

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**SUSAN HATSCHBACH GRAUPMANN**

**ANÁLISE DO USO DE CINZA ORIUNDA DA QUEIMA DO LIXO URBANO  
UTILIZADA NA FABRICAÇÃO DE CERÂMICA BRANCA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CURITIBA**

**2021**

**SUSAN HATSCHBACH GRAUPMANN**

**ANÁLISE DO USO DE CINZA ORIUNDA DA QUEIMA DO LIXO URBANO  
UTILIZADA NA FABRICAÇÃO DE CERÂMICA BRANCA**

**Analysis of the use of ash from the burning of urban garbage used in the  
manufacture of white ceramics**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Orientador: Prof. Ph.D Vsévolod Mymrine.

**CURITIBA**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho licenciado para fins não comerciais, desde que atribuam ao autor o devido crédito. Os usuários não têm que licenciar os trabalhos derivados sob os mesmos termos estabelecidos pelo autor do trabalho original.



**Ministério da Educação**  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
**Campus Curitiba**



SUSAN HATSCHBACH GRAUPMANN

**ANÁLISE DO USO DE CINZA ORIUNDA DA QUEIMA DO LIXO URBANO UTILIZADA NA FABRICAÇÃO DE CERÂMICA BRANCA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Área de concentração: Construção Civil.

Data de aprovação: 17 de Agosto de 2021

Prof Vsevolod Mymrine, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Luana Cechin, Doutorado - Universidade do Contestado (Unc)

Prof Ronaldo Luis Dos Santos Izzo, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 16/09/2021.

Dedico este trabalho aos meus pais, irmão e  
ao meu namorado pelos momentos de ausência,  
ajuda compreensão e paciência.

## **AGRADECIMENTOS**

Em especial a Deus.

Aos meus pais que sempre me apoiaram e incentivaram nos momentos mais difíceis.

Ao meu namorado que esteve comigo nessa caminhada me ajudando e apoiando.

Aos amigos que torceram por mim nesta caminhada.

*“A persistência é o caminho do êxito.”* (Charles Chaplin)

## RESUMO

GRAUPMANN, Susan H. Análise do uso de cinza oriunda da queima do lixo urbano utilizada na fabricação de cerâmica branca. 2021.  
Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Curitiba, 2021.

O desenvolvimento urbano das cidades promove um constante aumento da quantidade de resíduos que são descartados, causando um efeito negativo para o meio ambiente o que acarretará em problemas e, ao longo prazo, danos irreversível. Portanto é de extrema importância a melhor utilização desses resíduos, seja na sua reutilização ou na sua transformação em novos materiais. Desse modo, em algumas cidades adota-se o sistema de gaseificação do resíduo sólido urbano coletado diariamente, para a produção de energia, assim transformando o resíduo em cinza. Esse material gerado pela “queima”, pode ser utilizado para o desenvolvimento de materiais para a construção civil, substituindo matérias primas natural por resíduos. O presente estudo tem como objetivo principal utilizar essa cinza como parte da composição para a fabricação de cerâmicas brancas e também utilizar demais resíduos como escória, areia de fundição e pó de vidro, para a mesma produção, de maneira que atenda todas as legislações pertinentes para a sua comercialização. Para o desenvolvimento da pesquisa foram desenvolvidas amostras de 31 diferentes composições, que passaram pelos ensaios de resistência a flexão, absorção de água, contração linear, densidade e para análises físicas e químicas os ensaios de DRX e MEV. Sobre as matérias-primas realizaram-se os ensaios de FRX, DRX, MEV e EDS. Após esses ensaios observou-se que a maioria das amostras apresentadas atende as normas necessárias para a sua comercialização, sendo tijolos maciços cerâmicos e azulejos porosos. O melhor resultado utilizando apenas 15% de matéria prima natural e 85% de resíduos, sendo desses 85% do material, 15% do material é a cinza oriunda da “queima” do lixo urbano, atingindo resistência suficiente para a sua utilização comercial.

**Palavras-chave:** 1. Cerâmica 2. Cinza 3. Materiais de construção 4. Resíduos.

## **ABSTRACT**

GRAUPMANN, Susan H. Analysis of the use of ash from the burning of urban waste used in the manufacture of white ceramics. 2021.

Dissertation (Postgraduate Program in Civil Engineering) Federal Technological University of Paraná). Curitiba, 2021.

The urban development of cities promotes a constant increase in the amount of waste that is discarded, causing a negative effect on the environment which leads to irreversible long-term problems. Therefore, it is extremely necessary to make the best use of these residues, whether in their reuse or in their transformation into new materials. Thus, in some cities the gasification system of urban solid waste collected daily is adopted for the production of energy, thus transforming the waste into ash. This material generated by “burning” can be used for the development of materials for civil construction, replacing natural raw materials with waste. The main objective of this study is to use this ash as part of the composition for the manufacture of white ceramics and also to use other residues such as slag, foundry sand and glass powder, for the same production, in order to meet all relevant legislation for your marketing. For the development of the research, samples of 31 different compositions were developed, which underwent tests of resistance to bending, water absorption, linear contraction, density and, for physical and chemical analyses, the XRD and SEM tests. From the raw materials, the tests of FRX, DRX, MEV and EDS were carried out. After these tests, it was observed that most of the samples presented meet the necessary standards for their commercialization, being solid ceramic bricks and porous tiles. The best result using only 15% of natural raw material, 85% of waste, 15% of the composition being ash from the “burning” of urban waste, achieving sufficient resistance for its commercial use.

