

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**CINTIA COELHO DE SOUZA**

**UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO CINZA DE CARVÃO MINERAL NA FORMULAÇÃO  
DO CIMENTO PORTLAND**

**CRICIÚMA**

**2019**

**CINTIA COELHO DE SOUZA**

**UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO CINZA DE CARVÃO MINERAL NA FORMULAÇÃO  
DO CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheira Ambiental e Sanitarista, no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC – UNESC.

Orientador: Prof. Dr. Elidio Angioletto

**CRICIUMA**

**2019**

**CINTIA COELHO DE SOUZA**

**UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO CINZA DE CARVÃO MINERAL NA  
FORMULAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental e Sanitarista, no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Gerenciamento e Planejamento Ambiental.

Criciúma, 24 de junho de 2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Elídio Angioletto - Doutor – UNESC – Orientador

---

Prof. Fabiano Raupp Pereira – Doutor – UNESC

---

Prof. Michael Peterson – Doutor - UNESC

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço aos meus pais Amarildo de Souza e Edna Guimarães Coelho de Souza, ao meu irmão William Coelho de Souza e minha cunhada Érica Mendes de Resendes, por todo o apoio e confiança que depositaram em mim.

Aos meus amigos e colegas pela troca de experiências e aprendizados ao longo do curso e que de alguma forma contribuíram no meu desenvolvimento.

A equipe que convivi durante esses anos, em especial ao meu supervisor, Engº Mainar Allgaier, por todos os conselhos e conhecimentos transmitidos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Elidio Angioletto que me guiou para conclusão deste trabalho. E agradeço também ao Me. Fábio Elyseu, Prof. Dr. Fabiano Raupp e Prof. Dr. Michael Peterson por fazerem parte desta etapa.

Muito obrigada!

“Todas as pessoas grandes foram um dia crianças -  
mas poucas se lembram disso”  
Antoine De Saint-Exupéry

## RESUMO

No processo produtivo da cerâmica de revestimentos cerâmicos esmaltados ocorre a geração de diversos resíduos, sendo um deles a cinza do carvão mineral advindo da etapa de geração de calor para atomização da massa cerâmica. Com o intuito de minimizar o impacto ambiental do resíduo, foram realizados testes para verificar as características da cinza de carvão mineral e se a mesma poderia ser aplicada na formulação do cimento Portland pozolânico. A metodologia empregada para análise química mostrou que o resíduo se enquadra nas exigências químicas do cimento, e que com o teste pelo método Chapelle modificado comprovou que o resíduo tem atividade pozolânica. Com os resultados das análises químicas foram moldados corpos de prova de argamassa com diferentes percentuais de resíduo adicionado na mistura, e com o ensaio de resistência a compressão foi evidenciado que o traço contendo 25% de cinza de carvão mineral teve um melhor desempenho comparando ao traço com 12,5% do mesmo resíduo. Esse resultado possibilitou realizar uma breve análise de investimentos necessários para construir uma planta de fabricação do cimento com adição do resíduo, além do cálculo da taxa interna de retorno que resultou em 1,87%. Para o licenciamento ambiental deste empreendimento foi descrito as etapas de LAP, LAI e LAO, observando as premissas previstas pelo órgão ambiental de Santa Catarina. Os ensaios realizados apresentaram que a produção de argamassas utilizando a cinza de carvão mineral na formulação é vantajosa para os aspectos técnicos e ambientais, atingindo a resistência necessária à compressão e possibilitando o desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Reaproveitamento de resíduo; Cinza de carvão mineral; Resistência a compressão; Teste Chapelle modificado; Sustentabilidade ambiental.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> - Processo produtivo dos revestimentos cerâmicos esmaltados. ....                                | 14 |
| <b>Figura 2</b> - Processo produtivo do cimento. ....  | 24 |
| <b>Figura 3</b> - Ensaio de DRX realizados com o resíduo .....   | 47 |
| <b>Figura 4</b> - Distribuição granulométrica da cinza de carvão mineral. ....                                   | 49 |
| <b>Figura 5</b> - DSC/TG resíduo cinza de carvão.....  | 50 |
| <b>Figura 6</b> - Teores de hidróxido de cálcio fixados, por atividade pozolânica, conforme norma NBR 15895..... | 51 |
| <b>Figura 7</b> - Resistência à compressão das argamassas aos 3 dias de idade. ....                              | 52 |
| <b>Figura 8</b> - Resistência à compressão das argamassas aos 7 dias de idade. ....                              | 52 |
| <b>Figura 9</b> - Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade. ....                             | 53 |
| <b>Figura 10</b> - Fluxo de caixa. ....  | 61 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1</b> - Teores dos componentes do cimento Portland comum. ....                                       | 26 |
| <b>Tabela 2</b> - Teores dos componentes do cimento Portland composto. ....                                    | 27 |
| <b>Tabela 3</b> - Teores dos componentes do cimento Portland de alto forno .....                               | 28 |
| <b>Tabela 4</b> - Teores dos componentes do cimento Portland pozolânico.....                                   | 28 |
| <b>Tabela 5</b> - Teores dos componentes do cimento Portland de alta resistência inicial.<br>.....             | 29 |
| <b>Tabela 6</b> - Teores dos componentes dos cimentos Portland brancos. ....                                   | 30 |
| <b>Tabela 7</b> - Exigências físicas e mecânicas. ....   | 32 |
| <b>Tabela 8</b> - Influência dos tipos de cimento nas argamassas e concreto.....                               | 33 |
| <b>Tabela 9</b> - Quantidade de material, em massa, para moldagem de seis corpos de<br>prova cilíndricos. .... | 42 |
| <b>Tabela 10</b> - Composição química do resíduo objeto de estudo. ....  | 46 |
| <b>Tabela 11</b> - Exigências químicas. ....   | 47 |
| <b>Tabela 12</b> - Valores obtidos para o ensaio de distribuição granulométrica.....                           | 48 |
| <b>Tabela 13</b> - Fluxo de caixa dos investimentos na instalação da planta piloto.....                        | 59 |
| <b>Tabela 14</b> - Taxas anuais aplicadas a operação.....  | 60 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Quadro 1</b> - Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa..... | 38 |
| <b>Quadro 2</b> - Tipos de pesquisa conforme seus fins. ....             | 39 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>USEPA</b>            | <i>United States Environmental Protection Agency</i>  |
| <b>ABCERAM</b>          | Associação Brasileira de Cerâmica                     |
| <b>ABCP</b>             | Associação Brasileira de Cimento Portland             |
| <b>CP I</b>             | Cimento Portland Comum                                |
| <b>CP II</b>            | Cimento Portland Composto                             |
| <b>CP III</b>           | Cimento Portland de Alto Forno                        |
| <b>CP IV</b>            | Cimento Portland Pozolânico                           |
| <b>CP V – ARI</b>       | Cimento Portland de Alta Resistência Inicial          |
| <b>CP RS</b>            | Cimento Portland Resistente a Sulfatos                |
| <b>CP BC</b>            | Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação         |
| <b>CPB</b>              | Cimento Portland Branco                               |
| <b>NBR</b>              | Norma Brasileira                                      |
| <b>ABNT</b>             | Associação Brasileira de Normas Técnicas              |
| <b>mm</b>               | Milímetros  |
| <b>h</b>                | Hora  |
| <b>MPa</b>              | Megapascal  |
| <b>m<sup>2</sup>/kg</b> | Metro quadrado por quilograma                         |
| <b>≥</b>                | Maior ou igual  |
| <b>≤</b>                | Menor ou igual  |
| <b>CONAMA</b>           | Conselho Nacional do Meio Ambiente                    |
| <b>ISO</b>              | <i>International Organization for Standardization</i> |
| <b>FRX</b>              | Fluorescência de Raio-X                               |
| <b>DRX</b>              | Difração de Raios-X                                   |
| <b>mA</b>               | Miliampère  |
| <b>°</b>                | Graus   |
| <b>g</b>                | Gramas  |
| <b>µm</b>               | Micrometro  |
| <b>Min</b>              | Minuto  |
| <b>CO<sub>2</sub></b>   | Dióxido de carbono                                    |
| <b>mL</b>               | Mililitro   |
| <b>g/L</b>              | Gramas por litro                                      |
| <b>HCl</b>              | Ácido Clorídrico                                      |

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>MPa/s</b>                | Megapascal por segundo                          |
| <b>IN</b>                   | Instrução Normativa                             |
| <b>FATMA</b>                | Fundação do Meio Ambiente                       |
| <b>TIR</b>                  | Taxa Interna de Retorno                         |
| <b>IRR</b>                  | Internal Rate of Return                         |
| <b>VPL</b>                  | Valor Presente Líquido                          |
| <b>FIESC</b>                | Federação Indústria do Estado de Santa Catarina |
| <b>SENAI</b>                | Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial     |
| <b>Ø</b>                    | Diâmetro  |
| <b>CaO/g</b>                | Óxido de Cálcio por grama                       |
| <b>Ca(OH)<sub>2</sub>/g</b> | Hidróxido de Cálcio por grama                   |
| <b>Kg</b>                   | Quilograma                                      |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>12</b> |
| <b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....                                      | <b>14</b> |
| 2.1 PROCESSO PRODUTIVO DA GERAÇÃO DO RESÍDUO .....                      | 14        |
| <b>2.1.1 Recebimento da matéria prima</b> .....                         | <b>14</b> |
| <b>2.1.2 Pesagem e Moagem</b> .....                                     | <b>15</b> |
| <b>2.1.3 Atomização</b> .....   | <b>15</b> |
| <b>2.1.4 Prensagem</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>2.1.5 Secagem</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>2.1.6 Esmaltação e Impressão digital</b> .....                       | <b>16</b> |
| <b>2.1.7 Queima</b> .....   | <b>16</b> |
| <b>2.1.8 Escolha</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>2.1.9 Expedição</b> .....  | <b>17</b> |
| 2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS.....   | 17        |
| <b>2.2.1 Classificação de Resíduos Sólidos</b> .....                    | <b>18</b> |
| 2.2.1.1 Quanto à periculosidade.....                                    | 18        |
| 2.2.1.2 Quanto à origem.....  | 18        |
| <b>2.2.2 Resíduos Sólidos Industriais</b> .....                         | <b>19</b> |
| <b>2.2.3 Reciclagem dos Resíduos Industriais</b> .....                  | <b>20</b> |
| 2.3 CIMENTO.....  | 21        |
| <b>2.3.1 História do cimento</b> .....                                  | <b>22</b> |
| 2.3.1.1 História do cimento no Brasil.....                              | 23        |
| <b>2.3.2 Processo produtivo do cimento</b> .....                        | <b>23</b> |
| <b>2.3.3 Tipos de cimento</b> .....                                     | <b>25</b> |
| 2.3.3.1 Cimento Portland Comum (CP I).....                              | 25        |
| 2.3.3.2 Cimento Portland Composto (CP II) .....                         | 26        |
| 2.3.3.3 Cimento Portland de alto forno (CP III).....                    | 27        |
| 2.3.3.4 Cimento Portland Pozolânico (CP IV).....                        | 28        |
| 2.3.3.5 Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI) ..... | 29        |
| 2.3.3.6 Cimento Portland resistente a sulfatos (CP – RS).....           | 29        |
| 2.3.3.7 Cimento Portland de baixo calor de hidratação (CP – BC).....    | 29        |
| 2.3.3.8 Cimento Portland Branco (CP – B).....                           | 30        |
| <b>2.3.4 Comparação dos tipos de cimento</b> .....                      | <b>30</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DO CIMENTO UTILIZANDO A CINZA DE CARVÃO NA FORMULAÇÃO ..... | 34        |
| 2.5 LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....  | 36        |
| <b>3 METODOLOGIA .....</b>  | <b>37</b> |
| 3.1 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX) E ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA.....                    | 39        |
| 3.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX) .....   | 39        |
| 3.3 TAMANHO DE PARTÍCULA .....  | 40        |
| 3.4 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL E TERMOGRAVIMETRIA (DSC/TG) .....                     | 40        |
| 3.5 MÉTODO CHAPELLE MODIFICADO .....  | 40        |
| 3.6 DOSAGEM DOS MATERIAIS.....  | 41        |
| 3.7 PREPARAÇÃO DA ARGAMASSA.....  | 42        |
| 3.8 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....   | 43        |
| 3.9 CONDIÇÕES DE CURA.....  | 43        |
| 3.10 ENSAIO DE COMPRESSÃO .....   | 43        |
| 3.11 COMPONENTES DA PLANTA .....  | 44        |
| 3.12 LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....   | 44        |
| 3.13 ANÁLISE ECONÔMICA .....  | 44        |
| <b>4 ANÁLISE DOS DADOS DA PESQUISA .....</b>  | <b>46</b> |
| 4.1 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX) E ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA.....                    | 46        |
| 4.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX) .....   | 47        |
| 4.3 TAMANHO DE PARTÍCULA .....  | 48        |
| 4.4 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL E TERMOGRAVIMETRIA (DSC/TG) .....                     | 49        |
| 4.5 MÉTODO CHAPELLE MODIFICADO .....  | 50        |
| 4.6 ENSAIO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....   | 51        |
| 4.7 COMPONENTES DA PLANTA.....  | 54        |
| <b>4.7.1 Moinho.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>4.7.2 Peneiramento.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>4.7.3 Dosagem .....</b>  | <b>55</b> |
| <b>4.7.4 Mistura dos materiais.....</b>   | <b>55</b> |
| <b>4.7.5 Ensacamento .....</b>  | <b>55</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.8 LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....   | 55        |
| 4.9 ANÁLISE ECONÔMICA .....  | 58        |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>65</b> |
| <b>ANEXO(S).....</b>   | <b>69</b> |
| <b>ANEXO A – Determinação da análise química por espectrometria de fluorescência de raios x.....</b> | <b>70</b> |
| <b>ANEXO B – DRX .....</b>   | <b>71</b> |
| <b>ANEXO C – Distribuição granulométrica.....</b>  | <b>72</b> |
| <b>ANEXO D – Relatório de ensaio – Traço 1 – 3 dias .....</b>  | <b>73</b> |
| <b>ANEXO E – Relatório de ensaio – Traço 1 – 7 dias .....</b>  | <b>74</b> |
| <b>ANEXO F – Relatório de ensaio – Traço 1 – 28 dias.....</b>  | <b>75</b> |
| <b>ANEXO G – Relatório de ensaio – Traço 2 – 3 dias .....</b>  | <b>76</b> |
| <b>ANEXO H – Relatório de ensaio – Traço 2 – 7 dias .....</b>  | <b>77</b> |
| <b>ANEXO I – Relatório de ensaio – Traço 2 – 28 dias.....</b>  | <b>78</b> |
| <b>ANEXO J – Relatório de ensaio – Traço 3 – 3 dias.....</b>   | <b>79</b> |
| <b>ANEXO K – Relatório de ensaio – Traço 3 – 7 dias .....</b>  | <b>80</b> |
| <b>ANEXO L – Relatório de ensaio – Traço 3 – 28 dias.....</b>  | <b>81</b> |
| <b>ANEXO M – Relatório de ensaio – Traço 4 – 3 dias.....</b>   | <b>82</b> |
| <b>ANEXO N – Relatório de ensaio – Traço 4 – 7 dias .....</b>  | <b>83</b> |
| <b>ANEXO O – Relatório de ensaio – Traço 4 – 28 dias .....</b>                                       | <b>84</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias de revestimentos cerâmicos esmaltados geram grande quantidade de resíduos sólidos durante todo o processo produtivo. Para minimizar o impacto ambiental gerado, as empresas atuam no intuito de reciclar ou reaproveitar estes resíduos, ou ainda comercializam estes como insumos para outros setores industriais.

