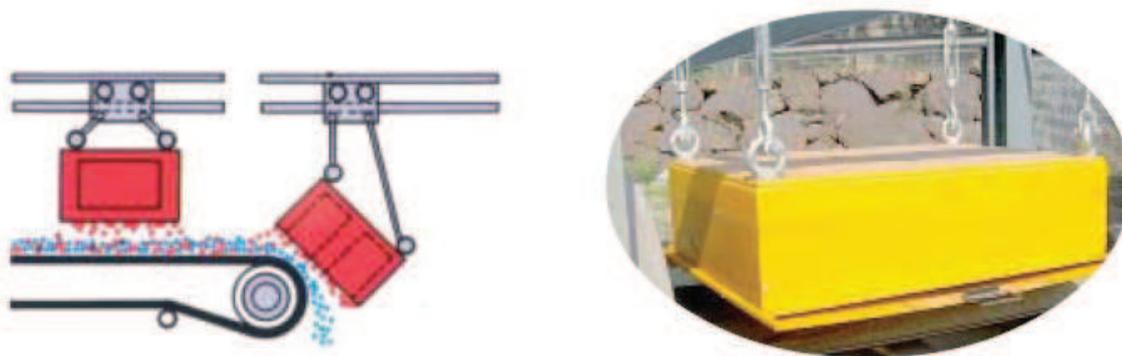
Após avaliação e levantamento das medidas necessárias para adequação do local referentes às diretrizes de projeto, implantação e operação, determinou-se então os custos de cada item a ser acrescentado para adequação do local à

reciclagem de RCD. Os valores estão em conformidade com o elencado por outros autores e conforme mercado atual. Os custos são compostos pelos seguintes itens: aquisição e instalação de equipamentos, obras civis, contratação de mão de obra e licenciamento. O custo total é composto como é descrito a seguir.

4.3.3.1 Custo de aquisição de equipamentos e instalação de equipamentos

O equipamento necessário para adequação do britador é o eletroímã do tipo separador suspenso. Este equipamento separa as impurezas ferrosas do produto transportado por correia, alimentadores vibratórios, entre outros. A instalação é feita sobre a “cabeceira” da correia transportadora, no qual facilita e aumenta a eficiência da separação. A Figura 12 demonstra o equipamento e o local de instalação.

Figura 12 – Separador magnético



Fonte: ITAL (2019).

O custo para instalação e aquisição do equipamento é de R\$ 30.000,00, incluindo a estrutura necessária para suporte do mesmo, conforme pesquisa realizada com fabricantes deste equipamento.

4.3.3.2 Custo de obras civis

O funcionamento da usina de reciclagem de RCD depende de obras civis, que abrangem as áreas de admissão e área coberta para o armazenamento temporário de outros resíduos recicláveis, área de central de triagem. Essa área foi determinada a partir da capacidade de produção da futura usina de reciclagem de RCD, considerando que 91% do total recebido de RCD não são resíduos de “Classe A”. Considerou-se o período de armazenamento de uma semana.

Com os dados das áreas necessárias para cada edificação, foram calculados os custos de cada obra civil, com utilização do Custo Unitário Básico (CUB) do Rio Grande do Sul, baseando-se nas pesquisas realizada pelo SINDUSCON – RS, com base nos dados do mês de dezembro de 2018, utilizando o CUB para galpão industrial, para calcular o custo da obra civil da área da central de triagem e armazenamento, e o CUB de residência unifamiliar (R-1) padrão normal para a área de admissão.

Para a área de admissão, considerou-se a utilização de um único funcionário, com espaço destinado ao banheiro e local para armazenamento dos documentos. Na Tabela 10, é apresentado o cálculo do custo para a edificação da área, que foi atribuído com o CUB igual a R\$ 1.824,57/m².

Tabela 10 – Custo da edificação

	Quantidade	Área (m ²)	Custo
Área de Admissão	1	10,00	R\$ 18.245,70
	Custo total		R\$ 18.245,70

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na área da central de triagem e armazenamento, conforme levantamento diário de RCD do município estimado em 38,14 m³/dia de RCD e 34,71 m³/dia de resíduo “Classe A”, para o cálculo da área necessária foram adotadas 8h e 48 min de trabalho por dia, um período de estocagem de uma semana e os principais materiais: papel, plástico, vidro e metal, onde se considera o mesmo volume para todos os materiais, cuja densidade média do material solto é de 300 kg/m³, conforme relata Farias (2002 apud MELO; SAUTTE; JENISSEK, 2009). Para o cálculo do custo da obra civil da área de triagem e armazenamento, foi considerado o CUB igual a R\$ 797,90/m² (dezembro/2018), conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Custo da obra civil da área de triagem e armazenamento

Porte	t/dia	t/semana	kg/semana	m ³ /semana	m ² (h=2m)	Custo
Pequeno	5	25	25.000,00	84	42	R\$ 33.511,80

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.3.3 Custo de mão de obra

Com a necessidade da contratação de dois funcionários para adequação do local, considerou-se o salário base de operário, conforme dados obtidos junto ao portal da transparência da Prefeitura Municipal de Farroupilha. A Tabela 12 apresenta valores para o custo dos salários dos funcionários a serem contratados.