Keywords: 1. Ceramics 2. Ash 3. Building materials 4. Waste.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Referencia bibliometrica (cinza e argila).....	29
Figura 02 - Referencia bibliometrica (cerâmica e caolin).....	39
Figura 03 – Amostras antes da queima.....	45
Figura 04 – Amostras depois da queima.....	46
Figura 05 – Amostras no ensaio de absorção de água.....	48
Figura 06 – Argila branca (Caolin).....	53
Figura 07 – Composição mineral da argila branca por DRX.....	54
Figura 08 – Mapeamento químico da argila por MEV.....	55
Figura 09 – Cinza de resíduos urbanos.....	57
Figura 10 – Distribuição granulométrica da cinza.....	58
Figura 11 – Composição mineral da cinza pelo método por DRX.....	59
Figura 12 – Mapeamento químico da cinza por MEV.....	60
Figura 13 – Mapeamento dos estados químicos de cada elemento encontrado na cinza por Raio-X tomográfico.....	61
Figura 14 – Pó de vidro.....	62
Figura 15 – Composição mineral do pó de vidro pelo método DRX.....	63
Figura 16 – Mapeamento químico do pó de vidro por MEV.....	64
Figura 17 – Escória de alto forno.....	66
Figura 18 – Composição mineral da escória pelo método DRX.....	67
Figura 19 – Mapeamento da escória por MEV.....	68
Figura 20 – Mapeamento dos estados químicos de cada elemento encontrado na escória por Raio-X tomográfico.....	70
Figura 21 – Areia de fundição.....	71
Figura 22 – Composição mineral da areia de fundição pelo método DRX.....	72
Figura 23 – Mapeamento químico da areia de fundição por MEV.....	73
Figura 24 – Mapeamento dos estados químicos dos elementos encontrados na areia de fundição por Raio-X tomográfico.....	74
Figura 25 – Amostras da composição 6 queimada a 900°C.....	78
Figura 26 – Amostras queimadas a 1025°C.....	79
Figura 27 – Picos cristalinos da amostra 06 pelo método DRX.....	89
Figura 28 – Mapeamento químico da amostra 06 a 1025°C.....	90
Figura 29 – Mapeamento químico da amostra 11 a 1025°C.....	91
Figura 30 – Picos cristalinos da amostra 11 pelo método DRX.....	91
Figura 31 – Mapeamento químico da amostra 29 a 1025°C.....	92
Figura 32 – Picos cristalinos da amostra 29 pelo método DRX.....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Composição das amostras.....	44
Tabela 02 – Faixa granulometria da argila branca.....	53
Tabela 03 – Óxidos encontrados na argila por FRX.....	54
Tabela 04 – Composição química da argila por EDS.....	56
Tabela 05 – Óxidos presentes de cinzas por FRX.....	59
Tabela 06 – Composição química da cinza por EDS.....	62
Tabela 07 – Granulometria do pó de vidro.....	63
Tabela 08 – Óxidos encontrados no pó de vidro por FRX.....	64
Tabela 09 – Composição química do pó de vidro por EDS.....	65
Tabela 10 – Granulometria da escória.....	66
Tabela 11 – Óxidos encontrados na escória por FRX.....	67
Tabela 12 – Composição química da escória por EDS.....	68
Tabela 13 – Granulometria de areia de fundição.....	71
Tabela 14 – Óxidos encontrados na areia de fundição por FRX.....	72
Tabela 15 – Composição química da areia de fundição por EDS.....	74
Tabela 16 – Resistência a flexão (MPa).....	75
Tabela 17 – Variação linear dimensional.....	81
Tabela 18 – Absorção de água.....	84
Tabela 19 – Classificação de absorção de água.....	85
Tabela 20 – Densidade da composição.....	87

## LISTA DE SIGLAS

AB	Argila Branca
AR	Areia de Fundição
CP	Corpos de Prova
CQ	Cinza da queima do lixo
DRX	Diafratômetros de Raio X
EC	Escória de alto forno
EDS	Espectroscopia de Dispersão de Elétrons
FRX	Espectrômetros de Fluorescência de Raios X
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
RSU	Resíduos sólidos urbano
VP	Vidro em Pó

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
1.3	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	<b>16</b>
1.4	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1	RESÍDUOS.....	18
2.2	POLUIÇÃO.....	20
2.3	SUSTENTABILIDADE.....	22
2.4	SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	23
2.5	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COM RESÍDUOS.....	25
2.5.1	Utilização de Resíduos de Lixo Urbano em Materiais de Construção.....	25
2.5.2	Uso de Cinzas na Fabricação de Materiais de Construção.....	26
2.5.3	Uso de Resíduos de Processo de Fabricação na Composição de Materiais de Construção.....	32
2.5.4	Concreto com a utilização de resíduos.....	34
2.5.5	Utilização de Resíduos em Estradas.....	37
2.5.6	Cerâmicas com a Utilização de Resíduos em sua Composição.....	37
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>52</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MATERIAS PRIMAS.....	52
4.1.1	Caracterização da Argila Branca (Caulim).....	52
4.1.2	Caracterização da Cinza Residual de Lixo Urbano.....	56
4.1.3	Caracterização do Pó de Vidro.....	62
4.1.4	Caraterização da Escória de Auto Forno.....	65
4.1.5	Caraterização da Areia de Fundição.....	70
4.2	RESISTÊNCIA DAS COMPOSIÇÕES.....	75
4.3	VARIAÇÃO LINEAR DAS COMPOSIÇÕES .....	81
4.4	ABSORÇÃO DE ÁGUA DAS COMPOSIÇÕES.....	84
4.5	DENSIDADE DAS COMPOSIÇÕES.....	87
4.6	ANÁLISES QUÍMICAS DAS AMOSTRAS.....	88
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>95</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>98</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das cidades e o aumento da quantidade descartada de resíduos estão afetando negativamente o meio ambiente, causando impactos ambientais, em sua maioria irreversível. As alterações que o crescimento desenfreado vem causando ao longo do tempo ocasionam problemas ambientais, pois acarreta em um aumento de resíduos que são descartados na natureza, sem um tratamento específico para mitigar essa poluição ocasionada.