O desenvolvimento da reciclagem proporciona uma melhoria na qualidade de vida do ponto de vista ambiental, e, a partir dela, evidencia-se que a geração dos resíduos repercute em custos, pois requer seu tratamento e disposição em locais regulares. Sendo assim, as indústrias vêm buscando opções para reduzir os resíduos gerados, conseqüentemente os custos, visando redução dos impactos ambientais e o aumento da credibilidade perante o mercado consumidor (SILVA, 2005 apud SANTOS, 2008).

O uso de novos materiais na indústria da construção civil, sobretudo os materiais derivados de resíduos industriais, tem sido cada vez mais abundante. Existem pelo menos duas razões para isto: a primeira deve-se ao elevado volume de materiais que a construção civil demanda, e a segunda é devido à valorização e ao reaproveitamento dos resíduos industriais no setor da construção civil e na área de proteção ambiental (MARGON, 2002).

A indústria da construção civil é o maior usuário dos subprodutos do carvão mineral, estes estão sendo cada vez mais usados como material aditivo em produtos cimentícios, como concreto e argamassa, para obter melhores propriedades físicas e mecânicas dos produtos frescos e endurecidos. O uso de cinzas volantes altera a composição do cimento, influencia a hidratação e a microestrutura de argamassas, e a permeabilidade e a resistência do concreto (POON, 1997 apud SIQUEIRA, 2011).

Como alternativa para diminuir o impacto ambiental da indústria em estudo, propõem-se a utilização do resíduo cinza do carvão mineral como uma das matérias primas para a formulação do cimento Portland pozolânico de classe 32, buscando resultados mínimos exigidos à compressão pela NBR 5736/1991.

Como objetivos para este trabalho se estabeleceu a verificação da viabilidade técnica e o estudo da taxa interna de retorno na utilização de cinza de carvão mineral na fabricação do cimento pozolânico. Para isto, foi avaliado o

processo e geração deste resíduo; foi estudado a atividade pozolânica do resíduo; foi desenvolvido uma fórmula de cimento utilizando o resíduo cinza de carvão mineral; foi realizado testes de compressão nas argamassas; e foram citadas as etapas relacionadas ao licenciamento ambiental da atividade.

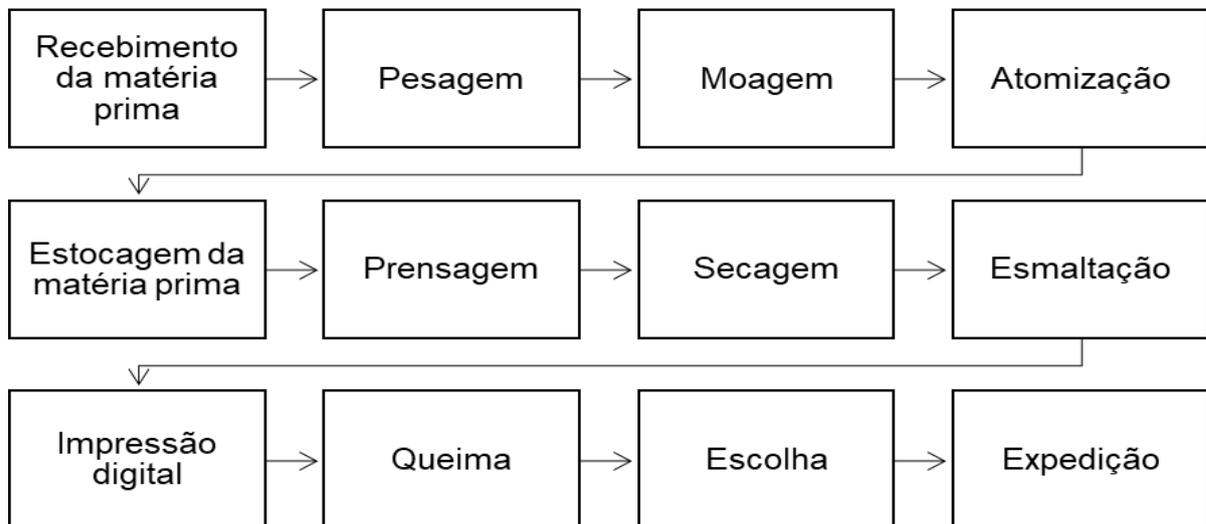
## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo fornecer sustentação teórica ao tema em estudo. Para este fim, serão apresentados os processos produtivos onde a cinza de carvão foi gerada e onde será empregada, as características de cada tipo de cimento Portland e conceitos importantes para o entendimento do presente trabalho.

### 2.1 PROCESSO PRODUTIVO DA GERAÇÃO DO RESÍDUO

Apresenta-se na figura 1 o fluxograma do processo produtivo de uma indústria de revestimentos cerâmicos esmaltados, bem como a etapa em que ocorre a geração do resíduo da queima do carvão mineral, que será reaproveitado para a formulação do cimento.

**Figura 1** - Processo produtivo dos revestimentos cerâmicos esmaltados.



Fonte: Autor, 2019.

#### 2.1.1 Recebimento da matéria prima

Após a mineração os materiais extraídos são recebidos na indústria de revestimento cerâmico, e são dispostos em boxes independentes para cada tipo de matéria prima, sendo elas argilas, feldspato, bentonita, calcário, caulim, silicato e talco (ABCERAM, 2019). Alguns dos resíduos provenientes de outras etapas do processo, como quebra cerâmica e lodo gerado no tratamento de efluentes líquidos

também podem ser utilizados como matéria prima para a formulação da massa do revestimento cerâmico, desde que sejam utilizados em pequenos percentuais.

### **2.1.2 Pesagem e Moagem**

Uma etapa de extrema importância para o processo de fabricação de produtos cerâmicos é a dosagem das matérias primas e aditivos, devendo seguir as fórmulas das massas estabelecidas, para posteriormente serem encaminhados para o moinho, onde são adicionados os aditivos e a água a esta mistura que é moída para que a granulometria das partículas seja diminuída, formando então a barbotina (ABCERAM, 2019).

### **2.1.3 Atomização**

Após o processo de moagem a barbotina é bombeada para dentro do atomizador, e a suspensão é pulverizada no interior do equipamento onde em contato com o ar aquecido, ocorre a transformação de uma suspensão aquosa em partículas secas (RIBEIRO; VENTURA; LABRINCHA; 2001). O calor que o atomizador recebe para a desidratação da barbotina é oriundo da queima de carvão mineral das fornalhas de leito fluidizado.

### **2.1.4 Prensagem**

O pó atomizado é encaminhado para a prensa, onde é colocado em um molde que exerce uma pressão determinada em toda a peça cerâmica, este método é utilizado por realizar a compactação uniforme do material, para que tenha um controle da espessura final e redução da deformação no produto final (ABCERAM, 2019).

### **2.1.5 Secagem**

Após a prensagem, o material é encaminhado para o secador para remover possíveis traços de água provenientes da preparação da massa. Para reduzir defeitos nas peças esta remoção da umidade deve ser de realizada de forma

lenta e gradual, com temperaturas variáveis entre 50 °C e 230 °C (ABCERAM, 2019).

### **2.1.6 Esmaltação e Impressão digital**

Os materiais cerâmicos esmaltados recebem uma camada fina e contínua de esmalte, que após a queima assumem um aspecto vítreo. Esta camada de esmalte contribui para os aspectos estéticos, higiênicos e melhoria de propriedades mecânicas, aumentando a resistência ao desgaste (ABCERAM, 2019).

Além da camada de esmalte, as peças cerâmicas podem receber uma impressão digital de acordo com o *design* do produto.

### **2.1.7 Queima**

Nesta etapa a peça cerâmica entra no forno a uma temperatura entre 800 °C e 1200 °C e realiza a queima em processo contínuo, sendo esta a etapa do processo onde os produtos vão adquirir suas propriedades finais (ABCERAM, 2019).

Os fornos são divididos em três fases, sendo elas: a) aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura ideal para cada tipo de cerâmica de revestimento; b) patamar durante um intervalo de tempo na temperatura especificada; e c) resfriamento das peças cerâmicas a temperaturas inferiores a 200 °C (ABCERAM, 2019).

Com este tratamento térmico ocorre transformações em função dos componentes da massa, como a perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas e formação da fase vítrea do esmalte (ABCERAM, 2019).

### **2.1.8 Escolha**

Na etapa de classificação ocorre a avaliação de cada peça cerâmica, avaliando os defeitos superficiais, diferença de tonalidades e aspectos dimensionais. A classificação na indústria analisada é realizada seguindo dois modelos: o visual e o automatizado.

### 2.1.9 Expedição

Sendo a última etapa do processo, é na expedição onde as peças cerâmicas são armazenadas no pátio da empresa para posterior comercialização no mercado interno e externo.

## 2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo Lima (2001) os resíduos sólidos são materiais heterogêneos resultante das atividades humanas e da natureza, podendo ser utilizados, gerando proteção à saúde pública e economia de recursos naturais.

Conforme a Lei nº 12305/2010 que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, eles têm a seguinte definição:

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.” (Lei nº 12305/2010, p. 2)

De acordo com a ABNT NBR 10004/2004, resíduos sólidos são:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.” (NBR 10004/2004, p. 7).

Assim, a partir das definições descritas acima, é necessário que seja avaliado a classificação dos resíduos, visto que estes apresentam diferentes características conforme sua atividade geradora.

## 2.2.1 Classificação de Resíduos Sólidos

Para classificar um resíduo sólido é necessário identificar qual processo ou atividade gerou o mesmo, bem como seus constituintes e suas características, após deve-se realizar a comparação destes constituintes com listagens de resíduos sólidos cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (NBR 10004/2004).

De acordo com a Lei nº 12305/2010 os resíduos sólidos podem ser classificados de duas diferentes formas: de acordo com a sua periculosidade e a sua origem.

### 2.2.1.1 Quanto à periculosidade

De acordo com a ABNT NBR 10004/2004, a classificação dos resíduos quanto à periculosidade é dividida em:

a) Resíduos Classe I – Perigosos: são aqueles que possuem características de inflamabilidade; corrosividade; reatividade; toxicidade; patogenicidade; carcinogenicidade; teratogenicidade e mutagenicidade, e significativo risco à saúde pública ou qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) Resíduos Classe II – Não Perigosos: são aqueles que não estão enquadrados como perigosos e são subdivididos em:

- a. Resíduos Classe II A – Não inertes;
- b. Resíduos Classe II B – Inertes.

### 2.2.1.2 Quanto à origem

O segundo método de classificação dos resíduos sólidos, é considerando a sua atividade geradora, que de acordo com a Lei nº 12305/2010 são classificados em:

- a) Resíduos domiciliares: os provenientes de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) Resíduos de limpeza urbana: derivados da varrição, limpeza das vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;

- c) Resíduos sólidos urbanos: compõem-se dos resíduos domiciliares e resíduos de limpeza urbana;
- d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: advindos das atividades de comércio;
- e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: são gerados nessas atividades, com exceção dos resíduos sólidos urbanos;
- f) Resíduos industriais: oriundos dos processos produtivos e instalações industriais;
- g) Resíduos de serviços de saúde: provenientes dos serviços de saúde,
- h) Resíduos da construção civil: são os resíduos gerados em todo tipo de obras de construção civil;
- i) Resíduos agrossilvopastoris: os provenientes das atividades agropecuárias e silviculturais;
- j) Resíduos de serviços de transportes: os vindos de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) Resíduos de mineração: são provenientes das atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

### **2.2.2 Resíduos Sólidos Industriais**

Conforme Barros (2012) os resíduos sólidos industriais são aqueles gerados nos processos produtivos e instalações industriais, abrangendo uma diversidade de indústrias e processos.

De acordo com a resolução CONAMA 313, resíduos sólidos industriais são definidos como:

“[...] é todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição” (Resoluções do CONAMA, 2002, p. 654).

Visto os diferentes resíduos industriais que uma indústria gera, descritos acima, esta precisa ter definida a estratégia para a sua destinação.

### **2.2.3 Reciclagem dos Resíduos Industriais**

A alegação de que muitos resíduos industriais podem ser reciclados deve ser considerada, já que com a disposição final dos mesmos pode provocar um passivo ambiental (BARROS, 2012).

Buscando desenvolver a reciclagem destes resíduos, a USEPA – United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), desenvolveu um guia para tomada de decisões para o gerenciamento dos resíduos sólidos, do qual reconhece os materiais não como resíduos, mas como matérias primas.

De acordo com a USEPA (1995), as categorias dos resíduos sólidos dos quais a definição não se aplica são:

- a) Resíduos utilizados como matéria prima: são os materiais utilizados como matéria-prima.
- b) Resíduos usados como um substituto do produto: são os materiais utilizados como um substituto para um produto comercial.
- c) Resíduos de retorno para o processo produtivo: são os materiais devolvidos ao processo produtivo.

Segundo Ravaglioli e Krajewski (1983) e M. Pelino (1997), a viabilidade do processo de reciclagem de determinado material, para além dos aspectos técnicos essenciais, depende também dos seguintes fatores:

- a) Disponibilidade contínua do material;
- b) Sua quantidade produzida e grau de pureza;
- c) Condições de mercado;
- d) Custos e a disponibilidade de transporte;
- e) Custo ao processo de transformação num material reutilizável;
- f) Custo de deposição de resíduos associados ao processo; e,
- g) Perdas ambientais que ocorrem da sua não reutilização.

Devido a esses fatores, a reciclagem é lucrativa somente se os materiais são homogêneos, relativamente limpos, com constância das propriedades ao longo

do tempo, que levam ganhos no processo produtivo. São exemplos os vidros, papel, alguns metais, pilhas, algumas lamas industriais e cinzas (M. Pelino, 1997).

Dentro do contexto de utilização de resíduos muitos tipos de resíduos são encaminhados para as fábricas de cimento, que é o objeto desse trabalho.

## 2.3 CIMENTO

O cimento é um pó fino com propriedades ligantes, que endurece sob a ação de água. O cimento juntamente com outros componentes forma o concreto, tornando-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra (ABCP, 2019).

Tem em sua composição o clínquer e adições finamente moídas. O clínquer é o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento, enquanto que as adições variam para cada tipo de cimento, definindo as propriedades de cada um dos cimentos existentes (SILVA et al, 2011).

1 Clínquer: tem como matérias-primas o calcário e a argila que são obtidas de jazidas, o calcário é britado e misturado com a argila e então forma uma mistura de farinha ou cru. Esta mistura segue para um forno com temperatura de 1450 °C e é transformada então no clínquer, após a saída do forno o material é bruscamente resfriado (CAPURUCO, 2011).

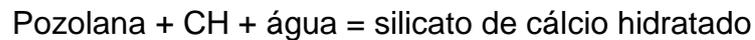
2 Adições:

a) Gesso: tem como finalidade a redução da velocidade do endurecimento do cimento, característica que o leva a ser empregado na formulação de todos os tipos de cimento Portland (CAPURUCO, 2011).

b) Escória granulada de alto forno: é um subproduto do tratamento de minério de ferro em altoforno, adquirido sob forma granulada devido o resfriamento brusco do material, formado em maior percentual na formulação por silicatos e aluminossilicatos de cálcio (NBR 5735/1991).

c) Material pozzolânico: são materiais silicosos ou silicoaluminosos que não possuem ou possuem pouca atividade aglomerante, mas que quando estão finamente divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio e transformam o material em um composto com propriedades cimentícias (NBR 5736/1991).

Aitcin (2000) descreve que a reação pozolânica pode ser escrita da seguinte maneira:



E quando a pozolana é misturada ao cimento em proporções adequadas toda a cal produzida pela hidratação do cimento Portland pode ser transformada em C-S-H e pode ser escrita da seguinte forma:



d) Sílica ativa: a sua adição na formulação dos cimentos proporciona boa resistência a ataques químicos, aumento das resistências mecânicas (abrasão, erosão, compressão, tração) e impermeabilidade (CAPURUCO, 2011).

e) Materiais carbonáticos: são materiais finamente divididos formados em sua maior parte de carbonato de cálcio (NBR 5736/1991). A adição deste material na formulação dos cimentos serve para torná-lo mais trabalhável, devido aos grãos desses minerais terem dimensões adequadas para se alojar entre os grãos dos outros componentes dos cimentos (CAPURUCO, 2011).