Tabela 12 – Custo total de salário

Função	R\$/mês	R\$/ano + 13° salário
Operário	R\$ 1.658,44	R\$ 21.559,72
Operário	R\$ 1.658,44	R\$ 21.559,72
Total custos salários/ano		R\$ 43.119,44

Fonte: Elaborado pelo autor.

O custo mensal de mão de obra para contratação dos dois funcionários, com jornada de trabalho de 8h e 48min por dia (44h semanais) é de R\$ 3.316,88 por mês.

4.3.3.4 Custo de licenciamento

Para operar a usina de reciclagem de RCD, é necessário realizar os serviços de licenciamento ambiental, junto ao órgão responsável (FEPAM). A atividade se enquadra no código 3544,20 da Resolução CONSEMA 372/2018 “Estação de transbordo com ou sem central de triagem com beneficiamento de RCD”, porte médio, com potencial poluidor médio. As taxas dos serviços de licenciamento estão descritas na Tabela 13.

Tabela 13 – Custo das taxas de licenciamento ambiental

	Taxa
Licença Prévia	R\$ 8.347,43
Licença de Instalação	R\$ 9.081,58
Licença de Operação	R\$ 6.677,94
	R\$ 24.106,95

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores foram obtidos da tabela de valores para serviços de licenciamento ambiental, em anexo ao site da FEPAM.

Não foram considerados os custos para elaboração dos projetos e documentos necessários para projeto e execução das referidas obras, visto que a Prefeitura Municipal possui profissionais habilitados para execução dos mesmos, assim como, o treinamento para os funcionários.

Em resumo, para possível adequação do britador municipal para a operação da usina de reciclagem de RCD, o poder público teria o custo inicial de R\$ 105.864,45, mais o custo de operação, que seria de R\$ 43.119,44 por ano ou R\$ 3.593,28 por mês, além do custo existente do britador sem a extração da matéria-prima.

4.4 VERIFICAÇÃO DOS CUSTOS DA PRODUÇÃO DO AGREGADO NATURAL E RECICLADO

Para obter os valores dos custos da produção do agregado natural e reciclado, realizou-se o levantamento das despesas diretas e indiretas que envolvem a produção dos mesmos.

4.4.1 Custo da produção do agregado natural

Foram considerados os fatores: material empregado diretamente na produção, mão de obra utilizada diretamente e indiretamente, despesas indiretas. Os valores utilizados foram os mesmos que do agregado natural, com o acréscimo dos custos para adaptação do local, conforme detalhado a seguir:

- a) **material empregado na produção:** foi considerado o valor total anual do material empregado diretamente e indiretamente na produção do agregado natural, incluindo combustível, energia elétrica, consumo de água, pneus, consertos, peças, entre outros. A Tabela 14 demonstra o quantitativo e os valores gastos referentes a esses materiais no ano de 2017.
- b) **mão de obra direta:** valor total gasto com a mão de obra direta e indireta, remuneração dos profissionais que realizam a extração da matéria-prima e dos funcionários públicos que trabalham no britador. No ano de 2017, foram extraídos 20.000,00 m³ de basalto, serviço executado por empresa terceirizada, chamada realizada através da modalidade “Pregão”.

Considerou-se o valor do salário anual com o acréscimo do décimo terceiro salário para os funcionários. Conforme dados obtidos no portal da transparência do site da Prefeitura Municipal, o valor da empresa vencedora da licitação para serviço de detonação foi de R\$ 10,00/m³. A Tabela 15 detalha os valores.

Tabela 14 – Materiais empregados na produção

Itens Empregados	Quantidade/Consumo	Custo total
Correia de borracha de alta resistência	79,0 metros	R\$ 9.085,00
Oléo diesel	16.000,00 litros	R\$ 55.200,00
Mandíbula fixa, 10 dentes, para britador em aço	3,0 unidades	R\$ 29.600,00
Pneus	6,0 unidades	R\$ 11.100,00
Tela para peneira (4.000mm x 1.470mm)	3,0 unidades	R\$ 4.620,00
Energia Elétrica	-	R\$ 108.631,72
Água	120,00 m ³	R\$ 2.426,88
Peças, EPI e manutenção	-	R\$ 39.580,19
Total		R\$ 260.243,79

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 15 – Custo com mão de obra direta

Categoria	Custo Anual
Diretor	R\$ 62.640,89
Motorista	R\$ 102.759,15
Operador de Máquina	R\$ 175.816,68
Operador de Máquina	R\$ 111.483,71
Operário	R\$ 70.329,48
Operário	R\$ 51.098,58
Empresa de detonação	R\$ 200.000,00
Total	R\$ 774.128,49

Fonte: Elaborado pelo autor.

- c) **mão de obra indireta:** valor gasto com mão de obra indireta, incluindo a área administrativa e técnica. Na área técnica, estão incluídos os profissionais responsáveis pelo licenciamento ambiental do local, responsáveis técnicos pelo funcionamento e técnico em segurança do

trabalho. O administrativo fica a cargo da Prefeitura Municipal, através dos seus servidores, totalizando um valor de R\$ 79.568,16 no ano de 2017.

