UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

SAMALEI LUZ NATAL MALHEIROS DA SILVA

# ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO/RO

PORTO VELHO
2015

SAMALEI LUZ NATAL MALHEIROS DA SILVA

# ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO/RO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Fundação Universidade Federal de Rondônia.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Maria Luiza Lopes de Oliveira Santos

PORTO VELHO

2015

SAMALEI LUZ NATAL MALHEIROS DA SILVA

ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO/RO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Fundação Universidade Federal de Rondônia.

.

Aprovado em _____ de _____ de _____.

Banca examinadora:

_____

Prof.ª Dr.ª Maria Luiza Lopes de Oliveira Santos

Orientadora

_____

Prof.ª Dr.ª Darlene Figueiredo Borges Coelho

Examinadora Interna

_____

Prof.ª Esp. Valéria Costa de Oliveira

Examinadora Externa

PORTO VELHO

2015

MALHEIROS, S. L. N. S. Estudo Para Implantação de Usina de Reciclagem de Resíduos Classe A da Construção Civil No Município De Porto Velho/RO. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2015.


RESUMO

Os resíduos de construção e demolição (RCD) podem chegar a representar mais da metade dos resíduos sólidos urbanos. De acordo com a Resolução nº 307 de 2002 do CONAMA, os resíduos classe A deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura. Atualmente, a prefeitura de Porto Velho/RO informa que a disposição regular dos RCD é na lixeira pública da cidade. Não havendo assim a destinação correta ou reaproveitamento desses resíduos. Em levantamento feito na lixeira pública do município, estimou-se que atualmente há a produção de 73 m³/dia de RCD classe A e com isso calcula-se que para a implantação de uma usina recicladora que suporte essa demanda há a necessidade de um terreno com aproximadamente 10.000 m²; no mínimo 10 funcionários para realizar o manejo dos RCD e administrar a usina; e um conjunto de britagem composto por britador de mandíbula com capacidade de produção entre 15 e 32 ton/hora, além de uma pá carregadeira para executar as etapas de descarga, triagem e segregação, britagem e peneiramento mecânico dos RCD reciclados. Com o desenvolvimento do trabalho, apesar de não ter sido possível estimar a quantidade exata de RCD gerados no município devido à falta da correta gestão dos mesmos, chegou-se à conclusão de que é uma solução sustentável e necessária a instalação de uma usina de reciclagem de resíduos classe A da construção civil no município de Porto Velho/RO.



Palavras-chave: Usina de reciclagem. Resíduos classe A. Construção civil.

MALHEIROS, S. L. N. S. Estudo Para Implantação de Usina de Reciclagem de Resíduos Classe A da Construção Civil No Município De Porto Velho/RO. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2015.


ABSTRACT

The construction and demolition wastes would represent more than half part of urban solid waste. According to CONAMA's Resolution number 207 of 2002, construction waste classified as class A must be reused or recycled as aggregates or forwarded to waste landfill areas of construction, being willing to allow their utilization or recycling in the future. Currently, Porto Velho's local government reports that the regular arrangement of construction and demolition wastes is in the city's public rubbish tip. Therefore, there is no right destination or reuse of those waste. In a survey conducted in the municipality's public trash, it was estimated that, currently, there are production of 73m³/day construction and demolition wastes class A and, with that is estimated that for the implementation of a recycling plant which supports this demand is necessary a land of 10,000m²; at least 10 employees to control the construction and demolition wastes and manage the plant; and a set of crushing with production capacity between 15 and 30 ton/hour, also, a wheel loader to perform the discharge step, sorting and segregation, crushing and mechanical sieving of the construction and demolition waste recycled. By the work's development, although it has not been possible to estimate the exact amount of the construction and demolition wastes generated in the city because of the missing of themselves organization, we came to the conclusion that it is sustainable and necessary solution to establish a recycling plant for construction class A wastes in Porto Velho/RO.



Key Words: Recyclin plant. Class A waste. Construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil ..... 14
Quadro 1 - Equipamentos envolvidos no processamento de entulhos ..... 19
Figura 2 – Fluxograma do processo de reciclagem dos RCD ..... 25
Figura 3 – Processo de produção de agregados reciclados ..... 26
Quadro 2 - Classificação e utilização dos agregados ..... 26
Quadro 3 - Área básica demandada para o manejo dos resíduos ..... 28
Quadro 4 - Equipamentos básicos e funcionários para a reciclagem dos resíduos após triagem ..... 29
Quadro 5 − Equipamentos de britagem utilizados na reciclagem ..... 30
Figura 4 – Conjunto de britagem da recicladora existente no município de Porto Velho/RO ..... 34
Quadro 6 - Quantitativo de entulho registrado de outubro de 2014 a setembro de 2015 na Lixeira Pública de Porto Velho/RO ..... 35
Gráfico 1 - RCD entregues na lixeira pública de Porto Velho/RO de outubro de 2014 a setembro de 2015 ..... 35
Quadro 7 - Quantitativo de RCD estimado de outubro de 2014 à setembro de 2015 .... 36
Gráfico 2 - RCD estimado de outubro de 2014 à setembro de 2015 ..... 36
Figura 5 – Alimentador vibratório 19 a 32 th ..... 38
Figura 6 - Britador primário 19 a 32 th ..... 38
Figura 7 - Peneira vibratória 19 a 30 th ..... 39
Figura 8 - Transportadores de correias ..... 39
Figura 9 - Quadro de comando elétrico novo ..... 40
Figura 10 - Imã magnético para retirada de pequenos objetos metálicos 30k/força ..... 40
Figura 11 - Estrutura metálica de fixação do conjunto de britagem ..... 41
Figura 12 - Alimentador vibratório modelo av-25050- novo ..... 42
Figura 13 - Britador primário 5030 (500x300mmde boca) ..... 42
Figura 14 - Rebritador 8020 (800x200 mm de boca) ..... 43
Figura 15 - Peneira vibratória 30012/04 decks ..... 43
Figura 16 – Conjunto de britagem móvel RECC50X30 ..... 44
Quadro 8 – Comparativo de equipamentos pesquisados ..... 44
Quadro 9 - NBR 10151 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A) ..... 47
Quadro 10 - NBR 10152 - Níveis de ruído para conforto acústico em ambientes diversos ..... 47
Figura 17 - Esboço do *lay-out* projetado para a instalação da usina de reciclagem dos RCD classe A produzidos em Porto Velho ..... 49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO ..... 7
1.1 Problematização ..... 7
1.2 Justificativa ..... 8
1.3 Objetivos ..... 9
1.3.1 Objetivo geral ..... 9
1.3.2 Objetivos específicos ..... 9
2 REFERENCIAL TEÓRICO ..... 11
2.1 Construção civil e o meio ambiente ..... 11
2.2 Resíduos da construção civil e suas classes ..... 12
2.3 Gestão de resíduos da construção civil ..... 13
2.3.1 Sistema de manejo e gestão dos pequenos volumes de RCD ..... 15
2.3.2 Sistema de manejo e gestão dos grandes volumes de RCD ..... 16
2.3.3 Análise de experiências de reciclagem realizadas em outras localidades ..... 17
2.4 Reciclagem de resíduos classe A da construção civil ..... 21
2.5 Usinas de reciclagem de resíduos classe A ..... 25
2.5.1 Normas e especificações técnicas ..... 27
2.5.2 Área para triagem e reciclagem dos resíduos classe A ..... 28
2.5.3 Equipamentos para reciclagem dos resíduos classe A ..... 29
3 METODOLOGIA ..... 32
4 RESULTADOS ..... 34
4.1 Usina de reciclagem de RCD existente em Porto Velho/RO ..... 34
4.2 Estimativa do volume de RCD e resíduos classe A ..... 34
4.3 Equipamentos ..... 37
4.4 Quantidade de funcionários ..... 45
4.5 Características do terreno ..... 45
5 CONCLUSÃO ..... 50
REFERÊNCIAS ..... 52

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Problematização

O setor da construção civil é um dos setores mais críticos no que diz respeito aos impactos ambientais, pois é responsável por cerca de 50% do $CO_2$ lançado na atmosfera e por quase metade da quantidade dos resíduos sólidos gerados no mundo (JOHN, 2000).

De acordo com o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2015), os municípios coletaram cerca de 45 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) em 2014, o que implica no aumento de 4,1% em relação a 2013. Quando analisamos as coletas da Região Norte os dados indicam 4.539 toneladas/dia, indicando um aumento de 6,05%, também em comparação a 2013.

Este cenário, igualmente observado em anos anteriores, requer atenção especial quanto a destinação final dos RCD, ainda mais porque esses valores não representam a quantidade total de resíduos, dado que a única parcela que possui registros confiáveis são os que são recolhidas pelos municípios, o qual usualmente limita-se a coletar apenas os resíduos lançados nos logradouros públicos, pois a responsabilidade da coleta e destino final destes resíduos é de seu gerador. Com isso, de maneira geral, as projeções sobre tais resíduos não incluem os RCD oriundos de demolições e construções gerados em obras privadas, cujo gerenciamento (coleta e destinação) é conduzido pelo gerador junto à serviços privados (ABRELPE, 2014).

Em Porto Velho/RO, o crescimento da cidade acentuado a partir das últimas décadas do século XX e primeira década do século XXI com a criação de políticas nacionais de povoamento e crescimento econômico da região amazônica (TEIXEIRA e FONSECA, 1998), estimulou o aumento e consequentemente o desenvolvimento da construção civil na capital rondoniense, contando ainda com a idealização de construções de grande porte, a exemplo da execução das obras das Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio. Com estes grandes projetos, podemos observar mudanças significativas no cenário socioeconômico de Porto Velho/RO e em contraponto aos avanços econômicos, notamos também a preocupante ocorrência de impactos ambientais negativos para desenvolvimento da cidade em

que a grande produção de RCD sem a realização de um projeto de reaproveitamento adequado destes, corrobora para o aumento da contaminação ambiental (AGRA, 2012). Conforme salienta Novaes e Mourão (2008, p. 11):

> A construção civil representa uma das mais importantes indústrias no cenário nacional, sendo considerada o termômetro do crescimento e propulsora do desenvolvimento econômico e social. Ao mesmo passo é uma grande geradora de impactos ambientais, seja pelo consumo de recursos naturais, pela transformação de paisagens ou pela geração de resíduos. O grande desafio proposto é conciliar atividade produtiva desta grandeza com condições que propiciem um desenvolvimento socioambiental sustentável.

A Resolução Nº 307 (CONAMA, 2002) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) atribuem responsabilidades compartilhadas aos geradores, transportadores e gestores municipais quanto ao gerenciamento dos RCD. Cabendo aos municípios estabelecer uma política municipal para os resíduos da construção civil, incluindo sistemas de pontos de coleta e se possível reciclagem e aos construtores, a implantação de planos de gerenciamento de resíduos para cada empreendimento.

Desta maneira, visando ampliar a discussão acerca da preservação ambiental, a partir do reaproveitamento dos resíduos sólidos da construção civil, seria necessário, e em que medida, a implantação de uma usina de reciclagem de resíduos classe A da construção civil no município de Porto Velho/RO?

## 1.2 Justificativa

Na atualidade, a gestão dos resíduos da construção civil consiste num grande desafio, e requer mudanças e transformações significativas de comportamento, no processo de informação e de geração e minimização de resíduos.

De acordo com a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, os resíduos classe A deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura. Atualmente, a prefeitura de Porto Velho/RO informa (em diálogos informais), que a disposição regular dos RCD

é na lixeira pública da cidade, não havendo assim a destinação correta ou reaproveitamento desses resíduos.