Resíduos são dejetos gerados após ou durante a produção de materiais, ou quando a sua vida útil chega ao fim, para John (2000), esses materiais são subprodutos gerados por processos industriais, serviços, sintetização de outros resíduos, ou produtos adquiridos pelo extrativismo e tem a sua vida útil encerrada.

Para Gouveia (2012), os resíduos passaram a conter em suas composições elementos sintéticos e perigosos aos ecossistemas, boa parte desses resíduos são descartados a céu aberto, assim o manejo adequado dos resíduos é uma importante estratégia para a preservação do meio ambiente.

De acordo com Giraldi (2019), o Brasil é o 4º país que mais produz lixo no mundo, são 11.355.220 toneladas de lixo produzidos e apenas 1,28% desse lixo é reciclado ou reutilizado de alguma forma. Aproximadamente 7,7 milhões de toneladas de dejetos são descartados em aterros sanitários em sua maioria a céu aberto, sem nenhum tratamento para tornar a poluição menos devastadora.

Para Gouveia (2012) os resíduos sólidos podem comprometer a qualidade do solo, da água e do ar, já que podem ser fontes de compostos voláteis, pesticidas, solventes e metais pesados. Podem acarretar na poluição tanto de águas superficiais quanto as subterrâneas e lençóis freáticos, quanto pode haver a formação de gases tóxicos, asfixiantes e em alguns casos explosivos.

No âmbito industrial o descarte de dejetos poluidores é alto, pois há muitas sobras de materiais, os quais não podem ser aproveitados para serem incluídos novamente nos processos de fabricação e acabam sendo descartados em sua maioria de forma irregular, sem preocupação com o descarte correto e tratamentos para que evitem catástrofes maiores.

Dessa forma com o aumento desses poluidores despejados no meio ambientes, cresce o estudo em solucionar esses problemas ambientais, utilizando

esses resíduos para a fabricação de outros materiais, fazendo com que esses dejetos passem a fazer parte da composição de outros materiais. Esse aumento de estudos sobre essas novas possibilidades cresce principalmente dentro da construção civil.

Alguns trabalhos acrescentam cascas de arroz para a produção de argamassas de assentamento, para Bezerra, et al., (2011), a casca de arroz tem um elevado teor de sílica e atividade pozolânica, assim tem uma boa reatividade e por isso se torna adequado utilizar como aglomerante na produção de argamassa, sendo que essa apresentou um melhor desempenho em relação as argamassas sem a cinza da casca de arroz.

Em outra pesquisa foi utilizado cinza de incineração de resíduos sólidos municipais para a fabricação de cimento, Cheng, et al. (2016), nos trás que cinza tinha componentes muito semelhante com a composição do cimento, nessa pesquisa conclui-se que a cinza poderia ser reutilizada na fabricação do cimento, porém com cuidados pois a cinza tinha uma grande quantidade de materiais pesados que poderiam acarretar em danos nos fornos de cimento.

Mymrin (2015) utilizou lodo de produção de papel e pó de vidro para a fabricação de materiais cerâmicos com a argila vermelha, essas novas composições demonstraram melhores propriedades mecânicas do que os materiais convencionais, atingindo os requisitos que as normas brasileiras exigem para um bom desempenho de cerâmicas.

Seguindo a fabricação de materiais cerâmicos com resíduos vemos em Quintana (1999), a produção de cerâmica vermelha com casca de arroz. Onde a adição da casca de arroz não passar um limite de 10% da massa e queimas em temperaturas altas, não compromete a boa resistência e qualidade da cerâmica, caso ocorra um acréscimo maior que a porcentagem estabelecida a cerâmica perde resistência e aumenta a sua porosidade e absorção de água.

Outro estudo sugere a utilização de argila branca para a produção de cerâmica, Motta (2008) utilizou a argila branca, conhecida também como caolin, para a fabricação de cerâmicas em geral, por suas propriedades elas se tornam ideais para a colagem, aumentam a trabalhabilidade e a resistência mecânica.

Em outra pesquisa de Mynrim (2018) foi utilizado o caolin no processo de fabricação da argila branca, com lodo proveniente da limpeza de roupas, em

algumas composições a resistência excedeu as demandas do mais alto padrão técnico de acordo com as normas brasileiras, as temperaturas de queimas para as melhores resistências foram acima de 1000°C e as taxas de metais pesados foram maiores do que o máximo permitido pelas normas.