Considerando que, no ano de 2017, foram produzidos 30.000,00 m³ de brita graduada, sendo 20.000,00 m³ através da detonação por empresa contratada e 10.000,00 m³ por meio de doação de material, estimou-se o valor por m³ de brita graduada. Após levantamento dos dados, pode-se resumi-los, conforme Tabela 16.

Tabela 16 – Tabela do custo unitário

Itens do custo (britador)	Custo total anual (R\$)	R\$/m³
Material empregado diretamente na produção	260.243,79	8,67
Mão de obra utilizada diretamente na produção	774.128,49	25,804283
Outras despesas diretas	0,00	0,00
Subtotal direto	1.034.372,28	34,48
Mão de obra indireta	79.568,16	2,65
Outras despesas indiretas	0,00	0,00
Subtotal indireto	79.568,16	2,65
Custo total	1.113.940,44	-
Custo unitário	-	37,13

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme valor unitário calculado, é possível estimar que a prefeitura municipal de Farroupilha gastou o valor de R\$ 587.805,03 em revestimento primário de pavimentação em área rural no ano de 2017.

4.4.2 Custo da produção de agregado reciclado

Nesse cenário, foi considerado como se o britador já estivesse sido adaptado no ano de 2017, acrescentando os itens necessários nos fatores: material empregado diretamente na produção, mão de obra utilizada diretamente e indiretamente, despesas indiretas e o custo para adaptação do britador; conforme segue detalhamento:

- d) **material empregado na produção:** foi considerado o valor total anual do material empregado diretamente e indiretamente na produção do agregado natural, incluindo combustível, energia elétrica, consumo de água, pneus,

consertos, peças, equipamentos, edificações, entre outros. A Tabela 17 demonstra o quantitativo e os valores gastos referentes a esses materiais no ano de 2017.

Tabela 17 – Materiais empregados na produção

Itens Empregados	Quantidade/Consumo	Custo total	
Correia de borracha de alta resistência	79,0 metros	R\$	9.085,00
Óleo diesel	16.000,00 litros	R\$	55.200,00
Mandíbula fixa, 10 dentes, para britador em aço	3,0 unidades	R\$	29.600,00
Pneus	6,0 unidades	R\$	11.100,00
Tela para peneira (4.000mm x 1.470mm)	3,0 unidades	R\$	4.620,00
Energia Elétrica	-	R\$	108.631,72
Água	120,00 m ³	R\$	2.426,88
Peças, EPI e manutenção	-	R\$	39.580,19
	Total	R\$	260.243,79

Fonte: Elaborado pelo autor.

- e) **obras civis e equipamentos:** valor total gasto com a realização das obras civis e aquisição e instalação do equipamento, necessários para adaptação do britador para reciclagem de RCD. A Tabela 18 ilustra os valores.

Tabela 18 – Obras civis e equipamentos

Itens Empregados	Quantidade/Consumo	Custo total	
Eletroimã (com instalação)	1,0 unidade	R\$	30.000,00
Construção da área de admissão	10,0 m ²	R\$	18.245,70
Construção da área de armazenamento e triagem	42,0 m ²	R\$	33.511,80
	Total	R\$	81.757,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

- f) **mão de obra direta:** valor total gasto com a mão de obra direta e indireta, remuneração e dos funcionários públicos que trabalham no britador, além do acréscimo de dois funcionários, necessário para adaptação do local. Considerou-se o valor do salário anual com o acréscimo do décimo terceiro para os funcionários, conforme dados obtidos no portal da transparência do site da prefeitura municipal. Não foi considerado o valor da extração, visto que a matéria-prima é o RCD. A Tabela 19 detalha os valores.

Tabela 19 – Custo com mão de obra direta

Categoria	Custo Anual	
Diretor	R\$	62.640,89
Motorista	R\$	102.759,15
Operador de Máquina	R\$	175.816,68
Operador de Máquina	R\$	111.483,71
Operário	R\$	70.329,48
Operário	R\$	51.098,58
Operário (novo)	R\$	21.559,72
Operário (novo)	R\$	21.559,72
Total	R\$	617.247,93

Fonte: Elaborado pelo autor.

- g) **mão de obra indireta:** Valor gasto com mão de obra indireta, incluindo a área administrativa, técnica e taxas. Na área técnica, estão incluídos os profissionais responsáveis pelo licenciamento ambiental do local, responsáveis técnicos pelo funcionamento e técnico em segurança do trabalho. O administrativo fica a cargo da prefeitura municipal, através dos seus servidores, totalizando um valor de R\$ 103.675,11 no ano de 2017.

Considerando que, no ano de 2017, o município utilizou 30.000,00 m³ de RCD “Classe A”, estimou-se o custo por m³ de agregado reciclado. Após levantamento dos dados, pode-se resumi-los, conforme Tabela 20.

Conforme valor unitário calculado, é possível estimar que a prefeitura municipal de Farroupilha gastou o valor de R\$ 560.892,33 em revestimento primário de pavimentação em área rural no ano de 2017, utilizando agregado reciclado.

