

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL MODALIDADE PROFISSIONAL**

**ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES  
LÍQUIDOS E DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO DA CONSTRUÇÃO.**

ANGÉLICA DE SOUZA FERREIRA

CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ  
2017

ANGÉLICA DE SOUZA FERREIRA

**ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES  
LÍQUIDOS E DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO DA CONSTRUÇÃO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Fluminense como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Modalidade Profissional, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e inovação.

Orientação: *D. Sc.* Romeu e Silva Neto.

CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ  
2017

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

F383a Ferreira, Angélica de Souza, 1986-.  
Análise das alternativas de tratamento de efluentes líquidos e de resíduos de demolição da construção / Angélica de Souza Ferreira. – Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.  
90 f.: il. color.

Orientador: Romeu e Silva Neto.

Dissertação (Mestrado). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.  
Inclui bibliografia.

1. Resíduos sólidos - Eliminação de resíduos. 2. Resíduos industriais - Tratamento. 3. Demolição - Eliminação de resíduos. 4. Rochas ornamentais - Indústria - Eliminação de resíduos. 5. Rochas ornamentais - Indústria - Reaproveitamento. 6. Rochas ornamentais - Indústria - Abastecimento de água. I. Silva Neto, Romeu e, orient. II. Título.

CDD 628.445

23.ed.

Dissertação intitulada “Análise das Alternativas de Tratamento de Efluentes Líquidos e de Resíduos de Demolição da Construção.”, elaborada por Angélica de Souza Ferreira e apresentado publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense.

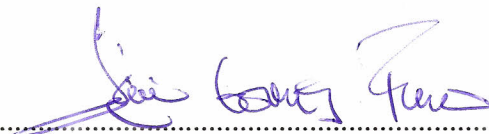
Aprovada em ..20/10/2017.....

Banca Examinadora:



**Romeu e Silva Neto - Orientador**

Doutor em Engenharia de Produção - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense




**Hélio Gomes Filho – Examinador Interno**

Doutor em Políticas Públicas e Formação Humana/Universidade do Estado do Rio de Janeiro/UERJ  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense



**Deborah Monteiro da Gama – Examinadora Externa**

Doutora em Biociências e Biotecnologia/ Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/ UENF  
Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes



**Alexandre Said Delvaux – Examinador Externo**

Mestre em Planejamento Urbano e Gestão de Cidades/ Universidade Candido Mendes/UCAM  
Centro Educacional Nossa Senhora Auxiliadora/ CENSA

*Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos e marido  
pelo amor, incentivo e apoio incondicional.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me proporcionou esta oportunidade e me ensinou a superar minhas dificuldades.

Aos meus pais e irmãos pela compreensão, ajuda e apoio ao longo desse percurso. E ao meu marido pelo amor, incentivo e dedicação.

Ao meu orientador Prof. Romeu e Silva Neto pela recepção, ensinamento, paciência e orientação para a conclusão deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Alexandre Said Delvaux, pela sua paciência e colaboração.

À Sra. Deborah Monteiro da Gama pela gentileza por me acompanhar durante a visita técnica e disponibilizar os dados sobre a usina de RCD.

Aos meus amigos de turma pela colaboração, cumplicidade e amizade.

À Ana Carolina pela ajuda e colaboração neste trabalho.

Aos professores e funcionários do programa de mestrado.

A todos os meus sinceros agradecimentos,  
Angélica de Souza Ferreira.



*“Não há conflito entre lucratividade e a gestão ambiental com  
responsabilidade social; ambas podem harmonizar-se na  
prática.”*

**Takeshy Tachizawa**



## RESUMO

Atualmente, a geração de resíduos tornou-se um problema em escala mundial, pois os diversos setores produzem resíduos e os mesmos não possuem destinação apropriada. Portanto, os artigos seguintes têm o propósito de descrever dois grandes setores brasileiros, o setor de rochas ornamentais e da construção civil, que têm se destacado com grande participação no PIB brasileiro. A indústria de rochas ornamentais corresponde a aproximadamente 7% do PIB do Estado e tem se destacado no mercado internacional com a variedade de pedras exóticas existente no país. Porém, um dos problemas cruciais deste setor é a utilização de água em grande escala, que é essencial em todos os processos de produção, ou seja, desde o processo de extração até o processo de beneficiamento. Com isto, este artigo descreve os métodos de tratamentos de efluentes líquidos utilizados no setor e, tem como objetivo propor a aplicação de uma centrífuga como uma alternativa para a reutilização da água e o reaproveitamento da mesma nos vários processos de produção. Concluindo que a construção de uma centrífuga decantadora seria a mais adequada diante das características do setor de rochas ornamentais. Já a indústria de construção civil também tem se mostrado importante diante da economia do país e da qualidade de vida que esta indústria oferece à população. Com isto, o setor de construção civil gera em média de 40 a 60% em massa dos resíduos sólidos urbanos e essa quantidade vem aumentando proporcionalmente, de acordo com a população. Por este motivo, a legislação tem se atualizado e se torna mais rígida com os geradores de resíduos, o que proporciona alternativas de reciclagens viáveis economicamente para este setor. Neste sentido, este artigo descreve o sistema de coleta de resíduos de construção civil no município de Campos dos Goytacazes e o funcionamento de uma usina de resíduos de construção e demolição instalada no município. Tendo como objetivo a avaliação da viabilidade técnica e econômica de uma usina de RCD e como objetivo específico a estimativa da quantidade de resíduos de construção civil gerados no município, a estimativa da quantidade de subprodutos e a identificação do aproveitamento dos subprodutos em outros produtos. Ambas são indústrias que vem crescendo de modo que a legislação não consegue acompanhar e gerando questões ambientais negativas, porém elas se complementam para proporcionar o bem-estar social e qualidade de vida para a população.

Palavras-chave: Reciclagem. Tratamento de Efluentes. Centrífuga. Resíduos de Construção e Demolição. Usina de reciclagem.

## ***ABSTRACT***

Currently, the generation of waste has become a problem on a global scale, since the various sectors produce waste and they do not have an appropriate destination. Therefore, the following articles are intended to describe two large Brazilian sectors, the ornamental rock sector and the construction industry, which have stood out with great participation in the Brazilian GNP. The ornamental rock industry accounts for approximately 7% of the state's GNP and has been outstanding in the international market with the variety of exotic stones in the country. However, one of the crucial problems in this sector is the use of large-scale water, which is essential in all production processes, from the extraction process to the beneficiation process. With this, this article describes the methods of treatment of liquid effluents used in the sector and, it aims to propose the application of a centrifuge as an alternative for the reuse of water and the reuse of the same in the various production processes. Concluding that the construction of a decanter centrifuge would be the most adequate in view of the characteristics of the ornamental rock sector. The civil construction industry has also shown to be important in the face of the country's economy and the quality of life that this industry offers to the population. With this, the civil construction industry generates an average of 40 to 60% by mass of urban solid waste and this quantity has been increasing proportionally, according to the population. For this reason, the legislation has been updated and becomes more rigid with the waste generators, which provides economically viable recycling alternatives for this sector. In this sense, this article describes the system of collection of construction waste in the municipality of Campos dos Goytacazes and the operation of a construction and demolition waste plant installed in the municipality. The objective of this study was to evaluate the technical and economic feasibility of an RCD plant and, as a specific objective, to estimate the amount of civil construction waste generated in the municipality, to estimate the quantity of by-products and to identify the use of by-products in other products. Both are industries that have been growing so that legislation cannot keep up and generate negative environmental issues, but they complement each other to provide social well-being and quality of life for the population.

**Keywords:** Recycling. Wastewater treatment. Centrifuge. Construction and Demolition Waste. Recycling Plant.

**LISTA DE FIGURAS****ARTIGO 01**

## FIGURA 1:

Esquema da produção do resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais.....28

## FIGURA 2:

Decantador vertical .....31

## FIGURA 3:

Tanques de decantação .....32

## FIGURA 4:

Leitos de secagem .....32

## FIGURA 5:

Filtro Prensa .....33

## FIGURA 6:

Secagem .....34

## FIGURA 7:

Tipos de Centrífuga .....35

## FIGURA 8:

Centrífuga Pusher .....36

## FIGURA 9:

Centrífuga Parafuso.....36

## FIGURA 10:

Centrífuga Vibratória .....37

## FIGURA 11:

Centrífuga de Disco .....37

## FIGURA 12:

Centrífuga Tubular.....38

## FIGURA 13:

Centrífuga Decantadora .....38

**ARTIGO 02**

## FIGURA 1

Diagrama de Separação de RCD.....56

## FIGURA 2:

Alimentador Vibratório .....56

## FIGURA 3:

Transportador de Correia .....57

## FIGURA 4:

Separadores Magnéticos .....57

## FIGURA 5:

Britador de Impacto.....58

## FIGURA 6:

Mesa de Escolha.....58

## FIGURA 7:

Mesa de Escolha .....59

## FIGURA 8:

Peneira Vibratória.....59

## FIGURA 9:

Valores mínimos, médios e máximos cobrados para vendas dos agregados de RCD nas usinas, por Estado.....62

**APÊNDICE B**

## FIGURA 1B:

Localização da Usina de RCD.....83

## FIGURA 2B:

Alimentador Vibratório.....83

## FIGURA 3B:

Peneira de Disco .....84

## FIGURA 4B

Mesa de Escolha (1) .....84

## FIGURA 5B:

Mesa de Escolha (2) .....85

## FIGURA 6B:

Britador de Impacto .....85

## FIGURA 7B:

Peneira Vibratória .....86

## FIGURA 8B:

Transportador de Correia .....86

## FIGURA 9B:

Separador Magnético .....87

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 01

#### TABELA 1:

Número de Empresas e Empregos – Brasil e Espírito Santo .....25

#### TABELA 2:

Tipologia das centrífugas .....39

#### TABELA 3:

Tratamentos de Efluentes .....39

### ARTIGO 02

#### TABELA 1:

Dimensões dos agregados segundo Norma ABNT/NBR- 935/2011.....55

#### TABELA 2:

Mão-de-obra empregada na usina .....65

#### TABELA 3:

Cálculo do Valor Presente Líquido .....66

#### TABELA 4:

Fluxo de Caixa Operacional .....67

#### TABELA 5:

Perfil do VPL do investimento.....68

#### TABELA 6:

Perfil do Ponto de Equilíbrio .....69

### APÊNDICE A

#### TABELA 1:

Vantagens e Desvantagens de acordo com a tipologia das centrífugas .....79

#### TABELA 2:

Métodos de tratamento de efluentes líquidos.....80

**LISTA DE QUADROS****ARTIGO 02****QUADRO 1:**

Tipos de resíduos, materiais e classes gerados na construção civil .....49

**QUADRO 2:**

Instrumentos legais e normativos de abrangência nacional .....52

**QUADRO 3:**

Normas técnicas brasileiras relacionadas aos resíduos sólidos e aos RCC.....53

**LISTA DE GRÁFICOS****ARTIGO 02****GRÁFICO 1:**

PIB Brasil x PIB Construção Civil .....46

**GRÁFICO 2:**

Concentração de usinas por estado brasileiro .....54

**GRÁFICO 3:**

Resíduos Coletados em 2016.....61



## **LISTA DE FLUXOGRAMAS**

### **ARTIGO 02**

#### **FLUXOGRAMA 1:**

Descrição das atividades para a produção de reciclados .....63

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABIROCHAS** - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
- CAPES** - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CECA** - Comissão Estadual de Controle Ambiental
- CETEM** - Centro de Tecnologia Mineral
- CODIN** - Companhia de Distritos Industriais
- CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DNPM** - Departamento Nacional de Produção Mineral
- FECP** - Fundo Estadual de Combate à Pobreza e às Desigualdades Sociais
- ICMS** - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
- IL** - Índice de Lucratividade
- IPTU** - Imposto Predial e Territorial Urbano
- IPVA** - Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
- LAIR** - Lucro Antes de Impostos de Renda
- MME** - Ministério de Minas e Energia
- MTE** - Ministério do Trabalho e Emprego
- NBR** – Norma Brasileira
- NT** - Norma Técnica
- PBD** - Método do *Payback* Descontado
- PE** - Ponto de Equilíbrio
- PGRS** - Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
- PIB** - Produto Interno Bruto
- PVC** - Policloreto de Vinila
- RAIS** - Relatório Anual de Informações Sociais
- RCC** - Resíduos de Construção Civil
- RCD** - Resíduos de Construção Civil e Demolição
- RSU** - Resíduos Sólidos Urbanos
- SLAP** - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras
- TIR** - Taxa Interna de Retorno
- TMA** - Taxa Mínima de Atratividade
- VPL** - Valor Presente Líquido

**LISTA DE SÍMBOLOS**

A - Altura

a.a. – ao ano

C – comprimento

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

G – Constante Gravitacional

kg - Quilograma

kg/hab/dia – Quilograma por habitante por dia

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt-hora

kWh/t – Quilowatt-hora por tonelada

L - litro

L - Largura

L/h – Litro por hora

m<sup>3</sup> - Metro cúbico

m<sup>2</sup> - Metro quadrado

Mt - Megatonelada

t/ano – Tonelada por ano

t/dia – Tonelada por dia

t/h – Tonelada por hora

**SUMÁRIO**

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTA DE FLUXOGRAMAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....</b>	<b>xvii</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>xviii</b>
<b>1 APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>2 ARTIGO CIENTÍFICO 1.....</b>	<b>23</b>
<b>3 ARTIGO CIENTÍFICO 2.....</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICE A</b>	
Artigo Científico apresentado no III Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis.....	75
<b>APÊNDICE B</b>	
Registros fotográficos da visita à Usina de Reciclagem de RCD .....	83
<b>APÊNDICE C</b>	
Registros dos E-mails trocados durante a pesquisa.....	88

## APRESENTAÇÃO

O setor de rochas ornamentais movimenta a economia brasileira proporcionando ao país ser um destaque mundial. O setor de mineração está em ascensão e possibilita emprego a vários brasileiros, porém, a indústria de mineração causa vários impactos ambientais. Na mineração, a água é essencial para os processos de produção, sendo utilizada desde os processos de extração até o beneficiamento. Todos os processos geram resíduos que combinados com a água produz o efluente líquido, este produto quando é despejado em afluentes sem qualquer tratamento pode provocar assoreamento, contaminação e alteração da turbidez dos corpos hídricos.

Com isto, o Estado do Rio de Janeiro estabeleceu a Norma Técnica (NT) 202 aprovada pela Deliberação CECA nº 1007, de 04 de dezembro de 1986, que se aplica somente aos lançamentos diretos ou indiretos de efluentes líquidos em córregos, rios ou águas superficiais ou subterrâneas do Estado do Rio de Janeiro e, também estabelece os critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos como condição para o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras (SLAP). O Estado do Espírito Santo prevê na Lei nº 4.636, de 13 de abril de 1992 no Artigo 1º, que as indústrias de beneficiamento de mármore e granito deste Estado ficam obrigadas a construir e utilizarem os tanques de decantação para a reutilização da água gerada nos processos da indústria de mineração.

Portanto, a Resolução CONAMA nº 430/2011, de 13 de maio de 2011 que complementa e altera a Resolução nº 357/2005, de 17 de março de 2005, estabelece as condições mínimas e padrões de lançamentos de efluentes líquidos em corpos d'água receptores. Assim, os efluentes líquidos antes de despejados nos corpos hídricos devem ser tratados para que os mesmos não alterem ou contaminem as águas superficiais e subterrâneas.

Baseando-se na legislação vigente, este trabalho propõe uma alternativa eficiente para o tratamento de efluentes líquidos gerados nos processos da indústria de mineração. A centrífuga decantadora quando comparada com os métodos tradicionais de tratamento de água e com outros tipos de centrífugas, a mesma apresentou características revelantes para esta função.

Já o setor de construção civil tem tido um crescimento elevado e tem se destacado na economia brasileira. Esta indústria vem cada vez mais gerando resíduos sendo atualmente responsável por impactos ambientais negativos. Este setor consome em média de 20 a 50% dos recursos naturais e gera aproximadamente de 40 a 60% em massa dos resíduos sólidos

urbanos que são resultados de reformas, obras, demolição e manutenção. Porém, estes resíduos são dispostos em áreas inapropriadas causando assoreamentos em corpos d'água, erosão do solo, poluição visual e perda da biodiversidade.

Diante deste contexto, dentre as legislações nacionais existentes como a Lei nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público. A Resolução CONAMA nº 307/2002 é a mais usada para o panorama do setor de construção civil por causa da sua regulamentação e as responsabilidades dos municípios em implementar um plano de gerenciamento de resíduos da construção civil eficaz.

Esta dissertação será composta por dois artigos. O primeiro artigo foi apresentado na Defesa de Qualificação de forma “*review*”, no qual o mesmo foi submetido e aprovado pelo III Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis realizado em Outubro de 2016 na cidade de Porto Alegre. E o segundo artigo será apresentado na Defesa Final proposto Programa de Pós-graduação como requisito para a titulação de mestre.

O primeiro artigo se refere ao “Estudo de Alternativas para o Tratamento de Efluentes Líquidos do Setor de Rochas Ornamentais” que possui a finalidade de identificar e descrever os métodos de tratamentos de efluentes líquidos utilizados no tratamento de resíduos líquidos no setor de rochas ornamentais, especificando suas vantagens e desvantagens dos tratamentos empregados. Este estudo tem caráter descritivo e exploratório que avalia a aplicabilidade das centrífugas no tratamento de efluentes líquidos do setor de rochas ornamentais. Inicialmente, o segundo artigo seria baseado nos resultados obtidos a partir da construção do protótipo da centrífuga decantadora, no qual com o equipamento construído, seria possível realizar as análises laboratoriais com o intuito de avaliar se o efluente, após tratado pelo novo equipamento, enquadrar-se-ia nos padrões estabelecidos pela legislação vigente para reuso de água. Porém, após o desenvolvimento dos projetos mecânicos e especificações de materiais para a construção do protótipo, o empresário responsável pelo projeto encerrou o mesmo por causa de dificuldades financeiras.

E o segundo artigo para esta defesa se refere ao “Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica de Usina de Reciclagem de Resíduos de Demolição de Construção Civil” que faz menção aos resíduos de construção civil e a problemática sobre a disposição sustentável do resíduo.

Com isto, o segundo artigo apresenta um estudo de viabilidade técnica e econômica baseada na usina de reciclagem de resíduos de construção civil instalada e implantada no município de Campos dos Goytacazes e possui como finalidade a descrição do sistema de coleta de resíduos de construção civil, o funcionamento da usina de reciclagem, a geração de subprodutos e a estimativa da quantidade de resíduos no município. Este estudo tem caráter descritivo e apresenta um estudo de caso que avalia a viabilidade técnica e econômica da usina de reciclagem de resíduos de construção civil. Concluindo que diante da legislação implantada desde 2002, torna o cenário favorável para a implantação de usinas de reciclagem de resíduos de construção civil.

**ARTIGO CIENTÍFICO<sup>1</sup>****ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO DE  
EFLUENTES LÍQUIDOS DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS****RESUMO**

O setor de rochas ornamentais proporciona ao Brasil ser uma referência mundial no setor com pedras exóticas e alavanca a economia do país com as exportações. Porém, o segmento de mineração provoca vários impactos ambientais, além do consumo exacerbado de água. Nos processos industriais geralmente há um aumento da turbidez e conseqüente variação na qualidade da água alterando o pH da água tornando-a mais ácida e redução do oxigênio dissolvido dos ecossistemas aquáticos, assoreamento de rios. Por isso, foi necessária uma pesquisa bibliográfica para a descrição dos métodos de tratamentos de efluentes líquidos utilizados na indústria de rochas ornamentais, após esta pesquisa foi estabelecida uma análise comparativa da eficiência dos métodos de tratamentos existentes perante a centrífuga. Com isto, este trabalho analisa os métodos de tratamentos de efluentes líquidos utilizados no setor de rochas ornamentais, incentivando a reutilização da água gerada nos processos de beneficiamento e mineração. E estuda a aplicação da centrífuga como uma alternativa ambiental para o tratamento dos efluentes, durante a análise das centrífugas conclui-se que a centrífuga tipo decantadora foi a mais adequada ao processo de separação sólido-líquido, pois a mesma apresenta a água clarificada e a separação dos sólidos na umidade adequada para serem dispostos em aterros industriais ou incineração.

**Palavras-chave:** Reuso de água. Centrífuga. Tratamento de Efluentes.

**STUDY ALTERNATIVES FOR WASTEWATER TREATMENT OF  
LIQUIDS ORNAMENTAL ROCKS SECTOR*****ABSTRACT***

<sup>1</sup> Artigo Científico submetido à publicação



The ornamental stones sector provides Brazil to be a global reference in the sector with exotic stones, and leverages the country's economy through exports. However, the mining segment causes several environmental impacts, besides the overconsumption of water. In industrial processes, generally there is an increase of turbidity and consequent variation of water quality by altering its pH becoming it more acid and reduction of the dissolved oxygen from aquatic ecosystems, siltation of rivers. Therefore, a literature search for the description of wastewater treatment methods used in the ornamental stone industry was needed after this research was established a comparative analysis of methods of efficiency of existing treatments before the centrifuge. Thus, this paper analyzes methods of wastewater treatment used in the ornamental stones sector, encouraging the water reuse generated in processing and mining. In addition, it studies the centrifuge application as an environmental alternative for wastewater treatment. During the analysis of different types of centrifuges, it concludes that the decanter centrifuge is the most appropriate centrifuge type for solid-liquid separation processing, because it presents, as a result, clarified water and solid separation in the proper humidity to be disposed in industrial landfills or incineration.

**Keywords:** Water reuse. Centrifuge. Wastewater treatment.

## 1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais podem ser definidas como materiais sólidos formados por agregados naturais constituídos por um ou mais minerais. Estas rochas podem ser comumente utilizadas na construção civil como pedras decorativas, de revestimentos interno e externo, lápides e esculturas. Comercialmente, as rochas ornamentais e de revestimento são divididas em dois tipos: granitos e mármore (MELLO, 2011). Geologicamente, os granitos são classificados como rochas ígneas, ou seja, rochas derivadas da solidificação de materiais em fusão (magma), o granito é formado por quartzo e feldspato. Os mármore são rochas provenientes de calcários e são classificados como rochas metamórficas que provem de transformações de sua composição mineral e mudanças de temperatura e pressão abaixo da zona de diagênese segundo a ABNT – NBR 6502/1995. Os granitos e mármore têm um forte pólo de produção na região de Cachoeiro do Itapemirim, no Estado do Espírito Santo.

De acordo com Bernardes (2003), os gnaisses, também objetos de pesquisa neste trabalho, com um pólo de produção na região de Santo Antônio de Pádua no Estado do Rio de Janeiro, são rochas metamórficas constituídas por quartzo e mais de 20% de feldspatos, a mesma é resultante das deformações de rochas graníticas e possui granulação média a grossa.

Segundo a ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (2014), em 2013, a produção mundial de rochas ornamentais totalizou 130 milhões de toneladas, correspondendo a 48 milhões de metros cúbicos ou 1,42 bilhões de metros quadrados equivalentes de chapas com dois centímetros de espessura. Este total inclui 76,75 Megatoneladas (Mt) (59%) de rochas carbonáticas, 47,5 Mt (36,5%) de rochas silicáticas e 5,75 Mt (4,5%) de ardósias. Neste ano, o Brasil ocupou a quarta posição no ranking mundial de produção de rochas ornamentais e revestimento produzindo o equivalente a 9,0 Mt e absorvendo 6,9% do mercado. O Brasil só produziu menos que China, Índia e Turquia que, juntos, detinham 54,6% da produção mundial, equivalente a 71 Mt.

Em 2014, a produção brasileira aumentou para 10,1 Mt de rochas ornamentais e de revestimento. Deste total, a Região Sudeste deteve 64% da produção nacional, seguido da Região Nordeste com 26%. (ABIROCHAS, 2015).

O granito representa quase 50% da produção total brasileira, seguida do mármore e travertinos com cerca de 19% da produção, além de ardósias, quartzitos maciços e foliados, e outros. Na Região Sudeste, o Estado do Espírito Santo é o principal produtor de rochas ornamentais do tipo granitos e mármore. Conforme mencionado, no Estado do Rio de Janeiro, destaca-se o município de Santo Antônio de Pádua, na região Noroeste, que é abundante em rochas ornamentais do tipo gnaisses.

Segundo os dados do RAIS – Relatório Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), de 2014, o Brasil possui 12.510 empresas que geram cerca de 125.171 postos de trabalho no setor de rochas ornamentais. No Estado do Espírito Santo existem 1.633 empresas que correspondem a 13% do total brasileiro gerando 21.954 postos de trabalho diretos e indiretos, conforme a Tabela 1. Neste setor, as micro e pequenas empresas correspondem a 98,5% do total de empresas do estado.