A reciclagem é uma alternativa para a redução da quantidade de resíduos dispostos na lixeira pública, além de fornecer materiais por um custo inferior ao praticado pelo mercado, gerar empregos e ser uma proposta sustentável para a destinação dos RCD, ajudando na preservação ambiental. Mesmo assim poucas são as iniciativas públicas e privadas na adoção dessa prática (EVANGELISTA, COSTA e ZANTA, 2010).

Em um momento no qual ficam cada vez mais restritas as áreas disponíveis para a disposição de RCD, é essencial para o desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva da construção civil que todos os envolvidos busquem juntos soluções ambientalmente responsáveis, através da redução, reaproveitamento e reciclagem desses resíduos, visando à minimização dos impactos causados.

Com isso, se torna necessário a realização do projeto em tela para obtenção de dados que possam auxiliar na implantação de uma usina de reciclagem de resíduos classe A da construção civil no município de Porto Velho/RO e assim contribuir com a redução dos impactos ambientais e melhorar a qualidade de vida dos munícipes.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo geral

Realizar estudo para implantação de usina de reciclagem de resíduos classe A da construção civil no município de Porto Velho/RO, a fim de dar reaproveitamento adequado aos RCD e contribuir com a redução dos impactos ambientais decorrentes das atividades da construção civil.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral desta pesquisa os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Realizar levantamento da quantidade de resíduos da construção civil gerados no município de Porto Velho/RO;

- Especificar e dimensionar os tipos de equipamentos e a quantidade de funcionários necessários para instalação de usina de reciclagem de resíduos classe A da construção civil no município de Porto Velho/RO;
- Traçar o layout do terreno necessário para instalação de usina de reciclagem de resíduos classe A que atenda a demanda do município de Porto Velho/RO.

# 2 REFERENCIAL TEÓRICO

## 2.1 Construção civil e o meio ambiente

Um dos mais importantes setores da economia, a construção civil é fundamental ao desenvolvimento do país, porém é o setor que mais impacta e acentua a degradação do meio ambiente devido, principalmente, ao grande consumo de matérias primas e a geração de resíduos.

> A indústria da construção civil apesar de possuir papel de suma importância no desenvolvimento econômico e social do Brasil e empregar muitos trabalhadores, possui características construtivas com uma grande tendência ao desperdício e a geração de resíduos, pois suas atividades são baseadas em modelos de conversão e não de montagem. (NOVAES E MOURÃO, 2008, p. 10)
> A considerável geração de resíduos nas atividades de construção civil, reformas, ampliações e demolições e sua consequente destinação final, quando não realizadas em conformidade com a legislação vigente, podem resultar em impactos ambientais que muitas vezes são visíveis como: a degradação de áreas de preservação permanente, assoreamento de córregos e rios, obstrução de vias e logradouros públicos, proliferação de vetores, queimadas entre outros, que tantos malefícios causam à população e ao meio ambiente. Nesse cenário, dentre as indústrias que degradam o meio ambiente, seja ele urbano ou natural, a indústria da construção civil destaca-se por ser responsável por números entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade. (SANTOS, 2007 apud FREITAS, 2009, p. 1). Porém não é só como consumidora de recursos naturais que a construção civil causa impacto ao meio ambiente, ela também é considerada a principal geradora de resíduos na economia brasileira. (FREITAS, 2009, p. 1)

A maioria destes resíduos é depositada clandestinamente. Os aterros clandestinos têm obstruído córregos e drenagens, colaborando em enchentes, favorecido a proliferação de agentes transmissores de doenças (a exemplo da dengue), o assoreamento de rios e córregos, ocupação de vias e logradouros públicos por resíduos, com prejuízo a circulação de pessoas e veículos, além da própria degradação da paisagem urbana e a existência e acúmulo de resíduos que podem gerar risco por sua periculosidade, levando assim boa parte das prefeituras a gastarem grande quantidade de recursos públicos na sua retirada (SALES, CORDEIRO e SOUZA, 2004).

## 2.2 Resíduos da construção civil e suas classes

Segundo a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002, p. 1):

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

Segundo as Resoluções nº 307 (CONAMA, 2002), nº 348 (CONAMA, 2004) e nº 431 (CONAMA, 2011), os resíduos da construção civil possuem a seguinte classificação:

- Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, *etc*.), argamassa e concreto.

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

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

## 2.3 Gestão de resíduos da construção civil

Os RCD podem representar 61% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) - em massa (PINTO e GONZÁLEZ, 2005). De acordo com Pucci (2006), historicamente o gerenciamento dos RCD esteve sob a responsabilidade do poder público, que enfrentava o problema de limpeza e recolhimento dos RCD depositados em locais inadequados, como áreas públicas, canteiros, ruas, praças e margens de rios.

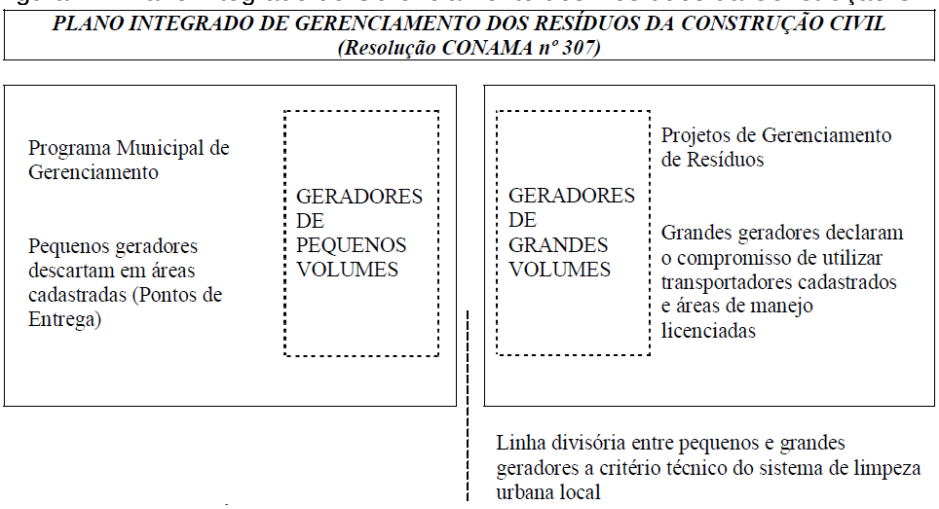
Em 2002, com a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), alterada pela Resolução nº 348 (CONAMA, 2004), ficou determinado que o gerador é o responsável pelo manejo desses resíduos. A resolução também determina a proibição do envio a aterros sanitários e a adoção do princípio da prevenção de resíduos.

Essa determinação representou um avanço legal e técnico, estabelecendo responsabilidades aos geradores, tais como a separação dos resíduos em diferentes classes e o seu encaminhamento para reciclagem e disposição final apropriada. Além disso, a Resolução estabeleceu que as áreas destinadas para essas finalidades devem passar pelo processo de licenciamento ambiental e serem fiscalizadas pelos órgãos ambientais competentes.

Segundo Pinto e González (2005), para que essa política seja sustentável, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico, é necessária uma busca permanente de soluções eficientes e duradouras. Mas para isso é preciso adotar diretrizes de gestão que permitam o traçado e a aferição dessas soluções a partir da realidade física, social e econômica de cada município.

Ainda de acordo com a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), a atuação dos agentes públicos e privados no que diz respeito à gestão dos RCD deve estar prevista num Plano Integrado de Gerenciamento, que deve ser composto por um Programa Municipal de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil e Projetos de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil, como explicitado na figura 1.

Figura 1 – Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil




Fonte: PINTO e GONZÁLES, 2005, p. 12.

O Programa Municipal de Gerenciamento dos RCD deve ser elaborado, implementado e coordenado pelos governos municipais. Esse programa deve estabelecer diretrizes técnicas e procedimentos para a atuação dos pequenos geradores de entulho da construção civil (CONAMA, 2002; PINTO e GONZÁLES, 2005).

Já os Projetos de Gerenciamento dos RCD são elaborados e implementados pelos grandes geradores, que estabelecem os procedimentos necessários para o manejo e a destinação adequada dos resíduos por eles produzidos (CONAMA, 2002; PINTO e GONZÁLES, 2005).

No intuito de impulsionar a execução das medidas necessárias ao cumprimento da Resolução do CONAMA por parte de governos, empreendedores e a sociedade, a Caixa Econômica Federal (CEF), juntamente com o Ministério das Cidades e o Ministério do Meio Ambiente, publicou um programa de financiamento destinado a empreendimentos públicos e privados relacionados ao manejo e à gestão dos RCD. Esse programa foi apresentado em um manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil, integrado por dois volumes: o primeiro, apresenta em termos práticos as disposições da Resolução do CONAMA; o segundo, trata das características do plano de financiamento da CEF (ROSA, 2005). Manual este que foi usado como base para elaboração desse trabalho.

### 2.3.1 Sistema de manejo e gestão dos pequenos volumes de RCD

De acordo com o apresentado por Pinto e Gonzáles (2005) no Manual lançado pela CEF, o sistema de manejo e gestão dos pequenos volumes de RCD, de responsabilidade das Prefeituras Municipais, destina-se a solucionar os problemas causados pelas disposições clandestinas de RCD em locais impróprios. Esse sistema consiste, basicamente, numa rede de pontos de entrega de pequenos volumes de RCD e outros resíduos volumosos. Os pontos de entrega são locados ao longo da malha urbana, produzindo uma rede similar à das disposições irregulares, dessa forma, os pontos de entrega de entulhos são localizados nas imediações das áreas mais afetadas pelas disposições clandestinas de RCD. As dimensões de cada um dos pontos de entrega variam de acordo com o volume de resíduos dispostos de forma clandestina no local. Em geral, a área desses pontos varia entre 200 e 600 m² (PINTO e GONZÁLES, 2005).

Também fazem parte do sistema de gestão de pequenos volumes de RCD um cadastro de pequenos coletores e um serviço de atendimento telefônico, através do qual pequenos geradores podem solicitar o recolhimento e o transporte de seus entulhos até os pontos de entrega (PINTO e GONZÁLES, 2005).

O carregamento máximo a ser classificado como pequeno volume, a ser admitido nos pontos de entrega, geralmente varia em torno de 1m³. Nesses centros de recebimento apenas podem ser entregues RCD, restos de podas de vegetação e outros itens volumosos, não sendo admitidos resíduos orgânicos domiciliares, industriais ou de serviços de saúde (PINTO e GONZÁLES, 2005).

A estrutura física dos pontos de entrega de pequenos volumes, compreende espaços para descarga, triagem e armazenagem de resíduos; uma área para a manobra de veículos e uma guarita com sanitário. O conjunto é delimitado por uma cerca viva e é gerenciado um funcionário responsável (PINTO e GONZÁLES, 2005).

Periodicamente, os resíduos captados nessas áreas são recolhidos pela Prefeitura Municipal, encarregada de transporta-los até o destino adequado (PINTO e GONZÁLES, 2005).

### 2.3.2 Sistema de manejo e gestão dos grandes volumes de RCD

O sistema de manejo e gestão dos grandes volumes de RCD é operado baseado em três estruturas: uma área para a triagem dos resíduos coletados, uma usina para a reciclagem e aterros para a disposição permanente e temporária dos RCD de classe A. Essas estruturas podem estar concentradas em um único local ou em áreas específicas (PINTO e GONZÁLES, 2005).

Idealmente, segundo Pinto e Gonzáles (2005), as instalações voltadas para o manejo dos grandes volumes de RCD devem ser implantadas e gerenciadas por empreendedores privados, restringindo-se o Poder Público Municipal à concessão de incentivos, à regulamentação e à fiscalização das atividades desenvolvidas pelos agentes privados.