Tabela 20 – Tabela do custo unitário

Itens do custo (britador)	Custo total anual (R\$)	R\$/m³
Material empregado diretamente na produção, obras civis e equipamentos	342.001,29	11,40
Mão de obra utilizada diretamente na produção	617.247,93	20,57
Outras despesas diretas	0,00	0,00
Subtotal direto	959.249,22	31,97
Mão de obra indireta	103.675,11	3,46
Outras despesas indiretas	0,00	0,00
Subtotal indireto	103.675,11	3,46
Custo total	1.062.924,33	-
Custo unitário	-	35,43

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.3 Custo da produção de agregado reciclado em 2018

O custo da adaptação do britador ocorreu no ano de 2017, esse capítulo tem como objetivo demonstrar o custo do valor unitário do agregado reciclado nos anos seguintes da adaptação, para comparação com o valor do agregado natural. Para isso, supôs que o município gerou a mesma quantidade de agregado que do ano 2017 (30.000,00 m³) e teve os mesmos custos relacionados à produção. A Tabela 21 demonstra o resultado.

Tabela 21 – Tabela do custo unitário do agregado reciclado

Itens do custo (britador)	Custo total anual (R\$)	R\$/m³
Material empregado diretamente na produção	260.243,79	8,67
Mão de obra utilizada diretamente na produção	617.247,93	20,57
Outras despesas diretas	0,00	0,00
Subtotal direto	877.491,72	29,25
Mão de obra indireta	79.568,16	2,65
Outras despesas indiretas	0,00	0,00
Subtotal indireto	79.568,16	2,65
Custo total	957.059,88	-
Custo unitário	-	31,90

Fonte: Elaborado pelo autor.

O custo unitário do agregado reciclado seria de R\$ 31,90/m³, uma redução de 14,08% do valor unitário do agregado natural.

4.4.4 Comparativo entre os custos do agregado natural e agregado reciclado

O comparativo entre as simulações foi realizado por meio dos resultados financeiros da produção de cada agregado, agregado natural e reciclado no ano da adaptação e ao segundo ano de operação. Esse comparativo sintetiza as informações sobre os fatores que divergem na operação e implantação entre o britador e a usina de reciclagem de RCD. Considerando que o britador e a usina de reciclagem de RCD gerem 30.000,00 m³ de agregado ao ano, supondo também que houve apenas as mudanças do tipo de agregado, obteve-se os resultados demonstrados na Tabela 22.

Tabela 22 – Comparativo de custos

	Custo total de Operação		Diferença entre Custo de Operação
	Britador	Usina de Reciclagem	
Ano 0	R\$ 1.113.940,44	R\$ 1.062.924,33	R\$ 51.016,11
Ano 1	R\$ 1.113.940,44	R\$ 957.059,88	R\$ 156.880,56

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores demonstram que no primeiro ano de adaptação do britador para reciclagem de RCD houve uma diminuição de R\$ 136.643,83 em relação a produção de agregado natural existente, e no segundo ano, uma economia de R\$ 242.509,28 em relação a produção do agregado natural.

Além da economia financeira, há de ser contabilizada a redução significativa na utilização de recurso mineral, além da reciclagem de RCD estar adequada à normatização e legislação vigente, facilitando a destinação correta do RCD aos geradores, que atualmente contratam empresas coletoras. No município existem duas empresas prestadoras de serviço de transporte e triagem, ambas com licenciamento para exercer a atividade.

5 DIRETRIZES PARA RECICLAGEM DO RCD GERADO NO MUNICÍPIO DE FARROUPILHA PARA USO COMO AGREGADO NAS PAVIMENTAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, as diretrizes para reciclagem do RCD gerado no município de Farroupilha para uso como agregado são propostas nesse

capítulo, e estão divididas em termos de sugestões de ações que a Prefeitura Municipal deve realizar, em conjunto com a sociedade, empresas coletoras e transportadoras de RCD e com empresas construtoras.

5.1 AÇÕES DA PREFEITURA MUNICIPAL

5.1.1 Definição de uma equipe técnica

A Prefeitura deverá definir uma equipe com atribuições técnicas, que pode ser composta por integrantes da Secretaria Municipal de Planejamento, Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Secretaria Municipal de Obras, funcionários com atribuições técnicas (engenheiros, biólogos, geólogos, entre outros), com objetivo de projetar e executar os itens necessários para adaptação do britador para reciclagem do RCD, além de fiscalizar todas as etapas da operação.

5.1.2 Investimento por parte do município (compra, contratações, etc.)

Para adaptação do espaço para recebimento e reciclagem do RCD, o poder público precisará seguir as seguintes diretrizes:

- a) **a contratação de 02 funcionários para serviços gerais:** conforme levantamento de dados obtidos junto ao Portal de Transparência do município, o custo por operário seria de R\$ 1.658,44 ao mês, totalizando R\$ 43.119,44 ao ano, pelo serviço prestado pelos dois funcionários, incluindo o décimo terceiro salário.
- b) **construção dos espaços para admissão do material e área de armazenamento do resíduo:** Com base a partir da capacidade de produção da futura usina de reciclagem de RCD, considerando que 9% do total recebido de RCD não são resíduos de “Classe A”, considerou-se o período de armazenamento de uma semana, chegou-se as áreas necessárias para cada edificação. Sendo para a área de admissão uma área de 10,00 m² com o custo de R\$ 18.245,70 e para área de armazenamento, uma área de 42,00 m², com o custo estimado em R\$ 33.511,80. Totalizando um custo de R\$ 51.757,50.