O setor de rochas ornamentais possui grande influência na economia do Estado do Espírito Santo, pois dos 78 municípios existentes no estado 66 são produtores de rochas. Atualmente, Cachoeiro de Itapemirim concentra a maior produção de rocha do Brasil.

Tabela 1: Número de Empresas e Empregos – Brasil e Espírito Santo.

Referência	Indicador	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Brasil	Empresas	9.828	10.282	10.886	11.420	11.924	12.510
	Empregos	92.075	100.935	108.804	116.678	122.496	125.171
Espírito Santo	Empresas	1.459	1.482	1.534	1.577	1.626	1.633
	Empregos	17.360	18.740	19.654	20.672	21.603	21.954

Fonte: RAIS, 2014.

O setor de rochas ornamentais corresponde a 7% do PIB na economia do Estado. O município de Cachoeiro de Itapemirim, localizado na região sul do estado de Espírito Santo, se destaca como cidade pólo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais. Na região sul do Estado, concentram-se cerca de 70,71% de empresas extratoras e beneficiadoras de mármore e granito, sendo que, deste total, 46,41% encontram-se em Cachoeiro de Itapemirim. (MME, 2013).

A partir do exporto, observa-se que a mineração de rochas ornamentais é uma atividade importante para a economia do país, tanto para a geração de empregos como para a atração de divisas. Porém a legislação aplicada ao setor de rochas ornamentais e, por conseguinte, as práticas das empresas do setor, especialmente no que se refere ao tratamento dos resíduos e efluentes líquidos, ainda carecem de melhorias para que a produção seja feita com sustentabilidade.

Em função da crise hídrica na região sudeste, este trabalho optou por analisar as alternativas de tratamento de efluentes líquidos no processo de produção de rochas ornamentais, no sentido de se minimizar os impactos ambientais da atividade e avaliar a possibilidade do reuso industrial da água nos processos de produção.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo geral descrever e analisar as vantagens e desvantagens dos métodos de tratamento dos efluentes líquidos do setor de rochas ornamentais. Esses efluentes, se dispostos de maneira incorreta, podem provocar impactos ambientais e seu descarte irregular em corpos hídricos pode provocar assoreamento e alterar a turbidez e a potabilidade de córregos, canais, rios, lagos e lagoas. De modo complementar, o trabalho pretende avaliar a utilização de uma centrífuga como alternativa para o tratamento dos efluentes líquidos.

## **2 METODOLOGIA DA PESQUISA**

A identificação dos métodos científicos é um dos procedimentos fundamentais para a pesquisa acadêmica, pois a metodologia descreve todos os materiais utilizados no trabalho, ações e equipes envolvidas para a elaboração da pesquisa (KAUARK, 2010).

Inicialmente, este trabalho, no que se refere aos níveis de pesquisa, pode ser considerado como exploratório e descritivo. Segundo GIL (2008), a pesquisa exploratória tem como propósito desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e idéias. Geralmente é empregada em assuntos pouco explorados, pois a mesma possui como base a análise bibliográfica e documental. Como os métodos de tratamento de efluentes líquidos do setor de rochas ornamentais não são objeto freqüente de publicações científicas e acadêmicas, foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica não apenas em bases científicas e acadêmicas, mas também uma pesquisa documental em *sites* e catálogos de fabricantes de equipamentos de tratamento de efluentes líquidos.

Ainda segundo o referido autor, as pesquisas descritivas têm como objetivo principal descrever, sem interferências, as características de um fato e registrá-lo. Esta pesquisa geralmente envolve técnicas padronizadas de coleta de dados e, quando a pesquisa descritiva remete a uma visão diferente do problema, ela se assemelha com a pesquisa exploratória. Assim, também se desenvolveu uma extensa pesquisa bibliográfica e documental visando-se descrever os métodos de tratamento de efluentes e identificar suas vantagens e desvantagens de sua utilização no setor de rochas ornamentais.

Assim, foi desenvolvida uma análise comparativa entre os diversos métodos existentes. O método comparativo, conforme GIL (2008) estuda as semelhanças e diferenças, permite a análise comparativa de dados concretos explicando fenômenos. Logo, pôde-se

comparar os métodos de tratamento mais eficientes no tratamento de efluentes líquidos e reuso de água. Esses métodos foram analisados de acordo com a legislação ambiental vigente.

Quanto aos procedimentos técnicos para a elaboração do trabalho, foi desenvolvida uma extensa pesquisa bibliográfica em artigos científicos, livros, teses e dissertações publicadas e foram utilizados recursos da internet como o Portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) que disponibiliza bases de dados como a *Web of Science* e *Scopus*. Também, desenvolveu-se uma pesquisa documental, que é similar a pesquisa bibliográfica, porém a mesma utiliza dados de fontes que não receberam um tratamento analítico, como catálogos, *sites* e legislação.

Finalmente, foi feito um levantamento de campo (*Survey*), que é um método que contribui para o conhecimento de uma área específica através de coleta de dados/informações sobre o objeto de investigação (MIGUEL, 2010). Foram realizadas visitas técnicas em empresas das cidades de Santo Antônio de Pádua - RJ e Cachoeiro de Itapemirim - ES, onde foram feitas entrevistas com profissionais do setor de rochas ornamentais, e onde foram desenvolvidas pesquisas observacionais que coletaram dados quantitativos e qualitativos acerca dos métodos de tratamento de efluentes líquidos utilizados pelas empresas.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

Nesta revisão bibliográfica serão abordados os processos de extração e beneficiamento de rochas ornamentais, os tipos de tratamento para os resíduos gerados na indústria, os impactos ambientais causados pela indústria mineral e os métodos de tratamento de efluentes e as possibilidades de reuso de água.

#### **3.1 A produção de rochas ornamentais e os impactos ambientais**

Nos processos de mineração, geralmente são produzidos dois tipos de produtos que podem ser chamados de econômicos e não-econômicos. O produto econômico é a matéria-prima processada e o produto não-econômico é o resíduo gerado durante o processo de extração que, em geral, possui um volume similar à matéria-prima processada. Portanto, a gestão desses resíduos é crucial para a mineração, uma vez que reduz os impactos ambientais gerados pelos rejeitos e o armazenamento do mesmo (ADIANSYAH, 2015).

O processo de produção de rochas ornamentais envolve duas etapas: a lavra e o beneficiamento (ROCHA e SOUSA, 2010). A lavra é o processo que tem por objetivo a extração dos minerais para o posterior beneficiamento. Para a escolha e planejamento do método da extração, são considerados alguns aspectos geológicos, sociais, geográficos e econômicos da região a ser explorada. Apesar das licenças exigidas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), as atividades de lavra geram impactos negativos que deterioram o meio ambiente e a saúde pública da região a ser explorada. A poluição visual promovida pela degradação da área de extração e de seus acessos, a poluição sonora causada pelos ruídos das máquinas, teares e explosivos e a poeira causada pela remoção dos blocos e chapas são os principais impactos observados. Mas também, com a criação de uma nova malha viária para o tráfego de caminhões, equipamentos e produtos, há um acréscimo de poluição veicular e sonora, com consequências na qualidade do ar e da água e com impactos diretos no deslocamento e extinção da flora e fauna local. (MAIOR, 2013)

O beneficiamento é uma etapa posterior à extração e corresponde ao tratamento final das rochas com a adequação dos cortes e medidas exigidos para o produto final. O beneficiamento se divide em primário e final. O beneficiamento primário é conhecido como serragem ou desdobramento e, neste processo, são realizados os cortes dos blocos para a obtenção das chapas. O principal equipamento utilizado neste processo são os teares. O

processo de beneficiamento final é a etapa do polimento das chapas realizados pelas marmorarias que utilizam como equipamento as politrizes (ROCHA e SOUSA, 2010). Em seguida, as chapas são cortadas e montadas de acordo com as especificações dos projetos dos clientes finais. Os problemas de poluição sonora e de produção de poeira se repetem nesta etapa do processo produtivo. No entanto, para a minimização da propagação do pó de pedra, os equipamentos desta etapa utilizam intensivamente a água para a mistura com o pó.

Desta forma, tanto no beneficiamento primário como no secundário, produz-se como resíduo uma mistura de água e de pó gerado pela rocha, mas também de granalha e de metal, chamado por alguns de “lama”, conforme apresentado na Figura 1. Esse resíduo, quando depositado inadequadamente nos rios e lagoas, altera o ciclo biológico dos ecossistemas e contamina o solo e o lençol de água subterrânea.

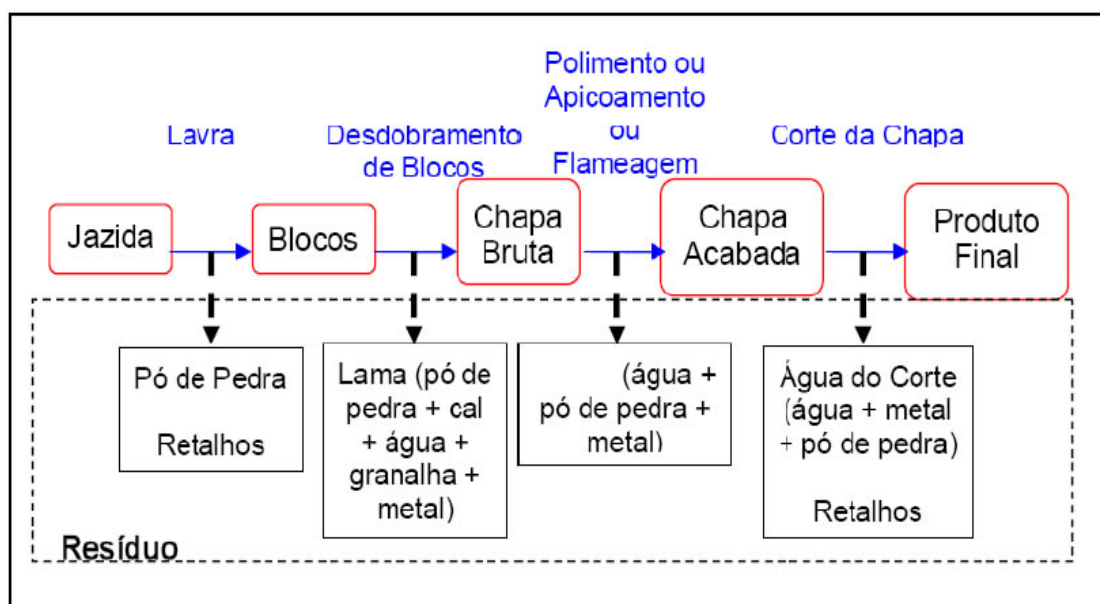


Figura 1: Esquema da produção do resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais.

Fonte: GOMES et al., 2004.

Como se não bastassem os diversos e graves impactos ambientais, a atividade apresenta-se como grande produtora de resíduos. Os resíduos gerados na lavra e beneficiamento representam cerca de 83% de toda a matéria prima obtida para o processo.

De acordo com o CETEM - Centro de Tecnologia Mineral (2014), para se produzir 330 m<sup>2</sup> de chapas, são extraídos, em média, 30 m<sup>3</sup> de rocha maciça. Dessa rocha, 20 m<sup>3</sup> (66,7% da matéria prima) ficam na pedreira na forma de resíduos. Estes resíduos são blocos fora de padrão, lascas de rochas e casqueiros que são estocados para utilização direta na produção de chapas ou ladrilhos de menor valor ou de peças estruturais ou decorativas. O volume restante da rocha, 10 m<sup>3</sup>, vai para a serraria para ser transformada em chapas. Nesse processo, perdem-se 1,5 m<sup>3</sup> de rocha nos casqueiros e aparas e 2,6 m<sup>3</sup> em finos do corte. Conclui-se que, dos 30 m<sup>3</sup> retirados da pedreira, apenas cerca de 6 m<sup>3</sup> são efetivamente transformados em chapas.

Em que pesem todos os problemas ambientais gerados pelas atividades de extração e produção de rochas ornamentais, o setor apresenta-se como muito importante pela sua capacidade de geração de emprego e renda para a população regional. Assim, alguns autores, como é o caso de Castro et al. (2011), acham que os impactos ambientais produzidos pela indústria de rochas são, muitas vezes, minimizados, ocultados e despercebidos.

No entanto, o que se observa nos últimos anos, por imposição até da própria legislação e da fiscalização, que vêm ficando mais rigorosas, é que estão sendo desenvolvidos e adotados diversos métodos pelo setor de rochas ornamentais no sentido de minimizar os impactos ambientais e de otimizar o uso de recursos, em especial da água, nas diversas etapas produtivas.

A escassez, cada vez maior, de água em função da crise hídrica tem estimulado o reuso nos processos industriais. No setor de rochas ornamentais, o reuso também deve ser estimulado, em função da grande quantidade de água utilizada nos processos de desdobramento dos blocos em chapas nos teares, no polimento das placas nas politrizes e nos cortes em geral.

### **3.2 A crise hídrica e o reuso da água nos processos industriais**

As questões ambientais têm se tornado cada vez mais críticas e frequentes, principalmente devido ao crescimento descontrolado da população e atividades industriais, que envolvem a utilização excessiva de água na produção e no consumo. Dada a realidade da escassez de água em muitas partes do mundo, o uso descontrolado de água tornou-se uma preocupação crescente, especialmente considerando que apenas 2,5% da água do mundo é água doce para consumo humano (ALI *et al.*, 2011).

O Brasil é um dos países com maior disponibilidade de água doce do mundo, mas os problemas de escassez de água recentemente não ocorreram apenas em regiões áridas e semi-áridas do país, mas também em áreas com altas concentrações de população e atividade industrial (SILVA *et al.*, 2016).

Atualmente, o reuso da água gerada nos processos industriais tem sido incentivada pelo governo pela redução dos custos e dos impactos ambientais gerados pela efluente líquido resultante da mineração e beneficiamento das rochas, a estimulação de práticas sustentáveis e melhoria dos processos é imprescindível à sustentabilidade do setor (GUNSON, 2012).

A redução dos índices pluviométricos ocasionou em algumas regiões do Brasil uma grande escassez hídrica desde 2012. Com essa alteração climática, a população e a indústria sofrem com a diminuição do abastecimento público. Porém, esta crise é consequência de algumas situações como, a exploração e devastação do solo e subsolo, uso inadequado dos recursos hídricos e poluição de rios, mares e fontes hídricas. A água é um recurso essencial para a qualidade de vida humana e a mesma é fundamental para a sobrevivência industrial.

Durante o século XX, com o crescimento industrial foram identificados alguns problemas de poluição das águas devido ao despejo industrial. Na década de 50 houve casos de degradação da qualidade da água devido o aumento de compostos orgânicos biodegradáveis gerados pela indústria. A partir dos 1970, grandes concentrações de metais pesados e compostos químicos sintéticos passaram a ser despejados nos rios e lagos indevidamente causando efeitos tóxicos ao homem (MIERZWA, 2002) e agravando o problema da disponibilidade de água, tanto para o uso das populações como das indústrias.

A partir dessa situação, o desenvolvimento de técnicas de reuso de água deve ser implantado pela indústria para a redução de consumo de água. A implantação do projeto de reuso de água depende da qualidade mínima da água para o processo ou operação. Para isto, é necessário a caracterização do efluente para estabelecer um sistema de tratamento adequado para produzir a água com a qualidade compatível com a operação. A utilização de efluentes como água de reuso industrial pode ser de duas maneiras: reuso em cascata (quando o efluente gerado em um processo industrial é utilizado em outro processo posterior sem tratamento, uma vez que o efluente gerado atende os requisitos de qualidade mínima de água) e reuso de efluentes tratados (consiste no tratamento do efluente gerado pela indústria para produzir a qualidade mínima de água). A reutilização do efluente produzido pela indústria oferece

vantagens como a redução de esgoto descartado e a preservação de água potável acrescentando à indústria boas práticas ambientais e agregando valor ambiental ao produto final (HESPANHOL, 2007).

Segundo Yang (2016), geralmente para o tratamento de água e efluentes líquidos, os floculantes tem sido eficazes pelas suas vantagens, pois são compatíveis com o meio ambiente, ampla disponibilidade, características estruturais e biodegradabilidade.

A seguir, apresenta-se as principais técnicas de tratamento de efluentes líquidos, com enfoque especial na lama industrial, um dos resíduos do processo produtivo de rochas ornamentais mais nocivos ao meio ambiente.

### **3.3 Técnicas de tratamento de Efluentes Líquidos**

A água é um recurso utilizado de forma intensiva nos processos industriais, em razão de diversas atividades desenvolvidas pelo ser humano, principalmente aquelas relacionadas à produção de bens de consumo a partir da transformação e do processamento de recursos naturais. Dentre suas diversas aplicações, Mierzwa e Hespanhol (2005) destacam que a água pode ser utilizada como matéria prima (indústria de bebidas, cosméticos e alimentos), fluido auxiliar (operações de lavagem na indústria química), geração de energia (usinas hidrelétricas e termoelétricas), fluido de aquecimento e/ou resfriamento (produção de petróleo, indústria química pesada, produção de vinhos e cervejaria) e transporte e assimilação de contaminantes (instalações sanitárias).

No âmbito de beneficiamento de rochas ornamentais, a água possui um papel importante no processo de corte de blocos e chapas, no resfriamento do disco de corte, que é realizado a úmido, bem como na contenção da produção de poeira sólida que se dissiparia no ar. Como resultado deste procedimento, a água, misturada ao pó de pedra, se transforma em resíduos finos e ultrafinos com aspecto de lama.

Segundo Campos *et al.* (2014), a lama proveniente dos teares convencionais é constituída por 67% de água, 30% de pó de pedra, 2% de gralha, 1% de resíduos de lâmina de aço e 1% de cal, em peso. Estima-se que sejam geradas 2,2 toneladas de lama por cada metro cúbico de rocha serrado. Para tratar esses efluentes gerados nas serrarias, utilizam-se técnicas de separação de sólido/líquido, resultando em material sólido seco e água que pode ser reusada no processo. Essas técnicas estão apresentadas a seguir.

### **3.4 Técnicas de desaguamento de finos**

O desaguamento consiste de uma separação sólido/líquido, ou seja, separação entre o material sólido fino e a água. Os processos de separação sólido/líquido devem atender, neste caso, a dois princípios básicos: a obtenção de um sólido desaguado (baixo teor de umidade) e a produção de um líquido clarificado (água). A grande vantagem desta separação é que a água pode ser reaproveitada na própria instalação, e os resíduos sólidos desaguados estão prontos para um estudo de um aproveitamento industrial ou serem estocados de maneira adequada (CAMPOS *et al.*, 2014).

Essa técnica é composta por três etapas: espessamento, filtragem e secagem.

#### **a. Espessamento**

O espessamento é uma operação de separação sólido/líquido e tem a função de sedimentar as partículas sólidas do efluente. De acordo com Campos *et al.* (2014), o espessamento é caracterizado como um processo de grande simplicidade operacional. A

operação de espessamento pode ser realizada em decantador vertical, tanques de decantação ou leitos de secagem, que serão descritos a seguir.

### - Decantador Vertical

Este tipo de decantador tem forma cilíndrico cônica, assemelhando-se a um grande ciclone e são relativamente altos. O decantador vertical pode receber o efluente gerado na serraria pela parte cilíndrica superior ou pela parte inferior, no fundo cônico. Com a sedimentação das partículas sólidas, indo para o fundo da parte cônica do equipamento, a água vai sendo clarificada e sai, por transbordo, em canaleta interna, no topo do decantador. Os sólidos sedimentados no fundo da parte cônica (*underflow*) são retirados periodicamente. E a água clarificada, que transborda (*overflow*), é conduzida a um reservatório de água, que retorna ao processo de beneficiamento. Pode-se chegar a 95% de reutilização da água com este sistema. Este processo é eficaz, porém requer um alto investimento e utiliza muito espaço para sua instalação (CAMPOS *et al.*, 2014).



Figura 2: Decantador vertical.

Fonte: Acervo próprio.

### - Tanques de Decantação

Os tanques de decantação funcionam como vasos comunicantes, onde o efluente passa de um tanque para outro por meio de orifícios localizados nas partes superiores das paredes internas que os separam. A passagem do efluente de um tanque para outro é feita de forma que aumente o percurso do efluente nesses tanques, para prolongar o tempo de sedimentação (CAMPOS *et al.*, 2014). Dessa forma, o efluente vai passando de um tanque para outro, sempre com menos porcentagem de sólidos, até que no último compartimento a água já esteja bastante clarificada, e pronta para ser reutilizada nas serrarias. O material sólido sedimentado no fundo dos tanques é retirado periodicamente e posto para secar. Geralmente, faz-se uso de floclulantes que auxiliam o processo de sedimentação.





*Figura 3: Tanques de decantação.  
Fonte: Acervo próprio.*

### **-Leitos de Secagem**

Os leitos de secagem são tanques de formato retangular, com fundos inclinados, para facilitar o escoamento da água. Eles são construídos dentro de valas cavadas no próprio terreno da serraria. Ao longo do comprimento desses tanques, na linha central e no fundo dos mesmos, são construídas várias torres cilíndricas filtrantes, constituídas com tubo de PVC perfurado, envolvido com um meio filtrante. A água contida na lama atravessa o meio filtrante e cai dentro do tubo de PVC, localizado no interior da mesma. Outra tubulação que passa pelas bases dessas torres recebe a água coletada pelas mesmas, e a conduz a uma caixa d'água. A partir desse estágio, a água é bombeada para reuso na serraria. O material sólido desaguado que permanece nos leitos (tanques) é retirado, quando termina o ciclo de desaguamento. Em seguida este material é posto para secar (CAMPOS *et al.*, 2014). Este sistema foi idealizado e desenvolvido pelo Sr. Antônio Carlos Carvalho, proprietário da empresa Carvalho Mármore e Granitos, localizada em Cachoeiro de Itapemirim – ES, e substituiu os estágios de espessamento e filtração.



*Figura 4: Leitos de secagem.  
Fonte: CETEM/MCTI, 2009.*

## b) Filtragem

Campos *et al.* (2014) definem filtragem como a operação de separação sólido-líquido, em que o líquido (filtrado) se separa dos sólidos pela passagem do mesmo através de um meio filtrante poroso.

A filtragem industrial é realizada por equipamentos denominados filtros. Entre os vários tipos de filtros industriais existentes, podem ser destacados os filtros tipo prensa, os filtros a vácuo, de tambor e de discos, filtro de correia, filtro plano. Dentre esses, o mais utilizado na filtragem de resíduos de rochas ornamentais é o filtro prensa.

O filtro prensa é o modelo mais simples dos filtros de pressão e de grande utilização industrial. Esse tipo de filtro funciona por batelada. O material sólido, obtido na etapa de espessamento é conduzido ao filtro prensa para retirar a água que ainda está contida no resíduo. O filtro consiste de um conjunto alternado de quadros ociosos, no qual o material sólido (torta) é retido e adensado durante a operação de filtragem, e placas maciças que possuem superfícies com furos, que permitem a drenagem do filtrado. O meio filtrante geralmente um tecido (lona), recobre ambas as faces das placas. O conjunto de placas e quadros apoiam-se, verticalmente, sobre um par de suportes paralelos, fixos na estrutura do filtro (CAMPOS *et al.*, 2014).

Para dar início à operação de filtragem, as placas e quadros são comprimidos até o ponto de se evitar vazamento entre eles. O material sólido retido pelo meio filtrante é chamado de torta, e o líquido que atravessa o meio filtrante é chamado filtrado. A forma mais comum de descarga do filtrado é a drenagem do mesmo pelas placas, e sua saída por meio de torneiras individuais localizadas em cada placa, que descarregam o filtrado em uma canaleta que se localiza ao lado do equipamento. A descarga da torta é feita abrindo o filtro, ou seja, separando as placas e quadros. A torta cai por gravidade, às vezes necessitando de uma raspagem final do meio filtrante (tecido), por meio de espátulas. A entrada da polpa no filtro é feita por pressão, por meio de bombas ou pressão hidrostática (altura), pelo eixo central do equipamento.



Figura 5: Filtro Prensa.

Fonte: Acervo próprio.

### c) Secagem

O último estágio de desaguamento é a secagem. Esta pode ser definida como operação de remoção de água por vaporização. Ela é utilizada para retirada de água ainda presente nos sólidos, após as etapas de espessamento e filtragem.