### **2.3.1 História do cimento**

Conforme a ABCP (2019) o cimento se originou há cerca de 4500 anos, sendo que no Egito utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado para a construção dos monumentos. Ainda na mesma época as construções gregas e romanas eram feitas utilizando solos de origem vulcânica que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água.

Já no ano de 1756, o inglês John Smeaton desenvolveu um produto de alta resistência por meio da calcinação de calcários moles e argilosos. Enquanto que em 1824 o inglês Joseph Aspdin queimou pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino, com isso observou que após a mistura secar ela se tornava tão dura

quanto as pedras utilizadas em construções. Esta mistura foi chamada de cimento Portland e patenteada no mesmo ano (ABCP, 2019).

#### 2.3.1.1 História do cimento no Brasil

No Brasil, os primeiros estudos para a fabricação do cimento Portland ocorreram em 1888, chegando a funcionar durante três meses, em 1892, uma pequena instalação produtora, na Paraíba. Este empreendimento acabou fracassando devido a distância dos centros consumidores e à pequena escala de produção, não conseguindo competitividade com os cimentos que eram importados (ABCP, 2019).

Em 1897 a usina de Rodovalho teve sua primeira produção do cimento Santo Antônio, mas parou sua produção em 1904, que depois de três anos voltaram a produzir e tiveram problemas na qualidade do produto e em 1918 interromperam suas atividades (ABCP, 2019).

Já em 1912, o governo do Espírito Santo fundou uma fábrica que teve suas atividades produtivas durante doze anos, com a precariedade e produção de apenas 8.000 toneladas por ano. Esta fábrica voltou a funcionar após a modernização, em 1935 (ABCP, 2019).

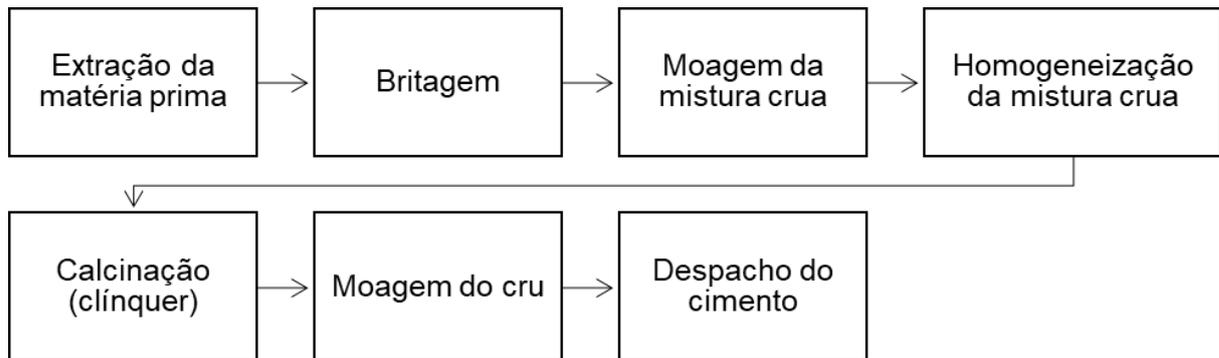
As tentativas durante esses anos resultaram na implantação, em 1924, de uma fábrica no Estado de São Paulo pela Companhia Brasileira de Cimento Portland, cuja construção pode ser considerada como o marco da implantação da indústria brasileira de cimento (ABCP, 2019).

Após dois anos da fábrica em São Paulo ser implantada, foram comercializadas as primeiras toneladas do cimento. Antes disso o consumo do cimento no país dependia do cimento importado, e devido ao aumento da produção nacional, bem como implantação de novas fábricas, este consumo passou a diminuir, até praticamente desaparecer atualmente (ABCP, 2019).

#### 2.3.2 Processo produtivo do cimento

Na figura 2 se apresenta o fluxograma contendo uma breve explicação do processo produtivo do cimento Portland, nesta seção não serão apresentadas as formulações para cada tipo de cimento existente.

**Figura 2 -** Processo produtivo do cimento.



Fonte: SNIC, 2019.

De acordo com SILVA et al. (2011) o processo produtivo pode ser dividido em três etapas, sendo elas:

- Etapa 1 - Mineração: extração, britagem, transporte e pré homogeneização.

Nesta etapa ocorre a extração e remoção dos minerais, após a extração o material é dividido entre parte útil e parte estéril, e separado em duas etapas de britagem, para facilitar o transporte do material. Posteriormente ocorre a pré homogeneização para definição e adequação dos parâmetros do material, quanto mais homogêneo for o material, mais descomplicado será a correção na próxima fase.

- Etapa 2 – Moagem de cru: moagem, homogeneização, clínquerização.

A moagem de cru (material extraído da homogeneização) é realizada em moinhos tubulares de bolas ou moinhos verticais de rolos, que transforma esses materiais em uma mistura finamente moída (farinha). Os parâmetros físico-químicos da farinha é corrigido através da dosagem dos calcários, sendo eles o principal (carbonato alto) e aditivo (carbonato baixo), após realizado o ajuste a farinha é armazenada em silo para ser feita nova homogeneização da mistura, sendo essencial para a etapa de clínquerização. Nesta etapa de clínquerização ocorre o tratamento térmico controlado da farinha a uma temperatura de até 1450 °C, que as reações químicas juntamente com o resfriamento da mistura transformam a farinha em clínquer (SILVA et al. 2011).

- Etapa 3 – Moagem de cimento: finalizando o produto e distribuição.

Para finalização do produto, o clínquer é moído juntamente com o gesso, sendo também colocado na mistura as adições de acordo com cada tipo de cimento

(CAPURUCO, anos diversos). O cimento é transportado para um conjunto de silos, onde são armazenados e abrigados da umidade ambiente. Para distribuição o produto é ensacado e comercializado em embalagens de 25 kgs e 50 kgs (SILVA et al. 2011).

### **2.3.3 Tipos de cimento**

O mercado nacional dispõe de 8 opções de cimento Portland, são eles o Cimento Portland Comum (CP I), Cimento Portland Composto (CP II), Cimento Portland de Alto Forno (CP III), Cimento Portland Pozolânico (CP IV), Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS), Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC), e Cimento Portland Branco (CPB) (ABCP, 2019).

Esses tipos de cimento se diferenciam de acordo com a proporção dos componentes presentes na mistura, sendo eles o clínquer e sulfatos de cálcio, escórias, pozolanas e material carbonático, acrescentadas no processo de moagem (ABCP, 2019).

#### **2.3.3.1 Cimento Portland Comum (CP I)**

O Cimento Portland Comum (CP I) é a referência que se tem atualmente para comparação com os outros tipos de cimento. Este cimento se divide em duas classes, o Cimento Portland Comum (CP I) e o Cimento Portland Comum com Adição (CP I-S), segundo a ABNT NBR 5736, o que diferencia estes dois tipos são os teores dos componentes.

**Tabela 1** - Teores dos componentes do cimento Portland comum.

| Sigla    | Classe de resistência | Componentes (% em massa)      |                                 |                     |                      |
|----------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------|----------------------|
|          |                       | Clínquer + sulfatos de cálcio | Escória granulada de alto-forno | Material pozolânico | Material carbonático |
| CP I     | 25                    | 100                           |                                 | 0                   |                      |
|          | 32                    |                               |                                 |                     |                      |
|          | 40                    |                               |                                 |                     |                      |
| CP I – S | 25                    | 99 – 95                       |                                 | 1 – 5               |                      |
|          | 32                    |                               |                                 |                     |                      |
|          | 40                    |                               |                                 |                     |                      |

Fonte: ABNT NBR 5732/1991.

O Cimento Portland CP I é adequado para construções de concreto em que não ocorra exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas, e quando não há necessidade de desforma rápida (ABCP, 2019).

#### 2.3.3.2 Cimento Portland Composto (CP II)

O Cimento Portland Composto se diferencia do CP I por possuir na sua composição escória, material pozolânico e material carbonático, sendo esses os três subtipos de cimentos compostos (ABCP, 2019), na tabela 02 é apresentado a porcentagem dos componentes de cada subtipo conforme especificação da ABNT NBR 11578.

**Tabela 2** - Teores dos componentes do cimento Portland composto.

| Sigla   | Classe de resistência | Componentes (% em massa)      |                                 |                     |                      |
|---------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------|----------------------|
|         |                       | Clínquer + sulfatos de cálcio | Escória granulada de alto-forno | Material pozolânico | Material carbonático |
| CP II-E | 25                    | 94 – 56                       | 6 - 34                          | -                   | 0 – 10               |
|         | 32                    |                               |                                 |                     |                      |
|         | 40                    |                               |                                 |                     |                      |
| CP II-Z | 25                    | 94 - 76                       | -                               | 6 – 14              | 0 – 10               |
|         | 32                    |                               |                                 |                     |                      |
|         | 40                    |                               |                                 |                     |                      |
| CP II-F | 25                    | 94 - 90                       | -                               | -                   | 6 – 10               |
|         | 32                    |                               |                                 |                     |                      |
|         | 40                    |                               |                                 |                     |                      |

Fonte: ABNT NBR 11578/1991.

Estes cimentos são recomendados para obras de engenharia civil sob a forma de argamassa, concreto simples, concreto armado e concreto protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento, pisos e pavimentos de concreto e solo-cimento (ABCP, 2019).

### 2.3.3.3 Cimento Portland de alto forno (CP III)

O Cimento Portland de alto forno (CP III) apresenta maior impermeabilidade e durabilidade em relação aos outros tipos de cimento, possui baixo calor de hidratação e uma alta resistência à expansão. (ABCP, 2019).

Este tipo de cimento possui apenas uma categoria, onde varia apenas o percentual de cada componente conforme a ABNT NBR 5735, apresentado na tabela 03.

**Tabela 3 - Teores dos componentes do cimento Portland de alto forno**

| Sigla  | Classe de resistência | Componentes (% em massa)      |                                 |                      |
|--------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------|
|        |                       | Clínquer + sulfatos de cálcio | Escória granulada de alto-forno | Material carbonático |
| CP III | 25                    | 65 – 25                       | 35 – 70                         | 0 – 5                |
|        | 32                    |                               |                                 |                      |
|        | 40                    |                               |                                 |                      |

Fonte: ABNT NBR 5735/1991.

É um cimento que pode ser empregado em concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro e outros, por ser resistente a sulfatos e possuir menos poros, aumentando sua durabilidade (ABCP, 2019).

#### 2.3.3.4 Cimento Portland Pozolânico (CP IV)

Em comparação com os cimentos comuns, este apresenta maior impermeabilidade, durabilidade e uma resistência mecânica à compressão superior quando atinge idades avançadas. Este cimento é indicado para construções de grande volume de concreto devido ao baixo calor de hidratação (ABCP, 2019). A tabela 04 apresenta os teores dos componentes de acordo com a ABNT NBR 5736/1991.

**Tabela 4 - Teores dos componentes do cimento Portland pozolânico.**

| Sigla | Classe de resistência | Componentes (% em massa)      |                     |                      |
|-------|-----------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|
|       |                       | Clínquer + sulfatos de cálcio | Material pozolânico | Material carbonático |
| CP IV | 25                    | 85 – 45                       | 15 – 50             | 0 – 5                |
|       | 32                    |                               |                     |                      |

Fonte: ABNT NBR 5736/1991.

### 2.3.3.5 Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI)

Por possuir uma alta resistência nas primeiras horas é recomendado para construções civis que necessitam um tempo menor de desforma. Esta alta resistência já nas primeiras horas é obtida através da moagem mais fina do cimento e pela dosagem diferenciada de calcário e argila na composição do clínquer (ABCP, 2019). Segue na tabela 05 os teores dos componentes do CP V-ARI em acordo com a ABNT NBR 5733/1991.

**Tabela 5** - Teores dos componentes do cimento Portland de alta resistência inicial.

| Sigla      | Componentes (% em massa)      |                      |
|------------|-------------------------------|----------------------|
|            | Clínquer + sulfatos de cálcio | Material carbonático |
| CP V – ARI | 100 – 95                      | 0 – 5                |

Fonte: ABNT NBR 5733/1991.

### 2.3.3.6 Cimento Portland resistente a sulfatos (CP – RS)

O CP - RS oferece resistência aos meios agressivos sulfatados, conforme a ABNT NBR 5737/1992 os cimentos CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI podem ser resistentes aos sulfatos, sendo assim o CP - RS deve atender umas das normas específicas para cada tipo de cimento, são elas as NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735, NBR 5736 ou NBR 11578.

São amplamente utilizados em argamassas e concretos submetidos ao ataque de meios agressivos, como estações de tratamento de água e esgotos, obras em regiões litorâneas, subterrâneas e marítimas, entre outros (ABCP, 2019).

### 2.3.3.7 Cimento Portland de baixo calor de hidratação (CP – BC)

O cimento CP - BC tem a propriedade de adiar o despreendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica, devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento (ABCP, 2019).

Conforme a ABNT NBR 16697, os tipos básicos de cimento – CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V – ARI – podem ser de baixo calor de hidratação, apenas deve se obedecer aos requisitos estabelecidos no ensaio específico de determinação do calor de hidratação previsto pela norma ABNT NBR 12006.

#### 2.3.3.8 Cimento Portland Branco (CP – B)

O Cimento Portland Branco se diferencia dos outros tipos de cimento Portland por sua coloração e possui dois subtipos, sendo eles o estrutural e o não estrutural. O estrutural tem finalidades arquitetônicas por possuir uma coloração mais clara, possui as classes de resistência 25, 32 e 40, podendo ser um substituto do Cimento Portland Comum. Enquanto que o não estrutural não tem indicações de classe, sendo assim deve ser aplicado em rejuntamento de azulejos e em aplicações não estruturais (ABCP, 2019).

Segue tabela 06 com os teores em massa para composição dos dois tipos de cimento Portland branco, conforme ABNT NBR 12989/1993.

**Tabela 6** - Teores dos componentes dos cimentos Portland brancos.

| Denominação                            | Classe de resistência | Componentes (% em massa)      |                      |
|--|-----------------------|-------------------------------|----------------------|
|  |                       | Clínquer + sulfatos de cálcio | Material carbonático |
| Cimento Portland branco estrutural     | 25                    | 100 – 75                      | 0 - 25               |
|  | 32                    |                               |                      |
|  | 40                    |                               |                      |
| Cimento Portland branco não-estrutural | -                     | 74 – 50                       | 26 - 50              |

Fonte: ABNT NBR 12989/1993.

#### 2.3.4 Comparação dos tipos de cimento

“O próprio Cimento Portland Comum (CP I) pode conter adição, neste caso, de 1% a 5% de material pozzolânico, escória ou carbonato de cálcio e o restante de clínquer. Já o CPI-S pode conter de 6% a 10% de material carbonático. O Cimento Portland Composto (CP II- E, CP II-Z e CP II-F) tem

adições de escória, pozolana e fíler, respectivamente, mas em proporções um pouco maiores que no CP I e no CP I-S. Já o Cimento Portland de Alto-Forno (CP III) e o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) contam com proporções maiores de adições: escória, de 35% a 75% (CP III), e pozolana, de 15% a 50% (CP IV)” (ABCP, 2019).

A tabela 07 apresenta os limites estabelecidos de exigências, físicas e mecânicas para os diferentes tipos de cimento, são elas as que garantem o desempenho mecânico e reológico quando da aplicação em pastas, argamassas e concretos.

A tabela 08 mostra de que forma os diversos tipos de cimento agem sobre as argamassas e concretos de função estrutural com eles compostos.