- c) **adaptação do britador de mandíbula com utilização do eletroímã para remoção do material ferroso:** é necessário a aquisição e instalação do eletroímã do tipo separador suspenso, com finalidade separar as impurezas ferrosas do RCD transportado por correia transportadora. Conforme levantamento de mercado, o custo para aquisição e instalação é de R\$ 30.000,00.
- d) **licenciamento ambiental para operação da atividade:** para operação do britador na reciclagem do RCD, é necessário licenciar o espaço para exercer a atividade pretendida, a licença ambiental se dá junto ao órgão responsável (FEPAM), atividade enquadrada no código n.º 3544,00 da Resolução CONSEMA 372/2018. Sugere-se que os documentos necessários para elaboração do licenciamento sejam elaborados por funcionários da SEMMA em parceria com os demais funcionários necessários. Os custos das taxas junto ao órgão licenciador são de R\$ 24.106,95.
- e) **treinamento profissional:** a equipe técnica deverá gerir os treinamentos profissionais necessários para munir os funcionários. São necessários treinamentos voltados a operação e questões de proteção.

5.1.3 Garantia de características técnicas do material

Além das diretrizes citadas, o material beneficiado deverá ter propriedades adequadas conforme cita a NBR 15.116 (ABNT, 2004e) para utilização, que são:

- a) ter composição granulométrica não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade maior que 10,0;
- b) ter dimensão máxima ou igual a 63,00 mm;
- c) ter o teor de material passante na peneira de 0,42 mm entre 10% e 40%;
- d) ter teores de contaminantes máximos em relação à massa do agregado reciclado de 2% de materiais de mesmas características e 3% de características distintas.

Em relação aos requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação como revestimento primário, deverá seguir as seguintes características:

- a) possuir o Índice de Suporte Califórnia (ISC) maior que 20%;
- b) ter expansibilidade menor ou igual a 1%;
- c) possuir energia de compactação intermediária.

5.1.4 Definição do processo de fiscalização

A fiscalização, no sentido de garantir que o RCD gerado chegue à reciclagem é um dos pontos mais delicados de todo o processo e também um dos mais importantes, pois deve ser justa e eficaz, penalizando quando necessário e principalmente deve fornecer informações para o banco de dados. Para o poder público o trabalho é desgastante, pois envolve um número grande de pessoas para fiscalizar, por isso, deve ser implantado por etapas e envolvendo outras entidades.

Os grandes geradores podem ser fiscalizados conforme as exigências dos Projetos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS forem sendo cobradas pela municipalidade. Já a fiscalização dos pequenos geradores pode ser feita através de programas de educação ambiental e com a participação da própria comunidade através de um canal de denúncias, que acaba proporcionando uma fiscalização mais efetiva e atuante.

Em relação às empresas coletoras, o poder público deverá ser mais rigoroso com a destinação final do resíduo, podendo cobrar a colocação de “chips” nos containers e caminhões transportadores, podendo ser fiscalizados pela Prefeitura, assim como é utilizado em outros municípios, como em Campinas – SP.

5.1.5 Programa de incentivos

A Prefeitura Municipal poderia elaborar programas de incentivos com participação das construtoras e a população, envolvendo aspectos financeiros, como

por exemplo: a isenção ou desconto em impostos, até a criação de certificado ou prêmios para as geradoras que se adequarem ao sistema proposto.

Sabe-se também, que no município existem duas empresas licenciadas para o transbordo do RCD, porém as mesmas não realizam a reciclagem do resíduo para algum local. Através de pesquisa junto às empresas, constatou-se que para o recebimento do RCD é cobrado em média o valor de R\$ 40,00 por m³.

A Prefeitura poderia utilizar uma taxa inferior para recebimento de RCD “Classe A”, incentivando as empresas coletoras a levarem o resíduo até a usina e até mesmo as empresas de outras cidades.

6 CONCLUSÃO

Os resultados dessa pesquisa evidenciam que a indústria da construção civil, em conjunto com o poder público, possui ferramentas e viabilidade de alavancar o desenvolvimento sustentável, através de uma gestão de resíduos adequada e eficiente. Apesar de não ser um processo simples, o município se mostra disposto a adaptar o britador municipal para a implantação da usina de reciclagem de RCD.

Neste trabalho, apresentou-se o diagnóstico que mostrou a quantidade de agregado natural utilizado pela prefeitura municipal em obras de pavimentação, no ano de 2017, que apontou ser uma quantidade expressiva por se tratar de revestimento primário, onde por muitas às vezes se faz necessário refazer o revestimento com a utilização do agregado natural, devido às intempéries e utilização das vias.

Por meio da identificação das condições existentes no britador e das condições exigidas pela legislação, foi possível calcular o valor necessário para implantação da usina de reciclagem de RCD no local. Conclui-se que é possível adaptar o local para implantação da usina de reciclagem de RCD. Após foi calculado o valor unitário do agregado natural, do agregado reciclado no ano da adaptação e no ano posterior, conclui-se que o valor do agregado natural é 14,08% a mais do que o valor do agregado reciclado no ano posterior a adaptação e 4,57% maior que o valor do ano de adaptação.