De acordo com Campos *et al.* (2014), as técnicas de secagem de resíduos sólidos de rochas ornamentais estão sendo realizadas ao ar livre, em pilhas, ou em pátios construídos ao ar livre. Estes, normalmente, possuem uma ligeira inclinação, canais de drenagem da água construídos na parte mais baixa do pátio e poços de recebimento da água drenada.



*Figura 6: Secagem.  
Fonte: Acervo próprio.*

### 3.5 A utilização de centrífugas como alternativa de tratamento de resíduos no setor de rochas ornamentais

Segundo Anlauf (2007), as centrífugas representam uma das principais técnicas para separar as partículas de líquidos. E, de acordo com Lima (2007), centrífugas são equipamentos utilizados para separação de mistura líquidas com remoção simultânea de sólidos, clarificação de líquidos, concentração ou desidratação de sólidos. Seu princípio de funcionamento é baseado na densidade das fases em um campo centrífugo localizado em um rotor ou tambor, que eleva a força da gravidade de acordo com a velocidade de rotação e com o diâmetro do rotor.

A centrifugação é um método de separação utilizado em diversos setores industriais, dentre os quais Lima (2007) cita as destilarias (álcool anidro, hidratado e neutro), fecularias (amidos derivados de batata, milho, mandioca, etc), óleos minerais (óleo combustível e lubrificante de motores a diesel, processamento de petróleo, óleo lubrificante e hidráulico), óleos vegetais, gorduras animais, gelatina, caldos de cozimento, farinha e óleo de peixe, laticínios (desnatamento, clarificação, padronização, produtos derivados do leite), bebidas (concentrados cítricos, café, chá, extrato de lúpulo, cerveja, champagne, vinho), química

(álcool graxo, látex, corantes naturais, substâncias perfumadas e aromáticas), tratamento de efluentes industriais (efluentes urbanos, efluentes em fábrica de papel, de indústria química, água de lavagem de legumes, lodo excedente da indústria de alimentos) e farmacologia (medicamentos de plantas, antibióticos, sangue humano, insulina, vacinas, morfina).

Até o presente momento, não foi encontrado na literatura pesquisada e nas visitas técnicas realizadas o uso de centrífugas para o tratamento da lama produzida nas serrarias de rochas ornamentais. Sua utilização no setor, em se confirmando sua viabilidade técnica e econômica, pode se caracterizar como uma inovação para o processo de tratamento de resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais.

As centrífugas industriais podem ser classificadas em centrífugas filtrantes e centrífugas sedimentadoras. As centrífugas filtrantes possuem uma cesta que gira em alta velocidade em torno de um eixo vertical ou horizontal e cuja parede é feita de tela ou placa perfurada. O filtrado, no caso a água, atravessa a tela e os sólidos ficam presos ao meio filtrante. Seu principal objetivo é separar sólidos insolúveis em líquido. As centrífugas sedimentadoras, por sua vez, têm o propósito de clarificação de líquidos. Estas possuem um tambor vertical, horizontal ou inclinado que gira em alta rotação em torno de um eixo e as partículas são dirigidas para o perímetro da centrífuga (LIMA, 2007). A Figura 7, a seguir destaca os diferentes tipos de centrífugas.

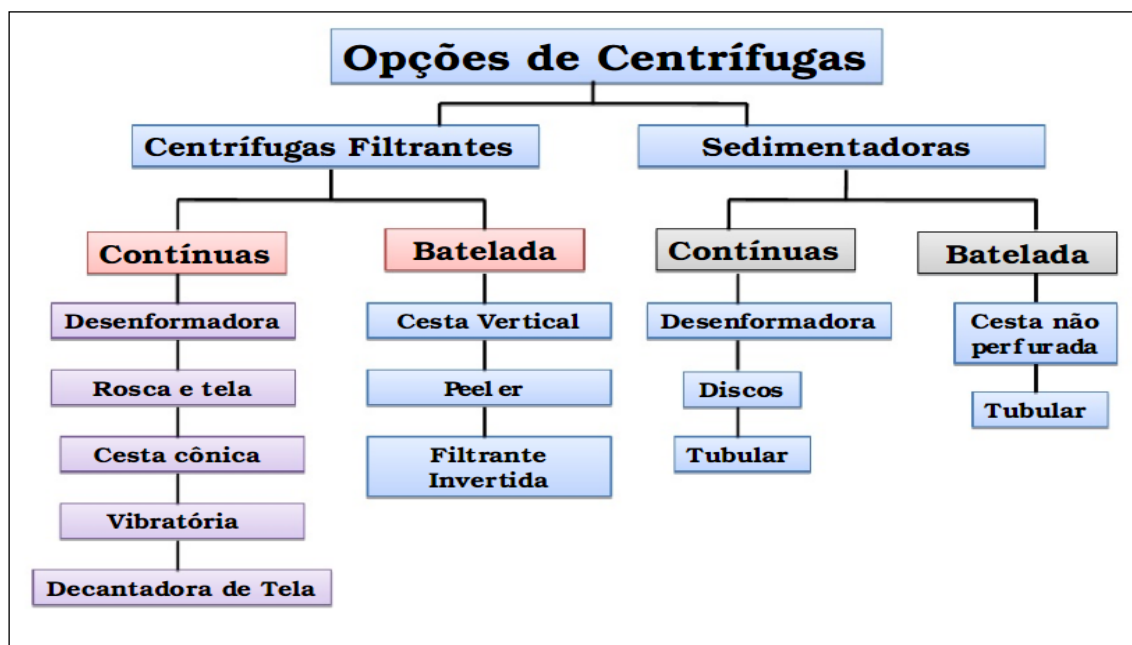


Figura 7: Tipos de Centrífuga.  
Fonte: LIMA, 2007.

Existem disponíveis várias centrífugas para sedimentação e filtração, que estão operando de forma contínua ou descontínua (ANLAUF, 2007), sendo algumas para propósitos muito específicos, como as de separação de isótopos. As centrífugas variam em sua construção, tamanho e velocidade de operação, e o uso de cada uma depende da quantidade e dos tipos de substâncias a serem separadas (QUÍMICA NOVA, 2014). A seguir, apresentam-se as principais centrífugas contínuas disponíveis no mercado juntamente de suas configurações e aplicações. As centrífugas por batelada não serão abordadas por não se aplicarem ao processo dos efluentes da produção de rochas ornamentais.

### a) Centrífuga *Pusher* ou Desenformadora

Esta centrífuga pertence à categoria filtrante e opera de forma contínua. Em termos de aplicação, a centrífuga *pusher* opera nos processos de mineração não metálica, química orgânica e inorgânica, indústria salinera e petroquímica. A melhor eficiência das centrífugas *pusher* é obtida com partículas grandes, que variam de 0,1 a 10 mm. No processo de sólidos fibrosos, podem ser de até 30 mm de comprimento. O conteúdo de sólidos cristalinos a serem separados é de 30 a 75% em peso e para fibras de 3 a 12% (MAUSA, 2016).

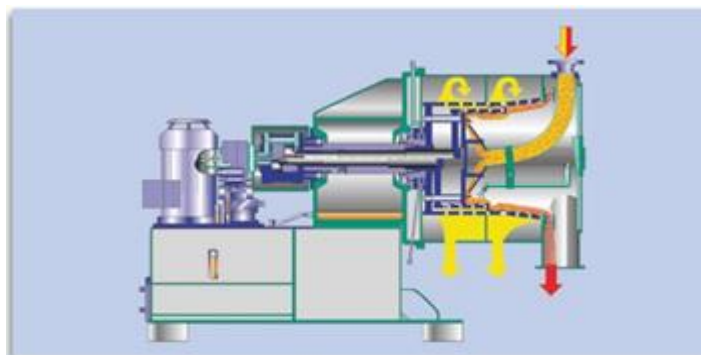


Figura 8: Centrífuga *Pusher*.  
Fonte: MAUSA, 2016.

### b) Centrífuga Parafuso com tela perfurada (Rosca e Tela)

A centrífuga de parafuso com tela consiste em um transportador de rosca sem fim, que revolve a suspensão a uma velocidade direcional ótima dentro de uma cesta cônica giratória. A separação de sólidos do líquido é alcançada pela ação da força centrífuga, enquanto a descarga acontece devido à inclinação da cesta e a velocidade diferencial do rolo. No ponto de separação, os sólidos são carregados para adiante pelo rolo até descarregar pela extremidade da cesta filtrante, com o filtrado passando diretamente através da tela. Suas principais características envolvem alta capacidade de produção, alta taxa de desidratação, excelente capacidade de lavagem e alta eficiência de separação. Ela é utilizada para separação sólido/líquido, onde os materiais alimentados têm partícula de diâmetro grande, de aproximadamente 50 micrômetros ou maiores, e é geralmente aplicada em indústrias de alimentos, química, metalúrgica e farmacêutica (SAIDELI, 2016).

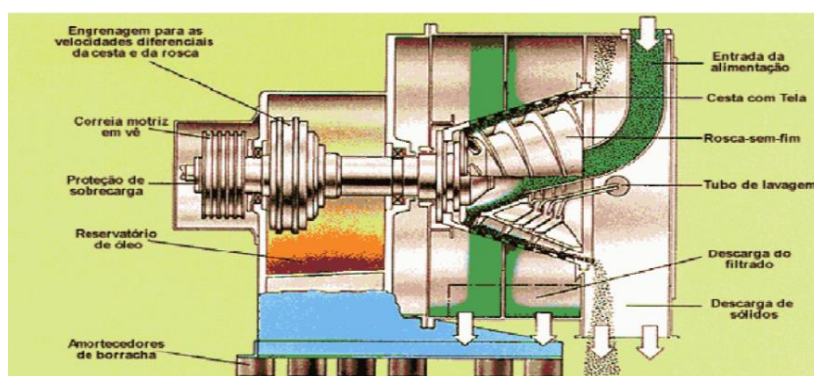


Figura 9: Centrífuga Parafuso.  
Fonte: SAIDELI, 2016.

### c) Centrífuga Vibratória

A centrífuga vibratória se enquadra nas centrífugas filtrantes de processo contínuo. Nesta centrífuga, os sólidos são retidos por uma peneira e transportados por vibração axial maior que a velocidade rotacional do rotor. Ela pode processar até 350 toneladas/hora e é altamente satisfatória para tratar produtos de altas taxas de processamento que são facilmente enxugados até o teor de umidade exigido. Devido ao fato dessa centrífuga trabalhar com vibração, sua força centrífuga chega a até 120G. Por isso, ela é ideal para sólidos grandes, de fácil decantação. Seu uso é satisfatório em diversos processos industriais, tais como produção de carvão, sal e cimento (TEMA, 2016).

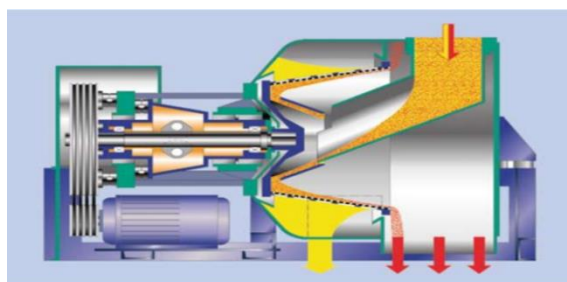


Figura 10: Centrífuga Vibratória.  
Fonte: TEMA, 2016.

### d) Centrífuga de Disco

A centrífuga de disco promove a separação de líquidos de densidades diferentes, podendo também fazer remoção de sólidos em suspensão. Este tipo de centrífuga pertence ao grupo das sedimentadoras de processo contínuo e é composta por um rotor que atinge altíssimas rotações. O rotor é composto por vários discos cônicos, que proporcionam uma área superficial adicional de sedimentação, acelerando o processo de separação. O *design* dos discos é um dos segredos do funcionamento desta centrífuga, pois conforme o disco utilizado, ela realiza operações de clarificação, purificação ou concentração. Geralmente é encontrada em indústria de bebidas, química, de biocombustíveis e de óleos minerais (FLOTTWEG, 2016).

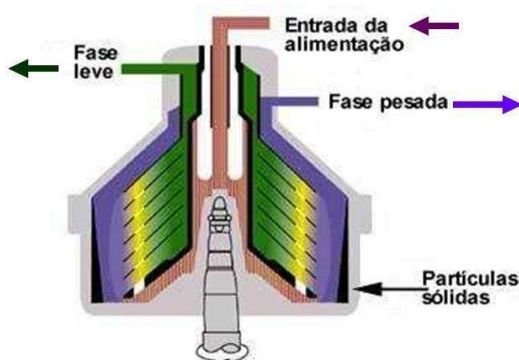


Figura 11: Centrífuga de Disco.  
Fonte: FLOTTWEG, 2016.

### e) Centrífuga Tubular

A centrífuga tubular consiste em um tubo sólido que é alimentado com dois líquidos de densidades diferentes, pela parte inferior do tubo. A fase mais pesada se concentra contra a parede do cilindro, enquanto a fase mais leve flutua sobre ela. As duas fases são separadas por meio de um defletor que as descarrega em dois fluxos distintos. A quantidade de sólidos na mistura limita o uso desta centrífuga, assim como a formação de bolhas que também dificulta a centrifugação. Dentre diversas aplicações da centrífuga tubular, pode-se citar separação de gorduras, refino de óleos vegetais, processamento de biodiesel, purificação de óleos minerais e animais, separação de plasma sanguíneo, recuperação de vírus, purificação de tintas e vernizes e clarificação de vacinas (CHIBRACENTER, 2016).

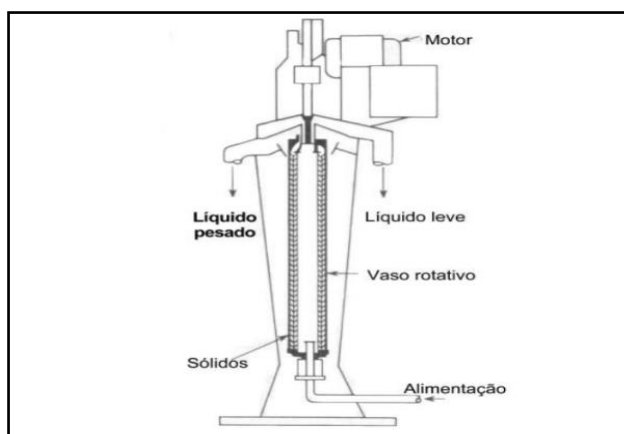


Figura 12: Centrífuga Tubular.  
Fonte: CHIBRACENTER, 2016.

### f) Centrífuga Decantadora

As centrífugas decantadoras são usadas para separação de sólidos em suspensão de líquidos, clarificação de líquidos e classificação de pigmentos finos. Esta pertence ao grupo de centrífugas sedimentadoras e sua operação acontece de forma contínua. Este tipo de centrífuga é satisfatório quando trabalha com grão de 5 a 10.000 micrômetros, e é apropriado para receber produtos abrasivos. É comumente aplicada na desidratação e espessamento de lodos provenientes de efluentes municipais e industriais, produção de plásticos e desumidificação de polímeros de suspensão (PVC, HDPE), recuperação e processamento de produtos de origem animal e vegetal (óleos e gorduras comestíveis, amidos, proteínas), clarificação de bebidas (vinho, cerveja, frutas e sucos vegetais), tarefas de separação em mineração e processamento de minerais e clarificação de subprodutos e desidratação para biocombustíveis (FLOTTWEG, 2016).

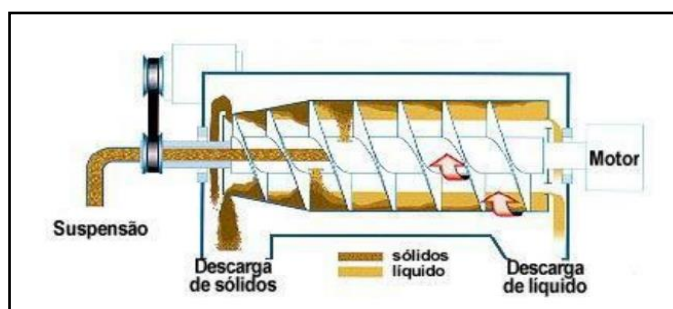


Figura 13: Centrífuga Decantadora.  
Fonte: FLOTTWEG, 2016.

De acordo com as aplicações e limitações dos diferentes tipos de centrífugas vistos anteriormente, a que se enquadra no tratamento de efluentes industriais do setor de rochas ornamentais é a centrífuga decantadora. Portanto, o projeto será voltado ao desenvolvimento deste tipo de centrífuga e posteriormente implementado nas serrarias localizadas em Cachoeiro de Itapemirim e Santo Antônio de Pádua.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Tabelas a seguir mostram os métodos de tratamento de efluentes utilizados nas serrarias atualmente e suas respectivas vantagens e desvantagens para cada processo. A Tabela 2 mostra os tipos de centrífugas existentes, as vantagens e desvantagens perante o tratamento de água e efluentes líquidos.

Tabela 2: Tipologia das centrífugas.

TIPOS DE CENTRÍFUGA	PUSHER	PARAFUSO	VIBRATÓRIA	DISCO	TUBULAR	DECANTADORA
VANTAGENS	- Processo contínuo;	- Alta capacidade de produção; - Taxa de desidratação alta; - Eficiente separação sólido-líquidos;	- Alta taxa de produtividade; - Desidratação rápida;	- Remoção de sólidos suspensos;	- Altos valores de força centrífuga;	- Opera com líquidos de densidades diferentes; - Processo contínuo;
DESVANTAGENS	- Limitação do tamanho das partículas sólidas;	- Limitação do tamanho das partículas sólidas;	- Limitação do tamanho das partículas sólidas;	- Processo descontinuo;	- Limitação da quantidade de sólidos suspensos;	- Limitação na quantidade de sólidos;

Fonte: Autoria Própria.

De acordo com as informações coletadas e as características das centrífugas analisadas, o tipo que mais se adéqua ao tratamento de efluentes do setor de rochas ornamentais é a centrífuga decantadora, pois a mesma possui a função de separar os sólidos suspensos controlando a porcentagem de umidade da parte sólida e possibilita o reuso de água, reduz a turbidez da água clarificando-a, opera continuamente e tem grande capacidade de processamento mesmo tendo a restrição de concentração de sólidos. Apesar do investimento inicial para a implantação da centrífuga, a mesma ocupa uma pequena área e seu funcionamento é totalmente automático e não necessita de compactação do lodo.

A seguir, a Tabela 3 compara a eficiência dos métodos tradicionais de tratamentos de efluentes convencionais e a centrífuga decantadora.

Tabela 3: Tratamentos de Efluentes.

MÉTODOS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS	TANQUE DE DECANTAÇÃO	DECANTADOR VERTICAL COM FILTRO PREENSA	LEITOS DE SECAGEM	CENTRÍFUGA DECANTADORA
VANTAGENS	- Processo eficiente; - Fácil operação; - Pouca manutenção;	- Remoção da turbidez; - Ocupação de área reduzida; - Lodo com umidade adequada para ser disposto em aterros ou incineração;	- Separação sólido-líquido eficiente; - Baixo custo de investimento inicial;	- Opera com líquidos de densidades diferentes; - Processo contínuo; - Dispensa o uso de floculantes; - Pequena área de instalação; - Mobilidade;
DESVANTAGENS	- Processo de clarificação lento; - Alto custo de investimento inicial; - Uso de floculantes;	- Alto custo de investimento inicial; - Uso de floculantes;	- Processo lento de clarificação; - Requer grandes áreas para o processo;	- Limitação na quantidade de sólidos; - Investimento Inicial;

Fonte: Autoria Própria.



Os tratamentos por Tanque de Decantação e Decantador Vertical com Filtro Prensa, mencionados acima, fazem uso de flocculantes. Embora os flocculantes sejam biodegradáveis e não provoquem danos à saúde, o emprego do flocculante para o tratamento de água/resíduos necessita de agitação mecânica para o aumento da dispersão do produto e para o controle de dosagem, o que demanda mão-de-obra especializada, aumentando os custos do processo. Os Leitões de Secagem não requerem flocculantes, mas o processo é lento, em função da demora da decantação do material sólido.

Esses métodos de tratamentos de efluentes, mesmo sendo eficientes no tratamento do resíduo, necessitam da utilização de grandes áreas da unidade produtiva para o processamento da lama e exigem a construção de infraestruturas caras. O Decantador Vertical com Filtro Prensa, além desse investimento, exige outro investimento em equipamentos de alto custo, como o decantador vertical e o filtro prensa.

Além disso, nesses métodos de tratamento de efluentes, o tempo de processo é longo, uma vez que o processo de decantação é lento.

De acordo com a pesquisa realizada, as centrífugas, mesmo que ainda não se tenha encontrado registro sua utilização como alternativa de tratamento dos efluentes líquidos no setor de rochas ornamentais, apresenta diversas vantagens que podem viabilizar sua utilização no processo, tais como: processo rápido e eficiente, dispensa o uso de flocculantes reduzindo custos, favorece o reuso da água nos processos industriais, reduz o custo de mão-de-obra no processo e requer menor espaço da unidade industrial para o beneficiamento da lama.

## 5. CONCLUSÕES

O reuso de água deve ser incentivado e adotado pelas empresas como instrumento para o desenvolvimento sustentável, pois devido à crise hídrica e à dificuldade de controlar a quantidade de resíduos que são gerados diariamente pelas indústrias, a reutilização de água é uma forma eficiente para combater a escassez de recursos hídricos.

A indústria de mineração tem proporcionado ao Brasil um crescimento econômico perceptível, pois o país está entre os quatro maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais do mundo. Porém, a atividade mineradora é extremamente nociva ao meio ambiente e à saúde pública, e faz uso exacerbado de água nos processos de extração e transformação dos blocos. Então, com a finalidade de regulamentar a utilização da água neste setor, foi aprovada a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011 que é uma legislação federal que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água.

Algumas empresas fazem o descarte de seus efluentes líquidos nos afluentes. No estado do Rio de Janeiro, a Deliberação CECA (Comissão Estadual de Controle Ambiental) Nº 1.007, de 04 de Dezembro de 1986 aprovou a Norma Técnica (NT) 202 que estabelece alguns critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos de modo que o mesmo não altere as características do receptor. E no estado do Espírito Santo, a Lei nº 4.636, 13 de abril de 1992 determina que as indústrias de beneficiamento de mármore e granito fiquem obrigadas a construir e utilizarem tanques de decantação para reutilização da água.

Apesar da legislação vigente e da implantação dos tanques de decantação, os proprietários de serrarias e beneficiamento não fazem uso adequado dos tanques de forma adequada, pois o mesmo precisa de inspeção e manutenção, assim como o controle da dosagem ideal de flocculantes para o tratamento de efluentes.

Portanto, o uso das centrífugas pode tornar-se uma proposta viável e ambientalmente correta, dado que as indústrias do setor de rochas ornamentais não fazem o tratamento correto

e o reuso contínuo desses efluentes por causa da baixa qualidade da água processada nos métodos convencionais de tratamento de efluentes, sem controle e acompanhamento. Logo, a utilização da centrífuga pode proporcionar ao setor de rochas ornamentais uma inovação de processo que promova de forma mais eficiente a remoção dos sólidos em suspensão e a clarificação da água.

Como sequência deste trabalho, pretende-se fazer a construção de um protótipo de uma centrífuga decantadora, para que se possa fazer a realização de ensaios laboratoriais com a água tratada pelo novo equipamento, com a finalidade de confrontar os resultados obtidos com os padrões legais admitidos pela legislação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS, Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Panorama Mundial do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2013, 2014. Disponível em: <[http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/3342/Informe\\_13\\_2014.pdf](http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/3342/Informe_13_2014.pdf)>. Acesso em 12/2015.

ABIROCHAS, Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Coverings 2015: um marco para o Convênio Apex-Brasil/ABIROCHAS, 2015. Disponível em: <[http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/3539/Abirochas\\_Noticia\\_2.pdf](http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/3539/Abirochas_Noticia_2.pdf)>. Acesso em 12/2015.

ADIANSYAH, Joni Safaat *et al.* A framework for a sustainable approach to mine tailings management: disposal strategies. *Journal of Cleaner Production*, v. 108, p. 1050-1062, 2015.

ALI, Muhammad Tauha *et al.* A comprehensive techno-economical review of indirect solar desalination. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 15, n. 8, p.4187-4199, out. 2011. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.012>>. Acesso em 12/2015.

ANLAUF, Harald. Recent developments in centrifuge technology. *Separation And Purification Technology*, [s.l.], v. 58, n. 2, p.242-246, dez. 2007. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2007.05.012>>. Acesso em 12/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: Rochas e solos – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

BERNARDES, J. A. Investigação sobre a Resistência ao Cisalhamento de um Solo Residual de Gnaisse. 2003. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

CAMPOS, Antonio Rodrigues de *et al.* TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: PESQUISA, LAVRA E BENEFICIAMENTO. Rio de Janeiro: Cetem/mcti, 2014. 700 f. Disponível em: <[http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1738/CCL00070014\\_CAPITULO\\_09\\_opt.pdf?sequence=1](http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1738/CCL00070014_CAPITULO_09_opt.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 13 jun. 2016.