A utilização de cinzas na fabricação de outros produtos vem sendo muito estudada, conforme Margallo (2016), as propriedades químicas, físicas e mecânicas desses resíduos tornam-se uma ótima alternativa para a fabricação de novos materiais, pois as suas características são excelentes, desde que haja um tratamento adequado pois podem apresentar um alto teor de substâncias perigosas.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral dessa pesquisa é analisar a utilização de cinza oriunda da queima do lixo urbano para a fabricação de cerâmica branca.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Pesquisar a viabilidade da utilização das cinzas da queima do lixo como matéria prima para a produção de cerâmica
- Definir a composição adequada de cinzas para a produção de cerâmica branca.
- Estudar a utilização de demais resíduos no processo de fabricação da cerâmica branca;
- Analisar a utilização de cinza e demais resíduos juntos para a produção de cerâmica branca.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista que há uma grande geração de resíduos, o qual é preocupante pelo seu volume, é de grande interesse ambiental que esses materiais sejam utilizados para a geração de novos materiais.

No caso de cerâmicas tem sido utilizada em sua composição resíduos de outros materiais com bastante sucesso, como pode-se ver em Balaton (2002), onde este utilizou resíduos galvânicos para massas cerâmicas e obteve um bom resultado, mantendo as propriedades técnicas da cerâmica.

Resíduos sólidos dos setores siderúrgicos também podem ser aproveitados para a fabricação de cerâmica, conforme Oliveira (2004), a adição desses resíduos pode ser reaproveitada como constituinte das massas de cerâmicas vermelhas, mantendo suas propriedades.

Outro material muito utilizado é a cinza, proveniente da queima de resíduos sólidos urbanos. A tecnologia está se avançando para a fabricação de incineradores desses resíduos. Essas cinzas sólidas correspondem entre 10% a 30% da massa dos resíduos urbanos. Como esse resíduo é uma cinza sólida inerte, dessa forma ela pode ser utilizada na fabricação de cimento, materiais de construção e produtos cerâmicos. (Nissen, 2002).

## 1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO

No meio científico existem inúmeras pesquisas que aparecem desde a caracterização dos resíduos, diagnósticos, novas propostas de gestão, gerenciamento e utilização de tecnologia para a redução desses resíduos.

Existem muitas pesquisas sobre a utilização de resíduos em novos materiais, tanto nacionais quanto internacionais. Em sua grande maioria apresentam bons resultados, sendo possível a sua utilização. Muitos estudos sugerem a adição de resíduos nas massas cerâmicas vermelhas, apresentando bons resultados pois mantem as propriedades físicas, químicas e mecânicas das cerâmicas.

Pode-se perceber que as pesquisas que são voltadas a adição de cinzas são encontradas em sua maioria em âmbito internacional, mas trazem bons resultados. Em menor quantidade aparece a utilização de caolin para a fabricação



de cerâmicas, mas são encontradas inúmeras pesquisas utilizando o caolin para a fabricação de outros materiais de construção.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa ocorreu em um período de 2 (dois) anos entre 2019 a 2021. Em sua maioria os ensaios foram realizados em laboratórios da UTFPR. Observa-se que atualmente existem muitos resíduos, que são descartados na natureza, na maioria das vezes inadequadamente. Observamos que no município de Mafra – SC, é produzido cinza, pela incineração e atualmente são alocadas em aterros sanitários, mantidos pela empresa que a executa, tornando-se um gasto e de modo geral contribuindo para a poluição ambiental.

Dessa forma, foi utilizada nessa pesquisa essa cinza para a criação de cerâmica com a argila branca, conhecido também como caolin. Foi pesquisado a sua utilização em conjunto com demais resíduos para a fabricação da cerâmica e analisadas se elas se tornam utilizáveis, com base em pesquisas e ensaios nos laboratórios da UTFPR.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 RESÍDUOS

A crescente melhoria da qualidade de vida acompanhada com a evolução da tecnologia possibilitou que a expectativa de vida humana aumentasse consideravelmente, acarretando o aumento significativo da população mundial.

Esse crescimento desenfreado ocasiona problemas no meio ambiente, dessa forma mudando a percepção da relação entre o processo de desenvolvimento e a sustentabilidade. A tendência a evolução está ocasionando uma enorme quantidade de lixo e resíduos que são descartados no meio ambiente.

As cidades com toda essa expansão urbana, não conseguem absorver todos esses resíduos gerados. Em sua maioria as ocupações acabam se concentrando em algumas regiões que não possuem sistemas de coleta de lixo adequados para garantir o manejo de todo o lixo produzido, causando problemas socioambientais.

Os resíduos podem ser classificados de acordo com a NBR 10004, de 2004 – Resíduos sólidos - como aqueles resíduos sólidos que sejam resultados de atividades de origem industrial, residencial, hospitalar, comercial e agrícola. Podem ser incluídos nessa definição, resíduos provenientes de sistemas de tratamento de águas, aqueles gerados em equipamentos de controle de poluição e líquidos cujas suas propriedades não permitem ser descartadas nas redes de águas públicas.

Podemos classificar os resíduos em três classes conforme a NBR 10004, (2004) de acordo com as suas características e propriedades físicas, químicas e infectocontagiosas, os resíduos podem se enquadrar como:

**Classe I – resíduos perigosos:** são aqueles que possuem características de inflamabilidade, reatividades, corrosividade, toxicidade ou patogenicidade.