De acordo com o citado por Rosa (2005), a prefeitura pode incentivar a atuação dos empreendedores privados de diferentes maneiras:

- Facilitando o acesso a equipamentos tecnológicos;
- Tornando obrigatório o emprego de agregados reciclados em obras públicas, quando houver possibilidade;
- Concedendo apoio na obtenção de financiamentos.

Caso a Prefeitura Municipal opte pela implantação e a gestão das áreas de processamento dos grandes volumes de RCD, segundo o exposto no Manual da CEF (PINTO e GONZÁLES, 2005), é necessário que os custos de operação sejam repassados para os geradores e transportadores dos grandes volumes de RCD.

As centrais de processamento dos RCD devem ser situadas em áreas de fácil acesso, preferencialmente nas adjacências dos locais de maior produção desses resíduos. O projeto dessas centrais deve ser coerente com as diretrizes fixadas nas normas da ABNT. Suas dimensões estão condicionadas ao volume estimado de resíduos a ser recebidos, armazenados e processados (PINTO e GONZÁLES, 2005).

Os resíduos cuja reutilização ou reciclagem não seja imediatamente possível ou viável são enviados para aterros implantados nos moldes das normas da ABNT. Esses aterros podem servir a dois propósitos:

- A correção de nível de terrenos, visando a uma ocupação posterior da área, segundo um projeto de ocupação aprovado pelos órgãos públicos competentes;

- A disposição de materiais classificados conforme estabelecido pelo CONAMA, tendo em vista o reaproveitamento futuro.

### 2.3.3 Análise de experiências de reciclagem realizadas em outras localidades

#### 2.3.3.1 Modelo de gestão dos resíduos da construção civil em Belo Horizonte/MG

O Programa de Correção das Disposições Clandestinas e Reciclagem de Entulho, implantado e gerenciado pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (MG), foi uma das primeiras iniciativas brasileiras voltadas ao manejo e à gestão apropriada dos RCD. Sua eficiência o colocou em uma posição de destaque no âmbito nacional e internacional, tendo recebido prêmios e sido apontado por revistas, programas de telejornalismo e publicações científicas como um modelo a ser seguido por Prefeituras de todo o país (ROSA, 2005).

No momento da sua concepção, o programa previu a instalação de quatro usinas de reciclagem e uma rede de Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes de Entulho (URPVs), as quais seriam paulatinamente implantadas em zonas estratégicas da cidade (ROSA, 2005).

O Programa de Correção das Disposições Clandestinas e Reciclagem de Entulho também é composto por ações complementares de recuperação de áreas degradadas; apoio a transportadores de resíduos e orientação e fiscalização de agentes envolvidos (ROSA, 2005).

##### 2.3.3.1.1 Usinas de reciclagem de RCD

As usinas de reciclagem de RCD são instalações onde se realizam a triagem, a classificação, o processamento dos resíduos e a produção de agregados e artefatos. Essas áreas são compostas por edificações de apoio (escritórios, sanitários, vestiários e outras), um pátio para recebimento e triagem de resíduos, uma área de beneficiamento e um pátio para estocagem (ROSA, 2005).

O material recebido nas usinas pode ser proveniente de URPVs ou diretamente entregue por geradores e transportadores de entulhos. Apenas são admitidas cargas de RCD reciclável, havendo uma tolerância de até 10% para a

presença de elementos contaminante, exceto resíduos orgânicos que não são aceitos. Esse controle é realizado através de uma inspeção na entrada da usina (ROSA, 2005).

Depois de admitidos na usina de reciclagem, os RCD são submetidos a um processo de triagem manual, através da qual são removidos elementos de outras classes, como plástico, papelão e metais. Esses contaminantes são encaminhados para um aterro sanitário. Os outros resíduos são classificados de acordo com sua composição e encaminhados através de pás carregadeiras até o equipamento de britagem, onde são triturados. O material processado é despejado sobre um transportador de correia, conduzido sob um eletroímã (para a retirada de pequenas partículas metálicas) e alocado em pilhas de estocagem (ROSA, 2005).

Os agregados reciclados que possuem qualidade superior (tipo A) são resíduo composto por materiais minerais inertes como concreto, tijolos e outros produtos cerâmicos, blocos, argamassas, fibrocimento, areia, pedra etc., com a eliminação de impurezas como gesso, terra, metais, papel, vidro, plástico, madeira, matérias orgânicas etc., são conduzidos para outra etapa do processo de reciclagem, onde são peneirados e acrescidos de cimento, areia e água. Com a mistura, são produzidos artefatos como blocos de concreto e meio-fios (ROSA, 2005).

Já o material britado tipo B, que são os resíduos com composição semelhante ao de tipo A, tijolos e outros produtos cerâmicos, mas onde se admite a presença de pequenas porções de terra ou material asfáltico (as impurezas retiradas dos resíduos de tipo A também são retiradas dos resíduos de tipo B), e que representam 94% do total de resíduos processados, são utilizado como sub-base e base na pavimentação de vias, construção de drenos e camadas drenantes e outras aplicações (ROSA, 2005).

Os equipamentos utilizados no processamento dos RCD das duas primeiras usinas inauguradas em Belo Horizonto/MG e sua capacidade estão apontados no quadro 1.

Quadro 1 - Equipamentos envolvidos no processamento de entulhos

| Itens | Usina de Estoril | Usina de Pampulha |
|---|---|---|
| Equipamentos utilizados para o processamento dos RCD (iguais em ambas as usinas) | Alimentador vibratório | |
| | Britador de impacto | |
| | Calha metálica simples sob o britador | |
| | Transportador de correia | |
| | Separador magnético | |
| | Quadro de comando | |
| | Sistema de micro-aspersão | |
| | Sistema de contenção de ruídos (mantas anti-choque) | |
| | Pá carregadeira | |
| | Caminhão poliguindaste | |
| Marca do equipamento britador | Maqbrit | Maqbrit |
| Capacidade nominal | 20t/h | 30t/h |
| Capacidade operacional | 34t/h | 40t/h |

Fonte: Adaptado de Rosa (2005).

Para conter o lançamento de material particulado na atmosfera durante a britagem dos resíduos, o conjunto britador das usinas é equipado com um sistema de aspersão de água. Dependendo de suas condições, o material recebido também pode ser aspergido no pátio das usinas. Além disso, como forma de conter as poluições sonora e atmosférica, o terreno das usinas é isolado por uma barreira vegetal (ROSA, 2005).

#### 2.3.3.2 Modelo privado de gestão dos RCD na Califórnia (EUA)

O Parque Ecológico de Reutilização/Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição da Califórnia foi concebido e gerenciado por uma empresa privada nos Estados Unidos.

Os programas de gestão de resíduos sólidos são comuns nos Estados Unidos, onde a maioria dos estados utiliza algum tipo de estratégia para evitar a disposição de lixo em aterros de resíduos (ROSA, 2005). No estado da Califórnia, um Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos, editado em 1989, compeliu as municipalidades a encontrar outro destino que não aterros de resíduos e incineradores para no mínimo 50% de seu lixo até o ano de 2000.

Na época, o Conselho de Gestão Integrada do Lixo da Califórnia identificou o lixo orgânico e os RCD como principais alvos a ser atingidos pelos programas de

gestão de resíduos (RIDGLEY, 1998). O estado da Califórnia possui cerca de 400 empresas de reciclagem de RCD (BURGOIYNE, 2005), incluindo um dos mais eficientes e abrangentes modelos de gestão de RCD nos Estados Unidos: o Parque Ecológico de Reutilização / Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição, concebido pela empresa californiana Raisch Products (ROSA, 2005).

A Raisch, que iniciou suas atividades há mais de um século como pavimentadora de estradas e construtora de sistemas de esgoto, dedica-se desde os anos 1970 à reciclagem de RCD (RIDGLEY, 1998). Essa atividade tornou-se mais expressiva no fim da década de 1990, quando um dos quatro centros de reciclagem da companhia (em Fremont, Califórnia) foi alvo da implantação do Parque Ecológico (também conhecido como Programa Raisch) (ROSA, 2005).

O Parque Ecológico de Reutilização/Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição, também denominado como Programa Raisch, consiste no agrupamento de empresas que processam diferentes tipos de RCD em um único local, capazes de lidar com até 5.000 toneladas de material por dia. Sob a gestão da Raisch Products, as empresas de reciclagem e reutilização alugam uma área do Parque e processam de forma independente seus materiais alvo com seus próprios métodos (RIDGLEY, 1998). Os resíduos reciclados ou recuperados pelas empresas do Programa Raisch são comercializados em um setor de reuso dentro do próprio Parque. Esse setor é composto basicamente por uma casa de suprimento de material de construção usado, onde empreiteiros locais podem adquirir matérias-primas com preço reduzido (ROSA, 2005; RAISCH PRODUCTS, 2005).

O parque contém uma política de aceitação de resíduos rigorosa, para que o programa consiga atingir sua meta de processar 90 a 95% de todo o material recebido em suas instalações (RAISCH PRODUTCS, 2005). Os RCD que são admitidos no Parque Ecológico são basicamente de três tipos: reutilizáveis, mistos ou recicláveis.

O resíduo classificado como reutilizável (tijolo, madeira, azulejo, etc.) é encaminhado para a empresa que, no Parque, é responsável pela recuperação daquele tipo de material. Lá, os itens são classificados, limpos e colocados à venda na seção de reuso. Resíduos que chegam ao Parque de forma mista, por sua vez, são conduzidos para uma linha de separação, de onde seguem para as empresas apropriadas (ROSA, 2005).

O Programa Raisch tem se mostrado vantajoso para os empreiteiros locais, o Governo Municipal e a comunidade. Além de oferecer um único local para a destinação de praticamente todo o tipo de RCD e a aquisição de materiais a um preço reduzido, diminuindo as despesas com matérias-primas e transporte; da redução de resíduos depositados em aterros de inertes; da possibilidade de geração de renda e emprego para seus moradores (um parque completo pode envolver 40 funcionários ou até mais); o Programa Raisch ainda provê uma série de serviços à comunidade, como treinamento e colocação profissional, reabilitação de jovens drogados e infratores, desenvolvimento de projetos educacionais e outros serviços que atendem a demandas da comunidade onde está alocado (ROSA, 2005).

O Programa Raisch pode ser implantado em qualquer local onde o quantitativo de resíduos gerados e a demanda por materiais de construção sejam suficientes para garantir um uso satisfatório de sua capacidade instalada. Idealmente, o Parque deve ser instalado em locais que estejam experimentando um crescimento vertical, ou seja, que concentrem um elevado número de construções, reformas e demolições em uma área reduzida (RIDGLEY, 1998).

## 2.4 Reciclagem de resíduos classe A da construção civil

Segundo a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), agregado reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção e que apresenta características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou em outras obras de engenharia.

Com a reciclagem de resíduos classe A é possível obter agregados com características semelhantes ao produto original. A contribuição para o meio ambiente é grande, pois deixa de extrair recursos naturais, assim reduzindo o impacto ambiental. Além de reduzir os custos de produção geral na construção, uma vez que ainda não há uma unanimidade quanto aos custos dos agregados reciclados mas é certo que os valores sempre serão inferiores aos dos agregados naturais (CABRAL e MOREIRA, 2011).

Vários estudos já foram realizados para avaliar a viabilidade técnica, e em alguns casos econômica, da utilização de agregados reciclados de RCD na fabricação de materiais de construção como concretos, argamassas, blocos de

concreto, elementos pré-moldados e em pavimentação. A seguir são citados alguns desses estudos (EVANGELISTA, COSTA e ZANTA, 2010).