CASTRO, N. F.; MARCÓN, D. B.; CATTABRIGA, L.; LIMA, E. F.; ALMEIDA, P.F. Impacto do APL de Rochas Ornamentais do Espírito Santo nas comunidades. In: Francisco Rego Chaves Fernandes; Maria Amélia Rodrigues da Silva Enríquez; Renata de Carvalho Jimenez Alamino. (Org.). Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais. 1 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011, v. II, p. 139-176.

CHIBRACENTER (São Paulo). Super Centrífuga de Rotor Tubular. Disponível em: <<http://www.chibracenter.com.br/pt/produtos/189/super-centrifuga-de-rotor-tubular>>. Acesso em: 07 jun. 2016.

- EXIMEA. Projetos e Comércio de Máquinas e Equipamentos. Disponível em: <[www.eximea.com.br](http://www.eximea.com.br)>. Acesso em: 07/2016.
- FLOTTWEG (Alemanha). CENTRÍFUGAS, PRENSAS DE BANDA E SISTEMAS FLOTTWEG: para a Eficiente Separação Sólido-Líquido. Disponível em: <[https://www.flottweg.com/fileadmin/user\\_upload/data/pdf-downloads/Zentrifugen\\_\\_Banpressen\\_\\_Systeme\\_PTB.pdf](https://www.flottweg.com/fileadmin/user_upload/data/pdf-downloads/Zentrifugen__Banpressen__Systeme_PTB.pdf)>. Acesso em: 27 jun. 2016.
- FLOTTWEG (Alemanha). THE FLOTTWEG DISK STACK CENTRIFUGE. Disponível em: <[https://www.flottweg.com/fileadmin/user\\_upload/data/pdf-downloads/Separator-EN.pdf](https://www.flottweg.com/fileadmin/user_upload/data/pdf-downloads/Separator-EN.pdf)>. Acesso em: 27 jun. 2016.
- GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. - São Paulo : Atlas, 2008.
- GOMES, Paulo César Correia; LAMEIRAS, Rodrigo de Melo; ROCHA, Sergio Renato Ávila Glasherster da. Obtenção de materiais à base de cimento com resíduo do estado de Alagoas: um caminho para o desenvolvimento sustentável da construção. Relatório Final - FAPEAL. Alagoas. 2004.
- GUNSON, A. J. *et al.* Reducing mine water requirements. *Journal of Cleaner Production*, v. 21, n. 1, p. 71-82, 2012.
- HESPANHOL, I.; MIERZWA, José Carlos ; RODRIGUES, Luana Di Beo; SILVA, Mauricio Costa Cabral da. Manual de Conservação e Reúso de Água na Indústria. Rio de Janeiro: Federação das Indústrias do Rio de Janeiro - FIRJAN/SEBRAE, 2007 (Manual).
- KAUARK, Fabiana. Metodologia da pesquisa: guia prático. Via Litterarum, 2010.
- LIMA, Eduardo Queiroz Barbosa. Centrifugação: Estudo da arte e Aplicações de centrífugas na Indústria. 2007. 44 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.
- MAIOR, G. R. S. Panorama da mineração de rochas ornamentais no Estado do Espírito Santo com ênfase na lavra por bancadas ultra-altas, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Pernambuco, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros.
- MAUSA (Piracicaba). Centrífuga Pusher. Disponível em: <[http://www.mausa.com.br/downloads/ficha\\_tecnica/Centrifuga\\_Pusher.pdf](http://www.mausa.com.br/downloads/ficha_tecnica/Centrifuga_Pusher.pdf)>. Acesso em: 27 jun. 2016.
- MELLO, I. S. C. *et al.* Atlas de rochas ornamentais da Amazônia Brasileira. São Paulo: CPRM, 2011. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/atlas\\_rochas\\_ornamentais\\_AM.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/atlas_rochas_ornamentais_AM.pdf)>. Acesso em 12/2015.
- MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. Água na indústria: uso racional e reúso. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo . O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria - Estudo de caso da KODAK Brasileira. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PHD, v. III, p. BT/PHD/104, 2002.
- MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 2010. v. 1. 226p .
- MME, Ministério de Minas e Energia. Bases para o ordenamento e desenvolvimento sustentável da mineração de rochas ornamentais no noroeste do Espírito Santo, 2013.
- MTE, Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em < <http://www.mtps.gov.br/>>. Acesso em 04/16.

Norma Brasileira – ABNT NBR 6502; 1995. Disponível em: <<https://intranet.ifs.ifsuldeminas.edu.br/~eder.clementino/GEST%C3%83O%20AMBIENTAL/LEGISLA%C3%87%C3%83O%20AMBIENTAL/NORMAS%20BRASILEIRAS%20REGULAMENTADORAS/NBR/NBR%2006502%20-%201995%20-%20Rochas%20e%20Solos.pdf>>. Acesso em 11/2015.

QUÍMICA NOVA: SEPARAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO: CENTRÍFUGAS E PAPÉIS DE FILTRO. Rio de Janeiro: Química Nova, v. 38, n. 5, 06 out. 2014. Semanal. Disponível em: <<http://www.quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/v38n5a20.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2016.

ROCHA, C. H. B.; SOUSA, J. G. Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação Cachoeiro de Itapemirim – ES, 2010.

SAIDELI (China). Screen Scroll Centrifuge. Disponível em: <<http://www.sdlcentrifuge.com/1-5-screen-scroll-centrifuge/192775>>. Acesso em: 27 jun. 2016.

SILVA, Larissa F. da *et al.* Treatment of paint manufacturing wastewater by coagulation/electrochemical methods: Proposals for disposal and/or reuse of treated water. Water Research, [s.l.], v. 101, p.467-475, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.05.006>.

TEMA (Madrid). Centrífugas: para procesos químicos y minerales. Disponível em: <<http://temamaquinaria.es/brochures/Siebtechnik/Centrifugas Espanol.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2016.

YANG, Ran *et al.* A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment. Water research, v. 95, p. 59-89, 2016.

## ARTIGO CIENTÍFICO<sup>2</sup>

# ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE USINA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO DE CONSTRUÇÃO

### RESUMO

A indústria de construção civil encontra-se em ascensão, principalmente por está ligada à qualidade de vida e o bem-estar social. Com isto, esta indústria se tornou um dos maiores geradores de resíduos, por isso, a legislação responsabiliza os geradores pela destinação final desses resíduos. Porém, a maioria dos geradores dispõe os resíduos de maneira ilegal em áreas impróprias conhecidas como “bota-foras”, encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei. Os resíduos de construção civil dispostos irregularmente são gerados em sua maioria pela população de baixa renda, onde os resíduos são provenientes de reformas, pequenas obras, demolição e construções ilegais, informais e isentas de licenciamento ambiental. Baseado nesses fatos, a resolução CONAMA nº 307/2002 atribui aos Municípios e Distrito Federal o dever da implementação de um plano de gerenciamento de resíduos da construção civil. Diante disto, este artigo apresenta um estudo de viabilidade técnica e econômica baseada na usina de reciclagem de resíduos de construção civil instalada e implantada desde 2016 no município de Campos dos Goytacazes que no momento encontra-se desativado pela falta de licenciamentos ambientais. Esta pesquisa também descreve o sistema atual de coleta de resíduos de construção civil e o funcionamento da usina de reciclagem. Tendo como objetivo geral a avaliação da viabilidade técnica e econômica e, como objetivos específicos são a estimativa da quantidade de geração de resíduos no município, a estimativa da quantidade de subprodutos e a identificação do aproveitamento dos subprodutos em outros produtos. Ao final, conclui-se que o projeto se mostra viável diante do comportamento do setor de construção civil e o capital investido no empreendimento terá um retorno financeiro dentro de 1,7 ano, ou aproximadamente um ano e oito meses, podendo gerar desenvolvimento urbano e sustentável para o município, além da geração de empregos para a população.

**Palavras-chave:** Resíduos de construção e demolição. Usina de reciclagem. Reciclagem.

## **STUDY OF TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF CONSTRUCTION DEMOLITION WASTE RECYCLING MILL**

### ***ABSTRACT***

The civil construction industry is on the rise, mainly because it is linked to quality of life and social well-being. With this, this industry has become one of the largest waste generators, therefore, the legislation makes generators responsible for the final destination of this waste. However, most generators dispose of the waste illegally in improper areas known as "boot-outs", slopes, water bodies, vacant lots and in areas protected by law. Irregularly disposed construction waste is generated in its majority of the low-income population, where the waste comes from reforms, small works, demolition and illegal constructions, informal and exempt from environmental licensing. Based on these facts, the CONAMA Resolution n°. 307/2002 assigns to the Municipalities and Federal District the duty of implementing a waste management plan for the construction industry. Therefore, this article presents a technical and economic feasibility study based on the waste recycling plant for civil construction installed and installed since 2016 in the municipality of Campos dos Goytacazes, which is currently inoperative due to the lack of environmental licensing. This research also describes the current system of collection of construction waste and the operation of the recycling plant. With the general objective of evaluating the technical and economic feasibility, and as specific objectives are the estimation of the amount of waste generation in the municipality, the estimate of the quantity of by-products and the identification of the use of the by-products in other products. At the end, it is concluded that the project proves feasible in the face of the behavior of the civil construction sector and the capital invested in the project will have a financial return within 1.7 years, or approximately one year and eight months, and may generate urban and sustainable development for the municipality, as well as generating jobs for the population.

**Keywords:** Construction and demolition waste. Recycling plant. Recycling.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um setor crescente e produtivo na economia brasileira. Em 2015, a indústria da construção civil representou 6,4% do PIB (Produto Interno Bruto) nacional, 28,3% do PIB industrial, 55,5% do investimento nacional e recuou 7,6% do PIB da construção (CBIC, 2016). O Gráfico 1 mostra a variação do PIB do Brasil e da Construção Civil entre 2004 a 2016.

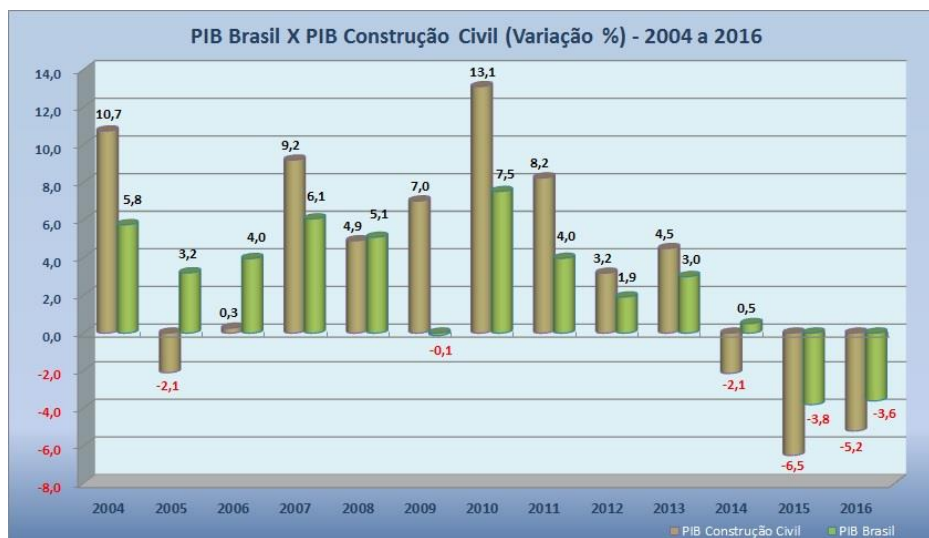


Gráfico 1: PIB Brasil x PIB Construção Civil  
Fonte: CBIC, 2016.

Com o crescimento populacional e o desejo exorbitante por ambientes construídos de qualidade aumentam os problemas ambientais gerados pelo setor de construção civil. A indústria da construção civil consome entre 20 a 50% dos recursos naturais extraídos para a produção e manutenção dos ambientes construídos (DE OLIVEIRA, 2011). Com isto, o setor gera em média de 40 a 60% em massa dos resíduos sólidos urbanos (RSU), resultante da construção, manutenção e demolição de casas e edifícios (VICENZI, 2015). Porém, estes resíduos são dispostos de maneira irregular em aterros, sem qualquer tratamento prévio. Apesar de existir métodos alternativos para a reutilização e reciclagem (BOVEA e POWELL, 2016).

Geralmente, a produção de resíduos numa obra é proveniente das técnicas de produção utilizadas para a construção. Dessa forma, pode-se estimar que em média 10% dos materiais que entram na obra se tornam resíduos. Com isso, estes resíduos desprezados nas obras causam danos à qualidade de vida da população e poluição visual quando descartados de maneira imprópria (BARRETO, 2013).

As quantidades de resíduos podem ser estimadas através da densidade do resíduo, o volume de resíduos e o projeto de construção ou demolição. E também, pode ser medida pela quantidade de viagens do caminhão de lixo (MAH *et al.*, 2016).

Os recursos naturais extraídos para o uso na construção civil ocasionam o aumento das emissões de gases de efeito estufa, visto que as matérias-primas são industrializadas e requerem energia para o processamento das mesmas. As perdas de materiais geradas nas fases de transporte, comercialização e construção elevam a quantidade de resíduos (CBCS, 2015).

O setor de construção civil consome cerca de 40% de materiais a nível mundial todos os anos. Assim, a utilização dos materiais derivados do gerenciamento de resíduos propõe uma oportunidade na minimização dos danos ambientais causados pelos resíduos de construção civil. No entanto, a melhoria nos projetos arquitetônicos e trabalhadores treinados associada ao reuso de materiais torna o processo ambientalmente eficaz (SONG *et al.*, 2017).

A qualidade da matéria-prima é essencial numa construção, pois dependendo do tipo de material empregado pode influenciar na qualidade do ar interno, conseqüentemente influência num consumo maior de energia e água durante a fase de uso. Neste sentido, o planejamento eficiente dos projetos e infraestrutura prolongam a vida útil da construção diminuindo a necessidade de manutenção e reparos. Portanto, uma construção sustentável reduz os impactos ambientais causados pelo setor, pois de acordo com o Inventário Brasileiro das Emissões de Gases do Efeito Estufa, o Brasil emite mais CO<sub>2</sub> na produção dos materiais utilizados na obra que o edifício na fase de uso, isso é devido aos processos e o tipo de energia empregada na produção desses materiais (CBCS, 2015).

A reutilização dos resíduos gerados pela construção civil reduzem os impactos negativos causados pela disposição irregular destes materiais. Com isto, há um registro de implantação de usinas de reciclagem de resíduos de construção civil no Brasil desde 1986 e desde 2002 com a publicação da resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 307 existe uma crescente na quantidade de usinas privadas instaladas no país, pois os geradores se tornaram responsáveis pelos resíduos gerados em suas obras, tornando-se as usinas de RCD (Resíduos de Construção Civil e Demolição) economicamente viáveis (MIRANDA, 2014).

Diante deste cenário, este artigo descreve o sistema de coleta de RCC no município de Campos dos Goytacazes e o funcionamento da usina de RCD desativada e instalada no município. O mesmo possui como objetivo geral a avaliação da viabilidade técnica e econômica de uma unidade de RCC instalada e implantada no município e como objetivo específico a estimativa da quantidade de geração de RCC no município, a estimativa da quantidade de subprodutos e a identificação do aproveitamento dos subprodutos em outros produtos.

## **2. METODOLOGIA DA PESQUISA**

A metodologia da pesquisa estuda os princípios e os métodos de pesquisa, no qual descreve os procedimentos a serem seguidos durante o processo de pesquisa. A definição do método de pesquisa é essencial para a orientação e a realização da mesma (LAVILLE, 1999).

Esta pesquisa se classifica como uma pesquisa do tipo descritiva, pois a mesma possui como objetivo principal a descrição das características de um determinado grupo. Em seguida, foi elaborada uma pesquisa bibliográfica, onde a pesquisa é embasada em material já elaborado anteriormente como livros, dissertações, artigos científicos, teses, dissertações e publicações periódicas. Posteriormente, foi realizada a pesquisa documental que se aproxima com a pesquisa bibliográfica, sendo a diferença entre ambas a natureza das fontes. Pois, a pesquisa bibliográfica utiliza contribuições de vários autores e a pesquisa documental utiliza diversas fontes como a legislação, catálogos técnicos e sites (GIL, 2002).

Em seguida, foi executada uma pesquisa de campo, no qual a mesma possui como objetivo conseguir informações e/ou conhecimentos sobre um determinado assunto. Esta pesquisa baseia-se na observação, coleta de dados e registros de variáveis relevantes para a pesquisa. Há duas fases na pesquisa de campo: a pesquisa bibliográfica que serve como base para se saber o estado atual do problema e em segundo lugar, deve-se estabelecer as técnicas empregadas na coleta de dados e na determinação da amostra (MARCONI e LAKATOS, 2003).

E finalmente, foi realizado um estudo de caso que consiste num estudo detalhado e profundo sobre um determinado tema, no qual se permite um amplo conhecimento. O estudo de caso tem como propósito a exploração de situações da vida real cujos limites não estão definidos, a preservação do caráter unitário do objeto estudado, a descrição do contexto real, a formulação de hipóteses e teorias e a explicação das variáveis causais dos fenômenos em



situações no qual não se possibilite o levantamento de dados e experimentos (GIL, 2002). Este estudo de caso foi aplicado na usina de reciclagem de resíduos de construção civil instalada e localizada no antigo vazadouro da Codin (Companhia de Distritos Industriais) no município de Campos dos Goytacazes que no momento encontra-se desativado.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será abordada uma revisão da literatura existente sobre o assunto de resíduos da construção civil, os conceitos, classificação e legislação pertinente ao assunto.

#### 3.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

Os RCC's são oriundos por obras públicas e agentes privados. Os resíduos sólidos da construção civil, em geral, são provenientes de demolições, atividades construtivas, implantação de novas edificações como reformas e ampliações. As demolições podem representar 61% (em massa) dos resíduos sólidos urbanos (PINTO *et al.*, 2005).

Segundo a Resolução CONAMA nº307/2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, propõe no Art. 2º que o RCC pode ser definido como:

“... 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, calça ou metralha;”

No Art. 3º da Resolução CONAMA 307/2002, classifica os resíduos da construção civil e no Art. 10º, a mesma prevê a destinação destes resíduos gerados pela construção civil:

- I. **Classe A:** são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados da construção, demolição, reformas, reparos de pavimentação, componentes cerâmicos, argamassa, concreto, entre outros. Esses resíduos deverão ser reutilizados ou reciclados como agregados ou encaminhados para o aterro de resíduos da construção civil para posterior utilização ou reciclagem;
- II. **Classe B:** são os resíduos recicláveis para outras destinações como plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros. Estes devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados para áreas de armazenamentos temporários, no qual o mesmo possa ser utilizado ou reciclado futuramente;
- III. **Classe C:** são todos os resíduos que não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação como os produtos originados do gesso. Estes resíduos deverão ser transportados, armazenados e destinados de acordo com as normas técnicas específicas;
- IV. **Classe D:** são os resíduos perigosos gerado pelo processo de construção como tintas, solventes, óleos ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas, reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais, telhas, objetos que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. Estes resíduos

deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados conforme as normas técnicas específicas.

As características apresentadas pelos resíduos de construção e demolição (RCD) dependem das técnicas e metodologias de produção aplicadas pelo setor de construção civil, geralmente a composição e o volume de resíduo dependem diretamente do estágio da obra, pois para cada etapa da obra há um produto e tecnologia diferente que se destaca, no qual se distingue de acordo com a região e país geradores (KARPINSK, 2009).

Os principais tipos de resíduos, materiais e classificações gerados pela construção civil encontram listados no Quadro 1 a seguir:

ITEM	RESÍDUO	MATERIAL	CLASSE
1	Argamassa	Entulho	A
2	Demolição de alvenarias	Entulho	A
3	Pisos cerâmicos	Entulho	A
4	Concreto	Entulho	A
5	Piso de granito	Entulho	A
6	Solo	Entulho	A
7	Tijolos quebrados	Entulho	A
8	Folhas de "madeirit"	Madeira	B
9	Forramento	Madeira	B
10	Linhas, caibros e ripas da cobertura	Madeira	B
11	Tabua de forma	Madeira	B
12	Aparas de perfis de aço	Metal	B
13	Embalagens de tintas, solventes	Metal	B
14	Sobras de fiação	Metal	B
15	Embalagens de papel / papelão	Papel	B
16	Sobras de perfis de alumínio	Metal	B
17	Aparas de eletroduto	Plástico	B
18	Aparas de tubos de PVC	Plástico	B
19	Embalagens de água e refrigerantes	Plástico	B
20	Material de limpeza	Plástico	B
21	Embalagens de vidro	Vidro	B
22	Placas de gesso	Gesso	C
23	Telhas de amianto	Amianto	D
24	Tintas e solventes	Produto químico	D
25	Restos de comida	Matéria orgânica	Orgânico
26	Papéis usados	Papel	B

Quadro 1: Tipos de resíduos, materiais e classes gerados na construção civil.  
Fonte: NOVAES, 2008.

No Brasil, estima-se que os RCD representam em média 50% do total dos RSU das cidades brasileiras, gerando uma taxa média de 0,52 tonelada. habitante<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Calcula-se que 65% do material descartado são de origem mineral, 13% são madeiras, 8% são plásticos e 14% são outros materiais. E, supõe-se que as construtoras sejam responsáveis pela geração média de 20 a 25% desse entulho e o saldo remanescente provém de reformas e obras de autoconstrução. O percentual de RCD tem crescido em relação ao total dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em vários países, pois como em qualquer processo industrial, os insumos utilizados na construção civil geram resíduos em grande escala. Na Malásia, os RCD's representam 28% do total dos RSU, nos Estados Unidos da América esses resíduos equivalem-se de 10 a 30% do total dos RSU e na Austrália correspondem a 37% do total dos RSU. Enquanto, em Hong Kong, no Kuwait e no Reino Unido esses resíduos representam a 38, 58 e 60%, respectivamente (DE OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Portanto, a composição dos RCD está condicionada com a região geradora e a técnica empregada na construção civil. A construção americana e japonesa utiliza a madeira como principal componente, tendo presença insignificante nas construções européias e brasileiras, enquanto gesso é muito utilizado nas construções americanas e européias, que recentemente está se propagando nos maiores centros urbanos brasileiros (KARPINSK, 2009 *apud* GLOBAL, 2005).

Grande parte dos RCC's é descartada em áreas impróprias por pequenas obras e reformas, geralmente são construções ilegais, informais e isentas de pedido de licenciamento que geram um grande volume de resíduos. A população de baixa renda é responsável pela maioria dos resíduos dispostos irregularmente, por não ter acesso ao gerenciamento básico de resíduos da construção civil. Os municípios gerenciam a remoção desses resíduos através de caminhões com caçambas basculantes em "bota-foras", que são áreas públicas ou privadas de maior dimensão utilizadas como aterros (PINTO, 2005).

Segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002, fica atribuído aos Municípios e Distrito Federal, o dever de implementar a gestão dos resíduos da construção civil (Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil) no qual deverá incorporar o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. A mesma estabelece, também, que os geradores possuem o objetivo principal de não geração de resíduos, conseguinte a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final; onde esses resíduos não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de "bota-fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei e, os resíduos deverão ser dispostos de acordo com a sua classificação, conforme a descrição a seguir:

- I. **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;
- II. **Classe B:** deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- III. **Classe C:** deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;
- IV. **Classe D:** deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

O plano de gerenciamento de resíduos de construção civil elaborado pelos Municípios e Distrito Federal deverá constar as etapas listadas no Art. 9º da Resolução CONAMA nº 307/2002:

- I. **Caracterização:** nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;
- II. **Triagem:** deverá ser realizada, preferencialmente, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas no Art. 3º da Resolução CONAMA nº 307/2002;
- III. **Acondicionamento:** o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que sejam

possíveis, as condições de reutilização e de reciclagem;

- IV. **Transporte:** deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;
- V. **Destinação:** deverá ser prevista de acordo com o estabelecido na Resolução CONAMA nº 307/2002.

### 3.2 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS

Atualmente, os resíduos sólidos urbanos obtiveram uma legislação significativa e específica, no qual abrange todas as esferas de governo, estabelece os critérios e requisitos de disposição, assim como as responsabilidades dos geradores de resíduos.