**Tabela 7 - Exigências físicas e mecânicas.**

| Tipo de cimento Portland            | Classe | Finura                       |                                      | Tempos de pega |         | Expansibilidade |               | Resistência à compressão |              |              |               |               |
|-------------------------------------|--------|------------------------------|--------------------------------------|----------------|---------|-----------------|---------------|--------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
|                                     |        | Resíduo na peneira 75 mm (%) | Área específica (m <sup>2</sup> /kg) | Início (h)     | Fim (h) | A frio (mm)     | A quente (mm) | 1 dia (MPa)              | 3 dias (MPa) | 7 dias (MPa) | 28 dias (MPa) | 91 dias (MPa) |
| CP I<br>CP I - S                    | 25     | ≤ 12,0                       | ≥ 240                                |                |         |                 |               |                          | ≥ 8,0        | ≥ 15,0       | ≥ 25,0        |               |
|                                     | 32     | ≤ 12,0                       | ≥ 260                                | ≥ 1            | ≤ 10    | ≤ 5             | ≤ 5           | -                        | ≥ 10,0       | ≥ 20,0       | ≥ 32,0        | -             |
|                                     | 40     | ≤ 10,0                       | ≥ 280                                |                |         |                 |               |                          | ≥ 15,0       | ≥ 25,0       | ≥ 40,0        |               |
| CP II – E<br>CP II – Z<br>CP II - F | 25     | ≤ 12,0                       | ≥ 240                                |                |         |                 |               |                          | ≥ 8,0        | ≥ 15,0       | ≥ 25,0        |               |
|                                     | 32     | ≤ 12,0                       | ≥ 260                                | ≥ 1            | ≤ 10    | ≤ 5             | ≤ 5           | -                        | ≥ 10,0       | ≥ 20,0       | ≥ 32,0        | -             |
|                                     | 40     | ≤ 10,0                       | ≥ 280                                |                |         |                 |               |                          | ≥ 15,0       | ≥ 25,0       | ≥ 40,0        |               |
| CP III                              | 25     |                              |                                      |                |         |                 |               |                          | ≥ 8,0        | ≥ 15,0       | ≥ 25,0        | ≥ 32,0        |
|                                     | 32     | ≤ 8,0                        | -                                    | ≥ 1            | ≤ 12    | ≤ 5             | ≤ 5           | -                        | ≥ 10,0       | ≥ 20,0       | ≥ 32,0        | ≥ 40,0        |
|                                     | 40     |                              |                                      |                |         |                 |               |                          | ≥ 12,0       | ≥ 23,0       | ≥ 40,0        | ≥ 48,0        |
| CP IV                               | 25     |                              |                                      |                |         |                 |               |                          | ≥ 8,0        | ≥ 15,0       | ≥ 25,0        | ≥ 32,0        |
|                                     | 32     | ≤ 8,0                        | -                                    | ≥ 1            | ≤ 12    | ≤ 5             | ≤ 5           | -                        | ≥ 10,0       | ≥ 20,0       | ≥ 32,0        | ≥ 40,0        |
| CP V - ARI                          |        | ≤ 6,0                        | ≥ 300                                | ≥ 1            | ≤ 10    | ≤ 5             | ≤ 5           | ≥ 14,0                   | ≥ 24,0       | ≥ 34,0       | -             | -             |

Fonte: ABCP, 2002.

**Tabela 8** - Influência dos tipos de cimento nas argamassas e concreto.

| Propriedade   | Tipo de cimento Portland |   |   |                                |                         |                   |  |
|---|--------------------------|---|---|--------------------------------|-------------------------|-------------------|--|
|   | Comum e Composto         | Alto-Forno  | Pozolânico  | Alta Resistência Inicial       | Resistente aos Sulfatos | Branco Estrutural | Baixo Calor de Hidratação                          |
| <b>Resistência à compressão</b>                     | Padrão                   | Menor nos primeiros dias e maior no final da cura | Menor nos primeiros dias e maior no final da cura | Muito maior nos primeiros dias | Padrão                  | Padrão            | Menor nos primeiros dias e padrão no final da cura |
| <b>Calor gerado na reação do cimento com a água</b> | Padrão                   | Menor   | Menor   | Maior                          | Padrão                  | Maior             | Menor  |
| <b>Impermeabilidade</b>                             | Padrão                   | Maior   | Maior   | Padrão                         | Padrão                  | Padrão            | Padrão   |

Fonte: ABCP, 2002.

## 2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DO CIMENTO UTILIZANDO A CINZA DE CARVÃO NA FORMULAÇÃO

De acordo com a Resolução CONAMA 01/86, considera-se impacto ambiental:

“Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:  
I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população;  
II – as atividades sociais e econômicas;  
III – a biota;  
IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;  
V – a qualidade dos recursos ambientais.” (Resolução CONAMA 01/86, p.1)

Outra definição de impacto ambiental se encontra na ABNT NBR ISO 14001/2015: “modificação no meio ambiente, tanto adversa como benéfica, total ou parcialmente resultante dos aspectos ambientais de uma organização” (item 3.2.4 da norma).

O conceito de impacto ambiental adotado por SANCHEZ (2006) é a “alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana”.

Para produzir o cimento ocorre impactos ambientais em todas as fases de produção, os considerados com maiores impactos negativos estão o processo de mineração para extração do calcário, o transporte de material particulado ao longo do processo produtivo e no forno de clinquerização, onde se gera um grande volume de gases de efeito estufa (CHAVES et al, 2014).

Os impactos gerados podem causar tanto danos ambientais quanto danos à saúde humana, com a extração da matéria prima ocorre a degradação e alterações no ambiente, no processo produtivo ocorre a emissão de material particulado, causador de problemas à saúde humana (MAURY E BLUMENSCHHEIN, 2012).

KARSTENSEN (2010) relaciona como principais e mais expressivos impactos ambientais da produção do cimento os seguintes grupos:

a) Emissões de material particulado: tem sua origem principalmente do moinho de cru, forno e nos moinhos de cimento, já nas fontes dispersas da área da planta as emissões são originadas principalmente no

armazenamento e manuseio dos materiais. As emissões de particulado na chaminé podem ser reduzidas através da utilização de filtros eletroestáticos e filtros mangas.

b) Emissão atmosférica de gases nocivos: geradas no sistema de queima e são liberadas para a atmosfera, gera grande preocupação ambiental devido ao processo de combustão a altas temperaturas formarem gases como óxidos de nitrogênio e enxofre. Existe também a emissão de dióxido de carbono no processo produtivo.

c) Outros tipos de emissões como ruídos e vibrações: durante a cadeia do processo produtivo se faz uso de grandes máquinas e motores de alta potência que geram as emissões de ruídos e vibrações; e,

d) Consumo de recursos naturais: na formulação do cimento são necessárias grandes quantidades de recursos naturais, combustíveis térmicos e energia elétrica.

Apesar dos problemas associados a produção do cimento, há o incentivo pela sustentabilidade, os países buscam novos métodos de produção visando uma “química verde”, entre elas se encontram a busca por equipamentos mais eficientes, a substituição de matérias primas e o coprocessamento de resíduos, no qual os resíduos gerados em outros processos produtivos podem ser reciclados e reintegrados ao processo produtivo do cimento, diminuindo a emissão de gases poluentes, a extração de matérias primas e a deposição de resíduos, originando em um produto de menor impacto ambiental (LOPES E SANTOS, 2018).

A substituição das matérias-primas possui impactos ambientais positivos, já que com ela propicia o aumento da vida útil das jazidas de argila e calcário. Além de que os resíduos industriais teriam como destinação final os aterros industriais ou a incineração, e ao se realizar o coprocessamento destes resíduos haverá um aumento da vida útil dos aterros. Para as indústrias cimenteiras, o uso dos resíduos coprocessados diminui o custo da produção, gerando impactos positivos no ambiente e na economia (BELATO, 2013).

## 2.5 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Conforme a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro - FIRJAN (2004), o licenciamento ambiental pode ser entendido como:

“É o procedimento no qual o poder público, representado por órgãos ambientais, autoriza e acompanha a implantação e a operação de atividades, que utilizam recursos naturais ou que sejam consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras. É obrigação do empreendedor, prevista em lei, buscar o licenciamento ambiental junto ao órgão competente, desde as etapas iniciais de seu planejamento e instalação até a sua efetiva operação.” (FIRJAN, 2004, p. 1).

De acordo com a Resolução CONAMA 237 de 1997, todo empreendimento listado na mesma é obrigado a ter licença ambiental. No estado de Santa Catarina, o Instituto do Meio Ambiente – IMA, antiga Fundação do Meio Ambiente - FATMA é responsável por essa atribuição, prevendo três fases distintas de licenciamento para cada empreendimento, sendo elas a Licença Ambiental Prévia, Licença Ambiental de Instalação e a Licença Ambiental de Operação.

Segundo a Resolução CONSEMA nº 98 de 2017 as definições das licenças são:

- Licença Ambiental Prévia - LAP: documento que aprova a concepção e localização do empreendimento, avaliando sua viabilidade ambiental ou não. Caso seja viável são estabelecidas as condicionantes a serem atendidas nas próximas fases de sua implementação;
- Licença Ambiental de Instalação - LAI: documento que autoriza a instalação do empreendimento e da implantação dos controles ambientais, de acordo com as especificações constantes dos projetos aprovados, incluindo todo o detalhamento de engenharia e de que forma serão atendidas as exigências legais;
- Licença Ambiental de Operação (LAO): documento que autoriza a operação do empreendimento, após a verificação *in loco* do efetivo cumprimento das licenças anteriores.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritas as naturezas das pesquisas e os materiais e métodos utilizados neste presente trabalho.

Segundo UNISANTA (p.2) a pesquisa básica tem como objetivo gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência, que envolve verdades e interesses universais, enquanto que a pesquisa aplicada tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas específicos, que envolve verdades e interesses locais.

Conforme SILVA (2014) existem duas formas de abordagem da pesquisa, sendo elas de natureza qualitativa ou de natureza quantitativa. Na natureza qualitativa não existe a preocupação com as técnicas estatísticas ou medidas, há o enfoque na compreensão da natureza do fenômeno estudado e suas consequências.

Pode-se considerar que na pesquisa qualitativa o pesquisador participa, compreende e interpreta (MICHEL, 2015).

Segundo RICHARDSON a pesquisa quantitativa caracteriza-se:

“[...] pelo emprego de quantificação tanto nas modalidades de coleta das informações, quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas, desde as mais simples como percentual, médio, desvio-padrão, às mais complexas, como coeficiente de correlação, análise de regressão etc.” (Richardson, 1999, p. 70).

No Quadro 1 segue um comparativo geral dos dois tipos de pesquisa.

**Quadro 1** - Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa.

| <b>Pesquisa Qualitativa</b>  | <b>Pesquisa Quantitativa</b>  |
|--|---|
| Caráter subjetivo.   | Caráter objetivo.   |
| Discute, correlaciona, interpreta situações fatos, opiniões, e conclui valores através de análise coerente.                            | Quantifica, coleta e trata dados obtidos através do uso de técnicas numéricas e/ou estatísticas de amostragem, população etc. |
| Analisa e apresenta resultados predominantemente no formato de texto corrido – ideias, observação, comparação, análise.                | Analisa e apresenta resultados através de tabelas, gráficos – números para serem analisados posteriormente.                   |
| Desenvolve uma teoria; faz interpretações individuais, narrativas, relata experiências, identifica expectativas, frustrações, motivos. | Testa uma teoria; usa análises estatísticas para abranger grandes grupos.   |
| Procura particularidades, qualidade.   | Procura generalizações, quantidades.  |
| Pesquisador participa do processo.   | Pesquisador atua remotamente.   |
| Pesquisador participa, compreende e interpreta.  | Pesquisador descreve, explica e prediz.   |

Fonte: Michel, 2015.

Com base nestas definições, a natureza desta pesquisa se caracterizou como quali-quantitativa, por ter a participação de ambos os tipos de pesquisa.

Segundo Sampieri, Collado e Lúcio (2006) os diferentes fins que uma pesquisa pode apresentar são: explicativa, exploratória, descritiva ou correlacional (Quadro 02), conforme alinhados com base nos objetivos específicos propostos.

**Quadro 2** - Tipos de pesquisa conforme seus fins.

| Fins da pesquisa | Objetivos  |
|------------------|--|
| Exploratória     | Examinar um tema ou problema de pesquisa pouco estudado, sobre o qual se têm muitas dúvidas ou que não foi abordado antes.           |
| Descritiva       | Especificar propriedades e características importantes de qualquer fenômeno que se analise.  |
| Correlacional    | Conhecer a relação ou grau de associação que existe entre dois ou mais conceitos, categorias ou variáveis em um contexto específico. |
| Explicativo      | Explicar por que um fenômeno ocorre e em quais condições ele se manifesta, ou por que duas ou mais variáveis estão relacionadas.     |

Fonte: Sampieri, Collado e Lúcio (2006), adaptado.

Com base nessa definição, a pesquisa se caracterizou como descritiva-exploratória, no âmbito exploratório será o desenvolvimento do cimento utilizando um resíduo do processo de revestimentos cerâmicos esmaltados, enquanto que nos fins descritivos serão especificadas as propriedades do produto final.

### 3.1 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX) E ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

Estas técnicas determinam a análise química da cinza de carvão mineral por espectrometria de fluorescência de raios x ou espectrometria de absorção atômica. O ensaio foi realizado segundo as metodologias PR-CR-097, PR-CR-098 e PR-CR-103.

### 3.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

Foi realizada usando um difratômetro de raios-X marca Shimadzu XRD-6000 utilizando tudo de cobre de 30 mA de corrente e 30 kvolts de ddp e identificou-

se por comparação de um perfil desconhecido com o conjunto de difração padrão coletado e mantido pelo Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS), na geometria  $\theta$ - $2\theta$  para determinar-se as fases presentes. O ânodo utilizado foi o de cobre com  $\lambda_1 = 1,54060 \text{ \AA}$  e  $\lambda_2 = 1,54439 \text{ \AA}$  com filtro de níquel sem monocromador e a faixa angular analisada de  $3,00^\circ$  a  $80,00^\circ$ . Efetuou-se as difrações em temperatura e pressão ambiente. Coletou-se aproximadamente 1g do resíduo para a realização do teste de DRX.

### 3.3 TAMANHO DE PARTÍCULA

Para analisar o tamanho da partícula do resíduo de cinza de carvão mineral, uma amostra foi peneirada em peneiras de 45 a 100 mesh para a determinação da granulometria. Elaborou-se esta análise com o equipamento de Granulometria Cilas 1064, marca Acil Weber, modelo Cilas 1064L com uma faixa entre 0,04 e 500  $\mu\text{m}$ . Ao final, anotou-se o tamanho das partículas do resíduo.

### 3.4 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL E TERMOGRAVIMETRIA (DSC/TG)

Para caracterização inicial da cinza e análise das propriedades térmicas da argamassa, cujo objetivo é determinar as principais características térmicas e analisar a degradação da argamassa em função da temperatura, foi empregado as técnicas de Termogravimetria (TGA) e Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC). Estas análises foram realizadas em conjunto no equipamento modelo STA 449F3 da marca Netzsch®, utilizando atmosfera de nitrogênio com temperatura máxima de  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  e taxa de aquecimento de  $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ .

### 3.5 MÉTODO CHAPELLE MODIFICADO

O método chapelle modificado foi realizado de acordo com a ABNT NBR 15895/2010 para determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado em materiais pozolânicos. Para o ensaio misturou-se 1 grama do material pozolânico juntamente

com 2 gramas de óxido de cálcio em água isenta de CO<sub>2</sub> e a amostra foi colocada em banho maria com agitação por 16 horas a uma temperatura de 90 °C. Passadas as 16 horas, foi adicionada na amostra 250 mL de solução de sacarose (240 g/L) e agitou-se durante 15 minutos.