Vieira e Dal Molin (2004) *apud* Evangelista, Costa e Zanta (2010) realizaram pesquisa para avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização de agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em concretos. As autoras realizaram uma comparação entre concretos produzidos com agregados naturais e reciclados com substituições da ordem de 50% e 100% de agregados graúdos (AGR) e miúdos (AMR) em cinco composições. Os resultados da pesquisa indicaram que os agregados reciclados em proporções devidamente dosadas podem melhorar algumas propriedades do concreto, como sua resistência à compressão e durabilidade.

Sales e Santos (2009) *apud* Evangelista, Costa e Zanta (2010) desenvolveram um trabalho que objetivou estudar as características físicas e mecânicas de blocos para alvenaria, sem função estrutural, produzidos com agregado reciclado. O agregado em questão foi britado no próprio canteiro da obra, e os blocos foram produzidos na fábrica de pré-moldados da mesma empresa. Foram produzidos blocos com dois traços em massa (1:12 e 1:13) e com consumo de cimento similar ao aplicado na fabricação dos blocos convencionais. Para os dois traços produzidos com agregado reciclado, os resultados obtidos quanto à resistência à compressão foram superiores em quase 50% se comparados aos resultados dos blocos produzidos com agregado natural.

Motta (2005) *apud* Evangelista, Costa e Zanta (2010) desenvolveu pesquisa com o objetivo de avaliar aspectos físicos e o comportamento mecânico de agregados reciclados de RCD para uso em camadas de base, sub-base ou reforço do subleito, com enfoque em vias de baixo volume de tráfego. Os resultados de resistência apresentaram-se satisfatórios e outros precisam ser mais aprofundados. Concluiu-se que o agregado reciclado de RCD tem uso promissor como insumo na construção de bases, sub-bases e reforços do subleito de vias de baixo volume de tráfego, em substituição aos materiais convencionais.

Para Goonan (2000) *apud* Evangelista, Costa e Zanta (2010), o futuro dos agregados reciclados será impulsionado pela indisponibilidade de aterros, por uma maior aceitação do produto, pelas políticas governamentais de incentivo ao uso dos agregados reciclados, bem como pelas exigências ambientais e de uma economia sã.

Cabral e Moreira (2011) mencionam que, de acordo com a NBR 15.116 da ABNT (2004), agregados reciclados são provenientes do beneficiamento de resíduo pertencente à Classe A e podem ser divididos em dois tipos, de acordo com a porcentagem de fragmentos de concreto na sua fração graúda:

- Agregado reciclado de concreto (ARC): mínimo de 90%, em massa, de fragmentos de concreto;
- Agregado reciclado misto (ARM): menos de 90%, em massa, de fragmentos de concreto.

Também afirmam que é necessário fazer uma ressalva quanto às características destes agregados: a possibilidade da presença de faces polidas em materiais cerâmicos, como pisos e azulejos, pode interferir negativamente na resistência à compressão do concreto. Assim, sua viabilidade é condicionada ao uso como agregado para concreto não estrutural, conforme indica a NBR 15.116 da ABNT (2004), em substituição parcial aos agregados convencionais (areia e brita) (CABRAL e MOREIRA, 2011).

Cabral e Moreira (2011) citam ainda que, o uso de agregados reciclados em compósitos cimentícios já foi testado em vários trabalhos do Brasil e do Exterior. E que o Grupo de Pesquisa em Materiais de Construção e Estruturas (GPMATE) da Universidade Federal do Ceará e o Grupo de Estudos em Materiais Alternativos para Construção e Concretos Especiais (MACCE) da Universidade Estadual Vale do Acaraú, no Estado do Ceará, têm atuado nesta vertente, produzindo alguns resultados, como:

- Reuso de cacos de blocos cerâmicos e telhas em substituição parcial à brita natural na produção de concreto (MACCE);
- Trituração de material cerâmico até a finura de pó para uso como aglomerante em argamassas de revestimento (GPMATE e MACCE) e como fíler na produção de concretos estruturais (GPMATE);
- Uso de agregados reciclados para produção de concretos estruturais, obtendo-se resistências de até 35 MPa à compressão (GPMATE);
- Produção de tijolo de solo-cal com incorporação de pó cerâmico (MACCE) e de tijolo de concreto com incorporação de agregados reciclados (GPMATE);
- Uso de brita reciclada em substituição à brita natural para produção de concreto auto-adensável, um tipo de concreto especial (GPMATE);
- Produção de blocos de pavimentação com agregados reciclados (GPMATE).

Cabral e Moreira (2011) também abordam sobre pavimentação com agregados reciclados, onde citam que a reciclagem de RCD como agregado para ser misturado ao solo na constituição das camadas de base, sub-base e revestimentos primários de pavimentação é a alternativa mais difundida e aceita no meio técnico por possuir estudos mais consolidados. O aproveitamento do agregado reciclado na pavimentação apresenta diversas vantagens (CARNEIRO (2001) *apud* CABRAL e MOREIRA, 2011):

- 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 difusão dessa forma de reciclagem;
- Possibilidade de utilização dos diversos materiais componentes do entulho (concretos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, *etc*.);
- Utilização de parte do material em granulometrias graúdas reduzindo o consumo de energia necessário para a reciclagem do entulho.

O Laboratório de Mecânica dos Pavimentos (LMP) da Universidade Federal do Ceará (UFC) já desenvolveu várias pesquisas com a utilização do agregado reciclado do resíduo de construção e demolição na pavimentação que comprovam a sua aplicação na área rodoviária com bons resultados, tais como (CABRAL e MOREIRA, 2011):

- Aplicação dos agregados reciclados em camadas de bases e sub-bases de pavimentos;
- Emprego de misturas solo e RCD para emprego em camadas granulares de pavimentos;
- Aplicação do agregado reciclado para revestimentos do tipo Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), tratamento superficial simples (TSS), duplo (TSD) e triplo (TST).

Todos esses estudos exemplificam o quanto é possível reciclar os resíduos classe A de forma técnica e economicamente viável.

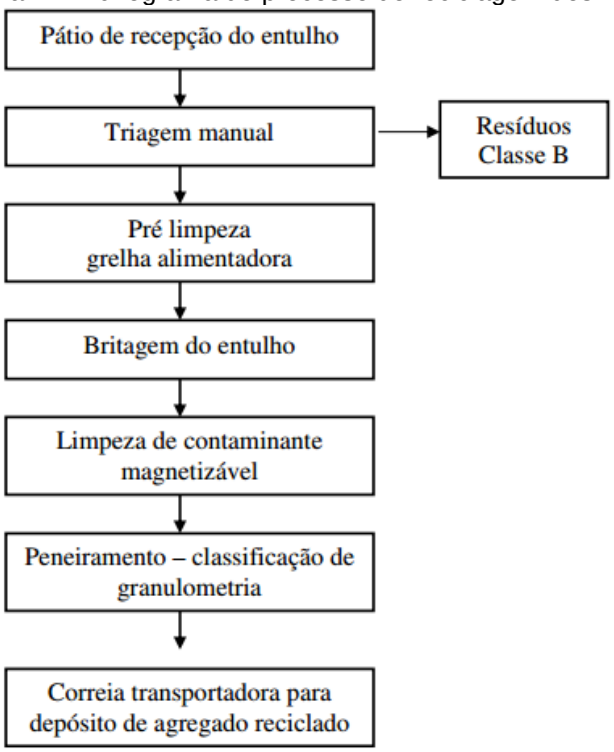
## 2.5 Usinas de reciclagem de resíduos classe A

Usinas de reciclagem de resíduos classe A são empreendimentos para onde parte do RCD é levado, objetivando sua segregação, moagem e reciclagem para uso como agregado para concreto, execução de blocos de pavimentação e outros usos.

Várias cidades no Brasil já estão aderindo a usinas de reciclagem de resíduo classe A como forma sustentável de destinação dos RCD. A concentração das iniciativas públicas para a reciclagem de RCD está localizada nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Em Belo Horizonte foi estabelecido um amplo plano de gestão para os resíduos da construção civil que conta com três usinas de reciclagem de entulho (MINAS GERAIS (2006) *apud* EVANGELISTA; COSTA e ZANTA, 2010). Vários municípios paulistas também apresentam soluções para a destinação adequada dos RCD, a exemplo de Campinas, Guarulhos, Americana, Ribeirão Preto e São Carlos (EVANGELISTA (2009) *apud* EVANGELISTA; COSTA e ZANTA, 2010).

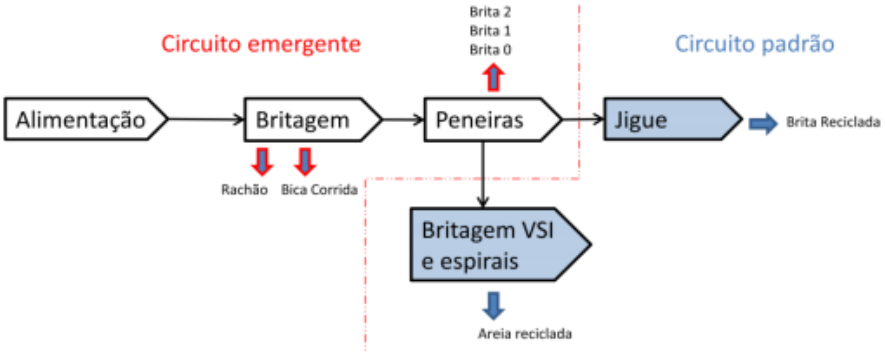
Segundo Cunha e Miceli (2013), a tecnologia de obtenção dos agregados reciclados já é dominada e salvo poucas variações, os processos existentes nas usinas de reciclagem podem ser representados nas figuras 2 e 3, a seguir.

Figura 2 – Fluxograma do processo de reciclagem dos RCD




Fonte: Manfrinato; Esguícero e Martins, 2008, p. 5.

Figura 3 – Processo de produção de agregados reciclados




Fonte: Cunha e Miceli, 2013, p. 5.

Pela Figura 3 pode-se perceber que existem diversos produtos gerados durante o processo de reciclagem, o quadro 2 apresenta os produtos gerados na reciclagem e suas principais utilizações (CUNHA e MICELI, 2013).

Quadro 2 - Classificação e utilização dos agregados

| **Produto** | **Utilização** |
|---|---|
| Areia | Assentamento de blocos, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concretos e asfalto. |
| Bica Corrida | Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, blocos, intertravados, lajes e acabamentos em geral. |
| Brita 0 | Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes. |
| Brita 1 | Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas. |
| Brita 2 | Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias. |
| Brita 3 | Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas. |
| Rachão | Fabricação de muros de contenção e bases. |
| Brita reciclada | Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas. |

Fonte: Adaptado de Cunha e Miceli (2013).

No Brasil, existiam, em 2002, 11 usinas de reciclagem municipais (LEVY (2002) *apud* CUNHA e MICELI, 2013). Esse número cresceu e em 2013 existiam cerca de 200 (ABRECON (2013) apud CUNHA e MICELI, 2013), muitas associadas à Associação Brasileira de Indústrias Recicladoras de RCD – ABRECON, criada em 2011.

O equipamento que define a capacidade das usinas é o britador. No mercado existem britadores de diferentes características e capacidades de

processamento, normalmente de 20t/h, 30t/h, 50t/h e outros de 100t/h. No Brasil, a produção média nos centros de reciclagem, segundo as 14 usinas analisadas por Nunes (2004) era em 2003 em torno de 208t/dia. A produção serve apenas como referência para o tamanho da unidade, que pode ocupar um terreno de até 20.000m² (CUNHA e MICELI, 2013).

Nesse mercado de agregados o custo de transporte limita o alcance das usinas, que só atendem regiões localizadas dentro de um raio que varia de 30 a 50km da usina (CUNHA e MICELI, 2013).