#### 3.2.1 Legislação Nacional

A legislação nacional referente aos RCC's auxilia os Estados, os Municípios e o Distrito Federal a cerca do gerenciamento e disposição do mesmo, conforme listado no Quadro 2 a seguir:

LEGISLAÇÃO	DESCRIÇÃO
LEI nº 6.938/1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e institui o Cadastro de Defesa Ambiental.
LEI nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais)	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente;
LEI nº 10.257/2001	Denominada de Estatuto da Cidade, esta legislação regulamenta os Arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana;
RESOLUÇÃO CONAMA nº 275/2001	Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva;
RESOLUÇÃO CONAMA nº 307/2002	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil;
RESOLUÇÃO CONAMA nº 348/2004	Esta Resolução altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de Julho de 2002, que inclui o amianto na classe de resíduos perigosos;
LEI nº 11.445/2007	Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de Dezembro de 1979, 8.036, de 11 de Maio de 1990, 8.666, de 21 de Junho de 1993, 8.987, de 13 de Fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de Maio de 1978;
LEI nº 12.305/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos aplicáveis; altera a Lei nº 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998;
DECRETO nº 7.404/2010	Regulamenta a Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa. O mesmo estabelece normas para a execução da Política Nacional de Resíduos Sólidos;

Quadro 2: Instrumentos legais e normativos de abrangência nacional.

Fonte: Elaboração própria.

Dentre as legislações nacionais existentes, a Resolução CONAMA nº 307/2002 é a principal, mais completa e utilizada, pela sua regulamentação e dispõe sobre as responsabilidades dos municípios em implementarem os planos de gerenciamento de resíduos da construção civil.

### 3.2.2 *Legislação Estadual*

No estado do Rio de Janeiro, a Assembléia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro (ALERJ) promulgou a legislação sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos que é a Lei nº 4.191, de 30 de Setembro de 2003, onde ficam estabelecidos os princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais.

A legislação compreende que resíduos sólidos são qualquer forma de matéria ou substância, nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultem de atividade industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços, de varrição e de outras atividades da comunidade, capaz de causar poluição ou contaminação ambiental. Onde incluem-se entre os resíduos sólidos, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, assim como os líquidos cujas características tornem inviável o seu lançamento em rede pública de esgotos ou corpos d'água ou exijam, para tal fim, solução técnica e economicamente inviável, em face da melhor tecnologia disponível, de acordo com as especificações estabelecidas pelo órgão estadual responsável pelo licenciamento ambiental. O acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos processarão em condições que não tragam malefícios ou inconvenientes à saúde, ao bem-estar público e ao Meio Ambiente.

### 3.2.3 *Legislação Municipal*

No município de Campos dos Goytacazes são aplicadas as seguintes legislações: lei nº 8.232, de 15 de junho de 2011 e 8.123, de 16 de dezembro de 2009 que possuem a finalidade de gerenciar os resíduos gerados no município.

- I. ***Lei nº 8.232, de 15 de Junho de 2011:*** esta legislação institui a Política Municipal de Resíduos Sólidos que dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos. Esta lei está relacionada às pessoas físicas e/ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos e rejeitos, bem como as que desenvolvam quaisquer ações relacionadas a quaisquer das etapas voltadas ao gerenciamento de resíduos e rejeitos;
- II. ***Lei nº 8.123, de 16 de Dezembro de 2009:*** esta lei dispõe sobre a descarga de entulho em locais apropriados, no qual o poder executivo no planejamento e execução de obras públicas implantará locais apropriados para o pequeno gerador fazer entrega/descarga de entulho (entulhódromo). Nos entulhódromos poderão ser instalados equipamentos e/ou mobiliários urbanos para recebimento de pilhas e baterias, materiais recicláveis (papel, plástico e vidros) e óleo de cozinha saturado. Porém, serão proibidos os descartes de lixo doméstico, lixo de sacolão, resíduos de indústrias ou de serviços de saúde e animais mortos no entulhódromo.

### 3.2.4 *Normas Gerais*

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou algumas normas relativas aos resíduos sólidos e os procedimentos para gerenciamento e descarte dos resíduos

de construção civil conforme estabelece a Resolução CONAMA nº307, de 05 de Julho de 2002. O Quadro 3 a seguir descreve todas as normas criadas para o setor de construção civil.

NORMA	DESCRIÇÃO
NBR 10.004	Resíduos Sólidos (classificação): esta norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que estes resíduos possam ter manuseio e destinação adequados;
NBR 15.112	Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos - Áreas de Transbordo e Triagem (diretrizes para projeto, implantação e operação): 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;
NBR 15.113	Resíduos Sólidos da Construção Civil e Resíduos Inertes – Aterros (diretrizes para projeto, implantação e operação): fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos sólidos da construção civil classe A e de resíduos inertes. Esta norma visa a reservação de materiais de forma segregada, possibilitando o uso futuro ou, ainda, a disposição destes materiais, com vistas à futura utilização da área. E, também visa a proteção das coleções hídricas superficiais ou subterrâneas próximas, das condições de trabalho dos operadores dessas instalações e da qualidade de vida das populações vizinhas;
NBR 15.114	Resíduos Sólidos da Construção Civil – Áreas de Reciclagem (diretrizes para projeto, implantação e operação): esta norma estabelece os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A. A mesma se aplica na reciclagem de materiais já triados para a produção de agregados com características para a aplicação em obras de infraestrutura e edificação, de forma segura, sem comprometimento das questões ambientais, das condições de trabalho dos operadores dessas instalações e da qualidade de vida das populações vizinhas;
NBR 15.115	Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Execução de Camadas de Pavimentação (Procedimentos): esta norma fixa 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;
NBR 15.116	Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Utilização em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural (Requisitos): esta norma estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Os agregados de trata esta norma destinam-se a obras de pavimentação viária (em camadas de reforço de subleito, sub-base e base de pavimentação ou revestimento primário de vias não pavimentadas) e a preparo de concreto sem função estrutural.

*Quadro 3: Normas técnicas brasileiras relacionadas aos resíduos sólidos e aos RCC.  
Fonte: Elaboração própria.*

### 3.3 USINA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

A usina de resíduos de construção e demolição (RCD) é uma importante alternativa para a reciclagem de resíduos inertes de classe (A). No ano de 2002, havia 16 usinas instaladas no país, porém, a reciclagem dos RCC's se tornaram evidentes após o ano de 2002, quando houve a divulgação da Resolução CONAMA nº 307 e a Política Nacional de Resíduos Sólidos, nos quais os geradores tornaram-se responsáveis por todo o resíduo gerado. Com isso, a taxa média de instalação de usinas de reciclagem aumentou de 3 usinas/ano para 9 usinas/ano. Em 2009, estima-se que existiam 48 usinas instaladas no Brasil, no qual aproximadamente a metade das usinas era pública e a taxa de reciclagem era de 4,8% (MIRANDA *et al.*, 2016).

Atualmente, cerca de 83% das usinas ativas pertencem à iniciativa privada, 10% à gestão pública e 7% são usinas público-privadas. Já a maioria das usinas inativas, cerca de 60%, é do poder público onde essas usinas foram desativadas por causa das dificuldades de gerenciamento. Estima-se que no Brasil haja 310 usinas distribuídas por todo o país, inclusive na região Norte, apesar de não constar na listagem. O estado de São Paulo possui a maior concentração de usinas de reciclagem de entulho, conforme mostra o Gráfico 2, isso se deve ao maior número de construção civil, o valor elevado dos agregados naturais e a maior frequência das fiscalizações quanto à disposição de RCD (MIRANDA, 2014).

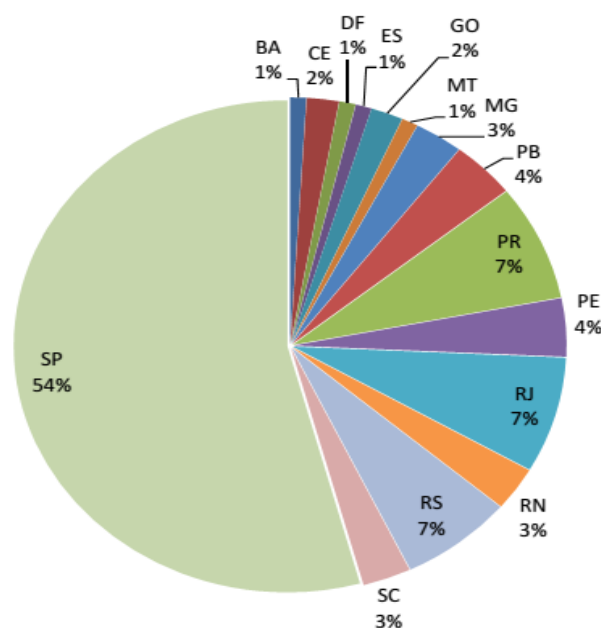


Gráfico 2: Concentração de usinas por estado brasileiro.

Fonte: MIRANDA, 2016.

#### 3.3.1 Tipos de usinas de RCD

A usina de resíduos da construção civil e da demolição tem como propósito principal a trituração de entulho para reutilização do mesmo. Entre os produtos beneficiados pela usina estão os concretos de erosões, pedra tipo 1, pedra tipo 2, areia (utilizados na manufatura de guias, sarjetas e blocos) e bica corrida (empregado na compactação de estrada, bases e sub-bases para pavimentação e pisos de concreto), conforme Tabela 1 abaixo (ZL EQUIPAMENTOS, 2017).

Tipo	Tamanho (Granulometria)	Similaridade ao natural	Descrição
Areia Reciclada Mista – ARM 0	0,1 a 4,8mm	Areia média	Obtido pelo beneficiamento de resíduos de telha, tijolo, bloco, pré-moldado, argamassa, piso de concreto ou cerâmico.
Agregado Reciclado Misto – ARM-1	4,8 a 9,5mm	Pedrisco	Idem acima
Agregado Reciclado Misto – ARM-2	9,5 a 25mm	Pedra 1 e 2	Idem acima
Agregado Reciclado Misto – ARM-3	25 a 50mm	Pedra 3	Idem acima
Agregado Reciclado Graúdo Misto	> 50mm	Rachãozinho	Idem acima
Bica Corrida Reciclada	0,1 a 50mm	Bica Corrida	Idem acima
Areia Reciclada de Concreto – ARC 0	0,1 a 4,8mm	Areia Média	Obtido pelo beneficiamento de resíduo de concreto, simples, armado, protendido, composto de, no mínimo, 90% de massa de fragmentos à base de cimento Portland e de rocha (ABNT/NBR 15116/2004).
Agregado Reciclado Misto - ARC-1	4,8 a 9,5mm	Pedrisco	Idem acima
Agregado Reciclado Misto – ARC-2	9,5 a 25mm	Pedra 1 e 2	Idem acima
Agregado Reciclado Misto – ARC-3	25 a 50mm	Pedra 3	Idem acima
Agregado Reciclado Graúdo de Concreto	> 50mm	Rachãozinho	Idem acima

Tabela 4: Dimensões dos agregados segundo Norma ABNT/NBR- 935/2011.

Fonte: ZL EQUIPAMENTOS, 2017.

Para o beneficiamento do produto é necessária a separação do entulho cinza do vermelho, para acrescentar valor ao subproduto produzido, pois o entulho cinza é um material nobre e ideal para a fabricação de artefatos de concretos. A usina tem como objetivo diminuir a quantidade de entulho disposto de maneira inadequada e reduzir o volume de entulho destinado aos aterros sanitários (ZL EQUIPAMENTOS, 2017).

Segundo Corrêa *et al.* (2009), as usinas de RCD podem ser classificadas em:

- 3.3.1.1 Usina Fixa: *as plantas fixas são plantas definitivas e é a maioria no Brasil. O principal benefício desta usina é a qualidade da produção dos reciclados e a utilização de equipamentos maiores e mais potentes;*
- 3.3.1.2 Usina Móvel: *as plantas móveis são muito flexíveis e podem ser transportadas para qualquer local onde existam obras, ampliando o seu mercado em nível nacional, portanto, esta planta é indicada para empreendimentos que exija mobilidade. Possui a vantagem da eliminação dos custos com obras civis e os custos de montagens e desmontagens;*
- 3.3.1.3 Usina Semimóvel: *as plantas semimóveis são designadas para construção de barragens hidrelétricas e estradas. Possui estrutura metálica e é montada e desmontada com facilidade.*

As usinas de RCD são fundamentais para a reciclagem e trazem consigo vários benefícios ambientais, uma vez que reutilizam os resíduos de construção civil, diminuem a deposição em locais ilegais e minimizam a extração de matéria-prima em jazidas. As usinas atendem as exigências do Art. 4 da Resolução CONAMA nº 307, no qual os geradores devem ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, posteriormente a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final dos RCD. Portanto, a usina passa a ser um instrumento de sustentabilidade do setor de construção civil, já que o setor está se tornando a maior indústria consumidora de matéria prima e geradora de resíduos. Os processos de



separação (Figura 1) utilizados na usina de RCD para a produção de agregados reciclados são simples conforme o esquema abaixo:

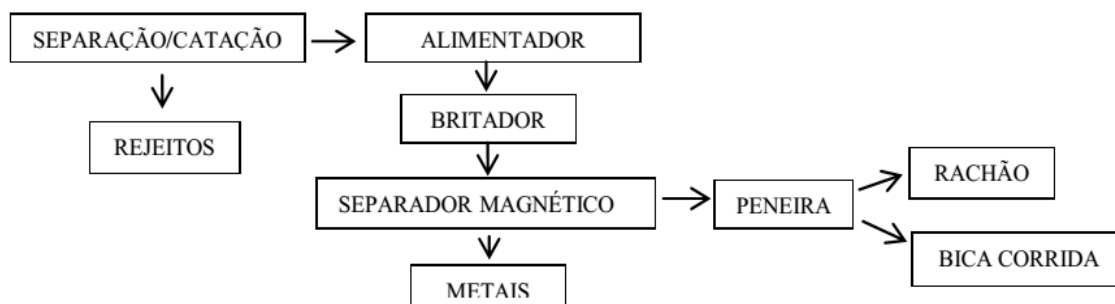


Figura 14: Diagrama de Separação de RCD.  
Fonte: FONSECA, 2013.

As usinas de RCD são usinas de britagens adaptadas para a trituração de entulhos, portanto possuem os mesmos equipamentos da usina de britagem como o alimentador vibratório, equipamentos de transporte, separadores magnéticos, britadores, mesa de escolha, peneiras vibratórias, peneira de disco e sistema anti-pó.

3.3.2.1 Alimentador Vibratório (Figura 2): este é o equipamento inicial do processo de reciclagem, pois o mesmo recebe todo o RCD transportado pela retroescavadeira e despeja no britador. O alimentador é composto por uma mesa vibratória apoiada sobre molas, grelhas, tremonha e sobretremonha, motor elétrico e um eixo excêntrico duplo que é responsável pela movimentação horizontal e vertical da mesa vibratória. A grelha do alimentador separa as partículas mais fina antes que estas vão para o britador e o dimensionamento do particulado pode ser controlado de acordo com o tipo de material pretendido;

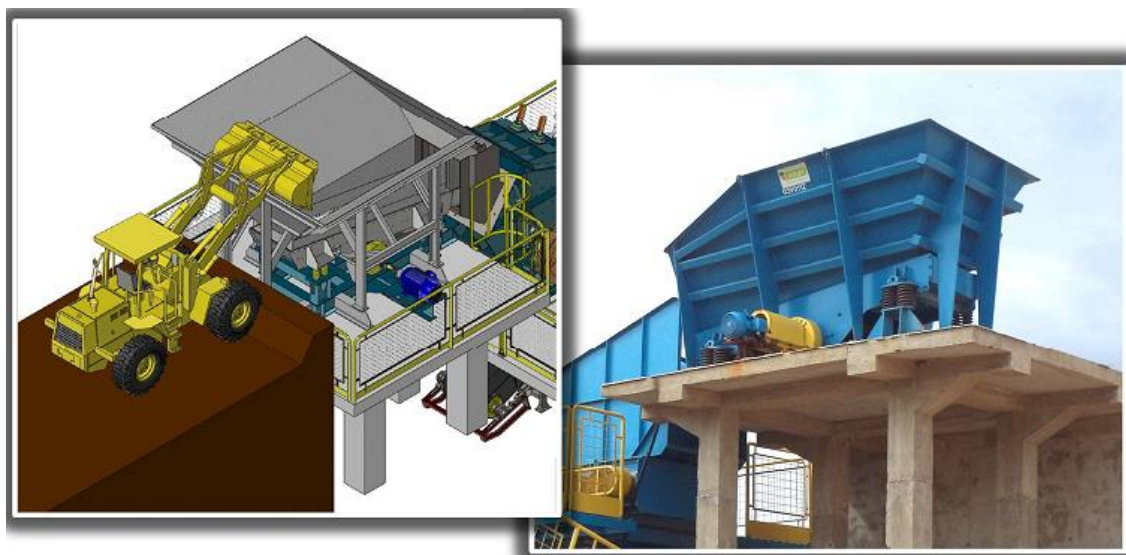


Figura 15: Alimentador Vibratório  
Fonte: FÁCIL SYSTEM, 2017.

3.3.2.2 Equipamentos de Transporte (Figura 3): os transportadores de correia são sistemas de transporte silenciosos, elétricos, contínuos e baratos. A largura deste

equipamento deve ser pelo menos três vezes a dimensão do material a ser transportado. O ângulo de transporte é a sua principal limitação, devido às altas inclinações que só são possíveis com o auxílio de taliscas na correia ou com o uso de transportadores fechados;



Figura 16: Transportador de Correia  
Fonte: FÁCIL SYSTEM, 2017.

3.3.2.3 Separadores Magnéticos (Figura 4): este equipamento se situa acima do transportador de correia, após o britador com o objetivo de remover os metais presentes nos resíduos. Seu magnetismo é proveniente de ímãs permanentes de ferrite de estrôncio anisotrópico ou outro material com propriedades magnéticas. Os tipos mais usados são os separadores magnéticos suspensos, de magnetismo permanente (sem o uso de energia elétrica), de limpeza automática ou manual;



Figura 4: Separadores Magnéticos  
Fonte: ABRECON, 2017.

3.3.2.4 Britador de Impacto: este equipamento tem como objetivo principal a redução do tamanho das partículas minerais. A britagem é o processo após a triagem e a alimentação e é realizada por britadores de impacto ou de mandíbula. Cada britador possui princípios de funcionamento diferentes produzindo materiais com características diferentes. Os britadores de impacto (Figura 5) possuem características como granulometria mais fina, alto grau de redução, elevado custo de manutenção do equipamento, grande desgaste quando utilizado rochas

abrasivas ou materiais com mais de 15% de sílica e ideal para materiais úmidos com alto teor de argila. Os britadores de impacto de eixo vertical possui uma capacidade entre 100 e 200 t/h, nível de redução de 2:1, com potência entre 55 e 150 kW;



*Figura 5: Britador de Impacto.  
Fonte: FÁCIL SYSTEM, 2017.*

3.3.2.5 Mesa de Escolha (1): A mesa de escolha (Figura 6) recebe o material que irá ser triturado e é neste local onde deve-se retirar os materiais que não devem passar pelo britador, tais como plásticos e madeiras, que podem danificar o equipamento.



*Figura 6: Mesa de Escolha.  
Fonte: FÁCIL SYSTEM, 2017.*

3.3.2.6 Mesa de Escolha (2): A mesa de escolha (Figura 7) recebe o material classificado pelo Trumell (>12,7mm) e é neste local onde deve-se retirar as impurezas que passaram pelo Soprador.



*Figura 7: Mesa de Escolha.  
Fonte: FÁCIL SYSTEM, 2017.*

3.3.2.7 Peneiras Vibratórias (Figura 8): o processo de peneiramento é a separação do material reciclado de acordo com a granulometria. Esta separação é realizada através de peneiras vibratórias. A umidade do material pode prejudicar a eficiência do peneiramento, porém se a umidade estiver presa em trincas, poros abertos e fechados no interior da partícula não interferem no peneiramento. Mas, a umidade superficial interfere no processo quando a umidade está entre 5% e 8% para materiais naturais;



*Figura 8: Peneira Vibratória  
Fonte: FÁCIL SYSTEM, 2017.*

3.3.2.8 Sistema Anti-Pó: Tem a função de molhar o material para que diminua a poeira no local.

Para o processo de reciclagem nas usinas de RCD é ideal que se receba somente resíduos de classe A, ou seja, resíduos de tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, rochas, argamassas, telhas, rebocos e etc. Todo o material recebido na usina deve estar livre de contaminantes, isto é, não conter gesso, telhas de amianto, terra de escavações, papel, plástico, tubo de PVC, *drywall*, entre outros (ZL EQUIPAMENTOS, 2017).

### **3.4 DESTINAÇÃO DOS RCD DO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES**

Atualmente, a Secretaria de Limpeza Pública destina todo o material de RCC para o aterro de inerte no antigo vazadouro da Codin, desativado deste o mês de junho de 2012. O aterro de inertes são áreas onde se empregam técnicas de acondicionamentos de resíduos de construção civil de classificação A (ABRECON, 2017).

O município de Campos dos Goytacazes registra todas as construtoras e concede o licenciamento ambiental após a entrega do formulário de PGRS (Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos) emitido pela Superintendência de Limpeza Pública que gerencia todo o resíduo de construção civil.

Com isto, algumas informações são fundamentais no formulário de licenciamento como a identificação e quantificação dos resíduos. E o gerador é o responsável também pelo transporte e destinação final dos resíduos.

Segundo a legislação municipal, Lei nº 8.232, de 15 de Junho de 2011, que institui a Política Municipal de Resíduos Sólidos, a limpeza pública municipal visa o recolhimento de rejeitos que podem ser organizados em sacos plásticos de coleta ou peso total de até 100 L, no qual o peso total de cada saco plástico individualmente, não ultrapasse o peso de 50 kg.

Então, de acordo com a Resolução CONAMA nº 307, o gerador é o responsável pela destinação final dos resíduos gerados. E todos os resíduos gerados são enviados para o antigo vazadouro da Codin, mesmo existindo uma usina de reciclagem de resíduos de construção civil que no momento está inoperante por falta de licenciamentos.

O gerenciamento de resíduos no município é de responsabilidade da concessionária de limpeza pública, Vital Engenharia Ambiental que pertence ao grupo Queiroz Galvão, no qual esse gerenciamento incluem os aterros de inertes, o aterro sanitário, a requalificação urbana, coleta de resíduos e varrição das vias urbanas.

O Gráfico 3 abaixo mostra os montantes mensais dos resíduos recolhidos pela Vital Engenharia Ambiental. Com isto pode-se comparar o setor que mais produz resíduos, como o RSU (Resíduos Sólidos Urbanos), RCD (Resíduos de Construção Civil e Demolição) e o RSS (Resíduos de Serviços de Saúde). Nota-se que a área de saúde tem uma produção inferior de resíduos quando comparada com os demais setores. Já o setor de construção civil como mencionado anteriormente, possui índices maiores de resíduos superando os níveis de RSU. Assim, a média de RCD no ano de 2016 foi de 688 t/dia, no qual se pode compreender que a taxa de geração de RCD por habitante é de 1,41 kg/hab/dia. Essa taxa de geração de RCD no município de Campos dos Goytacazes ultrapassa a média do Rio de Janeiro e do Brasil que é de 0,75 e 0,61 kg/hab/dia, respectivamente. Então, a expansão territorial, o desenvolvimento da região Norte Fluminense e o processo da revitalização urbana tornam o setor de construção civil aquecido diante das obras do Complexo Farol Barra do Furado, entre as cidades de Quissamã e Campos e o empreendimento Porto do Açú, em São João da Barra.