A partir da realização deste estudo, foi possível constatar que, através de ações por parte do poder público, construtoras e empresas envolvidas com a coleta de resíduos, é possível executarem o ciclo fechado do material com a substituição do agregado natural, aumentando a vida útil da jazida e prevenindo de futuros problemas com a degradação do meio ambiente, além da questão financeira.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir da realização deste trabalho, foram propostas as seguintes sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- a) implementação de ações que visam aproximar o poder público dos geradores de RCD do município e dos municípios vizinhos;

- b) estudos que visam pesquisar outros materiais que possam substituir o agregado natural como revestimento primário;
- c) desenvolvimento de ações que incentivem os geradores de RCD a destinar o resíduo para o britador.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 15.112**: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos- Área de transbordo e triagem- Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004a.

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

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

_____. ABNT **NBR 15.115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos. Rio de Janeiro, 2004d.

_____. ABNT **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, 2004e.

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção. **Pesquisa Setorial da Reciclagem de Resíduos da Construção 2014/2015**. 2015. Relatório 2. 26 p.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. Abrelpe, 2017. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2017.pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2018.

AINCHIL, Javier, BURGUEÑO, Antonio. State of the art of practical applications for the use of the recycled materials through real cases in Catalonia. **Proceedings of RILEM International Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings**, Barcelona, Spain, p. 322-330, 2014.

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção civil. **Agregados**. 2014. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/agregado/>>. Acesso em: 2 dez. 2017.

ANGULO, Sérgio C.; TEIXEIRA, Cláudia E.; CASTRO, Alessandra L. de; NOGUEIRA, Thais Passos. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 299-306, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n3/v16n3a13>>. Acesso em: 17 out. 2018.

BAKSHAN, Amal; SROUR, Issam; CHEHAB, Ghassan; EL-FADEL, Mutassem. A field based methodology for estimating waste generation rates at various stages of construction projects. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 100, p. 70-80, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344915000804>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

BARROS, Raphael T. de V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012.

BERNARDES, Alexandre; THOMÉ, Antônio; PRIETTO, Pedro D. M.; ABREU, Águida G. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 3, p. 65-76, 2008. Disponível em: <<https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/5699>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura M. G. da; CERATTI, Jorge A. P.; SOARES, Jorge B. **Pavimentação Asfáltica**: formação básica para engenheiros. 2. ed. Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda, 2012.

BIDONE, Francisco R. A.; SOARES, Sebastião R. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais**: reciclagem e disposição final. 1. ed. Rio de Janeiro: Rima/ABES, 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - **CONAMA**. *Resolução nº. 307*, de 05 de julho de 2002. Brasília. Diário Oficial da União, de 30 de agosto de 2002, seção I, p. 17.241.

_____. Ministério das Cidades. SNIS série histórica 9. Brasília: SNIS/MC, 2010.

_____. Ministério das Cidades. Ministério do Meio Ambiente. Área de manejo de resíduos da construção e resíduos volumosos: orientação para o seu licenciamento e aplicação da Resolução Conama 307/2002. 2005.

BRAUNGART, Michael; MCDONOUGH, William. **Remaking the way we make things: cradle to cradle**. Londres: Vintage, Random House, 2009.

BRÖNSTRUP, Mariana E. **Diretrizes para implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos de construção e demolição para o município de Gramado/RS**. 2010, 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Sinos, São Leopoldo, 2010. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/4636>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

CALAES, Gilberto D.; NETTO, Bernardo P. C.; TAVARES, Luiz. M. Análise Econômica da Produção de Agregados. In: ALMEIDA, Salvador L. M.; LUZ, Adão B. (editores). **Manual de agregados para construção civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

CARNEIRO, Alex P.; BURGOS, Paulo C.; ALBERTE, Elaine P. V. **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA / Caixa Econômica Federal, 2001.

COELHO, André; BRITO, Jorge de. Generation of construction and demolition waste in Portugal. **Waste Management & Research**, v. 29, n. 7, p. 739-750, 2011. Disponível em:

<<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X11402253>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

D'ALMEIDA, Maria L. O., VILHENA, André. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT: CEMPRE, 2000.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**. Edições 2015 Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

EVANGELISTA, Patricia P. de A.; COSTA, Dayana B.; ZANTA, Viviana M. Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 3, p. 23-40, 2010.

FROTA, Consuelo A.; MENTA, Charles D.; NUNES, Fabio R. Utilização de Entulho Reciclado em Misturas Asfálticas para a Região de Manaus-Am. **12ª Reunião de Pavimentação Urbana (12ª RPU)-Aracajú/SE**, 2003.