Após as misturas estarem completas, ocorreu a filtração das amostras, e então foi pipetada 50 mL da solução e titulada com uma solução de HCl 0,1 M, utilizando solução de fenolftaleína (1g/L) como indicador. Com o resultado obtido na titulação foi quantificado o resultado do ensaio, expresso em mg de hidróxido de cálcio fixado por g de cinza de carvão mineral.

O procedimento se repetiu para 6 amostras, sendo as amostras A, B e C realizada com a cinza de carvão moída durante 30 minutos, enquanto que as amostras D, E e F a cinza foi moída por um período de 45 minutos. Outra variação foi no fator de correção do HCl para a concentração de 0,1 M.

### 3.6 DOSAGEM DOS MATERIAIS

A mistura dos materiais para a confecção dos corpos de prova foi em acordo com a ABNT NBR 5752. Foram preparados quatro traços, dos quais a argamassa A foi com cimento CP II-F-32, a argamassa B foi a mistura do mesmo cimento juntamente com a cinza de carvão mineral, considerada como o material pozolânico, a argamassa C foi realizada do mesmo modo que a argamassa B, apenas reduzindo o percentual de material pozolânico, enquanto que a argamassa D foi realizada com o cimento CP IV para efeitos comparativos no ensaio de compressão. A tabela 09 mostra a quantidade utilizada de material para a moldagem dos corpos de prova cilíndricos.

**Tabela 9** - Quantidade de material, em massa, para moldagem de seis corpos de prova cilíndricos.

| Material                   | Massa (g)   |             |             |             |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            | Argamassa A | Argamassa B | Argamassa C | Argamassa D |
| Cimento CP II-F-32         | 624 ± 0,4   | 468 ± 0,4   | 546 ± 0,4   | -           |
| Cimento CP IV              | -           | -           | -           | 624 ± 0,4   |
| Material pozolânico        | -           | 156 ± 0,2   | 78 ± 0,2    | -           |
| Areia normal               | 1872        | 1872        | 1872        | 1872        |
| Água                       | 300 ± 0,2   | 300 ± 0,2   | 300 ± 0,2   | 300 ± 0,2   |
| Aditivo superplastificante | -           | ©           | ©           | -           |

Fonte: ABNT NBR 5752/2014, adaptado.

Para o preparo da argamassa B e C, foi homogeneizado previamente o cimento com o material pozolânico, por aproximadamente dois minutos e em seguida adicionado os outros materiais.

A areia normal foi arranjada com quatro frações de (468,0 ± 0,3) g, compreendendo as frações granulométricas grossa (#16), média grossa (#30), média fina (#50) e fina (#100).

A quantidade de aditivo © para determinação do índice de consistência normal foi utilizado em acordo com o Anexo B da ABNT NBR 7215/1997. Após o preparo da argamassa e moldagem do corpo de prova troncônico ocorreu o abatimento de 30 vezes durante 30 segundos e em seguida foi realizado a medição para analisar se o índice de consistência da argamassa B foi igual ou maior que o da argamassa A.

### 3.7 PREPARAÇÃO DA ARGAMASSA

Foi preparada conforme indica a ABNT NBR 7215/1996, inicialmente a água foi colocada na cuba e em seguida adicionou-se o cimento no misturador mecânico na velocidade baixa durante 30 segundos, após a mistura de areia foi

colocada gradualmente durante 30 segundos. Adicionada a areia a velocidade foi aumentada para a escala durante 30 segundos, e em seguida o misturador foi desligado por um período de 1 minuto e 30 segundos, nos primeiros 15 segundos retirou-se a argamassa que ficou aderida às paredes e no tempo restante a argamassa deve ficar em repouso. Após as misturas estarem completas o misturador foi ligado na velocidade alta por mais 1 minuto.

### 3.8 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Foi realizado em acordo com a ABNT NBR 7215, colocou-se a argamassa nos corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, a cada altura colocada o corpo de prova recebeu 30 golpes uniformes com o soquete normal.

### 3.9 CONDIÇÕES DE CURA

Foram realizadas de acordo com a ABNT NBR 7215/1996. Em um primeiro momento a cura foi realizada ao ar, onde permaneceu durante 24 horas. Após estas horas iniciais os corpos de prova foram desmoldados e imersos no tanque de água saturada de cal, permanecendo até o momento do ensaio, que foi realizado em três idades distintas, 3 dias, 7 dias e 28 dias de idade.

### 3.10 ENSAIO DE COMPRESSÃO

Para a determinação da resistência à compressão foi utilizada a ABNT NBR 7215/1996, a qual determina que o corpo de prova após curado deve ser posto no centro da máquina de ensaio, e a velocidade de carregamento da máquina ao transmitir a carga de compressão ao corpo de prova deve ser de  $(0,25 \pm 0,05)$  MPa/s.

### 3.11 COMPONENTES DA PLANTA

A planta para a fabricação do cimento com adição da cinza de carvão mineral conta com equipamentos que atuam nas seguintes frentes:

- Moagem do material;
- Peneiramento;
- Dosagem;
- Mistura dos materiais;
- Ensacamento;

Cada etapa é de extrema importância para se obter o cimento com as exigências físicas e mecânicas estabelecidas por normas técnicas, portanto cada equipamento utilizado teve sua descrição, explicando seu objetivo, atuação e importância.

### 3.12 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Foi seguida a Instrução Normativa (IN) nº 04 da FATMA (Fundação do Meio Ambiente – SC), referente a Atividades Industriais, que delibera a documentação necessária para realizar o licenciamento ambiental e estabelece os critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais para a implantação das atividades industriais que constam na IN.

### 3.13 ANÁLISE ECONÔMICA

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um método de cálculo utilizado para analisar a viabilidade econômica de projetos de investimentos, tendo o resultado em percentual de rentabilidade do projeto analisado (PRATES, 2016).

Para calcular a TIR do projeto, utilizou-se os investimentos para instalação da planta e acrescentou-se 10% do valor final para serviços de mão de obra com a instalação. Em seguida foram calculadas as taxas anuais aplicadas a operação da planta, sendo as taxas de manutenção, de eventuais investimentos e taxas de depreciação dos equipamentos, foram adotadas taxas de 10%, 3% e 10%,

respectivamente. Tendo o cálculo da TIR como análise econômica do projeto, foram consideradas os investimentos e custos correlacionados com o faturamento gerado com a fabricação do cimento (ANGIOLETTO; MARTINS; ROSSI, 1994).

Para obter a TIR, iguala-se a equação do Valor Presente Líquido (VPL) à zero, resultando na Equação 1:

$$0 = \textit{Investimento Inicial} + \frac{FC1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FC2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FCn}{(1 + TIR)^n}$$

Que pode ser simplificada e reescrita em termos gerais conforme a Equação 2:

$$0 = \textit{Investimento Inicial} + \sum_{n=1}^N \frac{FCn}{(1 + TIR)^n}$$

Na qual:

FC = Fluxo de caixa;

n = Número de períodos;

TIR = Taxa Interna de Retorno.

## 4 ANÁLISE DOS DADOS DA PESQUISA

Este capítulo tem como finalidade apresentar os resultados da pesquisa realizada por meio da coleta nas bases de dados e por meio de testes executados para responder aos objetivos específicos e gerais propostos para esta pesquisa.

### 4.1 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX) E ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

A análise química por espectrometria de fluorescência de raios X apresentada na Tabela 10 teve por objetivo verificar a presença no resíduo de algum elemento essencial ou prejudicial para as propriedades físico-químicas desejadas na mistura do cimento Portland, a análise completa se encontra no Anexo A.

**Tabela 10** - Composição química do resíduo objeto de estudo.

| Elementos                      | Teor em massa (%) |
|--------------------------------|-------------------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23,88             |
| CaO                            | 3,73              |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,84              |
| K <sub>2</sub> O               | 1,89              |
| MgO                            | 0,68              |
| MnO                            | 0,18              |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,35              |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,05              |
| SiO <sub>2</sub>               | 62,25             |
| TiO <sub>2</sub>               | 1,11              |
| Perda Fogo                     | 1,52              |

Fonte: Autor, 2019.

Segundo a ABNT NBR 12653/2014, um material para ser caracterizado como pozolânico, deve atender aos requisitos químicos demonstrados na Tabela 11.

**Tabela 11** - Exigências químicas.

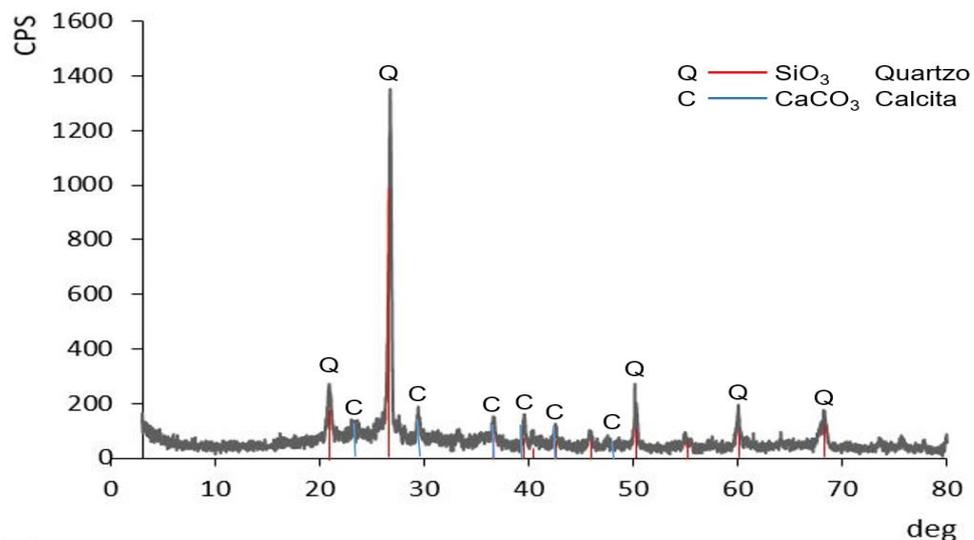
| Propriedades  | Classe de material pozolânico |     |     |
|---|-------------------------------|-----|-----|
|   | N                             | C   | E   |
| SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % mín. | 70                            | 70  | 70  |
| SO <sub>3</sub> , % máx.  | 4                             | 5   | 5   |
| Teor de umidade, % máx.   | 3                             | 3   | 3   |
| Perda ao fogo, % máx.   | 10                            | 6   | 6   |
| Álcalis disponíveis em Na <sub>2</sub> O, % máx.  | 1,5                           | 1,5 | 1,5 |

Fonte: ABNT NBR 12653/2014.

Analisando a composição química da cinza de carvão mineral e comparando aos requisitos químicos da ABNT NBR 12653/2014 a soma de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do resíduo é de 89,97%, atendendo a classe C (que é definida como cinza volante produzida pela queima de carvão mineral que obedece aos requisitos aplicáveis nesta norma). Pode-se observar que o Na<sub>2</sub>O é menor que o limite da norma e a perda ao fogo de 1,52%, atendendo também aos requisitos.

#### 4.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

O resultado que o difratômetro de raios-X apresentou a presença de quartzo, apresentado na Figura 03, a análise completa se encontra no Anexo B.

**Figura 3** - Ensaios de DRX realizados com o resíduo

Fonte: Autor, 2019.

Segundo Aitcin (2000) a sílica ativa é um subproduto da fabricação do silício metálico, das ligas ferro-silício e de outras ligas de silício, e são obtidas pela redução de quartzo na presença de carvão. A sílica ativa é composta principalmente de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e o seu teor na sílica ativa varia dependendo do tipo de liga produzida.

Comparando a sílica ativa com outros materiais cimentícios suplementares, as características que a tornam um material pozolânico muito reativo são o seu teor alto de  $\text{SiO}_2$ , seu estado amorfo e a sua finura, essas características associada à rápida reação pozolânica, dão efeitos benéficos na microestrutura e nas propriedades mecânicas do concreto. Em função da finura das partículas da sílica ativa, elas podem preencher os vazios entre as partículas maiores de cimento (AITCIN, 2000).

#### 4.3 TAMANHO DE PARTÍCULA

A Tabela 12 apresenta os valores de tamanhos de partícula em função do tamanho máximo retido nestes percentuais para a cinza de carvão mineral, a análise completa se encontra no Anexo C.

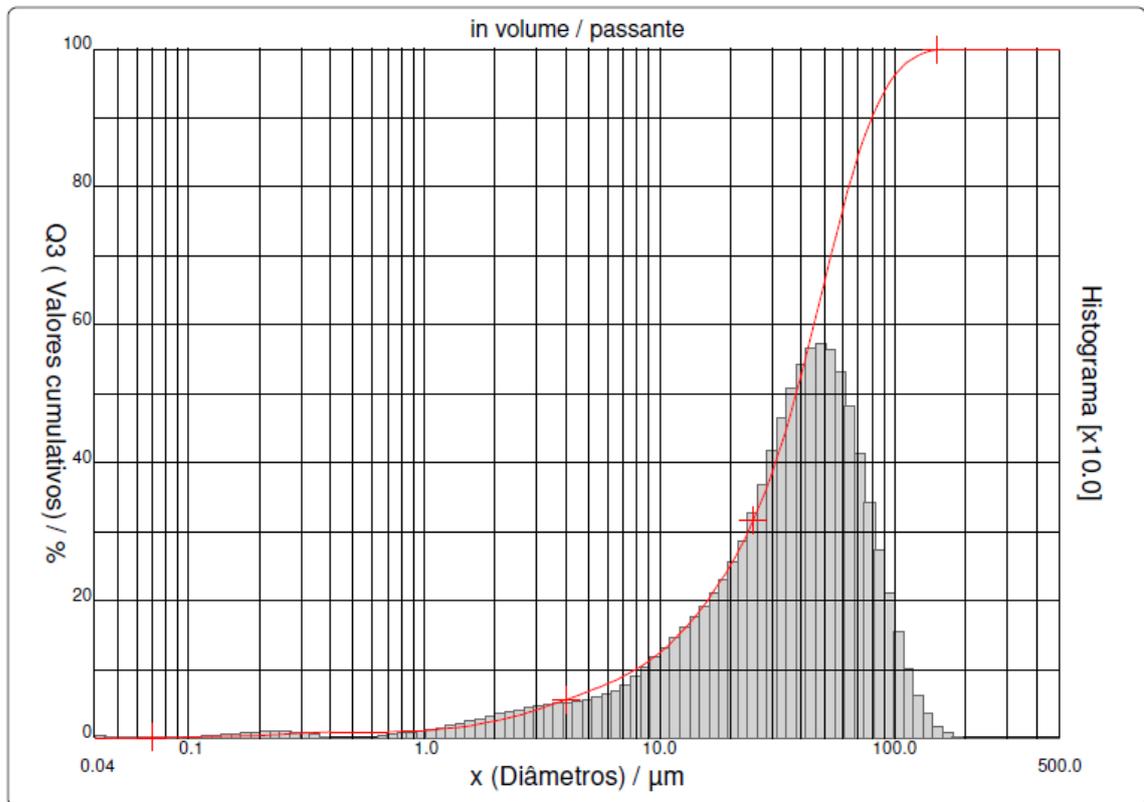
**Tabela 12** - Valores obtidos para o ensaio de distribuição granulométrica.

| <b>Diâmetro</b> | <b>Valor Cumulativo<br/>Diâmetro</b> |
|-----------------|--------------------------------------|
| Ø a 10%         | 7,93 µm                              |
| Ø a 50%         | 38,11 µm                             |
| Ø a 90%         | 79,75 µm                             |
| Ø médio         | 41,80 µm                             |

Fonte: Autor, 2019.

A Figura 04 apresenta o resultado da análise granulométrica da cinza de carvão mineral. O diâmetro médio das partículas a 10% do volume ficou em 7,93 µm, a 50% em 38,11 µm, e a 90 % em 79,75 µm. O diâmetro médio de partícula é de 41,80 µm.