### 2.5.1 Normas e especificações técnicas

A usina de reciclagem de entulho é normalizada pela ABNT – Associação Brasileira de normas técnicas e o conhecimento e cumprimento das normas técnicas sobre a reciclagem de entulho é uma das exigências para a filiação à ABRECON – Associação Brasileira para a Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição.

As normas que orientam sobre a gestão dos RCD e correta operação de uma usina deste tipo são:

- ABNT NBR 15112: Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos.
- ABNT NBR 15113: Esta Norma fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos sólidos da construção civil classe A e de resíduos inertes.
- ABNT NBR 15114: Esta Norma fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A.
- ABNT NBR 15115: Esta Norma 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 de resíduo sólido da construção civil, denominado agregado reciclado, em obras de pavimentação.
- ABNT NBR 15116: Esta Norma estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.

### 2.5.2 Área para triagem e reciclagem dos resíduos classe A

Segundo Pinto e González (2005), áreas de triagem e reciclagem podem operar em conjunto. O projeto dessas instalações, em cada situação específica, deve seguir as especificações contidas nas normas técnicas brasileiras (NBR 15112 - Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação e NBR 15114 - Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação) e legislações específicas. Atenção especial é exigida ao projeto dos acessos dos veículos à instalação, para que sejam reduzidos ao mínimo possível os impactos negativos nas vias públicas adjacentes. Além disso, os espaços necessários à movimentação interna de veículos e o volume de material a ser recebido e processado determinarão a área de terreno necessária em cada caso. O quadro 3 indica de forma aproximada as áreas necessárias para as atividades descritas:

Quadro 3 - Área básica demandada para o manejo dos resíduos

| Fase do processo | Capacidade | Área demandada |
|---|---|---|
| Triagem geral de resíduos | 70 $m^3$/dia | 1.100 $m^2$ |
| Triagem geral de resíduos | 135 $m^3$/dia | 1.400 $m^2$ |
| Triagem geral de resíduos | 270 $m^3$/dia | 2.300 $m^2$ |
| Triagem geral de resíduos | 540 $m^3$/dia | 4.800 $m^2$ |
| Reciclagem de RCD classe A | 40 $m^3$/dia | 3.000 $m^2$ |
| Reciclagem de RCD classe A | 80 $m^3$/dia | 3.500 $m^2$ |
| Reciclagem de RCD classe A | 160 $m^3$/dia | 7.500 $m^2$ |
| Reciclagem de RCD classe A | 320 $m^3$/dia | 9.000 $m^2$ |
| Recuperação de solo (1) | 240 $m^3$/dia | 2.250 $m^2$ |

(1) Os solos são também considerados, na Resolução CONAMA, como RCD classe A.

Fonte: Pinto e González, 2005, pg. 48.

De acordo com Pinto e González (2005), área de reciclagem do RCD classe A abriga os processos de trituração e peneiração dos resíduos de concreto, alvenaria, argamassas e outros, para produção dos agregados reciclados. A

recuperação de solos sujos é um processo relativamente simples, de peneiração, para remoção de galharia, lixo e entulhos de seu interior.

### 2.5.3 Equipamentos para reciclagem dos resíduos classe A

O conjunto de equipamentos encontrados nas usinas tem que ser compatível ao porte e *layout* específicos de cada uma delas, instalados de forma funcional e adequados a sua realidade. Geralmente, o conjunto constitui-se de alimentador vibratório, britador, transportadores de correia, separadores magnéticos e peneiras (CUNHA, 2009).

Os equipamentos básicos para implantação do manejo dos resíduos nessas áreas e o número estimado de funcionários envolvidos em cada uma das atividades que ela demanda, indicados por Pinto e González (2005), estão descritos no quadro 4.

Quadro 4 - Equipamentos básicos e funcionários para a reciclagem dos resíduos após triagem

| Processos | Equipamentos | Número de funcionários |
|---|---|---|
| Reciclagem de RCD classe A | Conjunto de reciclagem constituído por alimentador vibratório, britador, transportadores de correia, separador magnético, peneira vibratória, quadro de comando e outros complementos | 4 a 12 |
| Recuperação de solos | Conjunto de recuperação constituído por grelha vibratória, transportador de correia, quadro de comando e outros complementos | 2 a 3 |

Fonte: Pinto e González, 2005, pg. 50.

Os equipamentos necessários à operação de uma usina de reciclagem de RCD são semelhantes aos de atividades de mineração, com as devidas adaptações; entre eles, têm-se o alimentador do britador, o britador, os transportadores de correias, os separadores magnéticos e as peneiras (CUNHA, 2009).

Usualmente, os equipamentos mais utilizados na britagem são os britadores de mandíbula e os britadores de impacto, mas em algumas recicladoras são encontrados o cone de britagem e os moinhos de rolo. Esses equipamentos são capazes de produzir vários tipos de agregados com características diferentes. O quadro 5 apresenta o desempenho dos equipamentos de britagem em concreto, a forma como equipamento fragmenta o concreto e a aplicação mais adequada a que se destina o material (CUNHA, 2009).

Quadro 5 − Equipamentos de britagem utilizados na reciclagem

| Equipamentos | Reciclados | Características |
|---|---|---|
| Britador de mandíbula | O material chega à câmara de britagem, onde é literalmente mastigado por mandíbulas. | Agregados graúdos. Apresentam distribuição granulométrica ideal para a produção de concretos estruturais. |
| Cone de britagem | O material chega à câmara de britagem, onde é esmagado contra as paredes de um cone. O material utilizado na alimentação deve ter sido previamente britado. | Agregados graúdos. São o equipamento ideal para utilizar como britador secundário para processar material com diâmetro máximo inferior a 200 mm. |
| Moinhos de martelos rotativos ou britador de cilindros | O material é conduzido, por uma correia transportadora, até a câmara de britagem, onde será literalmente esmagado | Agregados miúdos. São equipamentos raramente utilizados, pois só produzem material de granulometria fina. |
| Britadores de impactos | O material, após atingir a câmara de britagem, sofre sucessivos impactos, por martelos que giram permanentemente. | Agregados graúdos. São equipamentos utilizados para obtenção de agregados com granulometria ideal para aplicação em obras rodoviárias. São menos sensíveis aos materiais que não podem ser britados, como as barras de aço da armação. |
| Moinhos de rolo | O material é depositado manualmente na câmara de britagem, onde, por esmagamento, é transformado em areia com a granulometria desejada. | Os agregados miúdos produzidos nesse equipamento têm granulometria controlada em função do tempo de moagem. O processo de moagem e produção de argamassa é simultâneo. |

Fonte: Adaptado de Cunha (2009).

O Alimentador vibratório normalmente fica apoiado em uma estrutura metálica e é constituído por mesa vibratória e grelha. Sob a mesa vibratória está posicionado um par de vibradores universais que giram em sentidos opostos descrevendo um movimento linear a 45 graus. A grelha faz uma pré-classificação, ou seja, uma separação prévia do material fino (CUNHA, 2009).

O transportador de correia tem a função de conduzir a matéria prima já britada. É um equipamento composto por motor elétrico, conjunto de tambores e correias. Seu funcionamento ocorre pelo acionamento do motor elétrico, que transmite a potência necessária para o tambor, movido por intermédio de correias, fazendo que as rotações produzidas movimentem a correia continuamente. O primeiro trecho da correia transportadora conduz o material que sai da boca do britador. Em seguida, o trecho é finalizado com a mudança de direção e inicia-se o segundo trecho da correia transportadora, conduzindo o material até a peneira vibratória (CUNHA, 2009).

O separador magnético é instalado acima do primeiro trecho da correia. O ímã trabalha em regime contínuo, retirando os metais que permanecem nos fragmentos da matéria prima depois de britada (CUNHA, 2009).

A peneira vibratória apoiada é o equipamento que classifica os agregados reciclados. É constituído por caixa metálica, com telas, motor elétrico, eixo excêntrico e correias trapezoidais. O agregado é lançado sobre a caixa de entrada, que transporta o material para a superfície de peneiramento, onde estão instaladas telas com seções que variam de dimensão. Dessa forma, o material passante é classificado em faixas granulométricas. O peneiramento ocorre ao ser acionado o motor elétrico, que transmite a potência necessária ao eixo excêntrico, por intermédio de correias, produzindo vibrações que resultam em movimento linear, que desloca o agregado ao longo do corpo da peneira e o classifica conduzindo-o às diversas telas e suas respectivas baias (CUNHA, 2009).

Alguns conjuntos de britagem contam ainda com a presença de um rebritador. Quando após passar pelo britador, parte do material, ainda, possui uma granulometria muito grande e não passam do primeiro andar da peneira vibratória, uma outra esteira transportadora tem a função de levar este resíduo para o rebritador. O funcionamento do rebritador é semelhante ao do britador, entretanto, consegue reduzir os resíduos que ainda apresentam grandes granulometrias. Em suma, se tem uma retro alimentação da peneira vibratória para o rebritador (CUNHA, 2009).

# 3 METODOLOGIA

Precedente ao dimensionamento do projeto se fez necessário conhecer a estimativa do volume gerado de resíduo classe A da construção civil, pelo município de Porto Velho/RO, para posteriormente verificar-se a implantação e dimensionamento dos recursos a serem investidos na aquisição da usina de reciclagem desses resíduos. Não foi possível a determinação do volume exato desses resíduos, pois não há coleta seletiva e a correta separação dos resíduos por classes antes de serem destinados à lixeira pública do município supracitado.

Os resíduos entregues na lixeira pública de Porto Velho/RO são pesados e os quantitativos agrupados por tipo de resíduos (domiciliar, entulho, firma, particular, hospitalar, podação e seletiva), diariamente até completar o mês, quando são somados e a planilha mensal arquivada para consultas posteriores. Os resíduos classe A da construção civil estão agrupados dentro dos resíduos classificados como do tipo “entulho”, que são os RCD em geral. Sendo assim, foi feito o levantamento quantitativo de entulhos entregues na lixeira pública do município, através da verificação das fichas de outubro de 2014 à setembro de 2015, o último ano de registro e que melhor retrata a situação atual do município, já que nos anos anteriores, devido a construção das hidrelétricas Santo Antônio e Jirau, no Rio Madeira, Porto Velho passou por um momento de grande crescimento na construção civil e que agora está em baixa e sem previsão de aumento.

Uma vez que dentro da composição dos RCD entregues na lixeira pública do município não estão apenas os resíduos classe A que serão usados no processo de reciclagem da usina em tela, foi preciso estabelecer um percentual a ser aplicado no quantitativo de entulho levantados para estimar a quantidade de resíduos classe A nele contido. A partir do proposto por Tessaro, Sá e Scremin (2012) que determinaram que 88% dos RCD produzidos são de resíduos classe A e do IPEA (2012) que estima que esses resíduos são 92% dos RCD em geral, fez-se uma média entre esses dois valores e foi considerado por esse estudo que o quantitativo de entulho registrado na lixeira pública de Porto Velho/RO referente aos resíduos Classe A é de 90%.

Os quantitativos de resíduos entregues na lixeira pública de Porto Velho/RO são registrados em quilograma, para achar o volume de resíduos gerados foi-se

usado o valor de densidade dos RCD encontrada por Tessaro, Sá e Scremin (2012) de 1,28 ton/m³.

Quando da obtenção desses dados foram elaboradas planilhas resumos e gráficos para avaliação do quantitativo de resíduos gerados registrados e sua evolução durante o período considerado nesse estudo.