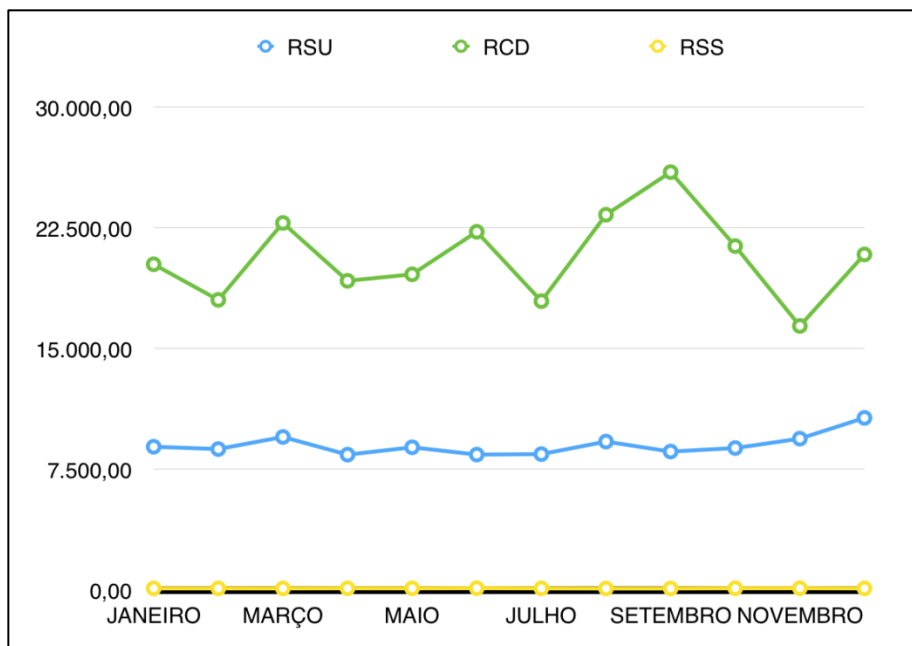


Gráfico 3: Resíduos Coletados em 2016.  
 Fonte: Superintendência de Limpeza Pública, 2017.

### 3.3 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE RCD

A viabilidade econômica de um projeto se verifica dentro de um determinado prazo, no qual se deseja saber se a capacidade do retorno do capital investido no empreendimento será superior ao valor empregado. Ou seja, a capacidade de gerar lucros deve-se mostrar maiores que os investimentos iniciais (HIRSCHFELD, 2000).

Há múltiplos métodos que avaliam a viabilidade econômica e financeira de um empreendimento, porém a escolha do método depende da visão do empreendedor, pois os empresários com visão de retorno a curto prazo preferem métodos como *Payback*, já os empresários com uma visão de longo prazo optarão por utilizar os métodos de Valor Presente Líquido (VPL) ou Taxa Interna de Retorno (TIR) (IBMEC, 2017).

A avaliação inicial de um projeto é definir o tempo necessário para a recuperação do capital investido, que se dá através do fluxo de caixa. O método do *Payback* é uma metodologia que compara o tempo necessário para reaver o capital investido e o tempo máximo tolerado pela empresa para resgatar o investimento inicial. Já o método do Valor Presente Líquido mostra a contribuição adquirida pelo projeto de investimento no acréscimo do valor da empresa, isto é, o VPL compara as entradas e saídas do capital desde a data inicial do projeto. No entanto, o método do Índice de Lucratividade (IL) representa um fator convertido em porcentagem ou um valor relativo, este método se relaciona com o VP dos Retornos e o valor do Investimento ignorando o sinal negativo do desembolso (LAPPONI, 2000). A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de retorno esperada pelo investimento no projeto, este método possui como objetivo encontrar a taxa intrínseca de investimento. O fluxo de caixa contém todas as entradas e saídas do dinheiro ao longo de um determinado período de tempo, permitindo o conhecimento da rentabilidade, a viabilidade e a vida útil do projeto. O mesmo deve ser construído para um determinado número de períodos (SAMANEZ, 2002).

Com isto, o empreendimento a ser analisado é a implantação de uma usina de RCD. O local da implantação da usina situa-se no Distrito Industrial de Campos dos Goytacazes,

próximo ao antigo vazadouro desativado da Codin. A usina foi construída pela empresa terceirizada Vital Engenharia Ambiental e inaugurada em 2016. Porém, com a renovação do contrato, a prefeitura tornou-se responsável pela operação da usina.

A Figura 9 abaixo mostra os valores mínimos, médios e máximos cobrados por m<sup>3</sup> pelas usinas para as vendas de RCD nos Estados Brasileiros.

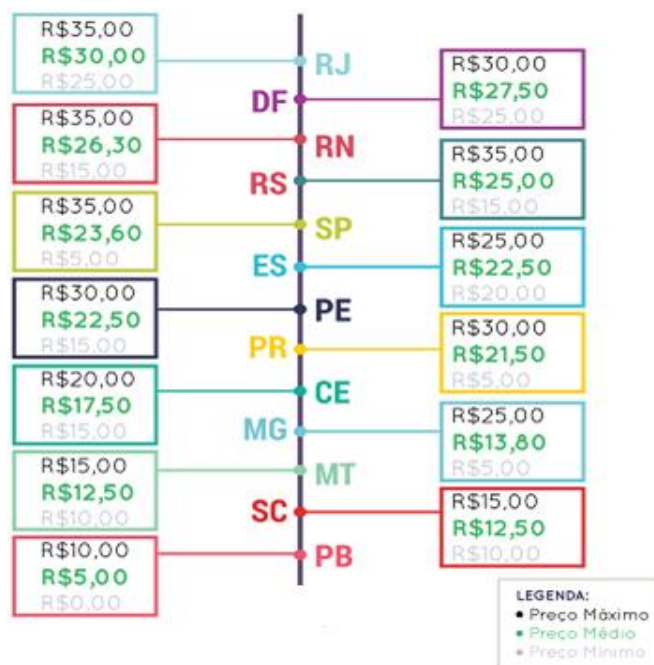


Figura 9: Valores mínimos, médios e máximos cobrados para vendas dos agregados de RCD nas usinas, por Estado.

Fonte: ABRECON, 2017

#### 4. ESTUDO DE CASO

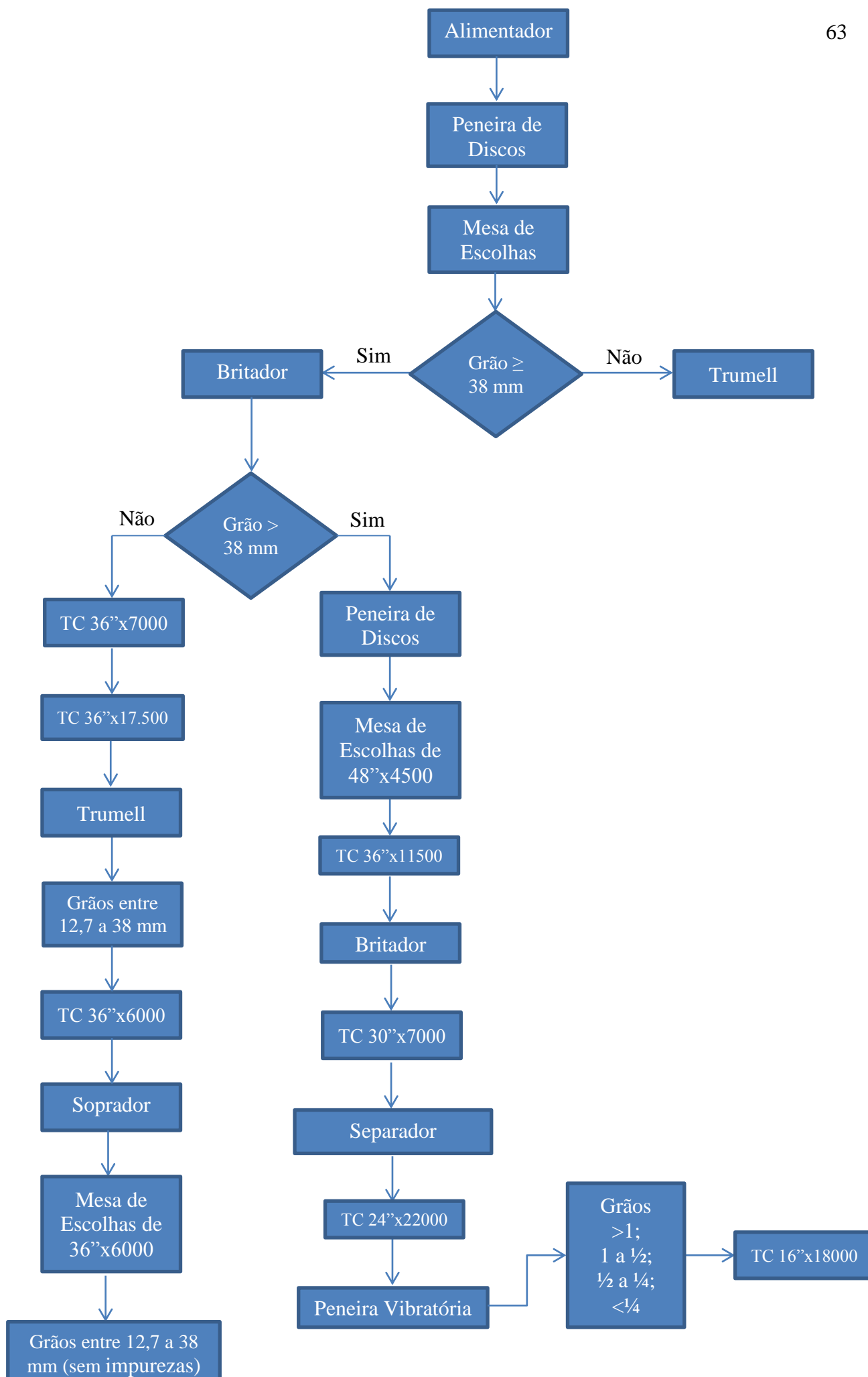
Este estudo de caso visa avaliar a viabilidade técnica e econômica da usina de RCD instalada na cidade de Campos dos Goytacazes/RJ, este estudo propõe uma estimativa financeira de uma usina deste porte. A unidade implantada no Codin é um sistema de britagem com base fixa e possui uma produção de 80t/h.

São obtidos quatro tipos de materiais pelo sistema de britagem: bica corrida, pedra 1, pedrisco e areia.

O sistema de britagem é composto pelos seguintes equipamentos:

- Alimentador Vibratório;
- Peneira de Discos;
- Transportador de Correia de Finos;
- Peneira Rotativa (Trumell);
- Mesa de Escolha;
- Britador de Impacto;
- Separador Magnético;
- Peneira Vibratória;
- Sistema Anti-Pó.

O Fluxograma 1 mostra uma representação gráfica dos procedimentos e etapas de forma encadeada dos processos necessários para a fabricação dos reciclados recebidos na usina de RCD.



Fluxograma 1: Descrição das atividades para a produção de reciclados.  
Fonte: Elaboração própria.



#### **4.1 Investimento inicial da usina de RCD**

4.1.1 O investimento inicial de um projeto deve ser calculado a partir do investimento fixo (bens adquiridos para o funcionamento da empresa), investimento pré-operacional (são os gastos para que a empresa possa funcionar como treinamento, funcionários, publicidade, etc.) e o capital de giro (que é um valor monetário com a finalidade de custear a empresa no início da vida útil). A seguir estão todos os componentes importantes para o investimento inicial:

- Imóvel (Terreno): o local de implantação da usina será no Distrito Industrial de Campos dos Goytacazes, no qual o terreno possui 10.000 m<sup>2</sup> e o custo é de R\$ 225,00/m<sup>2</sup>, gerando um total de R\$ 2.250.000,00;
- Equipamentos: o sistema de trituração de entulho desta usina possui estrutura fixa, capacidade de produção 80 t/h e potência instalada de 130,0 kW. Atualmente, a usina custa R\$ 1.200.000,00 e compõe-se pelos seguintes equipamentos: um alimentador vibratório, um chute de saída c/ válvula desviadora, um transportador de correia de finos 16" x 16000, um chute de entrada do britador, um britador de impacto, um chute de saída do britador, um separador magnético automático, um transportador de correia 30" x 7000, um transportador de correia giratório 24" x 22000, uma peneira vibratória, um chute de saída da peneira, um sistema Anti-Pó, um painel elétrico, quatro transportadores de correia de finos 16" x 16000;
- Edificação: a edificação se refere à construção civil para a instalação da usina e terraplanagem que custa em torno de R\$ 300.000,00 e R\$ 200.000,00 para construção do escritório para o administrativo, gerando um custo total de R\$ 500.000,00;
- Mobiliário: compreende os veículos utilizados no empreendimento como: caminhão caçamba que custa R\$ 283.551,00, pá carregadeira com o custo de R\$ 270.000,00 e o veículo disponível para o administrativo que custa aproximadamente R\$ 43.620,00;

4.1.2 A receita bruta adquirida neste projeto provém do recebimento dos resíduos de construção civil que custa em torno de R\$ 15,00 por tonelada e da produção dos produtos reciclados;

4.1.3 Os custos operacionais referem-se ao gasto de energia elétrica, água, salário dos funcionários, transporte e prestação de serviços;

#### **4.2 Dados financeiros:**

- ✓ Quantidade de resíduo recebido (média diária) em 2016: 688t e admite-se que em média há um crescimento populacional de 2%, portanto essa taxa populacional se reflete no aumento de RCC;
- ✓ O funcionamento diário da usina é de 8h/dia durante 20 dias/mês;
- ✓ A tarifa de água custa R\$ 0,003688/m<sup>3</sup> e a quantidade de água utilizada no processo são de 40L/h;

- ✓ O sistema elétrico exige uma demanda de 1,5kWh/t e a tarifa de energia elétrica custa R\$ 0,63935kWh;
- ✓ As alíquotas de IPVA (Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores) equivalem a 4% para automóveis de passeio e 1% para caminhões;
- ✓ O valor para o recebimento do RCC é de R\$ 15,00/t, o valor médio de venda dos produtos reciclados é R\$ 30,00/t e a areia custa R\$ 10,00/t;
- ✓ A empresa conta com 12 funcionários para o seu funcionamento e estima-se que o aumento anual com as despesas de mão-de-obra seja de aproximadamente 8% a.a., conforme mostrado na Tabela 2 abaixo, no qual os valores são expressos em reais (R\$):

Cargo	Quant.	Salário	Salário Total	GPS	FGTS	13º Salário	Férias	TOTAL
Assistente Administrativo	2	1.262,20	2.524,40	201,95	201,95	2.524,40	3.365,78	8.818,49
Engenheiro de Produção	1	7.964,50	7.964,50	608,44	637,16	7.964,50	10.619,07	27.793,67
Técnico de Mecânica	1	1.529,26	1.529,26	122,34	122,34	1.529,26	2.038,96	5.342,16
Motorista	2	1.636,31	3.272,62	261,81	261,81	3.272,62	4.363,38	11.432,24
Operador de Máquina	2	1.262,20	2.524,40	201,95	201,95	2.524,40	3.365,78	8.818,49
Segurança	4	1.178,41	4.713,64	377,09	377,09	4.713,64	6.284,70	16.466,16
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>14.832,88</b>	<b>22.528,82</b>	<b>1.773,59</b>	<b>1.802,31</b>	<b>22.528,82</b>	<b>30.037,68</b>	<b>78.671,21</b>

<b>Valor Gasto Anualmente</b>	<b>365.823,03</b>
-------------------------------	-------------------

*Tabela 2: Mão-de-obra empregada na usina.  
Fonte: Elaboração própria.*

- ✓ De acordo com a Lei Municipal nº 8.690, de 28 de Dezembro de 2015, o Art. 148 prevê que todas as empresas instaladas na CODIN (Companhia de Distritos Industriais) terão isenção do IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) pelo prazo de 10 anos a partir do requerimento de isenção;
- ✓ Durante o processo produtivo, a taxa de perdas é de 0,2%;
- ✓ Estima-se que o percentual de inflação anual seja 4%, esta porcentagem incidirá sobre os valores das receitas e custos operacionais;
- ✓ Para calcular o fluxo de caixa, a depreciação não deve ser considerada, mas a mesma representa um benefício fiscal (SAMANEZ, 2002);
- ✓ A alíquota básica do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) cobrada no estado do Rio de Janeiro é de 18% e o FECF (Fundo Estadual de Combate à Pobreza e às Desigualdades Sociais) é de 2%, totalizando 20% de impostos. Porém, neste trabalho será utilizada uma alíquota única de 35%;
- ✓ O lucro antes de impostos de renda (LAIR) é definido como o lucro antes do imposto de renda e contribuição social;

- ✓ A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é uma taxa definida conforme a política da empresa. A escolha da taxa a ser aplicada é muito importante para a alocação dos recursos no projeto de investimento, pois esta é taxa de juros que representa o mínimo no qual um investidor se propõe a receber quando faz um investimento e o valor máximo que um investidor se propõe a pagar num financiamento (SCHROEDER *et al.*, 2005). Portanto, a TMA adotada para este projeto é de 18%;
- ✓ Dentre os princípios da contabilidade, o princípio da prudência deve ser adotado no momento da construção do fluxo de caixa de um projeto de investimento, pois este princípio assinala que se deve adotar o menor valor para os componentes do ATIVO (ou entradas) e o maior valor para o PASSIVO (saídas). Este princípio impõe que se adota o resultado do menor patrimônio líquido;
- ✓ A Tabela 3 mostra os cálculos do VPL, onde se verifica que na data zero, o valor presente líquido é o próprio valor do investimento e no final do décimo ano, o projeto possui o valor presente líquido de R\$ 13.723.144,98;

Anos	Capitais (\$)	VP	VP acumulado
0	-R\$ 4.653.330,60	-R\$ 4.653.330,60	-R\$ 4.653.330,60
1	R\$ 3.378.567,12	R\$ 2.863.192,47	-R\$ 1.790.138,13
2	R\$ 3.572.330,31	R\$ 2.565.592,01	R\$ 775.453,88
3	R\$ 3.777.658,63	R\$ 2.299.199,67	R\$ 3.074.653,55
4	R\$ 3.995.816,94	R\$ 2.060.997,93	R\$ 5.135.651,48
5	R\$ 4.226.586,25	R\$ 1.847.479,80	R\$ 6.983.131,28
6	R\$ 4.471.949,87	R\$ 1.656.551,27	R\$ 8.639.682,55
7	R\$ 4.731.456,34	R\$ 1.485.322,59	R\$ 10.125.005,14
8	R\$ 5.007.047,57	R\$ 1.332.065,74	R\$ 11.457.070,88
9	R\$ 5.298.974,74	R\$ 1.194.686,02	R\$ 12.651.756,91
10	R\$ 5.607.469,00	R\$ 1.071.388,08	R\$ 13.723.144,98

Tabela 3: Cálculo do Valor Presente Líquido.

Fonte: Elaboração própria.

- ✓ Diante dos cálculos apresentados acima, pode-se entender que o tempo de recuperação do capital investido encontra-se entre o primeiro e o segundo ano de operação. O resultado PBD (método do *payback* descontado) é igual a 1,7 anos, o que informa que o investimento será recuperado e remunerado, à taxa de 18% ao ano, em um ano e oito meses aproximadamente.
- ✓ O Fluxo de Caixa é uma sequência de entradas e saídas de dinheiro no caixa de uma empresa num intervalo de tempo. No fluxo de caixa devem ser incluídas as estimativas após os impostos e as estimativas que contribuem de forma negativa e positiva para o caixa de uma empresa. De acordo com as informações acima foi construído um fluxo de caixa (Tabela 4) que inclui as informações desde a data zero até a data terminal do investimento;

ITEM	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
<b>Investimentos Iniciais:</b>											
- Equipamentos	-R\$ 1.200.000,00										
- Instalações mecânica e elétrica	-R\$ 100.000,00										
- Imóvel (Terreno)	-R\$ 2.250.000,00										
- Edificação	-R\$ 500.000,00										
- Veículos	-R\$ 597.171,00										
- Móveis para escritório	-R\$ 754,60										
- Computadores e periféricos	-R\$ 5.405,00										
<b>Receitas:</b>											
- Resíduo Recebido		R\$ 2.476.800,00	R\$ 2.627.389,44	R\$ 2.786.447,55	R\$ 2.956.073,84	R\$ 3.136.732,53	R\$ 3.327.081,26	R\$ 3.529.367,80	R\$ 3.744.105,09	R\$ 3.971.824,07	R\$ 4.213.074,17
- Areia (22%)		R\$ 363.256,70	R\$ 385.342,71	R\$ 408.922,72	R\$ 433.677,28	R\$ 460.044,86	R\$ 488.095,80	R\$ 517.493,85	R\$ 549.124,38	R\$ 582.664,36	R\$ 617.760,42
- Pedrisco (22%)		R\$ 1.089.770,10	R\$ 1.156.028,12	R\$ 1.226.390,22	R\$ 1.301.031,84	R\$ 1.379.741,38	R\$ 1.463.886,33	R\$ 1.552.890,62	R\$ 1.647.373,14	R\$ 1.747.567,47	R\$ 1.853.715,38
- Pedra 1 (22%)		R\$ 1.089.770,10	R\$ 1.156.028,12	R\$ 1.226.390,22	R\$ 1.301.031,84	R\$ 1.379.741,38	R\$ 1.463.886,33	R\$ 1.552.890,62	R\$ 1.647.373,14	R\$ 1.747.567,47	R\$ 1.853.715,38
- Pedra 4 (22%)		R\$ 1.089.770,10	R\$ 1.156.028,12	R\$ 1.226.390,22	R\$ 1.301.031,84	R\$ 1.379.741,38	R\$ 1.463.886,33	R\$ 1.552.890,62	R\$ 1.647.373,14	R\$ 1.747.567,47	R\$ 1.853.715,38
- Bica Corrida (12%)		R\$ 594.420,00	R\$ 630.560,74	R\$ 668.940,06	R\$ 709.653,67	R\$ 752.586,14	R\$ 798.483,38	R\$ 847.031,17	R\$ 898.567,08	R\$ 953.218,53	R\$ 1.011.117,39
<b>TOTAL (RECEITA)</b>		<b>R\$ 6.703.787,00</b>	<b>R\$ 7.111.377,25</b>	<b>R\$ 7.543.480,99</b>	<b>R\$ 8.002.500,31</b>	<b>R\$ 8.488.587,67</b>	<b>R\$ 9.005.319,43</b>	<b>R\$ 9.552.564,68</b>	<b>R\$ 10.133.915,97</b>	<b>R\$ 10.750.409,37</b>	<b>R\$ 11.403.098,12</b>
<b>Custos Operacionais:</b>											
- Energia Elétrica		R\$ 1.266.833,66	R\$ 1.317.507,01	R\$ 1.370.207,29	R\$ 1.425.015,58	R\$ 1.482.016,21	R\$ 1.541.296,85	R\$ 1.602.948,73	R\$ 1.667.066,68	R\$ 1.733.749,34	R\$ 1.803.099,32
- Água		R\$ 7.200,00	R\$ 7.488,00	R\$ 7.787,52	R\$ 8.099,02	R\$ 8.422,98	R\$ 8.759,90	R\$ 9.110,30	R\$ 9.474,71	R\$ 9.853,70	R\$ 10.247,85
- Mão de Obra		R\$ 365.823,03	R\$ 395.088,87	R\$ 426.695,98	R\$ 460.831,66	R\$ 497.698,19	R\$ 537.514,05	R\$ 580.515,17	R\$ 626.956,39	R\$ 677.112,90	R\$ 731.281,93
- Custos Diversos		R\$ 365.823,03	R\$ 395.088,87	R\$ 426.695,98	R\$ 460.831,66	R\$ 497.698,19	R\$ 537.514,05	R\$ 580.515,17	R\$ 626.956,39	R\$ 677.112,90	R\$ 731.281,93
<b>TOTAL (CUSTO)</b>		<b>R\$ 2.005.679,72</b>	<b>R\$ 2.115.172,76</b>	<b>R\$ 2.231.386,78</b>	<b>R\$ 2.354.777,92</b>	<b>R\$ 2.485.835,57</b>	<b>R\$ 2.625.084,85</b>	<b>R\$ 2.773.089,37</b>	<b>R\$ 2.930.454,16</b>	<b>R\$ 3.097.828,84</b>	<b>R\$ 3.275.911,02</b>
<b>Depreciação (Taxa Anual):</b>											
- Máquinas e Equipamentos (10%)		R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00
- Imóvel (0,0%)		R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
- Móveis e utensílios (10%)		R\$ 75,46	R\$ 75,46	R\$ 75,46	R\$ 75,46	R\$ 75,46	R\$ 75,46	R\$ 75,46	R\$ 75,46	R\$ 75,46	R\$ 75,46
- Computadores e periféricos (20%)		R\$ 1.081,00	R\$ 1.081,00	R\$ 1.081,00	R\$ 1.081,00	R\$ 1.081,00	R\$ 1.081,00	R\$ 1.081,00	R\$ 1.081,00	R\$ 1.081,00	R\$ 1.081,00
- Veículos (20%)		R\$ 119.434,20	R\$ 119.434,20	R\$ 119.434,20	R\$ 119.434,20	R\$ 119.434,20	R\$ 119.434,20	R\$ 119.434,20	R\$ 119.434,20	R\$ 119.434,20	R\$ 119.434,20
<b>TOTAL (DEPRECIÇÃO)</b>		<b>R\$ 240.590,66</b>	<b>R\$ 240.590,66</b>	<b>R\$ 240.590,66</b>	<b>R\$ 240.590,66</b>	<b>R\$ 240.590,66</b>	<b>R\$ 240.590,66</b>	<b>R\$ 240.590,66</b>	<b>R\$ 240.590,66</b>	<b>R\$ 240.590,66</b>	<b>R\$ 240.590,66</b>
<b>TOTAL (IMPOSTOS)</b>		<b>R\$ 1.560.130,82</b>	<b>R\$ 1.664.464,84</b>	<b>R\$ 1.775.026,24</b>	<b>R\$ 1.892.496,10</b>	<b>R\$ 2.016.756,50</b>	<b>R\$ 2.148.875,37</b>	<b>R\$ 2.288.609,63</b>	<b>R\$ 2.437.004,90</b>	<b>R\$ 2.594.196,46</b>	<b>R\$ 2.760.308,75</b>
<b>LUCRO LÍQUIDO</b>	<b>-R\$ 4.653.330,60</b>	<b>R\$ 3.137.976,46</b>	<b>R\$ 3.331.739,65</b>	<b>R\$ 3.537.067,97</b>	<b>R\$ 3.755.226,28</b>	<b>R\$ 3.985.995,59</b>	<b>R\$ 4.231.359,21</b>	<b>R\$ 4.490.865,68</b>	<b>R\$ 4.766.456,91</b>	<b>R\$ 5.058.384,08</b>	<b>R\$ 5.366.878,34</b>
<b>FLUXO DE CAIXA OPERACIONAL</b>	<b>-R\$ 4.653.330,60</b>	<b>R\$ 3.378.567,12</b>	<b>R\$ 3.572.330,31</b>	<b>R\$ 3.777.658,63</b>	<b>R\$ 3.995.816,94</b>	<b>R\$ 4.226.586,25</b>	<b>R\$ 4.471.949,87</b>	<b>R\$ 4.731.456,34</b>	<b>R\$ 5.007.047,57</b>	<b>R\$ 5.298.974,74</b>	<b>R\$ 5.607.469,00</b>

Tabela 4: Fluxo de Caixa Operacional.