**Classe II – resíduos não-inertes:** Tem as propriedades de combustibilidade, solubilidade em água ou biogradabilidade.

**Classe III – Inertes:** são aqueles que suas propriedades não oferecem risco a saúde e ao meio ambiente em que for descartado.

Existem várias características em relação aos resíduos, e vários aspectos a serem analisados. Podemos dividir o lixo em 6 diferentes tipos, conforme Silva, (2010).

**Lixo Domiciliar:** são lixos domésticos produzidos dentro das próprias residências, e também produtos descartados pelos seres humanos, como baterias, pilhas e materiais de limpeza que precisam de descartes corretos, pois podem prejudicar a vida, tanto humana, animal quanto do meio ambiente.

**Lixo Industrial:** é o resíduo proveniente das atividades industriais, sendo na maioria das vezes, lixos ácidos, produtos químicos, metais pesados, construção civil, entre outros. Esse lixo causa impactos muito fortes na natureza e precisam de um descarte especial.

**Lixo Comercial:** é o resíduo descartado de restaurante, escritórios, lanchonetes e ambientes comerciais em geral, em sua maioria são papeis, plásticos, vidros, embalagens e alimentos. São produtos que em sua maioria podem ser reciclados, diminuindo o impacto ambiental.

**Lixo Hospitalar:** esse resíduo precisa de uma coleta especial, além do transporte e destinação correta, pois possui um alto grau de contaminação. São compostos de materiais utilizados nos hospitais em procedimentos de atendimentos.

**Lixo Público:** são resíduos mais amplos, de descartes incorretos na natureza, são dos mais diferentes tipos, desde papéis jogados no chão, até moveis antigos, pneus, eletrodomésticos entre outros.

**Lixo Atômico:** é o lixo produzido pelas usinas nucleares e apresenta um sério risco para as pessoas e para o meio ambiente, não existe um descarte correto, mas existe o descarte preventivo para evitar que ocorram maiores danos.

**Lixo Orgânico:** é considerado todo o lixo de origem animal ou vegetal, todo o lixo que é proveniente de um ser vivo, podemos citar como exemplo, restos de comida, papeis, madeiras, sementes, entre outros. Esse lixo pode ser depositado em aterros sanitários, seguindo todas as normas para garantir que ele seja adequado e não prejudique o meio ambiente.

**Lixo Inorgânico:** é o principal resíduo que pode ser utilizado na reciclagem, pois são produtos “limpos” que podem ser reutilizados, mas para isso precisa que haja uma separação correta desses resíduos e uma coleta separada.

## 2.2 POLUIÇÃO

De acordo com Giraldi (2019), o Brasil é o quarto país do mundo que mais produz lixo. Segundo o banco de dados, são 11.355.220 toneladas de lixo produzidas e descartados e apenas 1,28% desses resíduos são reciclados. As poluições desses lixos descartados de forma irregular causam R\$8 bilhões de prejuízo a economia global.

No Brasil grande parte dos municípios não tem condições de manter uma correta coleta e destinação do lixo urbano. Este lixo por sua vez é depositado em vias públicas, terrenos desocupados, leitos de córregos ou rios e uma parte dele são destinados à coleta de lixo que acaba sendo depositado em lixões ou aterros sanitários.

O planeta é contaminado em sua maioria por uma variedade de poluentes, podendo ser poluídos os rios, mares, águas, ares e vegetações, deixando o planeta impróprio para a vida, além de ocasionar a extinção de inúmeras plantas, vegetais e animais (SILVA, 2010).

São inúmeros os impactos que os resíduos causam no meio em que for inserido, conforme Amadei (2011) podemos destacar alguns impactos:

**Impacto ambiental:** Ocupação irregular de áreas naturais, obstruindo vales, rios e córregos, dificultando a drenagem superficial das águas.

**Impacto social:** Existem as classes de coletores e gestores desses lixos, mas em geral eles não têm conhecimentos técnicos suficientes para a preservação ambiental e sanitária.

**Impacto sanitário:** As presenças desses resíduos criam ambientes propícios para a criação de vetores que degradem o saneamento local, ocasionando doenças.

**Impacto visual:** A paisagem como um todo fica afetada.

**Impacto econômico:** Custo muito alto para a realização de coletas e tratamentos adequados, após o mal descarte desses resíduos.

Podemos classificar a poluição no meio ambiente de três principais formas de ocorrer de acordo com a Lei Federal nº 12.305/2010:

1. Quando substâncias naturais, que não fazem parte do ecossistema são colocadas em outro ecossistema.

2. Quando produtos industrializados são colocados no ecossistema em forma de lixo.

3. Quando há a emissão de gases na atmosfera.

A poluição ocorre pelo lançamento desenfreado de resíduos na natureza, e esses resíduos acabam contaminando o ambiente, conforme Pereira, (2014), quando esses resíduos acarretam em mudanças nas características do solo, águas e ar, modificam os aspectos, composições e formas, isso passa a ser uma ameaça ao meio ambiente.

A uma grande diversidade de meios de poluição no meio ambiente, em (Pereira, 2014), podemos classificar os resíduos poluidores em resíduos gasosos, líquidos e sólidos.

**Resíduos gasosos:** esses resíduos são gases que alteram e prejudicam a composição alterando a qualidade do ar. Podendo ser primários: liberado direto para a atmosfera, ou secundários: provocado por reações químicas em interação com o ar natural.

**Resíduos líquidos:** São águas contaminadas provenientes de águas poluídas de industriais, águas de refrigeração, águas pluviais ou águas de esgotos.