Durante o desenvolvimento do trabalho constatou-se a existência de uma usina de reciclagem de resíduos classe A da construção civil já em funcionamento em Porto Velho/RO, onde realizou-se uma visita técnica acompanhada, pelo engenheiro responsável pela usina, a fim de adquirir mais conhecimentos acerca do tema e fazer uma análise sobre o processo implantação e funcionamento da mesma.

A partir então da análise dos dados sobre o quantitativo de RCD registrado na lixeira pública do município, das recomendações do manual de Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil da Caixa Econômica Federal (CEF) elaborado por Pinto e Gonzáles (2005), da experiência observada na usina já existente na cidade e a experiência do Programa de Correção das Disposições Clandestinas e Reciclagem de Entulho, implantado e gerenciado pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (MG) e narrado por Rosa (2005), elaborou-se o estudo relacionando:

- A quantidade de resíduos classe A e os tipos de equipamentos necessários para suprir a demanda de resíduos gerados;
- A quantidade de funcionários necessários para operar os equipamentos e administrar a usina de reciclagem; e
- O layout do terreno para acomodar as instalações da usina de reciclagem.

Após essa etapa, iniciou-se então a pesquisa mercadológica sobre os equipamentos disponíveis no mercado com as características dimensionadas para o funcionamento da usina em Porto Velho/RO. Como não existe na cidade nenhuma empresa que comercialize equipamentos desse porte, a pesquisa foi realizada incialmente através de busca pela internet, após a realização de contato com as empresas as mesmas disponibilizaram especificação técnica dos seus equipamentos por e-mail.

# 4 RESULTADOS

## 4.1 Usina de reciclagem de RCD existente em Porto Velho/RO

Localizada na Estrada da Areia Branca em Porto Velho/RO, a usina de reciclagem de resíduos classe A da construção civil existente no município teve sua operação iniciada em maio de 2015, porém ela ainda está em fase de testes e passando por alguns ajustes. O projeto é para que todo funcionamento da usina aconteça em apenas 10.000 m².

O conjunto de britagem da usina é composto por um AV (alimentador vibratório), Britador 5030, correias transportadoras, peneira, rebritador, imã e casa de máquinas, conforme ilustrado na figura 4. Além desses equipamentos a usina também possui uma pá carregadeira.

Figura 4 – Conjunto de britagem da recicladora existente no município de Porto Velho/RO

Fonte: autora (2015).

Atualmente a empresa possui em seu quadro 3 funcionários de campo e 1 auxiliar administrativo. Entretanto para o funcionamento a capacidade máxima, estima como necessário 5 funcionários de campo e 2 administrativos.

## 4.2 Estimativa do volume de RCD e resíduos classe A

O quantitativo de RCD entregues e registrados na lixeira pública do município de Porto Velho/RO no período de outubro de 2014 a setembro de 2015

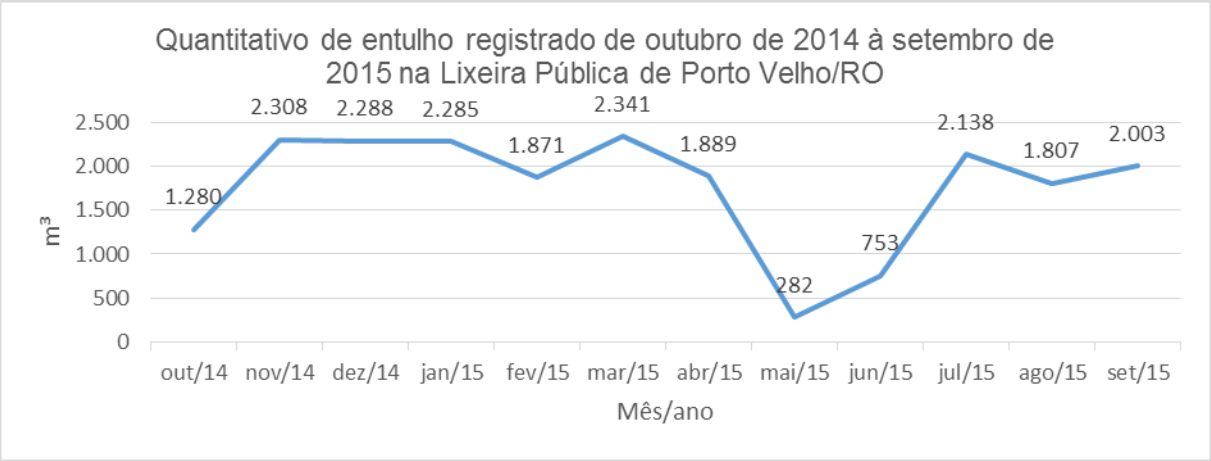
somam o valor de 27.192.050 kg o equivalente a 21.244 m³, de acordo com o explicitado no quadro 6. O gráfico 1 ilustra os RCD entregues na lixeira pública de Porto Velho/RO de outubro de 2014 a setembro de 2015

Quadro 6 - Quantitativo de entulho registrado de outubro de 2014 a setembro de 2015 na Lixeira Pública de Porto Velho/RO

| Mês/ano | Peso (kg) | Volume (m³) |
|---|---|---|
| Outubro/14 | 1.637.980 | 1.280 |
| Novembro/14 | 2.954.290 | 2.308 |
| Dezembro/14 | 2.928.850 | 2.288 |
| Janeiro/15 | 2.924.930 | 2.285 |
| Fevereiro/15 | 2.394.380 | 1.871 |
| Março/15 | 2.995.860 | 2.341 |
| Abril/15 | 2.417.900 | 1.889 |
| Maio/15 | 361.160 | 282 |
| Junho/15 | 963.830 | 753 |
| Julho/15 | 2.736.900 | 2.138 |
| Agosto/15 | 2.312.730 | 1.807 |
| Setembro/15 | 2.563.240 | 2.003 |
| **Total Anual** | **27.192.050** | **21.244** |

Fonte: autora (2015).

Gráfico 1 - RCD entregues na lixeira pública de Porto Velho/RO de outubro de 2014 a setembro de 2015




Fonte: autora (2015).

Analisando o gráfico 1 é possível perceber que os meses de outubro de 2014 e maio e junho de 2015 tem um quantitativo de RCD registrado bem inferiores aos outros meses. Segundo informação do responsável pelos registros, isso

acontece pois nesses meses a balança que faz a pesagem dos resíduos esteve inoperante durante alguns dias.

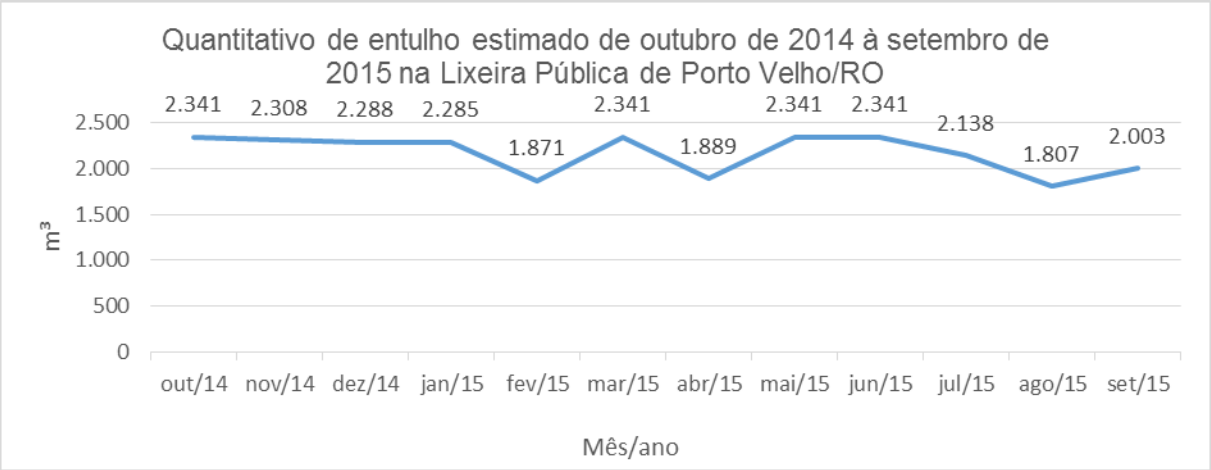
Em busca de um resultado mais real da demanda de resíduos para implantação de uma usina de reciclagem de resíduos classe A do município, foi-se utilizado o valor do mês de maior registro, 2.995.860 kg, e aplicado aos meses em que a balança esteve com defeito, obtendo assim o quadro 7 e o gráfico 2.

Quadro 7 - Quantitativo de RCD estimado de outubro de 2014 à setembro de 2015

| Mês/ano | Peso (kg) | Volume (m³) |
|---|---|---|
| Outubro/14 | 2.995.860 | 2.341 |
| Novembro/14 | 2.954.290 | 2.308 |
| Dezembro/14 | 2.928.850 | 2.288 |
| Janeiro/15 | 2.924.930 | 2.285 |
| Fevereiro/15 | 2.394.380 | 1.871 |
| Março/15 | 2.995.860 | 2.341 |
| Abril/15 | 2.417.900 | 1.889 |
| Maio/15 | 2.995.860 | 2.341 |
| Junho/15 | 2.995.860 | 2.341 |
| Julho/15 | 2.736.900 | 2.138 |
| Agosto/15 | 2.312.730 | 1.807 |
| Setembro/15 | 2.563.240 | 2.003 |
| **Total Anual** | **33.216.660** | **25.951** |

Fonte: autora (2015).

Gráfico 2 - RCD estimado de outubro de 2014 à setembro de 2015




Fonte: autora (2015).

Avaliando o gráfico 2 é possível verificar que o valor adotado para os meses em que a balança estava inoperante está em consonância com os valores

registrados nos outros meses. Sendo assim, chegamos a uma estimativa do total anual de 33.216.660 kg e 25.951 m³ de entulho, o que equivale a 83 m³ por dia.

Considerando como sendo 90% a taxa de resíduos classe A contidos nos RCD, obtemos um total anual de 29.894.994 kg e 23.355 m³ de resíduos Classe A da construção civil para o quantitativo de resíduos a serem reciclados pela usina, equivalente a 75 m³ por dia.

## 4.3 Equipamentos

Com relação aos tipos de equipamentos, as instruções de Pinto e Gonzáles (2005) são de que há a necessidade de utilização de um conjunto de reciclagem constituído por alimentador vibratório, britador, transportadores de correia, separador magnético, peneira vibratória, quadro de comando e outros complementos.

Para o britador foi selecionado o britador do tipo “mandíbulas”, que se trata de um britador primário com um eixo excêntrico. Esse equipamento é ajustado para produzir agregados com diâmetros de 1,2 a 1,5 vezes a dimensão máxima característica do agregado natural, de acordo com o especificado por Correia, Cursino e Silva (2009). Os autores ainda indicam que em comparação aos outros tipos de britadores, o britador de mandíbula tem baixo custo de manutenção porque é projetado com aços-liga de alta resistência o que aumenta a vida útil do material. Sua montagem e desmontagem são consideravelmente fáceis, e as peças de reposição são encontradas no mercado nacional.

Para avaliar as características e os tipos de equipamentos disponíveis no mercado para atender a necessidade de uma usina em Porto Velho, contatou-se três empresas. Cada fabricante possui características distintas de equipamentos a qual fornecem projeto especifico para implantação e funcionamento dos mesmos, com capacidade de produção variável.

<u>Empresa A:</u>

Apresentou proposta para fabricação e fornecimento de “Usina reciclagem entulho 19 a 32 TH” sem rebritador contendo os equipamentos:

- Alimentador vibratório 19 a 32 th;
- Britador primário 19 a 32 th;
- Peneira vibratória 19 a 32 th;

- 01 correia transportadora radial com carrinho até 45 º;
- 04 transportadores de correias finais;
- Quadro de comando elétrico;
- Ima magnético fixo para retirada de pequenos objetos metálicos;
- Estruturas metálicas de fixação do conjunto (alimentador, britador e peneira).