**Figura 4** - Distribuição granulométrica da cinza de carvão mineral.



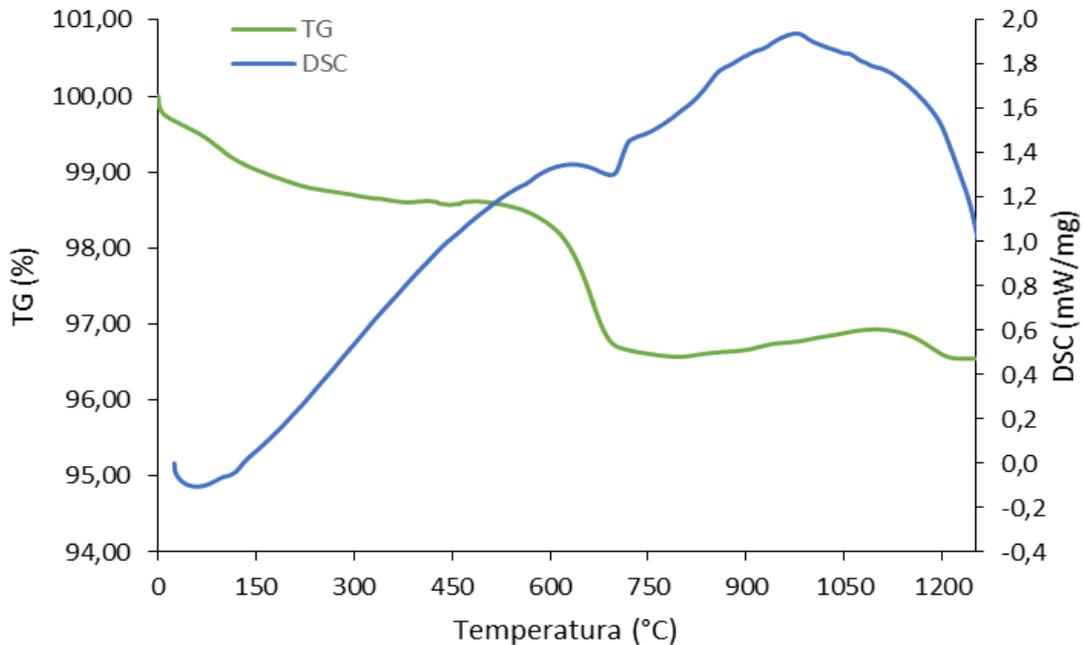
Fonte: Autor, 2019.

#### 4.4 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL E TERMOGRAVIMETRIA (DSC/TG)

A figura 05 mostra uma perda de massa de aproximadamente 1% na faixa de temperatura de 50 °C a 150 °C. O pico endotérmico absorvido no DSC indica que houve o dispêndio de energia para esse evento, isto provavelmente se refere a perda de água adsorvida na superfície do pó de cinza de carvão.

A aproximadamente 550 °C a 750 °C ocorre novamente perda de massa de aproximadamente 3%, sendo novamente marcado por evento endotérmico, provavelmente está ligado a calcinação do carbonato de cálcio, que ocorre nesta faixa de temperatura. Acima de 1200 °C inicia-se a fusão.

**Figura 5 - DSC/TG resíduo cinza de carvão.**



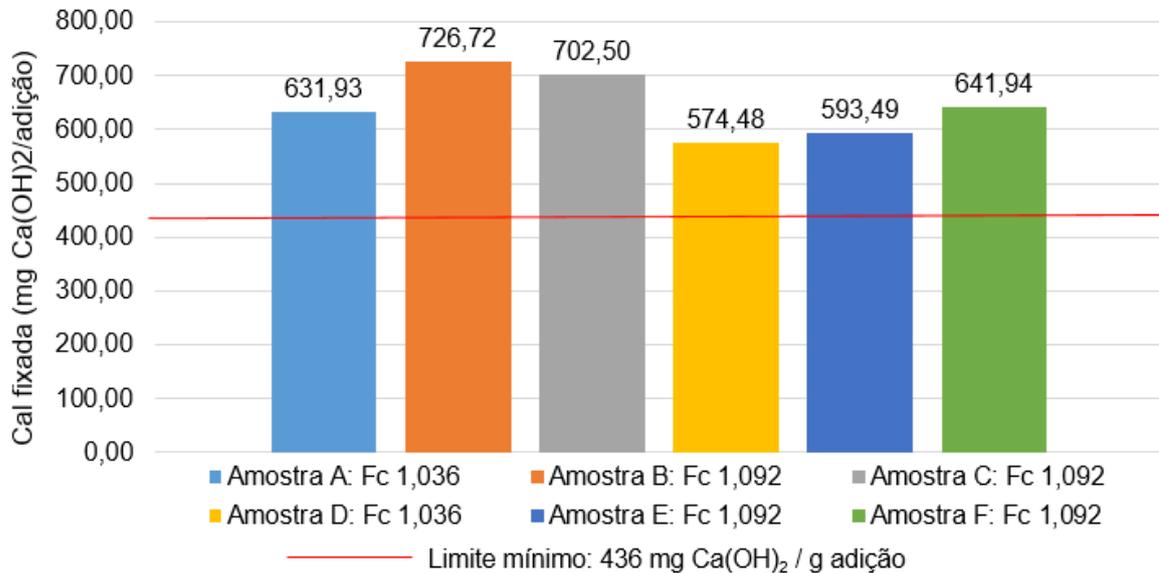
Fonte: Autor, 2019.

#### 4.5 MÉTODO CHAPELLE MODIFICADO

O método Chappelle modificado especifica um procedimento para determinação do índice de atividade pozolânica de materiais por meio da determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado. A Figura 06 apresenta os teores de cal fixados pelas adições minerais conforme as instruções de ensaio da norma ABNT NBR 15895/2010.

A amostra B apresentou a maior reatividade entre as amostras, com consumo de 726,72 mg  $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$  de adição da cinza, enquanto que a amostra D teve a menor reatividade, com consumo de 574,48 mg  $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$  de adição da cinza, contudo, todas as amostras obtiveram o consumo de cal superior ao consumo mínimo necessário estabelecido por RAVERDY et al. em que o material é considerado pozolânico quando apresentar um índice de consumo mínimo de 330 mg de  $\text{CaO}/\text{g}$  de amostra (436 mg de  $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$  de amostra).

**Figura 6** - Teores de hidróxido de cálcio fixados, por atividade pozolânica, conforme norma NBR 15895.

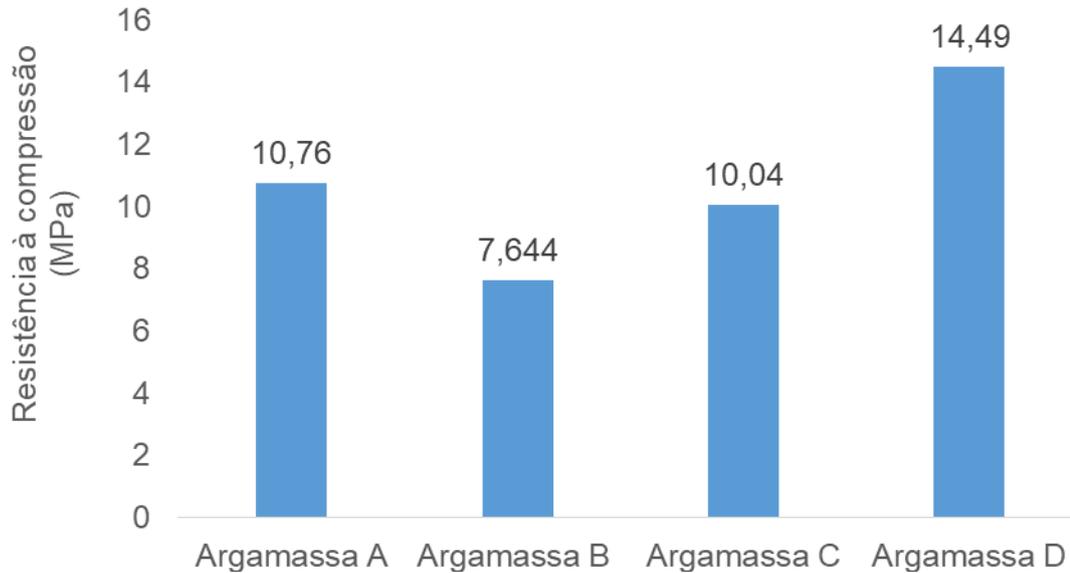


Fonte: Autor, 2019.

Levando em consideração que todas as amostras atingiram um patamar superior do índice de consumo mínimo de 330 mg de CaO/g de amostra (436 mg de Ca(OH)<sub>2</sub>/g de amostra), pode-se dizer que a cinza de carvão mineral é pozolânica. A variação da reatividade das diferentes amostras não foi significativa, e, está relacionada aos cuidados que deve-se ter ao realizar o procedimento, por ser um ensaio muito sensível ao carbono.

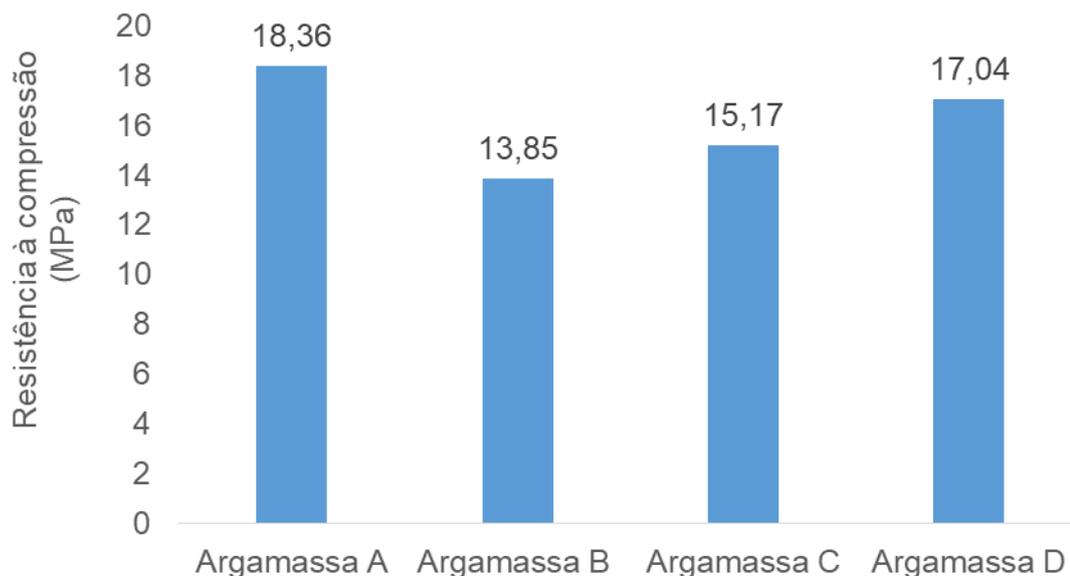
#### 4.6 ENSAIO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para a determinação da resistência dos corpos de prova à compressão utilizou-se a ABNT NBR 7215/1996, foram preparados 4 traços de argamassa e realizado o ensaio de compressão nos 3, 7 e 28 dias de idade, os resultados são apresentados nas figuras 07, 08 e 09. Os relatórios dos ensaios se encontram do Anexo D ao O.

**Figura 7** - Resistência à compressão das argamassas aos 3 dias de idade.

Fonte: Autor, 2019.

Aos 3 dias de idade apenas a Argamassa B, que possui na composição 25% de material pozolânico, não atingiu o padrão de no mínimo 10 MPa, estabelecido pela NBR 11578/1991. O ensaio ainda revelou que a Argamassa D teve maior resistência nos primeiros dias após a cura.

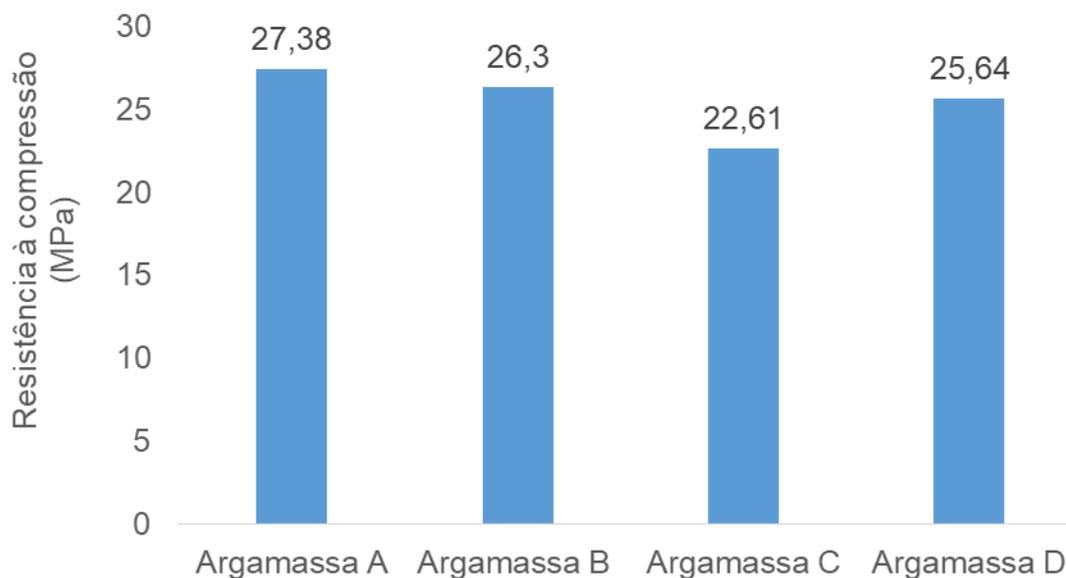
**Figura 8** - Resistência à compressão das argamassas aos 7 dias de idade.

Fonte: Autor, 2019.

Para os 7 dias de idade as normas exigem resistência mínima de 20 MPa, sendo observado que nenhum traço atingiu o esperado. Nesta idade, a argamassa “A” apresentou a maior resistência, sendo esta de 18,36 MPa.

Ainda se evidencia que a argamassa “B” foi a que teve o maior percentual de resistência quando comparada aos 3 dias de idade (elevação de 81%), seguido pela argamassa “A” (71%), argamassa “C” (51%) e por último a argamassa “D” com apenas 18%.

**Figura 9** - Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade.



Fonte: Autor, 2019.

Aos 28 dias de idade os traços desenvolvidos não atingiram a resistência mínima de 32 MPa exigida pelas normas. O mesmo comportamento foi observado na argamassa “A” sendo referência, pois a mesma não possui nenhum aditivo em sua composição, fornecendo assim, os parâmetros para a comparação da resistência das demais argamassas.

Segundo a ABNT NBR 5752/2014, o índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias pode ser medido conforme a seguinte equação:

$$I_{cimento} = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} * 100$$

Na qual:

Icimento = índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias

fcB = resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados com cimento CP II F 32 e 25% de material pozolânico

fcA = resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados apenas com cimento CP II F 32

Considerando 27,38 MPa sendo o valor para fcA, a Argamassa B apresenta um índice de desempenho de 96%, e considerando também a argamassa com 12,5% de material pozolânico obteve-se 82% deste mesmo desempenho analisado.

Alguns dos fatores que podem alterar a qualidade do cimento, consequentemente reduzindo a resistência a compressão é a idade do mesmo, para a preparação dos traços foram utilizados cimentos que já haviam sido adquiridos há aproximadamente um ano, sendo que a validade do mesmo é estimada de dois a três meses (ABCP, 2019).

#### 4.7 COMPONENTES DA PLANTA

Nesta seção serão apresentadas as etapas do processo de produção do cimento e explicação destes componentes, para posterior análise financeira.

##### 4.7.1 Moinho

Para diminuição da granulometria foi utilizado moinho de bolas de alta alumina, tem a finalidade de reduzir o tamanho das partículas para ter o resíduo máximo permitido e homogeneizar a matéria prima.