**Resíduo sólido:** são originados em diversas atividades como já supra relacionados, podendo ser perigosos ou não, por isso atualmente contasse com programas de reciclagem, pois muitos desses resíduos podem ser reaproveitados em outros materiais e deixando de ser um poluente.

Devidos aos diversos impactos ambientais existentes, e as formas de mitigar esses danos, vão além da coleta de lixo correta, reciclagens e incinerações, pois em alguns dos casos podem beneficiar um lado e prejudicar em outro, por isso é de extrema importância analisar todas as formas de coletar os resíduos (Silva, 2010).

Podemos ver a coleta seletiva como uma forma de gestão desses resíduos, onde principalmente os órgãos públicos são responsáveis pelo controle, coleta, transporte e tratamento desses lixos, normalmente depositados em aterros sanitários.

Os aterros sanitários, são em sua maioria os grandes recebedores desses resíduos, onde quase todos os municípios contam com os aterros, em sua maioria a céu aberto. Muitos desses lixões além de receberem os lixos de seu próprio município, acabam recebendo de outros. Esse lixo pode contaminar águas, através

do chorume produzido pela decomposição desses lixos. Além de contaminar o ar com seu cheiro, e ser atrativo de animais portadores de diversas doenças.

Podemos considerar a incineração do lixo é uma boa alternativa para acabar com os aterros sanitários e descartes incorretos, porém, acaba se tornando um problema caso não seja tomado as medidas necessárias, pois ele pode lançar ao ambiente o CO<sub>2</sub>, que é o principal agente causador do aquecimento global (Silva, 2010). Após a queima, ainda gera o resíduo da cinza que normalmente é descartado em aterros sanitários próprios, mas com um volume bem menor do que os resíduos em seu estado natural.

### 2.3 SUSTENTABILIDADE

O acelerado crescimento populacional, fez com que a comunidade no âmbito global pensasse nas relações de desenvolvimento, crescimento populacional e recursos naturais, Silva, (2010). Na atualidade está em destaque a questão ambiental e como direcionar o sistema produtivo para que a indústria tenha uma gestão voltada para melhor aproveitar os recursos disponíveis e não somente manter o objetivo no lucro, pois podemos compatibilizar o crescimento econômico com a proteção do meio ambiente.

Nesse meio da sustentabilidade encontram-se alternativas como a reciclagem, que conforme Amadei (2011), o processo da reciclagem é um meio de incluir nos ciclos produtivos, materiais provenientes de resíduos, em muitos casos são necessários fazer algum beneficiamento desse produto, antes de entrar na linha produtiva.

Devemos salientar a diferença da reciclagem e da reutilização, esse de acordo com Zanta (2016), não precisa de nenhum tipo de beneficiamento, apenas é inserido da forma em que chega na indústria no ciclo produtivo de outro produto.

A coleta de lixo urbano é considerada pela população como um dever do Estado enquanto instituição social, e para isto, é cobrado taxas e impostos trazendo para a sociedade “despesas” e não como uma atividade capaz de gerar renda e lucros. Com esta mudança de pensamento, podemos enquadrar a atividade de incineração de lixo como uma atividade industrial para fins de processos químicos

e/ou com a finalidade de geração de energia, e o resíduo gerado por esta indústria pode ser reutilizada pela indústria da construção civil.

Atualmente o mercado da construção civil é a que melhor apresenta benefícios em relação a geração de novos materiais com esses resíduos, pois como ela existe em qualquer região, pode-se aproveitar os mais variados resíduos na incorporação desses materiais.

## 2.4 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Ao recorrermos a História, percebe-se que a construção civil, esteve presente na evolução das pequenas cidades/vilas buscando atender a moradia como centro da família, livre dos animais e protegidos das intempéries da natureza. Para tanto, necessitou ir aprimorando técnicas para que esta moradia contemplasse um mínimo de aspectos necessários para sua comodidade e sobrevivência, bem como o armazenamento de alimentos. Nesta trajetória, se buscou cuidar da qualidade, eficiência e atualmente a responsabilidade/sustentabilidade social. Neste aspecto foi apresentado o conceito de desenvolvimento sustentável na década de 1980 pelo Relatório Brundtland.

A preocupação em relação ao desenvolvimento sustentável, atualmente, pode-se inferir que deve ter surgido, devido as mudanças climáticas e a escassez da matéria prima, neste aspecto, o ser humano teve que repensar a forma de utilização e o reaproveitamento de todo e qualquer material.

Na sequência histórica temos em 1992 a Declaração do Rio sobre o meio ambiente, que ocorreu no Rio de Janeiro – Eco 92. O referido documento traz vinte e sete princípios, e um deles é ter o direito ao desenvolvimento sustentável, usando o meio ambiente com racionalidade, para que as gerações futuras possam usufruir e com novas técnicas de reaproveitamento e reciclagem podem erradicar a pobreza nos Estados.

Percebe-se que é necessária uma lei específica para que as empresas na construção civil utilizem, e, em forma de oportunidades novas estratégias para o bom uso dos recursos naturais.

Têm-se ainda a Agenda 21 em que com este documento, percebe-se a tendência no mercado para a adoção de práticas de sustentabilidade, por parte de

governos, os consumidores, empresários etc., que usem a racionalidade para uso dos recursos naturais.