Além dos equipamentos, incluso no valor, a empresa ainda fornece pré-projeto civil das obras civis (bases de concreto) estrutural para fixação de todos os equipamentos. E faz a proposta de executar toda a montagem mecânica da usina, a um custo específico – Após o cliente executar a pequena obra civil. A empresa não se responsabiliza pela parte elétrica e aconselha que o cliente contrate empresa local para ligar a rede até o quadro elétrico e ligar os motores até o quadro elétrico. Garantia de 24 meses.

As figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 fazem parte da proposta da Empresa A, como forma de ilustrar os modelos de equipamentos disponíveis.

Figura 5 – Alimentador vibratório 19 a 32 th

Fonte: Proposta Empresa A (2015).

Figura 6 - Britador primário 19 a 32 th

Fonte: Proposta Empresa A (2015).

Figura 7 - Peneira vibratória 19 a 30 th

Fonte: Proposta Empresa A (2015).

Figura 8 - Transportadores de correias

Fonte: Proposta Empresa A (2015).

Figura 9 - Quadro de comando elétrico novo

Fonte: Proposta Empresa A (2015).

Figura 10 - Ima magnético para retirada de pequenos objetos metálicos 30 kg/força

Fonte: Proposta Empresa A (2015).

Figura 11 - Estrutura metálica de fixação do conjunto de britagem

Fonte: Proposta Empresa A (2015).

Empresa B:

Apresentou proposta para fabricação e fornecimento de “Usina reciclagem de entulho 18 a 25 ton/h” com rebritador e sem estrutura de para fixação do conjunto de britagem contendo os equipamentos:

- Alimentador vibratório av-25050;
- Britador primário 5030;
- Rebritador 8020;
- Peneira vibratória 30012/4 –d;
- Uma correia transportadora radial;
- Uma correia transportadora retorno;
- Quadro comando elétrico;

- Ima magnético fixo de gaveta para retirada de pequenos objetos metálicos.

Além dos equipamentos a empresa também fornece o pré-projeto civil das obras civis (bases de concreto) estrutural para fixação de todos os equipamentos. A montagem dos equipamentos na obra deverá ser por conta do cliente e/ou podem fornecer técnico para orientação de toda montagem com estrutura fornecida pelo cliente: Guinchos, soldador, auxiliares, materiais de consumo, *etc*., com posterior acerto financeiro entre as partes. Garantia de 12 meses.

As figuras 12, 13, 14 e 15 fazem parte da proposta da Empresa B, como forma de ilustrar os modelos de equipamentos disponíveis.

Figura 12 - Alimentador vibratório modelo av-25050- novo

Fonte: Proposta Empresa B (2015).

Figura 13 - Britador primário 5030 (500x300mmde boca)

Fonte: Proposta Empresa B (2015).

Figura 14 - Rebritador 8020 (800x200 mm de boca)

Fonte: Proposta Empresa B (2015).

Figura 15 - Peneira vibratória 30012/04 decks

Fonte: Proposta Empresa B (2015).

Empresa C:

Apresentou proposta para fabricação e fornecimento de um conjunto de britagem móvel, com capacidade de 10 a 25 m³/hora, com britador de mandíbula RECC50X30. Os britadores da empresa não fazem a classificação direta, para isso é necessário a instalação de uma peneira vibratória.

A figura 16 faz parte da proposta da Empresa C, como forma de ilustrar o modelo de britagem móvel disponível.

Figura 16 – Conjunto de britagem móvel RECC50X30

Fonte: Proposta Empresa C (2015).

Conforme o explicitado no quadro 8, pode-se perceber que não há uma única opção para a escolha do conjunto de britagem. O investidor pode escolher entre equipamentos com características distintas e que ainda assim supririam as necessidades do empreendimento para atender a demanda estimada.

Quadro 8 – Comparativo de equipamentos pesquisados

| | Empresa A | Empresa B | Empresa C |
|---|---|---|---|
| **Tipo de britador** | Britador de mandíbula | | |
| **Capacidade de produção** | 19 a 32 ton/h | 18 a 25 ton/h | 10 a 25 m³/hora |
| **Equipamentos** | Conjunto de britagem fixa com alimentador vibratório, britador primário, peneira vibratória, correias transportadoras, quadro de comando elétrico, ima magnético. | | Conjunto de britagem móvel |
| **Diferencial** | Fornecimento de estruturas metálicas de fixação do conjunto (alimentador, britador e peneira) | Rebritador, possibilitando uma melhor britagem dos resíduos | Possibilidade de levar a usina móvel para as áreas de concentração dos resíduos |

Fonte: autora (2015).

Além do conjunto de britagem há também a necessidade de se adquirir uma pá carregadeira articulada para o transporte de materiais no interior da usina de reciclagem. Segundo o estudo de Rosa (2005), a largura da pá deve ser cerca de 25% inferior à da abertura do alimentador do aparelho de britagem.

## 4.4 Quantidade de funcionários

Para o funcionamento completo da usina de reciclagem de resíduos classe A da construção civil no município de Porto Velho/RO foi estimado que há a necessidade de no mínimo onze funcionários. Sendo oito funcionários para o processo de reciclagem: um responsável, um encarregado da inspeção das cargas recebidas, três encarregados da triagem de resíduos, um operador de equipamento de britagem, um auxiliar de manutenção e um operador de pá carregadeira; e três para organização geral: um faxineiro, um recepcionista e um gerente administrativo (responsável por atividades financeiras, mercadológicas, de compras e estoques, de recursos humanos e outras). O que está de acordo com estipulado por Pinto e Gonzáles (2005), que dizem que o número de funcionários necessários para trabalhar no processo de reciclagem dos resíduos classe A está entre 4 e 12 funcionários.

## 4.5 Características do terreno

A escolha da área para a implantação da usina de reciclagem deve ser pautada principalmente pelos seguintes critérios:

- Dimensões condizentes com a necessidade do empreendimento;
- Facilidades de transporte;
- Terreno sem declividade;
- Existência de infraestrutura necessária (sistema de remoção de esgoto, abastecimento de água e energia elétrica, *etc*.);
- A proximidade dos locais onde ocorre a geração das maiores quantidades de RCD no município;
- Se a área é residencial e como a usina atingirá a vizinhança;
- A proximidade com o aterro de resíduos da construção civil;

- Atenção às exigências dos órgãos ambientais e de planejamento urbano e às disposições da norma NBR 15114 da ABNT (resíduos sólidos da construção civil áreas de reciclagem, diretrizes para projeto, implantação e operação).

Para o processo de triagem dos RCD e reciclagem dos resíduos classe A temos uma demanda de 73 m³ por dia, seguindo as instruções do manual da CEF de Pinto e Gonzáles (2005), quadro 3 deste trabalho, a área mínima necessária para a triagem desta demanda estaria entre 1.100 m² e 1.400 m², e para a reciclagem entre 3.000m² e 3.500m². Assim, a área total necessária para a triagem e o processamento dos RCD recebidos na usina de Porto Velho deve situar-se entre 4.100m² e 4.900m².

Além da área necessária para o processo de reciclagem propriamente dito, também é preciso a construção de outras estruturas, como a guarita, edificação para o setor administrativo (escritório), depósito, vestiário, sanitários, área de vivência e galpão/estacionamento.

Para construção da guarita foi considerado importante a presença de um lavabo na mesma, a fim de diminuir o tempo de espera para entrar ou sair da usina. Com isso estimou-se uma área de 12 m² (4 x 3 metros). O escritório terá o tamanho de 80m² (10 x 8 metros); o depósito de 40 m² (5 x 8 metros); o vestiário e sanitário serão construído juntos, seu tamanho será de 48 m² (8 x 6 metros); a área de vivência será junto com o refeitório e terá o tamanho de 56 m² (8 x 7 metros). Ainda é necessário um local para guardar os veículos da empresa, o galpão/estacionamento será construído em uma área de 150 m² (15 x 10 metros). Totalizando assim mais 386 m² de área construída.

Há ainda a possibilidade de que as instalações da usina de reciclagem de resíduos classe A seja instalada no mesmo terreno que o aterro de resíduos da construção civil, o que poderia otimizar os processos, porém exigira um terreno maior conforme análise específica. A proximidade ao aterro supracitado também deve ser levada em consideração no momento da escolha do terreno.

Uma atenção especial deve ser dada ao lançamento de material particulado na atmosfera e os níveis de ruídos emitidos durante a britagem dos resíduos, a fim de não afetar os terrenos vizinhos e nem comprometer a saúde dos funcionários e pessoas que transitem pela região.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui duas normas principais que regulam os níveis aceitáveis de ruído, a NBR 10151 e a 10152. Vale

ressaltar que esses níveis considerados pela ABNT são independentes da existência de reclamações.

No quadro 9 constam os valores do nível de critério de avaliação NCA (Níveis externos) da NBR 10151 - Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento.

Quadro 9 - NBR 10151 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

| Tipos de áreas | Diurno (dBA) | Noturno (dBA) |
|---|---|---|
| Áreas de sítios e fazendas | 40 | 35 |
| Área restritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas | 50 | 45 |
| Área mista, predominantemente residencial | 55 | 50 |
| Área mista, com vocação comercial e administrativa | 60 | 55 |
| Área mista, com vocação recreacional | 65 | 55 |
| Área predominantemente industrial | 70 | 60 |

Fonte: Adaptado ABNT (2000).

Dependendo da área onde será instalada a usina, e que tipo de atividades são desenvolvidas nos terrenos vizinhos, há níveis de ruídos para o conforto acústico determinados pela NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico em ambientes diversos, conforme o quadro 10.

Quadro 10 - NBR 10152 - Níveis de ruído para conforto acústico em ambientes diversos

| Locais | dBA |
|---|---|
| Hospitais | |
| Apartamentos, enfermarias, berçários, centros cirúrgicos | 35-45 |
| Laboratórios, áreas de uso público | 40-50 |
| Serviços | 45-55 |
| Escolas | |
| Bibliotecas, salas de música, salas de desenho | 35-45 |
| Salas de aula, laboratórios | 40-50 |
| Circulação | 45-55 |
| Hotéis | |
| Apartamentos | 35-45 |

| | |
|---|---|
| Restaurantes, salas de estar<br>Portaria, recepção, circulação | 40-50<br>45-55 |
| Residências<br>Dormitórios<br>Salas de estar | <br>35-45<br>40-50 |
| Auditórios<br>Salas de concerto, teatros<br>Salas de conferência, cinemas, salas de uso múltiplo | <br>30-40<br>35-45 |
| Restaurantes | 40-50 |
| Escritórios<br>Salas de reunião<br>Salas de gerência, salas de projeto e de administração<br>Salas de computadores<br>Salas de mecanografia | <br>30-40<br>35-45<br>45-65<br>50-60 |
| Igrejas e Templos | 40-50 |
| Locais para Esportes<br>Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas | 45-60 |