##### 4.7.2 Peneiramento

É necessário ter o material passante na malha 200 mesh e ter resíduo máximo de 8% na malha 325 mesh, visando reter partículas e possíveis corpos estranhos do processo.

### **4.7.3 Dosagem**

Devido a Argamassa B ter apresentado uma maior resistência a compressão do que a argamassa C, a dosagem do material será de 25% de cinza de carvão mineral e o restante da formulação será composta por cimento CP II-F-32. As dosagens serão feitas por balanças dosadora automática com esteira

### **4.7.4 Mistura dos materiais**

A mistura da cinza de carvão mineral com o cimento CP II-F-32 será realizada em tanques misturadores automáticos.

### **4.7.5 Ensacamento**

A última etapa do processo se dá pelo ensacamento do cimento, onde as embalagens são de 50 kgs.

## **4.8 LICENCIAMENTO AMBIENTAL**

Para dar início no licenciamento é necessário preencher o Formulário de Caracterização do Empreendimento Integrado – FCEI, e com isso o Sistema Integrado de Informação Ambiental – SINFAT gera a Instrução Normativa correspondente ao empreendimento/atividade requerida.

A fabricação de cimento está prevista como atividade nº 10.50.00 na Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental e Respectivos Estudos Ambientais da Resolução CONSEMA Nº 13 (2013), tendo um grande potencial poluidor no ar, médio no solo e pequeno na água, resultando em geral como um grande potencial poluidor. Esta atividade é passível de licenciamento ambiental junto ao órgão estadual, devendo seguir a IN nº 04 da FATMA referente às Atividades Industriais.

Considerando a área útil do empreendimento sendo de 1,5 ha, a atividade se enquadra como de médio porte, necessitando de um Estudo Ambiental Simplificado – EAS, de acordo com o anexo II da IN nº 04. Este estudo técnico deve

ser elaborado por equipe multidisciplinar, e com ele é analisado a viabilidade ambiental do empreendimento, tem como objetivo a obtenção da Licença Ambiental Prévia (LAP).

Conforme a Resolução CONSEMA nº 98 de 2017 que dispõe a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental e define os estudos ambientais necessários, o EAS deve ser realizado conforme Termo de Referência do anexo II da resolução. O estudo deve abordar a interação entre elementos dos meios físico, biológico e socioeconômico, buscando a elaboração de um diagnóstico integrado da área de influência da atividade. O EAS deverá ter as seguintes informações:

- Objeto de licenciamento, indicando a natureza e porte da atividade;
- Justificativa da atividade em função da demanda a ser atendida demonstrando a inserção do mesmo no planejamento regional e do setor;
- Localização do empreendimento considerando os municípios atingidos e bacia hidrográfica, com coordenadas geográficas;
- Descrição da atividade apresentando suas características técnicas;
- Descrição das obras, apresentando as ações essenciais à implantação;
- Estimativa da mão de obra necessária à sua implantação e operação;
- Estimativa do custo total do empreendimento;
- Apresentação do cronograma de implantação;
- Delimitação da área de influência direta (AID) do empreendimento ou atividade;
- Caracterização do uso e a ocupação do solo atual;
- Caracterização da infraestrutura existente;
- Caracterização da cobertura vegetal e da fauna;
- Caracterização da área quanto à suscetibilidade de ocorrência de processos de dinâmica superficial, com base em dados geológicos e geotécnicos;
- Caracterização dos recursos hídricos, enquadrando os corpos d'água e suas respectivas classes de uso;
- Processos erosivos associados à implantação do empreendimento ou atividade;

- Impacto na qualidade das águas superficiais ou subterrâneas, identificando os corpos d'água afetados;
- Impactos decorrentes das emissões atmosféricas, da emissão de ruídos e da geração de efluentes líquidos e de resíduos sólidos;
- Impactos decorrentes da supressão de cobertura vegetal nativa;
- Interferência em área de preservação permanente e demais áreas protegidas, inclusive supressão de vegetação (quantificar);
- Interferência sobre infraestruturas urbanas;
- Outros impactos relevantes;
- Para cada impacto indicado, fazer a descrição das medidas mitigatórias, de controle ou de compensação correspondentes;
- Indicação dos programas ambientais de monitoramento necessários para implementação das medidas mitigadoras, de controle e compensatórias;
- Apresentação dos resultados das análises realizadas referentes às prováveis modificações na área de influência direta do empreendimento ou atividade, inclusive com as medidas mitigadoras, de controle ou compensatórias propostas, de forma a concluir quanto à viabilidade ambiental ou não do projeto;
- Identificação dos responsáveis técnicos pelo estudo.

Após a entrega dos documentos ao órgão ambiental, este realiza a avaliação da viabilidade do projeto e se for favorável emite a LAP/LAI, tendo o prazo de validade o estabelecido pelo cronograma de instalação do empreendimento, não sendo superior a 6 anos. Com a instalação realizada o órgão ambiental realiza uma vistoria na área para avaliar se todas as instalações foram feitas de acordo com o previsto no EAS e atendimento das condicionantes estabelecidas na LAP/LAI.

Após atendimento de todas as etapas e condicionantes de LAP/LAI, pode-se dar entrada no pedido da Licença Ambiental de Operação, é necessário o preenchimento do Formulário de Caracterização do Empreendimento Integrado, o FCEI, identificando a empresa responsável pelo requerimento, bem como toda sua identificação, a descrição da atividade na qual está sendo requerido o licenciamento de operação e o parâmetro técnico relacionado para enquadramento do porte e a

assinatura técnica do profissional responsável. Além deste requerimento são necessários os seguintes documentos, conforme indica a IN 04.

- Cópia do certificado de regularidade junto ao IBAMA;
- Cópia do atestado de vistoria e aprovação do Corpo de Bombeiros;
- Relatório técnico comprovando o cumprimento das exigências e condicionantes estabelecidos na Licença Ambiental Prévia e na Licença Ambiental de Instalação, sendo necessário acompanhar um relatório fotográfico;
- Relatório técnico dos testes operacionais da unidade industrial e respectivos controles ambientais;
- Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) ou Função Técnica

Após análise do projeto é realizada a inspeção in loco pelo órgão ambiental estadual, com o objetivo de verificar as informações fornecidas nos documentos relacionados ao licenciamento da atividade, a LAO é concedida, possibilitando a operação do empreendimento para o período de quatro anos. Nesta LAO são estabelecidas as condicionantes que limitam a operação do empreendimento em atendimento às legislações aplicáveis.

#### 4.9 ANÁLISE ECONÔMICA

Os investimentos necessários para aquisição dos equipamentos, processo de licenciamento, estudos técnicos e serviços são apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13** - Fluxo de caixa dos investimentos na instalação da planta piloto.

| ITEM                              | Quantidade | Valor         | INVESTIMENTO             |
|-----------------------------------|------------|---------------|--------------------------|
| EAS                               | 1          | R\$ 8.000,00  | R\$ 8.000,00             |
| LAP/LAI                           | 1          | R\$ 9.200,00  | R\$ 9.200,00             |
| LAO                               | 1          | R\$ 13.283,00 | R\$ 13.283,00            |
| Moinho de bolas contínuo          | 1          | R\$ 14.850,00 | R\$ 14.850,00            |
| Peineira vibratória               | 1          | R\$ 18.000,00 | R\$ 18.000,00            |
| Balança dosadora automática       | 2          | R\$ 17.800,00 | R\$ 35.600,00            |
| Misturador                        | 1          | R\$ 15.000,00 | R\$ 15.000,00            |
| Ensacadora                        | 1          | R\$ 19.500,00 | R\$ 19.500,00            |
| Esteira (metro)                   | 100        | R\$ 4.500,00  | R\$ 450.000,00           |
| Empilhadeira                      | 1          | R\$ 79.900,00 | R\$ 79.900,00            |
| Caminhão                          | 1          | R\$ 90.000,00 | R\$ 90.000,00            |
| Construção civil (metro quadrado) | 15000      | R\$ 800,00    | R\$ 12.000.000,00        |
| TOTAL:                            | -          | -             | R\$ 12.753.333,00        |
| +10% mão de obra (instalação)     | -          | -             | R\$ 1.275.333,30         |
| <b>TOTAL:</b>                     |            |               | <b>R\$ 14.028.666,30</b> |

Fonte: Autor, 2019.

Além destes valores, foram acrescentadas as taxas de depreciação dos equipamentos, manutenção e de eventuais investimentos, sendo de 10%, 3% e 10% ao ano do investimento inicial (ANGIOLETTO; MARTINS; ROSSI, 1994), valores seguem na Tabela 14.

Para o cálculo do faturamento mensal foi considerado o volume de cinza de carvão mineral resultante das fornalhas, descontado 5% como margem para estoque, estimado em 2.208,54 tonelada por mês, adicionando mais 75% (6.625,62 tonelada por mês) de cimento CP II F 32 obteve-se um total de 8.834,16 tonelada de

cimento misturado por mês, comercializando a R\$ 0,34/kg gera um faturamento mensal de R\$ 3.003.614,40.

Para este estudo, foi estimado o custo mensal com o cimento CP II F 32 como R\$ 0,24/kg, totalizando R\$ 1.590.148,80 mensais, devido o volume de compra mensal ser elevado, de 6.625,62 toneladas por mês. É necessário salientar que, desta forma, o valor unitário está abaixo do valor de mercado. Para o imposto foi considerado um valor de 22%, enquanto que a comissão de vendas foi de 3%, ambos correlacionados ao faturamento mensal.

Assim, considerando os valores citados acima, é possível elencar as taxas anuais aplicadas a operação, conforme descrito na Tabela 14 abaixo.

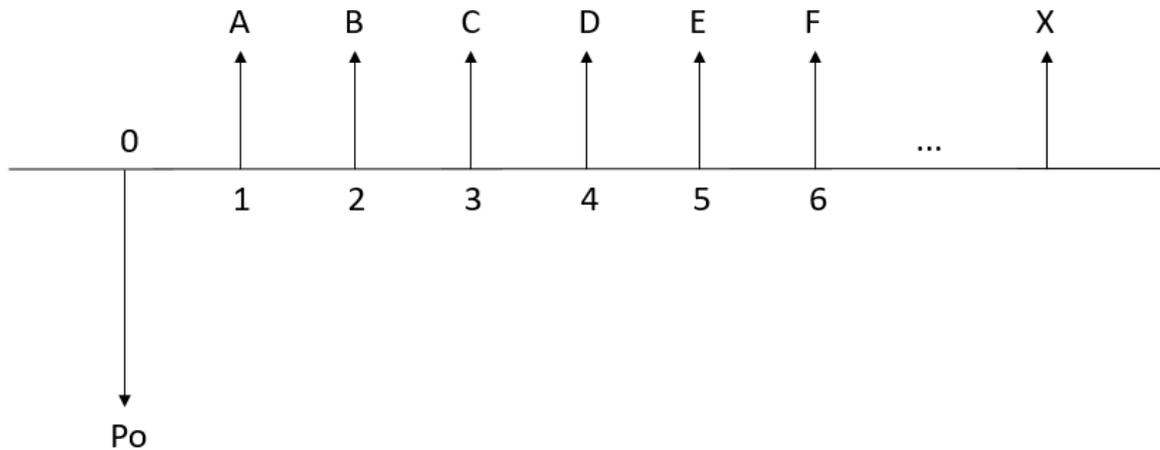
**Tabela 14 - Taxas anuais aplicadas a operação.**

| ITEM                                  | INVESTIMENTO |                      |            |                     |
|---------------------------------------|--------------|----------------------|------------|---------------------|
|                                       | Anual        |                      | Mensal     |                     |
| Manutenção 10% a.a.                   | R\$          | 1.402.866,63         | R\$        | 116.905,55          |
| Investimentos eventuais 3% a.a.       | R\$          | 420.859,99           | R\$        | 51.571,67           |
| Depreciação dos equipamentos 10% a.a. | R\$          | 1.402.866,63         | R\$        | 171.905,55          |
| Operação                              | R\$          | 600.000,00           | R\$        | 50.000,00           |
| Cimento CP II F 32                    | R\$          | 19.081.785,60        | R\$        | 1.590.148,80        |
| Imposto                               | R\$          | 7.929.542,02         | R\$        | 660.795,17          |
| Comissão de vendas                    | R\$          | 1.081.301,18         | R\$        | 90.108,43           |
| <b>TOTAL</b>                          | <b>R\$</b>   | <b>31.919.222,05</b> | <b>R\$</b> | <b>2.731.435,17</b> |

Fonte: Autor, 2019.

No cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) foram considerados os investimentos da instalação correlacionados com os faturamentos mensais do empreendimento, no qual o lucro mensal (R\$ 272.179,23) é resultado do faturamento sendo descontado o investimento, podendo considerar o fluxo de caixa conforme Figura 10.

**Figura 10** - Fluxo de caixa.



Fonte: Autor, 2019.

No qual:

$$\begin{array}{ll}
 P_0 = \text{R\$ } 14.028.666,30 & D = \text{R\$ } 272.179,23 \\
 A = \text{R\$ } 272.179,23 & E = \text{R\$ } 272.179,23 \\
 B = \text{R\$ } 272.179,23 & F = \text{R\$ } 272.179,23 \\
 C = \text{R\$ } 272.179,23 & X = \text{R\$ } 272.179,23
 \end{array}$$

Como indicador da viabilidade econômica da instalação e operação da planta, realizou-se o cálculo da Taxa Interna de Retorno, conforme Equação 2.

$$0 = \textit{Investimento Inicial} + \sum_{n=1}^N \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n}$$

Na qual:

Investimento inicial = R\$ 14.028.666,30

FC = R\$ 272.179,23

n = 180 meses

TIR = Taxa Interna de Retorno

TIR = 1,87%

Para os cálculos da taxa interna de retorno foi considerada a operação da planta em um período de 15 anos, há a possibilidade deste tempo aumentar devido a empresa em estudo não ter previsão para mudança do uso de carvão mineral.

Para analisar o resultado da taxa interna de retorno, é necessário compará-la com uma taxa mínima de atratividade, essa taxa representa a rentabilidade mais fácil de ser conseguida no mercado com o mínimo de risco, considerando a taxa Selic no primeiro semestre de 2019 sendo de 0,5%, o investimento no empreendimento seria atrativo.

O período de retorno (*payback*) necessário para recuperar o investimento é de aproximadamente 4,29 anos de operação, considerando que não serão alterados os atuais níveis de geração/fornecimento de cinza de carvão mineral, e demais variações das taxas de mercado.

Outro indicador econômico que pode ser utilizado é o EBITDA, no qual se avalia os lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização. Este método é utilizado para a avaliação de empresas de capital aberto, pois por meio dele é avaliado quanto uma companhia gera com as suas atividades operacionais. Ao comparar a evolução desse indicador, é avaliada se a empresa se tornou mais eficiente de um ano para o outro, sem a influência de fatores externos.

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com a ABNT NBR 11578/1991 a quantidade de material pozolânico varia de 6% a 14% na formulação, enquanto que segundo a ABNT NBR 5736/1991 esta variação fica em torno de 15% a 50%. Considerando que o resultado com adição de 12,5% deste material levou a uma resistência menor quando comparada a argamassa com 25% de adição da cinza de carvão mineral, recomenda-se realizar mais testes aumentando este teor de material pozolânico, afim de observar qual o ponto onde a resistência à compressão é o ideal.

Do ponto de vista econômico, a instalação da planta requer um investimento elevado, principalmente em função das obras civis, e, quando se trata da operação, o valor da compra do cimento para mistura se torna insatisfatório, compra esta, sujeita a reavaliação futura conforme evolução da situação econômica nacional. Outro aspecto evidenciado é que, estes valores de compra, estão relacionados ao percentual do material pozolânico misturado na formulação, assim, caso o teor deste material seja maior, se reduzem os custos com o cimento comprado.