GRABASCK, Jaqueline. **Aspectos e impactos ambientais decorrentes da extração de agregado natural e produção de agregado reciclado: estudo de caso no RS**. 2016, 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, 2016. Disponível : <<http://repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/5398>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

HUANG, Wen-Ling; LIN, Dung-Hung; CHANG, Ni-Bin; LIN, Keun-Song. Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 37, n. 1, p. 23-37, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344902000538>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD)**. 2010.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos Sólidos urbanos – relatório de pesquisa**. 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7669>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

ITAL – **Site institucional**. Disponível em: <<http://www.italpro.com.br/separadormagnetico/separadores-suspensos/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

JADOVSKI, Iuri. **Diretrizes Técnicas e Econômicas para Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição**. 2005, 180 f. Tese (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10156>>. Acesso em: 23 maio 2018.

KARPINSKI, Luisete A.; PANDOLFO, Adalberto; REINEHER, Renata; GUIMARÃES, Jalusa C. B.; PANDOLFO, Luciana M.; KUREK, Juliana. Os resíduos da indústria da

construção civil e Quantificação da geração de resíduos de construção e demolição. IN: **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil**. Porto Alegre: edipucrs, 2009.

KULAIF, Yara. **Análise dos mercados de matérias-primas minerais**: estudo de caso da indústria de pedras britadas do Estado de São Paulo. 2001, 144 f. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: <<https://bdpi.usp.br/item/001244982>>. Acesso em: 17 out. 2018.

LEITE, Mônica B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001, 270 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/21839>>. Acesso em: 17 jun. 2018.

LIMA, Francisco S. N. S. **Aproveitamento de resíduos de construção na fabricação de argamassas**. 2005, 110 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp091808.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

LIMA, José D. de; SCHEITT, Luiz C.; BOSCHI, Taciane F.; SILVA, Nézio J.; MEIRA, Ademar A.; DIAS, Gabriel H. Proposals of adjustment for the payback calculation of funded investment projects. **Custos e agronegócios**, v. 85, p. 390, 2013. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v9/payback%20calculation.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

LUZ, Marta P. **Aproveitamento de filer de pedreiras da região metropolitana de Goiânia em pavimentos flexíveis urbanos: avaliação técnica e sócio-ambiental**. 2008, 104 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008. Disponível em: <https://ciamb.prpg.ufg.br/up/104/o/TESE_MARTA.pdf>. Acesso em: 23 maio 2018.

MELO, Aluísio B. de; GONÇALVES, Arlindo F.; MARTINS, Isabel M. Construction and demolition waste generation and management in Lisbon (Portugal). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 12, p. 1252-1264, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911001364>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

MELO, Lucas A.; SAUTTER, Klaus D.; JANISSEK, Paulo R. Estudo de cenários para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de Curitiba. **Eng Sanit Ambient**, v. 14, n. 4, p. 551-558, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Klaus_Sautter/publication/250046498_Estudo_de_cenarios_para_o_gerenciamento_dos_residuos_solidos_urbanos_de_Curitiba/links/53d82bb80cf2a19eee82d9da.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2018.

MONTEIRO, José H. P. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MORALES, Gilson; MENDES, Thiago M.; ANGULO, Sérgio C. **Índices de geração de RCD provenientes de obras de construção, reforma e demolição na cidade**

de Londrina/PR. In: II Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edificações, 2006, Rio de Janeiro. Anais... (CD-ROM). Rio de Janeiro: 2006. v. 1.

MOTTA, Rosângela S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego.** 2005, 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072006-114729/pt-br.php>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

NORONHA, Lelislânia; GASPARINI, Livia; CRISTINA, Michelle. **Reciclagem e Reutilização dos Resíduos Sólidos da Construção Civil.** 2005. Disponível em: <<http://www.fea.fumec.br/biblioteca/artigos/producao/reciclagem.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2017.

NUNES, Katia R. A.; MAHLER, Cláudio F.; VALLE, Roberto; NEVES, Clara M. Evaluation of investments in recycling centres for construction and demolition wastes in Brazilian municipalities. **Waste Management**, v. 27, n. 11, p. 1531-1540, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X06002728>>. Acesso em: 2 dez. 2017.

OLIVEIRA, Maria E. D.; SALES, Raquel J. M.; OLIVEIRA, Lúcia A. S. de.; CABRAL, Antonio E. B. Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE. **Eng Sanit Ambient**, v. 16, n. 3, p. 219-224, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n3/v16n3a03>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

PAIVA, Teônias S.; CARTAXO, Elizabeth F. Misturas asfálticas quentes: impactos ambientais e utilização do RCD. **Revista T&C Amazônia**, n. 23, 2014. Disponível em: <https://issuu.com/revistatec/docs/revista_tec_ed23>. Acesso em: 17 jun. 2018.

PALAMIN, Caroline M. **Subsídios para elaboração de um plano de gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em cidades de pequeno porte.** 2016, 133 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13042017-152518/>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

PINTO, Tarcísio de P.; GONZÁLES, Juan L. R. Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil. **Manual de Orientação** – Como Implantar um Sistema de Manejo e Gestão nos Municípios, v. 1, 2005. Disponível em: <http://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/Manual_RCD_Vol1.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2017.

PINTO, Tarcísio P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999, 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.casoi.com.br/hjr/pdfs/GestResiduosSolidos.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2017.

POON, Chi S.; CHAN, Dixon. Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base. **Construction and building materials**, v. 20, n. 8, p. 578-585, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061805000863>>. Acesso em: 23 maio 2018.