Observa-se que no processo de desenvolvimento da construção civil, são criados quantidade de resíduos de construção, bem como, os ocasionados devido às demolições. E estes objetos, muitas vezes são lançados em qualquer espaço, principalmente em encostas, terrenos baldios, ou seja, espaços inapropriados.

Desta forma, comprometem a paisagem urbana, e com este acúmulo pode ocasionar a procriação de mosquitos, e outros roedores prejudicando a qualidade de vida de quem mora nessas redondezas. Vêm crescendo o interesse de políticas públicas, em dar destino correto a estes resíduos gerados pela construção civil, bem como a preocupação ambiental. Portanto, este desperdício de materiais, é foco de discussões para termos um desenvolvimento sustentável.

Observa-se que a geração de resíduos na construção civil, é responsável por cerca de 20 a 30% do total de resíduos. Vê-se também que a construção consome de 20 a 50% do total de recursos naturais, sendo um problema agravante ao meio ambiente.

Neste aspecto, há urgência em criar projetos para que sejam reaproveitados todos os resíduos deixados abandonados pela construção civil. Pois, se não for repensada esta questão futuramente poderá vir a faltar matéria prima.

Aponta-se que ao abordar sobre os resíduos gerados pela construção civil já não é tão recente. Pois há muito se vem ponderando sobre a redução do desperdício na execução de obras. Pois, a primeira referência nacional em relação ao desperdício, que ocasionou uma discussão mais vasta sobre o assunto, foi o trabalho realizado em 1986, pelo arquiteto Tarcísio de Paula Pinto, com sua pesquisa se inquietou em estudar o uso do material reciclado para produção de argamassas.

Corroborando nesta discussão, a resolução nº. 307/02 do Conama (Brasil, 2002), onde se define o gerenciamento de resíduos, como o sistema de gestão que objetiva reduzir, reutilizar/reciclar resíduos, incluindo o planejamento, principalmente responsabilidades, técnicas, procedimentos e os recursos para desenvolver e implantar as ações necessárias ao cumprimento das etapas e conjeturar em planos e programas.



Entende-se que o poder público, neste aspecto, deve gerenciar e renovar os procedimentos adotados na fiscalização de modo que venha aprimorar os paradigmas da gestão com eficiência.

A reciclagem hoje está em alta, tudo pode ser reaproveitado, não sobrando muitos resíduos para serem despejados na natureza, mas ainda falta a conscientização de muitos empresários/construtores para uso adequado e se for necessário devolver a natureza que seja feita de forma correta.

Desta forma, compreende-se a necessidade de tomada de decisão de forma a melhorar o desempenho dentro da empresa. Surgem preocupações em relação aos impactos no meio ambiente, na construção civil, é necessário haver um maior engajamento no quesito produção e gerenciamento de suas obras. As empresas devem criar uma tabela para a incorporação gradativa de sustentabilidade e ainda somando soluções economicamente duradouras para a execução do projeto.

## 2.5 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COM RESÍDUOS

### 2.5.1 Utilização de Resíduos se Lixo Urbano em Materiais de Construção

Existem três maneiras de descarte e destinação de resíduos urbanos, sendo eles: aterros sanitários, aterros controlados e lixões. Segundo Itô (2014) os lixões e aterros controlados, apresentam problemas semelhantes, porém os lixões ficam a céu aberto e o aterro controlado são cobertos e controlados por terra, diante desse fato Hjelmar (1996) assinala que a incineração do lixo urbano e a utilização de maneira adequada de aterros sanitários são os principais meios de gestão de resíduos em escala mundial.

Nos países da América, Europa e Ásia, segundo Lino e Ismail (2017) proporcionam tratamento dos resíduos urbanos principalmente com a compostagem, reciclagem ou incineração. Já na Austrália, é feito a reciclagem e/ou compostagem de 59 % do seu resíduo assim como o Japão incinera cerca de 80% do seu lixo. Enquanto no Brasil 96,1% dos resíduos é descartado nos aterros sanitários, sem controle direto sobre esse lixo.

Vê-se em Tabasová (2012) que quando é incinerado esses resíduos urbanos chegam a ter uma redução de 90% de seu volume e chegam a reduzir até 75% de seu peso, ainda pode-se ser altamente utilizado em diversos tipos de empreendimentos, materiais de construções, reaproveitamento em linhas de produção, geração de energia e afins. Em alguns países chega a ser utilizado essa cinza para a execução de estradas.

Os incineradores modernos, segundo Dovetail Partners (2010), alcançam temperaturas entre 1000°C e 2000°C, dessa forma tem-se a combustão completa, o que facilita a melhor utilização desse calor para outros projetos e melhora o controle dos gases que são emitidos nesse processo.

Segundo a pesquisa de Coutinho; Vieira (2016) os principais componentes químicos do RSU (resíduos sólidos urbanos) quando são incinerados entre as temperaturas de 1000°C a 1450°C são, alumina ( $Al_2O_3$ ), a Sílica ( $SiO_2$ ) e o óxido de cálcio ( $CaO$ ).

Tem-se uma maior tendência no processo de fabricação de tijolos cerâmicos com a utilização de resíduos pós-consumo. Segundo Shakir; Mohammed, (2013), a argila que é utilizada no processo de fabricação de cerâmicas, chega a ser aproveitada para imobilizar íons de metais pesados que são prejudiciais a natureza e aos seres humanos. A argila pode ter a incorporação de uma certa quantidade desses metais nas suas composições, dessa forma, infere-se que a indústria da cerâmica, pode usar grandes quantidades de resíduos industriais e urbanos para a fabricação de cerâmica, como as cinzas de combustão. (MYMRIN et al.,2014).