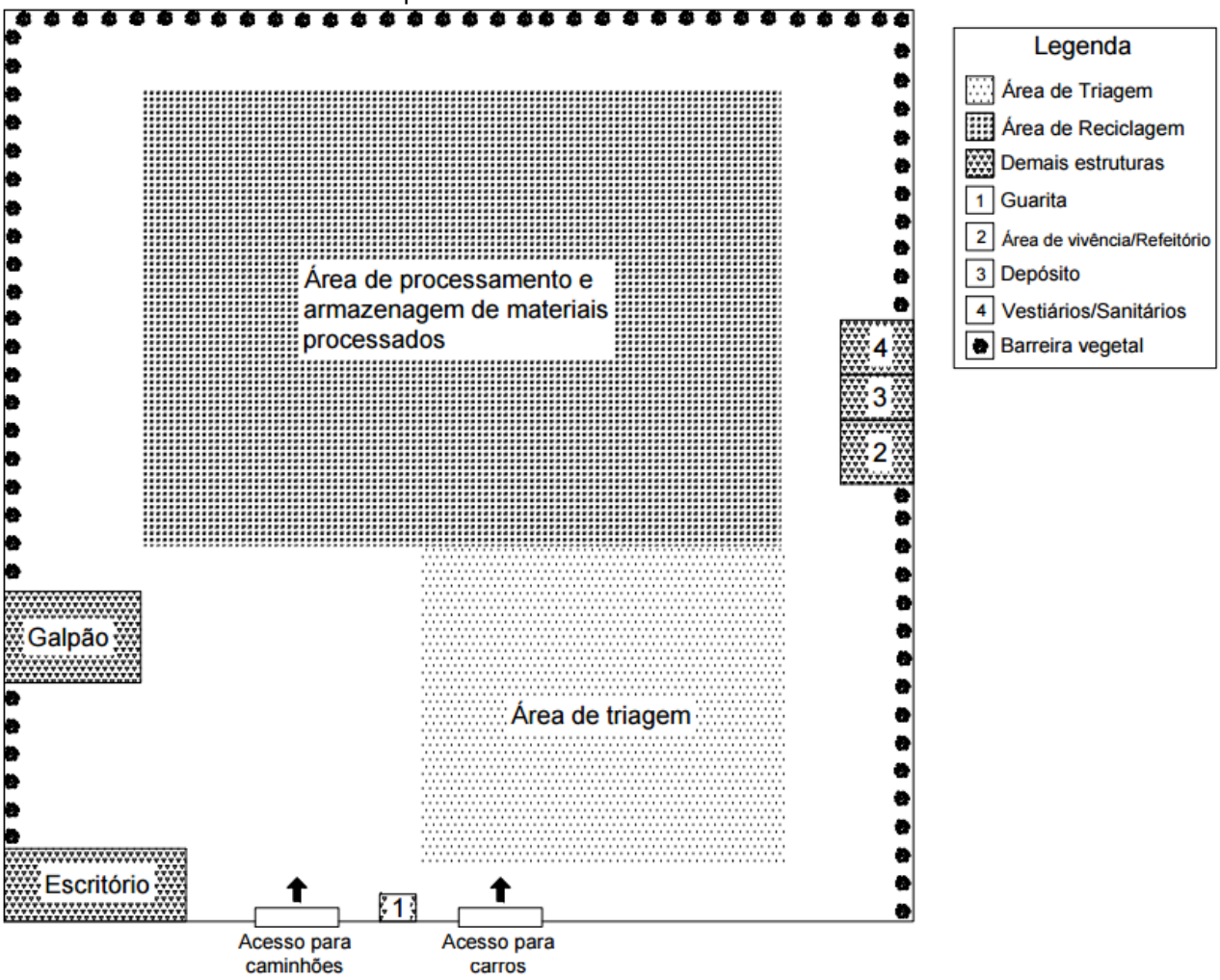
Fonte: Adaptado ABNT (1987).

Para conter o lançamento de material particulado na atmosfera é necessário se pensar em um sistema de aspersão de água. Além disso, uma forma eficiente de conter tanto a poluição atmosférica quanto a sonora é isolar o terreno da usina por uma barreira vegetal, a exemplo das usinas de Estoril e Pampulha em Belo Horizonte/MG, conforme citado por Rosa (2005).

Levando em consideração a necessidade de um espaço para circulação dos veículos que adentrarem a usina para descarga dos RCD e a área para plantação da barreira vegetal ao redor do terreno, estimou-se como necessária para a instalação da usina de reciclagem de Porto Velho uma área aproximada de 10.000 m² (um hectare).

A figura 17 apresenta um esboço do *lay-out* projetado para a usina de Porto Velho/RO.

Figura 17 - Esboço do *lay-out* projetado para a instalação da usina de reciclagem dos RCD classe A produzidos em Porto Velho-RO




Fonte: autora (2015).

# 5 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento do trabalho é possível concluir que não há coleta seletiva tampouco uma gestão eficaz dos RCD no município de Porto Velho/RO. Os órgãos públicos deveriam implementar e fiscalizar o que está preconizado em lei, principalmente da resolução 307 de 2002 do CONAMA, o que não tem acontecido.

Além disso, a falta de informação da população e o descaso dos empreiteiros locais, que acabam descartando os resíduos em depósitos clandestinos, também contribuem para a poluição do município. E assim não há como estabelecer de forma precisa o quantitativo de resíduos gerados.

Tendo como base os registros da lixeira pública do município de Porto Velho/RO, que embora não seja o local correto determinado pela lei para depósito dos RCD tem sido a disposição regular informada pela prefeitura, calculou-se a demanda de 75 $m^3$/dia de resíduos classe A para reciclagem da usina em destaque.

No que diz respeito aos equipamentos necessários para processar essa demanda de resíduos contatou-se que as especificações e capacidade de produção variam de acordo com os fabricantes e o tipo de britador escolhido. A empresa fornece uma proposta de acordo com a demanda e o interesse de produção do cliente. Entre as empresas consultadas, tendo escolhido um britador de mandíbula por ser considerado mais fácil de manusear e com baixo custo de manutenção, foram recebidas propostas para conjuntos de britagem com capacidade de produção entre 15 e 32 ton/h. Dentro dos equipamentos básicos necessários para operar a usina, além do conjunto de britagem é necessário, no mínimo, uma pá carregadeira, que tem sua escolha condicionada ao tamanho da abertura do alimentador do aparelho de britagem.

Ainda há a possibilidade de se escolher entre a implantação de uma usina de reciclagem de RCD móvel ou fixa, o que está estritamente ligado às condições de gestão do município. O ideal seria que houvesse a instalações de áreas de transbordo e triagem (ATT) nos centros de produção de RCD, e assim fosse possível a utilização de uma usina móvel, que poderia se deslocar entre uma ATT e outra, otimizando o processo de manejo e reciclagem desses RCD. Porém, como atualmente não existe uma gestão eficiente dos RCD e nem ATT pela cidade, não é possível a utilização de uma usina móvel, sendo necessário a aquisição de um terreno para montagem da usina fixa.

Em relação ao terreno necessário para implantação da usina fixa, a escolha do mesmo deve levar em conta as condições do local, vizinhança e características que podem influenciar no processo e não apenas o tamanho. Sendo calculada a necessidade de um terreno com aproximadamente 10.000 m² (um hectare). Para a quantidade de funcionário se estabeleceu o mínimo de onze funcionários para realizar o manejo dos RCD e a administração da usina.

Além dos benefícios ambientais, não só pela diminuição da deposição de resíduos em locais inadequados como também pela redução de extração de matéria prima em jazidas, ainda há um benefício econômico pela geração de empregos e venda de agregados reciclados a um preço mais barato do que em relação a similares com matéria prima não reciclada.

Assim, na grande maioria dos casos, a reciclagem de resíduo ainda possibilita o barateamento das atividades de construção. Chegando à conclusão de que a implantação de uma usina de reciclagem de resíduos classe A da construção civil no município de Porto Velho/RO é uma solução sustentável e necessária para melhoria da qualidade de vida da população, uma importante preocupação com o meio ambiente e cumprimento normativo.

# REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2013**. Grappa. São Paulo; 2014. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm. Acessado dia 22 de novembro de 2014.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2014**. Grappa. São Paulo; 2015. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf. Acessado dia 13 de agosto de 2015.

AGRA, Klondy Lúcia de Oliveira. **Usinas Hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau: Vulnerabilidades socioambientais**. Revista Geonorte, Edição Especial 2, V.2, N.5, p.565 – 572, 2012. Disponível em: http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/013_%28PORTO%20VELHO%20E%20AS%20USINAS%20HIDREL%C3%89TRICAS%20DE%20SANTO%20ANT%C3%94NIO%20E%20JIRAU%20RISCOS%20E%20VULNERABILIDADES%20SOCIOAMBIENTAIS%29.pdf

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114**: Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002. Seção 1, p 95-96.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n° 348, de 16 de agosto de 2004.** Altera a Resolução CONAMA n °307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n° 158 de 17 de agosto de 2004. Seção 1, p 70.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n° 431, de 24 de maio de 2011**. Altera o art. 3° da Resolução n° 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial

da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, de 17 de julho de 2002, seção 1, p. 95-96.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n° 448, de 18 de janeiro de 2012**. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, de 19 de janeiro de 2012, seção 1, p. 95-96.

BRASIL. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, v. 134, n. 248, 23 dez. 1996.Seção I, p. 27834-27841.

CABRAL, A. E. B.; MOREIRA, K. M. de V. **Manual de Gestão sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Sinduscon. Fortaleza-CE. 2011. Disponível em: http://www.sinduscon-ce.org/ce/downloads/pqvc/Manual-de-Gestao-de-Residuos-Solidos.pdf. Acessado dia 22 de novembro de 2014.

CUNHA, G. N. M.; MICELI, V. M. **Análise da viabilidade econômica de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil a partir de sistemas dinâmicos.** Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

CUNHA, N. A. **Resíduos da construção civil análise de usinas de reciclagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Estadual de Campinas. 2009.

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

FRAGA, M. F. **Panorama da Geração de Resíduos da Construção Civil em Belo Horizonte: Medidas de Minimização com Base em Projeto e Planejamento de Obras**. 2006; Disponível em: http://lumeambiental.com.br/Pos_Marcel.pdf , acessado em 22 de novembro de 2014.

FREITAS, I. M. - **Os Resíduos de Construção Civil no Município de Araraquara/SP**. São Paulo, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil.** Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MANFRINATO, J. W. S.; ESGUÍCERO, F. J.; MARTINS, B. L. **Implementação de usina para reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) como ação para o desenvolvimento sustentável - estudo de caso.** XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia para Elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília – DF. 2011. Disponível em: http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos. Acessado em 22 de novembro de 2014.

NOVAES, M. V.; MOURÃO, C. A. M. A. - **Manual de Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos na Construção Civil/COOPERCON** - Cooperativa da Construção Civil do Estado do Ceará, 1ª Ed., Fortaleza, 2008.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.189f.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil.** Brasília: CEF, 2005. v. 1. 196 p. (Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios, v. 1).

PUCCI, R. B. **Logística de resíduos da construção civil atendendo à Resolução CONAMA 307**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 2006.

RAISCH PRODUCTS. **Raisch Products Construction and Demolition Reuse / Recycling Ecological Park: zero waste is it a reality or just a dream.** Disponível em: http://www.raischproducts.com/NewsStand3.htm. Acessado em 14 de outubro de 2015. 2005.

RIDGLEY, H. **Riding the C&D wave in California**. Waste Age, Estados Unidos, v. 6, n.29, p. 108. 115, jun. 1998.

ROSA, M. P. **Viabilidade econômico-financeira e benefícios ambientais da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construo o civil produzidos em Florianópolis-SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2005

SALES, A.; CORDEIRO, J. S.; SOUZA F. R. - **Estudo da resistência à compressão e da absorção de água em concretos produzidos com a adição conjunta de resíduos de construção e demolição e lodos de estações de tratamento de água**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 31-40, abr./jun. 2004.

TEIXEIRA, Marco; FONSECA, Dante. 2ª ed. **História Regional** (Rondônia). Porto Velho, Rondônia, 1998.

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