POON, Chi S. Management of construction and demolition waste. **Waste Management**, v. 27, n. 2, p. 159- 160, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/6684562_Poon_CS_Management_of_Construction_and_Demolition_Waste_Waste_Management_272_159-160>. Acesso em: 23 maio 2018.

REIS, Jaisson P. **Incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica usada na fabricação de tijolos**. 2007, 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2007. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UDSC_b4c44b007b89a991416d94fb49e6fec3>. Acesso em: 20 jun. 2018.

RICHARDSON, Alan; ALLAIN, Pierre; VEUILLE, Maxime. Concrete with crushed, graded and washed recycled construction demolition waste as a coarse aggregate replacement. **Structural Survey**, v. 28, n. 2, p. 142-148, 2010. Disponível em: <<https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/02630801011044244>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

RON, M.B.; CASAGRANDE, Michele D. T.; VALE, Aline C.; LOPES, Manuela M.; SOARES, Jorge B. Aplicabilidade de resíduos reciclados da construção civil e demolição como agregados em misturas asfálticas. **15ª Reunião de Pavimentação Urbana (RPU), Salvador – BA, Brasil**, 2008.

SANTOS, Alcimar L. **Diagnóstico ambiental da gestão e destinação dos resíduos de construção e demolição (RCC)**: análise das construtoras associadas ao SINDUSCON/RN e empresas coletoras atuantes no município de Parnamirim - RN. 2009, 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/14923>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

SEADON, Jeffrey K. Sustainable waste management systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 16, p. 1639-1651, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610002672>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

SHIMA, Hirokazu; TATEYASHIKI, Hisashi; MATSUHASHI, Ryuji; YOSHIDA, Yoshikuni. An advanced concrete recycling technology and its applicability assessment through input-output analysis. **Journal of advanced concrete technology**, v. 3, n. 1, p. 53-67, 2005. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/3/1/3_1_53/_article/-char/ja/>. Acesso em: 17 jun. 2018.

SILVA, Alex F. F. **Gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com a CONAMA 307/2002: estudo de caso para um conjunto de obras de pequeno porte**. 2007, 117 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/FRPC-78WFYS>>. Acesso em: 17 out. 2018.

SILVA, César A. R. **Estudo do agregado reciclado de construção civil em misturas betuminosas para vias urbanas**. 2009, 220 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFOP_183e8a057c095855cce8599c2fb37b90>. Acesso em: 23 maio 2018.

SILVA, João; BRITO, Jorge de; VEIGA, Maria Rosário. Avaliação do comportamento à água de argamassas com incorporação de agregados cerâmicos. **Engenharia Civil, n. 28, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães**, p. 37-45, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Brito5/publication/281119207_Avaliacao_do_comportamento_a_agua_de_argamassas_com_incorporacao_de_agregados_ceramicos/links/55d7500b08aec156b9aa0c19/Avaliacao-do-comportamento-a-agua-de-argamassas-com-incorporacao-de-agregados-ceramicos.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2018.

SILVA, Phillipe C. G.; MIRANDA, Leonardo F. R. Análise da influência do controle granulométrico nas características físicas e mecânicas de agregados reciclados para pavimentação. **XII ENTAC Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2008. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A2351.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2017.

SOUZA, Ubiraci E. L. de; PALIARI, José C.; AGOPYAN, Vahan; ANDRADE, Artemária C. de. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente construído**, v. 4, n. 4, p. 33-46, 2004. Disponível em: <<https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3573>>. Acesso em: 6 nov. 2018.

TOMOSAWA, Fuminori; NOGUCHI, Takafumi; TAMURA, Masaki. The way concrete recycling should be. **Journal of advanced concrete technology**, v. 3, n. 1, p. 3-16, 2005. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/3/1/3_1_3/_article/-char/ja/>. Acesso em: 2 set. 2017.

TRICHES, Glicério; KRYCKYJ, Paulo R. Aproveitamento de entulho da construção civil na pavimentação urbana. In: **Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental**, p. 259-265, 1999. Disponível em: <<http://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/regeo99/1999-triches-kryckyj.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2017.

ULSEN, Carina. **Caracterização e separabilidade de agregados miúdos produzidos a partir de resíduos de construção e demolição**. 2011, 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-12122011-132841/pt-br.php>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

VALVERDE, Fernando M.; TSUCHIYA, Osvaldo Y. **Importância estratégica dos agregados para a construção civil**. Brasília: 2008. Disponível em: <[http://artisanalmining.org/casm/sites/artisanalmining.org/files/publication/Fernando%20Val verdeSimexmin.pdf](http://artisanalmining.org/casm/sites/artisanalmining.org/files/publication/Fernando%20Val%20verdeSimexmin.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2018.

VIEIRA, Geilma L.; DAL MOLIN, Denise C. C. Viabilidade Técnica da Utilização de Concretos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 47-63, 2004. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3575/1979>>. Acesso em: 17 out. 2018.

ZORDAN, Sérgio E. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto**. 1997, 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Campinas, Campinas 1997. Disponível em: <http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Dissert_Sergio_Zordan_-_Entulho_Agregado_para_Concreto.pdf>. Acesso em: 2 set. 2017.