Fonte: Elaboração própria.

- ✓ A Tabela 5 mostra o comportamento do valor do VPL mediante diversos valores de taxas, para este projeto a taxa mínima requerida foi de 18% ao ano e como resultado o VPL é R\$ 13.723.144,98. Porém, quando o custo do capital for 78%, o valor presente do investimento será R\$ 0,00;

k	VPL
0%	R\$ 39.414.526,17
5%	R\$ 28.613.682,56
10%	R\$ 21.259.531,87
15%	R\$ 16.096.872,00
20%	R\$ 12.369.840,44
25%	R\$ 9.609.540,19
30%	R\$ 7.516.997,86
35%	R\$ 5.896.676,77
40%	R\$ 4.617.637,40
45%	R\$ 3.590.252,75
50%	R\$ 2.751.908,80
55%	R\$ 2.058.023,39
60%	R\$ 1.476.286,01
65%	R\$ 982.890,09
70%	R\$ 560.022,67
75%	R\$ 194.162,89
78%	R\$ 0,00
80%	-R\$ 125.090,49
85%	-R\$ 405.839,20

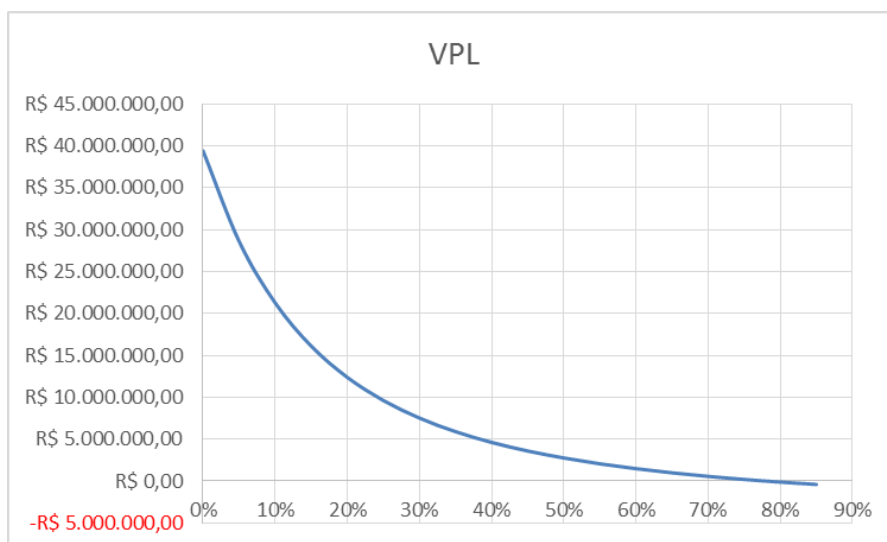


Tabela 5: Perfil do VPL do investimento.  
Fonte: Elaboração própria.

- ✓ O IL (Índice de Lucratividade) deste projeto é de R\$ 3,95. De acordo com o método de IL, este projeto deve ser recomendável, pois a cada R\$ 1,00 investido o mesmo gera um retorno de R\$ 2,95;
- ✓ O Ponto de Equilíbrio (PE) é o ponto em que a receita total se iguala ao custo total, ou seja, o PE determina a quantidade mínima de unidades ( $Q$ ) que devem ser vendidas para cobrir os custos. O cálculo do PE é determinado através da expressão algébrica abaixo:

$$Q_{PE} = \frac{CFT}{p - CVM}$$

Onde:

$Q_{PE}$  = Quantidade Mínima de Unidades do Ponto de Equilíbrio;

CFT = Custo Fixo Total;

p = Preço Unitário;

CVM = Custo Variável Médio.

Mediante a fórmula acima, a quantidade mínima de unidades que devem ser vendidas pela empresa será de 12.146,63 t/ano (Tabela 6) para alcançar o ponto de equilíbrio e cobrir todos os custos.

Q	RECEITA TOTAL	CUSTO TOTAL	LUCRO
-	R\$ -	R\$ 373.023,03	-R\$ 373.023,03
10.000,00	R\$ 406.000,00	R\$ 471.900,01	-R\$ 65.900,01
11.000,00	R\$ 446.600,00	R\$ 481.787,71	-R\$ 35.187,71
12.000,00	R\$ 487.200,00	R\$ 491.675,41	-R\$ 4.475,41
13.000,00	R\$ 527.800,00	R\$ 501.563,10	R\$ 26.236,90
14.000,00	R\$ 568.400,00	R\$ 511.450,80	R\$ 56.949,20
15.000,00	R\$ 609.000,00	R\$ 521.338,50	R\$ 87.661,50
16.000,00	R\$ 649.600,00	R\$ 531.226,20	R\$ 118.373,80
17.000,00	R\$ 690.200,00	R\$ 541.113,90	R\$ 149.086,10
18.000,00	R\$ 730.800,00	R\$ 551.001,59	R\$ 179.798,41
19.000,00	R\$ 771.400,00	R\$ 560.889,29	R\$ 210.510,71
20.000,00	R\$ 812.000,00	R\$ 570.776,99	R\$ 241.223,01
30.000,00	R\$ 1.218.000,00	R\$ 669.653,97	R\$ 548.346,03
40.000,00	R\$ 1.624.000,00	R\$ 768.530,95	R\$ 855.469,05
50.000,00	R\$ 2.030.000,00	R\$ 867.407,93	R\$ 1.162.592,07

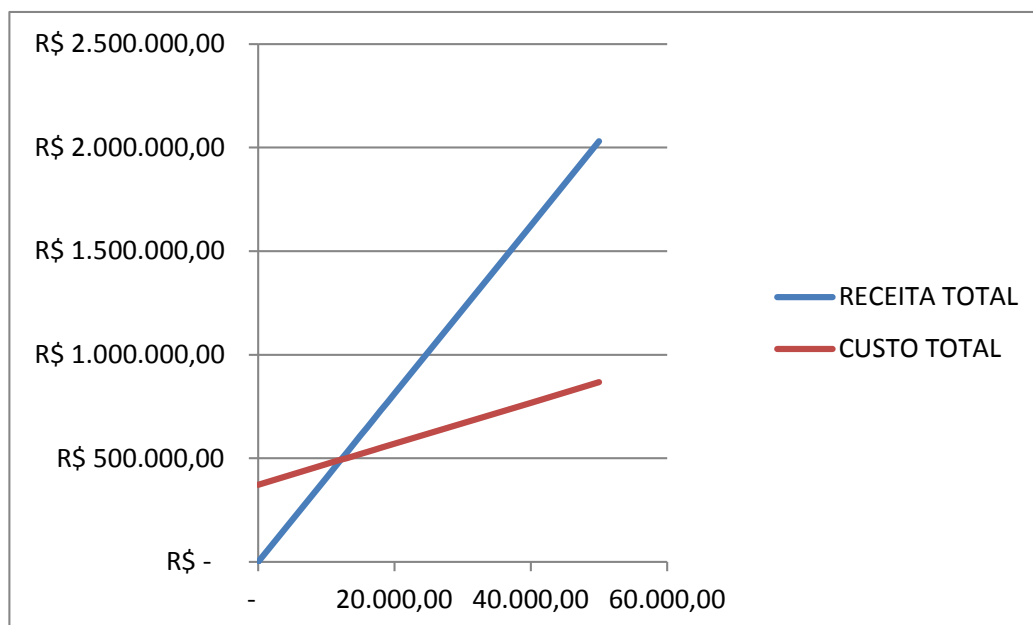


Tabela 6: Perfil do Ponto de Equilíbrio.  
Fonte: Elaboração própria.

## 5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa apresentou um estudo de viabilidade técnica e econômica baseado na usina de reciclagem de resíduos de construção civil implantada no município de Campos dos Goytacazes que atualmente encontra-se inoperante pela falta de licenciamentos.

Atualmente, todo o material derivado do setor da construção civil é encaminhado para o antigo vazadouro da Codin. Apesar da usina se encontrar ao lado do vazadouro, a mesma que foi instalada desde 2016 pela concessionária de limpeza pública Vital Engenharia Ambiental e permanece até o momento sem qualquer uso.

Geralmente, as usinas públicas de RCC se integram à política de gerenciamento de resíduos de construção civil e destinam todo o agregado reciclado para a fabricação de pré-

moldados como tampas de boca de lobo, lajotas de piso permeáveis, mobiliário público, execução de serviços e obras públicas. A fim de promover a conservação dos recursos naturais, desenvolvimento urbano e sustentabilidade ambiental.

Este projeto se mostra viável economicamente, pois o mesmo possui um retorno financeiro dentro de 1,7 ano, ou aproximadamente um ano e oito meses sobre o capital investido. A princípio a introdução destes materiais produzidos na usina encontrará barreiras por serem materiais reciclados e haver uma consideração equivocada desses materiais serem de baixa qualidade.

A taxa interna de retorno deste projeto se mostra muito superior a taxa mínima requerida, o que indica que quanto maior a TIR maior será a confiança no empreendimento. E o método do VPL se indica positivo, o que significa que o projeto rende mais que o valor investido no empreendimento.

Com o volume de geração municipal de RCC diária de 688t, a capacidade de produção da usina atinge o limite de produção. Portanto, de acordo com o crescimento do recebimento de resíduos e a aceitação do material reciclado será necessário um investimento para a ampliação da capacidade de produção, uma vez que a usina já estará operando com a capacidade máxima de produção.

Conforme mencionado anteriormente, há quatro tipos de materiais produzidos na unidade como a bica corrida, a pedra 1, o pedrisco e a areia. Os mesmos quando reciclados são negociados com valores inferiores ao mercado, pois não há incentivos fiscais para estes produtos, falta de conhecimento do mercado e inexistência de legislação de incentivo.

O estudo econômico apresentado neste artigo é apenas uma estimativa baseada em valores reais e atuais. Porém, o mesmo utilizou um importante princípio contábil que é o princípio da prudência, considerando os valores ativos menores que os passivos a fim de avaliar se o projeto é estável mesmo com a atualização monetária.

Numericamente é difícil mensurar os ganhos ambientais, porém o reaproveitamento dos resíduos de construção civil reduz os impactos ambientais negativos, pois a inserção dos RCC's na cadeia produtiva gera uma solução ambiental que atende aos requisitos legais impostos pela Resolução CONAMA nº 307/2002 para a destinação final desses resíduos, como a redução de recursos naturais, a diminuição da poluição atmosférica e o aumento da vida útil dos aterros sanitários. Já os ganhos econômicos gerados pela usina de RCC encontram-se na geração de emprego e renda.

Diante de todas as considerações, a usina de reciclagem de resíduos de construção civil torna-se uma alternativa viável econômica para o município e uma geração de empregos para a população. Pois, com a regulamentação da resolução CONAMA nº 307, todos os geradores de resíduos são responsáveis pela disposição final dos resíduos, com este intuito a destinação dos resíduos para a usina torna o gerenciamento do licenciamento ambiental uma medida eficaz e segura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRECON, Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. Curso sobre Gestão de Resíduos da Construção Civil e Operação de Usina de Reciclagem de Entulho. 12ª edição. São Paulo, 2017.

ALERJ, Assembleia Legislativa do Rio de Janeiro. Lei nº 4.191, 30 de setembro de 2003. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15112 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15113 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15114 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Áreas de Reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. 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. 2004.

BARRETO, J. G. F. Os resíduos de Construção Civil no Município de Itabuna. In: IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Salvador/BA–25 a. 2013.

BOVEA, M. D.; POWELL, J. C. Developments in life cycle assessment applied to evaluate the environmental performance of construction and demolition wastes. *Waste Management*, v. 50, p. 151-172, 2016.

BRASIL, Lei. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Publicada no Diário Oficial da União, 1998.

BRASIL, Lei. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Publicado no DOU em, v. 2, 1981.

BRASIL, Lei nº. Lei 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, 1979.



BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.

BRASIL. 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. s.l: 2002. 3p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001. Dispõe sobre o estabelecimento do código de cores para diferentes tipos de resíduos, a ser adotados na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Brasília: Diário Oficial da União, edição de 19 de junho de 2001.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, Prefeitura Municipal. Lei nº 8.123, de 16 de dezembro de 2009. Dispõe sobre descarga de entulho em locais apropriados.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, Prefeitura Municipal. Lei nº 8.232, de 15 de junho de 2011. Institui a Política Municipal de Resíduos Sólidos.

CBCS, Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: Subsídios para a Promoção da Construção Civil Sustentável, 2014. 2015.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. A Construção de um Novo País - Agenda da Construção Civil 2016/2018. Disponível em <[http://cbic.org.br/sites/default/files/Agenda\\_construcao\\_2016.pdf](http://cbic.org.br/sites/default/files/Agenda_construcao_2016.pdf)>. Acesso em Maio de 2017.

CORRÊA, B. C.; CURSINO, D.; SILVA, G. Viabilidade de Implantação de uma usina de reciclagem da construção civil na cidade de São José dos Campos/SP. São José dos Campos: Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 2009.

Decreto nº 7.404/2010, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Diário Oficial de União, Brasília, 23 dez. 2010b.

DE OLIVEIRA, M. E. D. *et al.* Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE. Eng Sanit Ambient, v. 16, n. 3, p. 219-224, 2011.

ESTATUTO, DA CIDADE. Lei 10.257/2001. Brasília: Ministério das Cidades, 2001.

FERNANDEZ, J. A. B. Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil. 2012. GLOBAL Recycling Network. Green Recycling exchange. Disponível em <<http://www.grn.com/>>. Acesso em 15 de novembro 2005.

FONSECA JUNIOR, C. A. F. Estudo econômico para instalação de uma usina de RCD. 2013.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HIRSCHIFELD, Henrique. Engenharia econômica e análise de custos: em Excel. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

IBMEC, Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais. Análise de Viabilidade Econômica e Financeira. Disponível em <<http://ibmec.org.br/geral/analise-de-viabilidade-economica-e-financeira/>>. Acesso em Agosto de 2017.

KARPINSK, L. A. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. EDIPUCRS, 2009.

LAPPONI, Juan Carlos. Projetos de Investimento: Construção e Avaliação do Fluxo de Caixa: Modelo em Excel. São Paulo: Laponi Treinamento e Ed., 2000. 376 p.

LAVILLE, C. A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas. Artmed; UFMG, 1999.

Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2 ago. 2010a.

MAH, Chooi Mei; FUJIWARA, Takeshi; HO, Chin Siang. Construction and demolition waste generation rates for high-rise buildings in Malaysia. Waste Management & Research, v. 34, n. 12, p. 1224-1230, 2016.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed.-São Paulo: Atlas, 2003.

MIRANDA, L. F. R.; TORRES, L.; BROCARD, F. L. M.; VOGT, VANESSA; BARTOLI, H. Panorama Atual do Setor de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil. In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção, 2016, SÃO PAULO. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção. 2016.

MIRANDA, L. F. R. Curso de Gestão Integrada de Resíduos da Construção Civil e Operação de usina de Reciclagem de Entulho. ABRECON. 6ª edição. São Paulo, 2014.

NOVAES, Marcos de Vasconcelos; MOURÃO, C. A. M. A. Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos na construção civil. Fortaleza: COOPERCON/CE, 2008.

OLIVEIRA, A. P. G. MARCILIO, G. S., MENDES, D. F., SOUZA, T. S., AMARAL, A. A. Revegetação, remediação e uso de geotécnicas para recuperação de ambientes degradados. Enciclopédia Biosfera, v. 11, p. 164-172, n. 2015.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. Manejo e gestão de resíduos da construção civil. Volume 1 - Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Brasília: CAIXA, 2005. 196 P.

RESOLUÇÃO CONAMA. 307 de 05 de julho de 2002. Dispõe sobre Gestão dos Resíduos da Construção Civil, 2002.

SAMANEZ, Carlos Patricio Matemática Financeira: Aplicações à Análise de Investimentos - São Paulo: Prentice Hall, 2002.

SCHROEDER, I., SCHROEDER, J.T. , COSTA, R. P. da , SHINODA, C. O Custo de Capital como Taxa Mínima de Atratividade na Avaliação de Projetos de Investimento. Revista Gestão Industrial (Online), Ponta Grossa (PR), v. 1, n. 2, p. 33-42, n. 2005.

SONG, Yiliao et al. Development of a hybrid model to predict construction and demolition waste: China as a case study. Waste Management, v. 59, p. 350-361, 2017.

VICENZI, T. D. Glassfibre Reinforced Concrete (GRC): Análise das Dificuldades de Inserção no Mercado Nacional de Painéis Fabricados em Concreto Reforçado com Fibra de Vidro. 2015.

ZL EQUIPAMENTOS. Usinas de Reciclagem para Entulho (RCD) – Fixa e Semimóvel. Disponível em <<http://zlequipamentos.com.br/usina-de-reciclagem-de-entulho/>>. Acesso em Julho de 2017.



## ESTUDO DAS CENTRÍFUGAS COMO ALTERNATIVA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS

**Angélica de Souza Ferreira<sup>1</sup>, Romeu e Silva Neto<sup>2</sup>, Ana Carolina Pereira Monteiro Manhães<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense), e-mail: angelfers@yahoo.com.br;

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense), e-mail: romeusilvaneto@gmail.com;

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense), e-mail: anamanhaes21@gmail.com

### **Introdução**

As rochas ornamentais podem ser definidas como materiais sólidos formados por agregados naturais constituídos por um ou mais minerais. Estas rochas podem ser comumente utilizadas na construção civil como pedras decorativas, de revestimentos interno e externo, lápides e esculturas. Comercialmente, as rochas ornamentais e de revestimento são divididas em dois tipos: granitos e mármore (MELLO, 2011). Geologicamente, os granitos são formados por quartzo e feldspato e são classificados como rochas ígneas, ou seja, rochas derivadas da solidificação de materiais em fusão (magma). Os mármore são rochas provenientes de calcários e são classificados como rochas metamórficas que provém de transformações de sua composição mineral e mudanças de temperatura e pressão abaixo da zona de diagênese, segundo a ABNT – NBR 6502/1995. Os granitos e mármore têm um forte pólo de produção na região de Cachoeiro do Itapemirim, no estado do Espírito Santo.

De acordo com Bernardes (2003), os gnaisses, também objetos de pesquisa neste trabalho, com um pólo de produção na região de Santo Antônio de Pádua no estado do Rio de Janeiro, são rochas metamórficas constituídas por quartzo e mais de 20% de feldspatos. Os mesmos são resultados das deformações de rochas graníticas e possui granulação média a grossa.

Segundo a ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (2014), em 2013, a produção mundial de rochas ornamentais totalizou 130 milhões de toneladas, correspondendo a 48 milhões de metros cúbicos ou 1,42 bilhões de metros quadrados equivalentes de chapas com dois centímetros de espessura. Este total inclui 76,75 Megatoneladas (Mt) (59%) de rochas carbonáticas, 47,5 Mt (36,5%) de rochas silicáticas e 5,75 Mt (4,5%) de ardósias. No mesmo ano, o Brasil ocupou a quarta posição no ranking mundial de produção de rochas ornamentais e revestimento produzindo o equivalente a 9,0 Mt e absorvendo 6,9% do mercado. O Brasil só produziu menos que China, Índia e Turquia que, juntos, detinham 54,6% da produção mundial, equivalente a 71 Mt.

Em 2014, a produção brasileira aumentou para 10,1 Mt de rochas ornamentais e de revestimento. Deste total, a Região Sudeste deteve 64% da produção nacional, seguido da Região Nordeste com 26%. (ABIROCHAS, 2015).

O granito representa quase 50% da produção total brasileira, seguida do mármore e travertinos com cerca de 19% da produção, além de ardósias, quartzitos maciços e foliados, e outros. Na Região Sudeste, o estado do Espírito Santo é o principal produtor de rochas ornamentais do tipo granitos e mármore. Conforme mencionado, no estado do Rio de Janeiro, destaca-se o município de Santo Antônio de Pádua, na região Noroeste, que é abundante em rochas ornamentais do tipo gnaisses.

<sup>2</sup> Artigo Científico apresentado no III Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis, realizado em 20 e 21 de Outubro de 2016, na cidade de Porto Alegre - RS

Segundo os dados do RAIS – Relatório Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), de 2014, o Brasil possui 12.510 empresas que geram cerca de 125.171 postos de trabalho no setor de rochas ornamentais. No estado do Espírito Santo existem 1.633 empresas que correspondem a 13% do total brasileiro gerando 21.954 postos de trabalho diretos e indiretos. Neste setor, as micro e pequenas empresas correspondem a 98,5% do total de empresas do estado.

O município de Cachoeiro de Itapemirim, localizado na região sul do estado de Espírito Santo, se destaca como cidade pólo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais. O setor de mineração possui grande influência na economia do estado, pois dos 78 municípios capixabas, 66 são produtores de rochas. Atualmente, Cachoeiro de Itapemirim concentra a maior produção de rocha do Brasil, correspondente a 7% do PIB do estado do Espírito Santo. Na região sul do estado, concentram-se cerca de 70,71% de empresas extratoras e beneficiadoras de mármore e granito, sendo que, deste total, 46,41% encontram-se em Cachoeiro de Itapemirim (MME, 2013).

Apesar da produção de rochas ornamentais deter uma parcela significativa da economia do país, essa atividade apresenta-se como grande produtora de resíduos. Os resíduos gerados na lavra e beneficiamento representam cerca de 83% de toda a matéria prima obtida para o processo. De acordo com o CETEM - Centro de Tecnologia Mineral (2014), para se produzir 330 m<sup>2</sup> de chapas, são extraídos, em média, 30 m<sup>3</sup> de rocha maciça. Dessa rocha, 20 m<sup>3</sup> (66,7% da matéria prima) ficam na pedreira na forma de resíduos. Estes resíduos são blocos fora de padrão, lascas de rochas e casqueiros que são estocados para utilização direta na produção de chapas ou ladrilhos de menor valor ou de peças estruturais ou decorativas. O volume restante da rocha, 10 m<sup>3</sup>, vai para a serraria para ser transformada em chapas. Nesse processo, perdem-se 1,5 m<sup>3</sup> de rocha nos casqueiros e aparas e 2,6 m<sup>3</sup> em finos do corte. Conclui-se que, dos 30 m<sup>3</sup> retirados da pedreira, apenas cerca de 6 m<sup>3</sup> são efetivamente transformados em chapas.

A água é um recurso utilizado de forma intensiva nos processos industriais, em razão de diversas atividades desenvolvidas pelo ser humano, principalmente aquelas relacionadas à produção de bens de consumo a partir da transformação e do processamento de recursos naturais (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). Na indústria de mineração, a água é essencial para os processos de produção, pois a mesma é utilizada desde os processos de extração até o beneficiamento. A água, quando combinada com os resíduos provenientes da produção de rochas ornamentais, produz um efluente líquido, popularmente chamado de “lama”, portanto, a gestão desses resíduos é crucial para a mineração, uma vez que reduz os impactos ambientais gerados pelos rejeitos e o armazenamento do mesmo (ADIANSYAH, 2015).