Ainda, evidenciou-se que, com a planta, a indústria analisada minimizaria os impactos ambientais com a logística dos resíduos, agora reaproveitados na mesma. Outra consequência desta implementação, é que, com ela, todo o processo de transformação do resíduo em matéria prima e o seu reaproveitamento permite que todo o investimento financeiro na cadeia logística permaneça na mesma área geográfica, resultando em impactos positivos para a comunidade local.

Concluiu-se ainda que, alterar a formulação causa pequenas alterações no investimento de instalação, mas, todos os itens da operação acabam sofrendo alteração, sendo o mais significativo deles o custo com o cimento. Esta redução do custo do cimento pode resultar em melhores resultados econômicos, sendo que o *payback* atual do projeto está em aproximadamente 4,3 anos e com taxa interna de retorno de 1,87% com operação prevista para 15 anos.

Pela preocupação com o meio ambiente ser cada vez maior, o licenciamento ambiental da atividade garante o cumprimento de todas as exigências impostas pelo órgão estadual responsável, atuando de maneira preventiva na operação da atividade. Com isso são elaborados os monitoramentos ambientais e

sociais necessários para uma operação que minimiza os impactos ambientais e preserve o meio ambiente. Concluiu-se ainda que o processo produtivo de cimento, permite o reaproveitamento de resíduos gerados em outros processos produtivos, repercutindo na redução da emissão de gases poluentes, extração de matérias primas e gastos com logística dos mesmos resíduos, resultando em um menor impacto ao meio ambiente.

De modo geral, os ensaios realizados mostraram que a produção de argamassas com cinza de carvão mineral na formulação é vantajosa tanto nos aspectos técnicos quanto nos aspectos ambientais, já que atinge uma boa resistência à compressão e ainda há o desenvolvimento sustentável.

Conclui-se que os objetivos gerais e específicos apresentados foram atingidos, essencialmente ligado a sustentabilidade ambiental devido a utilização da cinza de carvão mineral para formulação de um novo produto, podendo garantir o desenvolvimento sustentável, financeiro e tecnológico.

Para possíveis trabalhos futuros recomenda-se a utilização de diferentes percentuais de cinza de carvão mineral para verificar qual o teor ideal; variar a granulometria do resíduo afim de observar a interferência nos resultados à compressão; reavaliar o investimento condicionado a uma melhora da situação econômica do país; e por fim, realizar o detalhamento da análise de investimento.

## REFERÊNCIAS

A.Ravaglioli, A. Krajewski, **5th CERP Proceedings**, Faenza Editrice S.p.A. 1983.

ABCP – Associação Brasileira do Cimento Portland. **A versatilidade do cimento brasileiro**. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro/>>. Acesso em 09 mar 2019.

ABCP – Associação Brasileira do Cimento Portland. **Básico sobre cimento**. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento/>>. Acesso em 09 mar 2019.

ABCP – Associação Brasileira do Cimento Portland. **Como comprar cimento**. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/banco-de-pautas/como-comprar-cimento/>>. Acesso em 20 mai 2019.

ANGIOLETTO, Elidio; MARTINS, Betelgeuse; ROSSI, Márcio José. **Projeto de Viabilidade Econômica de uma Unidade para Moagem de Calcário**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1994. 215 p.

ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica. **Matérias primas naturais**. Disponível em: <<https://abceram.org.br/materias-primas-naturais/>>. Acesso em: 11 de abr. de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578: Cimento Portland Composto**. Rio de Janeiro. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15895: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado**. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736: Cimento Portland pozolânico**. Rio de Janeiro. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001: Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro. 2015.

ABCP – Associação Brasileira do Cimento Portland. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>>. Acesso em: 11 de abr. de 2019.

BATISTA, João António Labrincha. **REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS OU LAMAS EM MATRIZES CERÂMICAS OU POR VITRIFICAÇÃO**. Dept Engenharia Cerâmica e Vidro, Universidade de Aveiro & CICECO, 3810-193 Aveiro, Portugal. 2019.

BELATO, Mariana. **Análise da geração de poluentes na produção de cimento Portland com o coprocessamento de resíduos industriais**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Itajubá. 2013

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 237, de 19/12/1997**. Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 95, de 05/05/2017**. Dispõe sobre a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, define os estudos ambientais necessários e estabelece outras providências.

BRASIL. **Resolução CONSEMA nº13, de 11 de julho de 2013. Aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental passíveis de licenciamento ambiental no Estado de Santa Catarina e a indicação do competente estudo ambiental para fins de licenciamento**. Publicado no D.O.U. de 11 de julho de 2013.

CAPURUCO, Flávio. **Cimentos Portland**. Apostila de fabricação de cimento Holcim. 2011.

CHAVES et al. **Análise de indústrias cimenteiras e seus impactos socioambientais**. Instituto Federal Minas Gerais (IFMG) campus Bambuí. 2014.

FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. **Manual de Licenciamento ambiental: guia de procedimento passo a passo**. Rio de Janeiro: GMA, 2004. 28 p.

KARSTENSEN, K. H. **Formação e Emissão de POPs pela Indústria de Cimento**. 3. ed. São Paulo: RiMa Editora, 2010. 188 p.

LIMA, José Dantas de. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. [S. L.]: ABES, 2001. 267 p.

LOPES, Flávia; SANTOS, Danielle. **O POTENCIAL POLUIDOR DA INDÚSTRIA CIMENTEIRA**. Congresso Nacional do Meio Ambiente – Poços de Caldas. 2018.

M. Pelino, **Valorisation and Recycling of Industrial Wastes**, BRE2-CT94-1018 Report (1997).

MARGON, P. V. **Influência do uso das cinzas de carvão mineral de termelétricas em argamassas de revestimento: dosagem por curvas granulométricas**. 2002. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. **Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente**. Sustentabilidade em Debate, Brasília, v. 3, n. 1, p.75-96, jun. 2012.

MICHEL, Maria Helena. **Metodologia e pesquisa científica em ciências sociais: um guia prático para acompanhamento da disciplina e elaboração de trabalhos monográficos**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2015.

POON, C. C., WONG, Y. L. & LAM, L. **The influence of Different Curing Conditions on the Pore Structure and Related Properties of Fly-Ash Cement Pastes and Mortars**. Construction and Building Materials, Vol. 11. Great Britain, p.383-393, 1997.

PRATES, Wladimir Ribeiro. **O Que É TIR (Taxa Interna de Retorno)?**. 2016. Disponível em: <<https://www.wrprates.com/o-que-e-tir-taxa-interna-de-retorno/>>. Acesso em: 30 de mai. de 2019.

RECEITA FEDERAL. **Taxas de Juros Selic**. Disponível em: <<http://receita.economia.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxa-de-juros-selic>>. Acesso em: 01 de jul. de 2019.

RIBEIRO, Manuel J.; VENTURA, José M.; LABRINCHA, João A. **A Atomização como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica**. Cerâmica Industrial. 2001.

RICHARDSON, Roberto J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999. 334 p.

SAMPIERI, Roberto. COLLADO, Carlos. LUCIO, Pilar. **Metodologia de Pesquisa**. 5ª Ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 495 p. ISBN 8586238597.

SILVA, Antônio João Hoyacen da. **Metodologia de pesquisa: conceitos gerais**. Guarapuava: Editora UNICENTRO, 2014.

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Processo Produtivo**. Disponível em: <<http://snic.org.br/processo-de-producao.php>>. Acesso em: 16 de abr. de 2019.

SIQUEIRA, J. S. **Reciclagem de resíduo a partir de cinzas de carvão mineral: produção de argamassas**. 2011. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém.

UNISANTA – Universidade Santa Cecília. Santos, SP. **A Pesquisa e suas classificações**. Disponível em:  
<[http://cursos.unisanta.br/civil/arquivos/Pesquisa\\_Cientifica\\_metodologias.pdf](http://cursos.unisanta.br/civil/arquivos/Pesquisa_Cientifica_metodologias.pdf)>. Acesso em 17 mar 2019.

SANTA CATARINA, Fundação do Meio Ambiente – FATMA. **Instrução Normativa nº 04: Atividades Industriais**. 2014. Disponível em:  
<[http://www.fatma.sc.gov.br/site\\_antigo/downloads/images/stories/Instrucao%20Normativa/IN%2004/in\\_04.pdf](http://www.fatma.sc.gov.br/site_antigo/downloads/images/stories/Instrucao%20Normativa/IN%2004/in_04.pdf)>. Acesso em: 15 de mai. de 2019.

SANTOS, M. L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil**. 2008, 163p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELI, V. C. **Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas**. In: Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas, 2005, Florianópolis. Anais.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Solid Waste and Emergency Response 5305W. **Decision-Makers' Guide To Solid Waste Management**, Volume II. United States of America: USEPA, Aug, 1995. (EPA530-R-95-023).

**ANEXO(S)**

## ANEXO A – Determinação da análise química por espectrometria de fluorescência de raios x

# FIESC = SENAI

**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:** 5509/18      01/10/2018      Página 1 de 1

**Identificação do Cliente/Solicitante:**

**Nome:** UNESC - Universidade de Extremo Sul Catarinense  
**Endereço:** Avenida Universitária, 1105 - Bairro: Pinheirinho  
**Cidade:** Criciúma      **UF:** SC      **CEP:** 88806-000

**Informações da Amostra:**

**Identificação da Amostra:** Cinza Atomizador  
**Amostra:** Matéria-Prima      **Tipo de Amostra:** Não declarado  
**Quantidade de Amostra:** 220g      **Data do recebimento:** 28/09/2018  
**Forma da amostra:** Pó      **Nº da Requisição do Serviço:** Não declarado

**DETERMINAÇÃO DA ANÁLISE QUÍMICA POR ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X OU ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA**

*Ensaio Realizado Segundo: PR-CR-097, PR-CR-098 e PR-CR-103*

*Ensaio Finalizado em: 01/10/2018*

| Elementos                      | Teor (%) | Elementos                          | Teor (%) |
|--------------------------------|----------|------------------------------------|----------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23,88    | B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>      | -        |
| CaO                            | 3,73     | Li <sub>2</sub> O                  | -        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,84     | BaO                                | < 0,1    |
| K <sub>2</sub> O               | 1,89     | Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | < 0,1    |
| MgO                            | 0,68     | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | < 0,1    |
| MnO                            | 0,18     | PbO                                | < 0,1    |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,35     | SrO                                | < 0,1    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,05     | ZnO                                | < 0,1    |
| SiO <sub>2</sub>               | 62,25    | ZrO <sub>2</sub> +HfO <sub>2</sub> | < 0,1    |
| TiO <sub>2</sub>               | 1,11     | Perda Fogo                         | 1,52     |

(-) Elemento Não Analisado

\_\_\_\_\_  
 Joselane Ramos da Silva  
 Signatário Autorizado

\_\_\_\_\_  
 Aurea Stela Wessling Werncke  
 Signatário Autorizado

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada. / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados. / O cliente possui um prazo máximo de 90 dias, a partir da data de emissão do relatório, para contestar informações contidas neste. Somente será aceita a contestação de resultados se a quantidade da amostra entregue respeitar a quantidade mínima para cada ensaio. Após este período, a amostra será descartada.

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM  
 Rua General Lauro Sodré, 300 - Bairro Comercial - CEP 88802-330 - Criciúma - SC  
 Tel.: (48) 3431-7100 - ldcmat@sc.senai.br - http://www.sc.senai.br

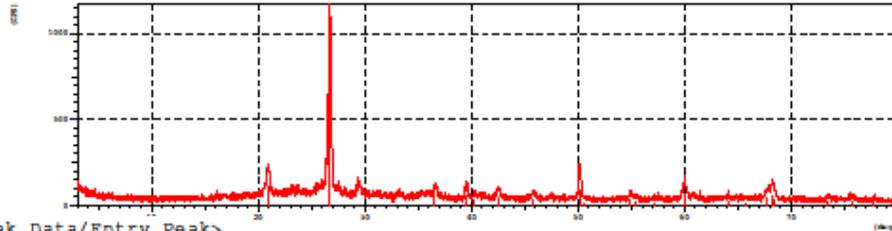
# ANEXO B – DRX

\*\*\*\*\* SEARCH / MATCH RESULT \*\*\*\*\*

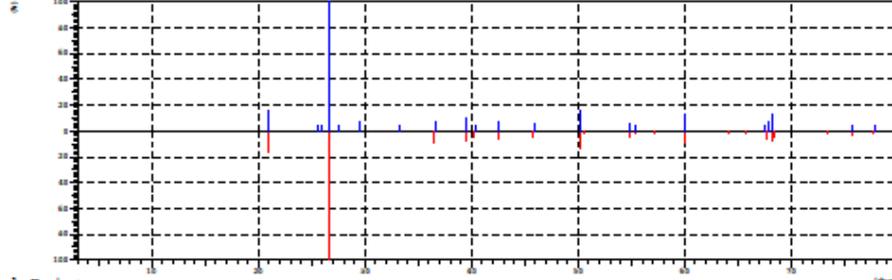
<Unknown Data>

Group Name : LADEBIMA  
Data Name : CinzaElidio\_011018  
File Name : CinzaElidio\_011018.PKK  
Sample Name :  
Comment :  
Date & Time : 10-01-18 08:25:35

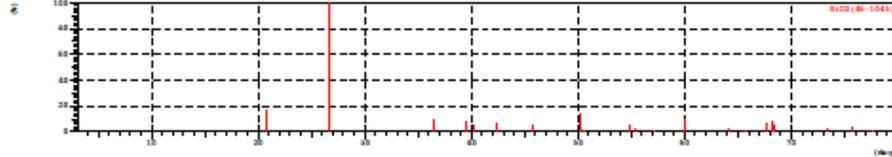
<Raw Data>



<Peak Data/Entry Peak>



<Card Data>



## ANEXO C – Distribuição granulométrica



### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

#### CILAS 1064 Líquido

Faixa : 0.04  $\mu\text{m}$  - 500.00  $\mu\text{m}$  / 100 Classes

|  |  |
|--|--|
| Ref da amostra : cinzaElidio_011018<br>Cliente : Elidio<br>Amostra : Desconhecida<br>Comentários :<br>Líquido : Água<br>Agente dispersante : Poliacrilato de Sódio<br>Operador : Leticia<br>Empresa : Inst. de Eng. e Tecnologia<br>Localização : Lab. Caracterização<br>Data : 01/10/2018 Hora : 09:12:17<br>Índice med. : 1810<br>Database name : Granulog | Ultrason : 60 s (+durante)<br>Obscuration : 13 %<br>Diâmetro a 10% : 7.93 $\mu\text{m}$<br>Diâmetro a 50% : 38.11 $\mu\text{m}$<br>Diâmetro a 90% : 79.75 $\mu\text{m}$<br>Diâmetro médio : 41.80 $\mu\text{m}$<br>Fraunhofer :<br>Densidade/Fator : -----<br>Superfície específica : -----<br>Diluição automática : Não / Não<br>Medida/Limp. : 60s/60s/4<br>SOP name : unesc |
|--|--|

| Valores cumulativos particulares |      |      |      |      | in volume / passante |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|------|------|------|------|----------------------|------|------|------|------|------|
| x                                | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.06                 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.09 |
| Q3                               | 0.06 | 0.06 | 0.10 | 0.10 | 0.13                 | 0.13 | 0.16 | 0.17 | 0.19 | 0.19 |
| x                                | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.14 | 0.15                 | 0.17 | 0.18 | 0.20 | 0.22 | 0.24 |
| Q3                               | 0.20 | 0.22 | 0.25 | 0.27 | 0.29                 | 0.35 | 0.38 | 0.44 | 0.52 | 0.60 |

x : diâmetro /  $\mu\text{m}$     Q3 : valor cumulativo / %    q3 : density distribution