Segundo Campos et al. (2014), estima-se que sejam geradas 2,2 toneladas de lama por cada metro cúbico de rocha serrado. Essa lama, quando é despejada em afluentes sem qualquer tratamento, pode provocar assoreamento, contaminação e alteração da turbidez dos corpos hídricos.

Atualmente, o reuso da água gerada nos processos industriais tem sido incentivada pelo governo com o objetivo de reduzir os custos e os impactos ambientais gerados pelo efluente líquido resultante da mineração e beneficiamento das rochas, a estimulação de práticas sustentáveis e melhoria dos processos é imprescindível à sustentabilidade do setor (GUNSON, 2012).

Por essa razão, a Resolução CONAMA nº 430/2011, de 13 de maio de 2011, que complementa e altera a Resolução nº 357/2005, de 17 de março de 2005, estabelece as condições mínimas e padrões de lançamentos de efluentes líquidos nesses corpos d'água receptores, pois os efluentes líquidos, antes de despejados nos corpos hídricos, devem ser tratados para que os mesmos não alterem ou contaminem as águas superficiais e subterrâneas.

O estado do Rio de Janeiro estabeleceu a Norma Técnica (NT) 202, aprovada pela Deliberação CECA nº 1007, de 04 de dezembro de 1986, no qual se aplica somente aos lançamentos diretos ou indiretos de efluentes líquidos em córregos, rios ou águas superficiais ou subterrâneas do estado do Rio de Janeiro e, também estabelece os critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos como condição para o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras (SLAP).

No estado do Espírito Santo, a Lei nº 4.636, de 13 de abril de 1992 no Artigo 1º, prevê que as indústrias de beneficiamento de mármore e granito deste estado ficam obrigadas a construir e utilizarem os tanques de decantação para a reutilização da água gerada nos processos da indústria de mineração.

Diante do exposto, observa-se que a produção de rochas ornamentais é uma atividade importante para a economia do país, tanto para a geração de empregos como para a atração de divisas. Porém, a legislação aplicada a esse setor e, por conseguinte, às práticas das empresas do setor, especialmente no que se refere ao tratamento dos resíduos e efluentes líquidos, ainda carecem de melhorias para que a produção funcione com sustentabilidade.

Em função da crise hídrica na região sudeste, este trabalho optou por analisar as alternativas de tratamento de efluentes líquidos no processo de produção de rochas ornamentais, no sentido de se minimizar os impactos ambientais da atividade e avaliar a possibilidade do reuso industrial da água nos processos de produção.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo geral descrever e analisar as vantagens e desvantagens dos métodos de tratamento dos efluentes líquidos do setor de rochas ornamentais. Esses efluentes líquidos, se dispostos de maneira incorreta, podem provocar impactos ambientais e seu descarte irregular em corpos hídricos pode provocar assoreamento e alterar a turbidez e a potabilidade de córregos, canais, rios, lagos e lagoas. De modo complementar, o trabalho pretende avaliar a utilização de uma centrífuga como alternativa para o tratamento dos efluentes líquidos.

## **Material e Métodos**

A identificação dos métodos científicos é um dos procedimentos fundamentais para a pesquisa acadêmica, pois a metodologia descreve todos os materiais utilizados no trabalho, ações e equipes envolvidas para a elaboração da pesquisa (KAUARK, 2010).

Inicialmente, este trabalho, no que se refere aos níveis de pesquisa, pode ser considerado como exploratório e descritivo. Segundo Gil (2008), a pesquisa exploratória tem como propósito desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e idéias. Geralmente é empregada em assuntos pouco explorados, pois a mesma possui como base a análise bibliográfica e documental. Como os métodos de tratamento de efluentes líquidos do setor de rochas ornamentais não são objeto freqüente de publicações científicas e acadêmicas, foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica não apenas em bases científicas e acadêmicas, mas também uma pesquisa documental em *sites* e catálogos de fabricantes de equipamentos de tratamento de efluentes líquidos.

Ainda segundo o referido autor, as pesquisas descritivas têm como objetivo principal descrever, sem interferências, as características de um fato e registrá-lo. Esta pesquisa geralmente envolve técnicas padronizadas de coleta de dados e, quando a pesquisa descritiva remete a uma visão diferente do problema, ela se assemelha com a pesquisa exploratória. Assim, também se desenvolveu uma extensa pesquisa bibliográfica e documental visando-se descrever os métodos de tratamento de efluentes e identificar suas vantagens e desvantagens de sua utilização no setor de rochas ornamentais.

Assim, foi desenvolvida uma análise comparativa entre os diversos métodos existentes. O método comparativo, conforme Gil (2008) estuda as semelhanças e diferenças,

permite a análise comparativa de dados concretos explicando fenômenos. Logo, pôde-se comparar os métodos de tratamento mais eficientes no tratamento de efluentes líquidos e reuso de água. Esses métodos foram analisados de acordo com a legislação ambiental vigente.

Quanto aos procedimentos técnicos para a elaboração do trabalho, foi desenvolvida uma extensa pesquisa bibliográfica em artigos científicos, livros, teses e dissertações publicadas e foram utilizados recursos da internet como o Portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) que disponibiliza bases de dados como a *Web of Science* e *Scopus*. Também, desenvolveu-se uma pesquisa documental, que é similar a pesquisa bibliográfica, porém a mesma utiliza dados de fontes que não receberam um tratamento analítico, como catálogos, *sites* e legislação.

Finalmente, foi feito um levantamento de campo (*Survey*), que é um método que contribui para o conhecimento de uma área específica através de coleta de dados/informações sobre o objeto de investigação (MIGUEL, 2010). Foram realizadas visitas técnicas a empresas das cidades de Santo Antônio de Pádua - RJ e Cachoeiro de Itapemirim - ES, onde foram feitas entrevistas com profissionais do setor de rochas ornamentais, e onde foram desenvolvidas pesquisas observacionais que coletaram dados quantitativos e qualitativos acerca dos métodos de tratamento de efluentes líquidos utilizados pelas empresas.

## Resultados e Discussão

Segundo Anlauf (2007), as centrífugas representam uma das principais técnicas para separar as partículas de líquidos. E, de acordo com Lima (2007), centrífugas são equipamentos utilizados para separação de mistura líquidas com remoção simultânea de sólidos, clarificação de líquidos, concentração ou desidratação de sólidos. Seu princípio de funcionamento é baseado na densidade das fases em um campo centrífugo localizado em um rotor ou tambor, que eleva a força da gravidade de acordo com a velocidade de rotação e com o diâmetro do rotor.

As centrífugas industriais podem ser classificadas em centrífugas filtrantes e centrífugas sedimentadoras. As centrífugas filtrantes possuem uma cesta que gira em alta velocidade em torno de um eixo vertical ou horizontal e cuja parede é feita de tela ou placa perfurada. O filtrado, no caso a água, atravessa a tela e os sólidos ficam presos ao meio filtrante. Seu principal objetivo é separar sólidos insolúveis em líquido. As centrífugas sedimentadoras, por sua vez, têm o propósito de clarificação de líquidos. Estas possuem um tambor vertical, horizontal ou inclinado que gira em alta rotação em torno de um eixo e as partículas são dirigidas para o perímetro da centrífuga (LIMA, 2007).

Existem disponíveis várias centrífugas para sedimentação e filtração, que estão operando de forma contínua ou descontínua (ANLAUF, 2007), sendo algumas para propósitos muito específicos, como as de separação de isótopos. As centrífugas variam em sua construção, tamanho e velocidade de operação, e o uso de cada uma depende da quantidade e dos tipos de substâncias a serem separadas (QUÍMICA NOVA, 2014).

A tabela a seguir, apresenta os principais tipos de centrífugas contínuas presentes no mercado, as centrífugas por batelada não serão abordadas por não se aplicarem ao processo dos efluentes da produção de rochas ornamentais, descrevendo suas vantagens e desvantagens perante o tratamento de água e efluentes líquidos.

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens de acordo com a tipologia das centrífugas

TIPOS DE CENTRÍFUGAS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<b>PUSHER</b>	Processo contínuo Filtrante	Limitação do tamanho das partículas sólidas
<b>PARAFUSO</b>	Alta capacidade de produção Taxa de desidratação alta Eficiente separação sólido-líquidos	Limitação do tamanho das partículas sólidas
<b>VIBRATÓRIA</b>	Alta taxa de produtividade Desidratação rápida Filtrante Processo Contínuo	Limitação do tamanho das partículas sólidas
<b>DISCO</b>	Remoção de sólidos suspensos Processo contínuo Centrífuga Sedimentadora	Separação de líquidos com densidades diferentes
<b>TUBULAR</b>	Altos valores de força centrífuga Processo contínuo Centrífuga Sedimentadora	Limitação da quantidade de sólidos suspensos Separação de líquidos com densidades diferentes
<b>DECANTADORA</b>	Opera com líquidos de densidades diferentes Separação de sólido-líquido Clarificação de líquidos Processa produtos abrasivos Alta taxa de desidratação Processo contínuo Centrífuga Sedimentadora	Limitação na quantidade de sólidos

Fonte: Autoria Própria.

De acordo com as informações coletadas e as características das centrífugas analisadas, o tipo que mais se adéqua ao tratamento de efluentes líquidos gerados no setor de rochas ornamentais é a centrífuga decantadora, pois a mesma possui a função de separar os sólidos suspensos controlando a porcentagem de umidade da parte sólida e possibilita o reuso de água. Além disso, a mesma reduz a turbidez da água, opera continuamente e tem grande capacidade de processamento, mesmo tendo restrição de concentração de sólidos. Este tipo de centrífuga é satisfatório quando opera com grãos de 5 a 10.000 micrômetros, e é apropriado para receber produtos abrasivos. É comumente aplicada na desidratação e espessamento de lodos provenientes de efluentes municipais e industriais, produção de plásticos e desumidificação de polímeros de suspensão (PVC, HDPE), recuperação e processamento de produtos de origem animal e vegetal (óleos e gorduras comestíveis, amidos, proteínas), clarificação de bebidas (vinho, cerveja, frutas e sucos vegetais), tarefas de separação em mineração e processamento de minerais e clarificação de subprodutos e desidratação para biocombustíveis.

Os outros tipos de centrífugas apresentados nesta tabela são limitados a determinados tamanhos de partículas sólidas, o que os torna inviável para o tratamento de efluentes industriais, pois estes geralmente possuem partículas sólidas de tamanhos variados.

Atualmente, para tratar os efluentes líquidos gerados nas serrarias, utilizam-se técnicas de separação de sólido/líquido, resultando em um material sólido úmido e água que pode ser reutilizada no processo. A próxima Tabela compara a eficiência das técnicas de separação de sólido/líquido utilizadas no tratamento de efluentes e a eficiência de uma centrífuga decantadora.



Tabela 2: Métodos de Tratamento de Efluentes Líquidos

	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<b>TANQUE DE DECANTAÇÃO</b>	Processo eficiente Fácil operação Pouca manutenção	Processo de clarificação lento Alto custo de investimento inicial Uso de floculantes
<b>DECANTADOR VERTICAL COM FILTRO PRENSA</b>	Remoção da turbidez Ocupação de área reduzida Lama com umidade adequada para ser disposta em aterros ou incineração	Alto custo de investimento inicial Uso de floculantes
<b>LEITOS DE SECAGEM</b>	Separação sólido-líquido eficiente Baixo custo de investimento inicial	Processo lento de clarificação Requer grande área para o processo
<b>CENTRÍFUGA DECANTADORA</b>	Pode operar com líquidos de densidades diferentes Processo contínuo Dispensa o uso de floculantes Pequena área de instalação Mobilidade do equipamento	Limitação na quantidade de sólidos Alto custo de investimento inicial

Fonte: Autoria Própria

Os tratamentos por tanque de decantação e decantador vertical com filtro prensa, mencionados na Tabela, fazem uso de floculantes para acelerar o processo de decantação. Embora os floculantes sejam biodegradáveis e não provoquem danos à saúde, o emprego dos mesmos para o tratamento de água/resíduos necessita de agitação mecânica para o aumento da dispersão do produto e controle de dosagem, o que demanda mão-de-obra especializada, aumentando os custos do processo.

Os leitos de secagem não requerem floculantes. Como consequência, o processo se torna lento, em função da demora da decantação do material sólido.

Esses métodos de tratamentos de efluentes, mesmo sendo eficientes no tratamento do resíduo, necessitam da utilização de grandes áreas da unidade produtiva para o processamento da lama, além de equipamentos de alto custo, como é o caso do decantador vertical com filtro prensa. Além disso, os métodos de tratamento de efluentes líquidos tradicionais demandam um longo tempo de duração para realização do processo.

Até o presente momento não foi encontrado, em literatura e em visitas técnicas, o uso de centrífugas para o tratamento da lama produzida nas serrarias. Entretanto, sua implementação apresenta diversas vantagens que podem favorecer o processo de tratamento de efluentes, tais como: processo rápido e eficiente, redução de custos com floculantes, reuso da água nos processos industriais, custo de mão-de-obra baixo e menor espaço da unidade industrial para o beneficiamento da lama, portanto a centrífuga decantadora perante os métodos tradicionais de tratamento de efluentes líquidos se mostra mais eficaz.

## Conclusões

O reuso de água deve ser incentivado e adotado pelas empresas como instrumento para o desenvolvimento sustentável, pois devido à crise hídrica e à dificuldade de controlar a quantidade de resíduos que são gerados diariamente pelas indústrias, a reutilização de água é uma forma eficiente para combater a escassez de recursos hídricos.

A indústria de mineração tem proporcionado ao Brasil um crescimento econômico perceptível, pois o país está entre os quatro maiores produtores e exportadores de rochas

ornamentais do mundo. Porém, a atividade mineradora é extremamente nociva ao meio ambiente e à saúde pública, e faz uso exacerbado de água nos processos de extração e transformação dos blocos. Então, com a finalidade de regulamentar a utilização da água neste setor, foi aprovada a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011 que é uma resolução federal que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água.

Algumas empresas fazem o descarte de seus efluentes líquidos nos afluentes. No estado do Rio de Janeiro, a Deliberação CECA (Comissão Estadual de Controle Ambiental) Nº 1.007, de 04 de Dezembro de 1986 aprovou a Norma Técnica (NT) 202 que estabelece alguns critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos de modo que o mesmo não altere as características do receptor. E no estado do Espírito Santo, a Lei nº 4.636, 13 de abril de 1992 determina que as indústrias de beneficiamento de mármore e granito fiquem obrigadas a construir e utilizarem tanques de decantação para reutilização da água.

Apesar da legislação vigente e da implantação dos tanques de decantação, os proprietários de serrarias e beneficiamento não fazem o uso adequado, pois o mesmo precisa de inspeção e manutenção, assim como o controle da dosagem ideal de flocculantes para o tratamento de efluentes.

Portanto, o uso das centrífugas pode tornar-se uma proposta viável e ambientalmente correta, dado que as indústrias do setor de rochas ornamentais não fazem o tratamento correto e o reuso contínuo desses efluentes por causa da baixa qualidade da água processada nos métodos convencionais de tratamento de efluentes, sem controle e acompanhamento. Logo, a utilização da centrífuga pode proporcionar ao setor de rochas ornamentais uma inovação de processo que promova de forma mais eficiente a remoção dos sólidos em suspensão e a clarificação da água.

## Referências Bibliográficas

ABIROCHAS, Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Panorama Mundial do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2013. 2014. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br>>. Acesso em: 05 dez. 2015.

ABIROCHAS, Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Coverings 2015: um marco para o Convênio Apex-Brasil/ABIROCHAS. 2015. Disponível em: <[http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/3539/Abirochas\\_Noticia\\_2.pdf](http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/3539/Abirochas_Noticia_2.pdf)>. Acesso em: 05 dez. 2015.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

ADIANSYAH, J. S. *et al.* A framework for a sustainable approach to mine tailings management: disposal strategies. *Journal of Cleaner Production*, v. 108, p. 1050-1062, 2015.

ANLAUF, H. Recent developments in centrifuge technology. *Separation and Purification Technology*, v. 58, n. 2, p. 242-246, 2007.

BERNARDES, J. A. Investigação sobre a Resistência ao Cisalhamento de um Solo Residual de Gnaisse. 2003. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CAMPOS, A. R. *et al.* Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. 700 f.

CASTRO, N. F.; MARCÓN, D. B.; CATTABRIGA, L.; LIMA, E. F.; ALMEIDA, P.F. Impacto do APL de Rochas Ornamentais do Espírito Santo nas comunidades. In: Francisco Rego Chaves Fernandes; Maria Amélia Rodrigues da Silva Enríquez; Renata de Carvalho Jimenez Alamino. (Org.). Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais. 1 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011, v. II, p. 139-176.

CONAMA Resolução. 430/2011-“Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes”. Publicação DOU, n. 92, 2014.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.

GUNSON, A. J. *et al.* Reducing mine water requirements. Journal of Cleaner Production, v. 21, n. 1, p. 71-82, 2012.

KAUARK, F. S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. Metodologia da pesquisa: um guia prático. 2. ed. Bahia: Via Litterarum, 2010. 96 p.

LIMA, E. Q. B. Centrifugação: Estudo da arte e Aplicações de centrífugas na Indústria. 2007. 44 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

MELLO, I. S. de C.; CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K.; 2011. Atlas de Rochas Ornamentais da Amazônia Brasileira. 1. ed. Rio de Janeiro: CPRM. v. 1. 300p .

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Água na indústria: uso racional e reuso. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MIGUEL, P. A. C. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro: Campus-elsevier, 2010. 226 p.

MME, Ministério de Minas E Energia. Bases para o ordenamento e desenvolvimento sustentável da mineração de rochas ornamentais no noroeste do Espírito Santo. Brasília. 2013. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

MTE, Ministério do Trabalho e Emprego. 2014. Relação Anual de Informações Sociais: Anuário RAIS. Disponível em: <[http://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged\\_anuario\\_rais/anuario.htm](http://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged_anuario_rais/anuario.htm)>. Acesso em: 26 abr. 2016.

QUÍMICA NOVA. SEPARAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO: CENTRÍFUGAS E PAPÉIS DE FILTRO. Rio de Janeiro: Química Nova, v. 38, n. 5, 06 out. 2014. Semanal. Disponível em: <<http://www.quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/v38n5a20.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2016.

## APÊNDICE B<sup>3</sup>

### Fotos relacionadas à usina de RCC



*Figura 1B: Localização da usina de RCD.  
Fonte: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Ambiental –  
Campos dos Goytacazes*



*Figura 2B: Alimentador Vibratório.  
Fonte: Acervo próprio.*

<sup>3</sup> Registros fotográficos das visitas à usina localizada na CODIN



*Figura 3B: Peneira de Disco.  
Fonte: Acervo próprio.*



*Figura 4B: Mesa de Escolha (1).  
Fonte: Acervo próprio.*



Figura 5B: Mesa de Escolha (2).  
Fonte: Acervo próprio.



Figura 6B: Britador de Impacto.  
Fonte: Acervo próprio.



*Figura 7B: Peneira Vibratória.  
Fonte: Acervo próprio.*



*Figura 8B: Transportador de Correia.  
Fonte: Acervo próprio.*



*Figura 9B: Separador Magnético.  
Fonte: Acervo próprio.*



## APÊNDICE C<sup>4</sup>

---

**Assunto:** Usina de RCD (Estudo de Caso)

---

**De:** Angelica de Souza Ferreira (angelfers@yahoo.com.br)

---

**Para:** maurosilva@proguaru.com.br;

---

**Cc:** romeuneto@iff.edu.br;

---

**Data:** Quarta-feira, 2 de Agosto de 2017 17:14

---

Boa tarde, Mauro.

Conforme contato telefônico com o Paulo, estou enviando este email para obter algumas informações importantes para o artigo que estou desenvolvendo no curso de Mestrado de Engenharia Ambiental no IFF Campos/RJ sobre a Viabilidade Econômica da Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição como:

- => Capacidade de produção diária da usina;
- => Vida útil da usina;
- => Quantitativo do quadro de mão-de-obra (número de funcionários na operação e administrativo);
- => Qual a porcentagem de perda de materiais durante o processo de reciclagem;
- => Quais são os agregados reciclados e o percentual desses produtos;
- => Custos com impostos, água, energia elétrica e outros;
- => Tipo de combustível envolvido na operação e quantidade mensal gasta;

Desde já, agradeço a atenção dada ao assunto.

Att,

Angélica Souza  
 Engenheira de Produção  
 Mestranda em Engenharia Ambiental - IFF campus Centro  
 Tel: (22) 998.612.965

---

**Assunto:** Resposta sobre a usina

---

**De:** pga@proguaru.com.br (pga@proguaru.com.br)

---

**Para:** angelfers@yahoo.com.br;

---

**Data:** Sexta-feira, 4 de Agosto de 2017 10:59

---

Bom dia,

Segue abaixo as resposta :

1º 45,00 Mts<sup>3</sup>/hora

2º Depende muito do seu cuidado para a planta, ter que trabalhar sempre na preventiva, o que já conseguimos.

3º Operacional 10 colaboradores- 02 Administrativos.

4º Na faixa de 0,2%.

5º Areia - Pedra1 - Pedra2 - Pedra3 - Graúdo, trabalhamos na faixa dos 4 primeiros com 22%.

6º Na faixa entre água e energia de R\$800,00 mês.

7º Toda planta é Trifásico. (Elétrica)

Att.

Mauro Silva

<sup>4</sup> Registro dos E-mails trocados durante a pesquisa

RES: Usina de RCC (2)

Pessoas 

**Danilo Gotarde - Fácil System** <danilo.gotarde@facilsystem.com.br> Ago 18 em 14:44 PM   
Para 'Angelica de Souza Ferreira'

Boa tarde!

Preciso das seguintes informações:

Capacidade em toneladas por hora ?

Planta fixa ou movel ?

Atenciosamente.

Danilo Gotarde

(16) 99703-8505

▼ Ocultar mensagem original

**De:** Angelica de Souza Ferreira [mailto:angelfers@yahoo.com.br]

**Enviada em:** sexta-feira, 18 de agosto de 2017 12:10

**Para:** danilo.gotarde@facilsystem.com.br

**Cc:** adao.costa@facilsystem.com.br

**Assunto:** Usina de RCC

Prezados,

Gostaria de fazer uma cotação e infelizmente não consigo falar com a empresa por telefone. Estou interessada nos equipamentos da usina de RCC.

Att,  
Angélica Souza. 

◀ Responder   ◀◀ Responder a todos   ➡ Encaminhar   ⋮ Mais

**Angelica de Souza Ferreira** <angelfers@yahoo.com.br> Ago 18 em 9:25 PM   
Para Danilo Gotarde - Fácil System

Boa noite, Danilo.

A planta é fixa e a produção seria de 80 ton/h.

Att,  
Angélica Souza.

▼ Ocultar mensagem original

Em Sexta-feira, 18 de Agosto de 2017 14:44, Danilo Gotarde - Fácil System <danilo.gotarde@facilsystem.com.br> escreveu:

Boa tarde!

Preciso das seguintes informações:

Capacidade em toneladas por hora ?

Planta fixa ou movel ?

Atenciosamente.

Danilo Gotarde

---

**Assunto:** ACEITE do ARTIGO – III Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis

---

**De:** III Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis (contato@simposio-sustentavel.com)

---

**Para:** angelfers@yahoo.com.br; romeuesilvaneto@gmail.com; anamanhaes21@gmail.com;

---

**Data:** Quinta-feira, 1 de Setembro de 2016 9:57

---

Prezados Autores

**É com grande satisfação que comunicamos que seu artigo SSS147 foi aceito para o III Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis.**

Informamos que **seu artigo já foi revisado pela Comissão Científica e a mesma fez algumas sugestões de melhorias e/ou correções (verificar abaixo).**

Gostaríamos de solicitar que o **reenvio da nova versão corrigida do artigo nos fosse enviada em até 10 dias** para que possamos prepara-lo para os Anais do Evento.

**Correções e/ou sugestões:**

**Para o item introdução, recomenda-se que revisem o texto. Os autores poderiam explorar mais o item resultados, dissertando sobre as tabelas, além de utilizar/citar mais referências bibliográficas sobre o tema, assim como, adequar o artigo quanto as normas do III simpósio sobre sistemas sustentáveis.**

Atenciosamente,

**Comissão Organizadora**  
**III Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis**  
**[www.simposio-sustentavel.com](http://www.simposio-sustentavel.com)**