### 2.5.2 Uso de Cinzas na Fabricação de Materiais de Construção

Em estudo, pode-se melhorar e contribuir com a sustentabilidade na construção civil, utilizando cinzas de madeira. Essa cinza era constituída de dióxido de silício e óxido de alumínio, esses componentes fazem com que se tenha a ativação pozolânica da nova composição do material. Essas cinzas foram incorporadas na produção de argamassa e teve maior destaque dentro da composição, pois foi possível ser trocado parcialmente o cimento utilizado na composição. Com essa troca o maior objetivo foi prover a ativação das propriedades

pozolânicas desses materiais e mesmo com essa mudança, a argamassa manteve sua característica e aumento de resistência, (Ramos et al. 2013).

Hable et. Al. (2019), utiliza a cinza obtida a partir da gaseificação do lixo urbano para a elaboração de argamassa. No estudo foi possível obter resultados quando é substituído o agregado miúdo (areia natural) pela cinza de resíduos e consegue bons resultados de resistência do material. Nesse trabalho teve como objetivo substituir a areia natural por cinza nas seguintes composições de 5 a 15% de cinza em relação a composição total. Obteve-se um resultado que com a substituição de 5% de areia por cinza, teve-se uma composição com os melhores resultados em 21 dias chegando a 24,98MPa de resistência, sendo um pouco inferior ao uso de areia em sua totalidade que chega a (29,35MPa), mas pode-se observar que a diferença entre ela é mínima.

Já para a utilização de cinza de madeira em concretos, observa-se em Siddique (2012), onde foi utilizado vários tipos de cinza de madeira que apresentavam elevados teores de  $\text{SiO}_2$  (8,15 a 50,75) e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (7,5% a 17,1%), foi analisado que o concreto com a utilização da cinza de madeira teve a ocorrência de uma ligeira diminuição na qualidade da resistência do concreto, porém conforme era aumentado o teor de cinza de madeira, ocorria ao aumento da resistência com a evolução da idade do concreto, devido a sua atividade pozolânica.

A cinza de madeira também é muito utilizada como substituição parcial do cimento no concreto, Cheah; Ramli (2011) observaram que ocorreu a diminuição da resistência do concreto, porém, em contrapartida quando era substituído cerca de 10% ou menos na composição ocorre um aumento da resistência à compressão, porém, infere-se que possivelmente não seja muito vantajosa a substituição em pequenas proporções como próximo a 10% do uso da cinza em troca do cimento em misturas para concreto.

Em outro estudo usando cinza de madeira de alto cálcio de Cheah; Part (2015) mostraram que misturar essa cinza, e cinzas de combustíveis pulverizados, pode ser utilizado para a fabricação de blocos de argamassa com uma resistência compatível das normas vigentes, podendo ser comercializadas.

Outra pesquisa que mostrou bons resultados utilizando cinza de madeira em concreto foi Chowdhury, Mishra, Suganya (2015) no qual os resultados dos estudos foram parecidos aos outros autores já citados nesse trabalho, que foi que

com a adição de cinza de madeira verifica-se num primeiro momento uma diminuição da resistência do concreto, mas com o aumento da idade do concreto há um aumento da resistência. Também foi apontado que para a produção do cimento é necessário a utilização de muita energia, sendo assim, utilizando a cinza se torna uma fonte alternativa de melhoria dos recursos utilizados e otimizando o uso de recursos naturais.

Devida a baixa densidade da cinza, os pesquisadores Torkaman; Ashori; Momtazi (2014) utilizam a cinza para a produção de blocos leves, utilizando a cinza da casca de arroz, resíduos de fibras de madeira e resíduos de calcário, no qual pode-se concluir que a quantidade ideal da substituição de materiais tradicionais por resíduos que apresentam boas características físicas e mecânicas é de 25%. Já para Yliniemi et al. (2016) apresentaram uma pesquisa em que prova, que é possível aumentar a quantidade de cinza na composição e obter produtos de boa qualidade, tendo cuidados como a graduação simultânea e ativação alcalina para produção de agregados leves.

Assim como para Hable et al. (2019) a utilização de cinza proveniente da queima de madeira de caldeira de uma empresa de celulose. Essa cinza foi utilizada para substituir o agregado miúdo, assim, apresentando boa capacidade pozolânica contribuindo com uma maior resistência à compressão do concreto, após essas amostras serem exposta a altas temperaturas. Já nas amostras de concreto que não foram expostas a elevadas temperaturas, só tiveram os melhores resultados quando as substituições da areia por cinza ficaram entre 2% e 10% da composição final, já nas amostras com 5% de substituição da areia por cinza e expostas a altas temperaturas apresentaram resistências próximas á resistência do concreto sem o uso de cinza.

O uso da cinza é utilizado também por Bouzoubaa et al. (2002) onde foi utilizado as cinzas volantes compostas com sílica e escória de alto forno, essa composição apresentou melhorias nas características do concreto. Pode-se observar que em pesquisa apresentada por Bui, Hu, Stroeven (2005), mostram que quando é adicionado partículas finas juntamente com a interface do agregado-matriz, contribui para a diminuição da porosidade do material e aumenta a capacidade dos agregados se ligarem internamente, sendo assim atribui uma maior resistência do concreto.

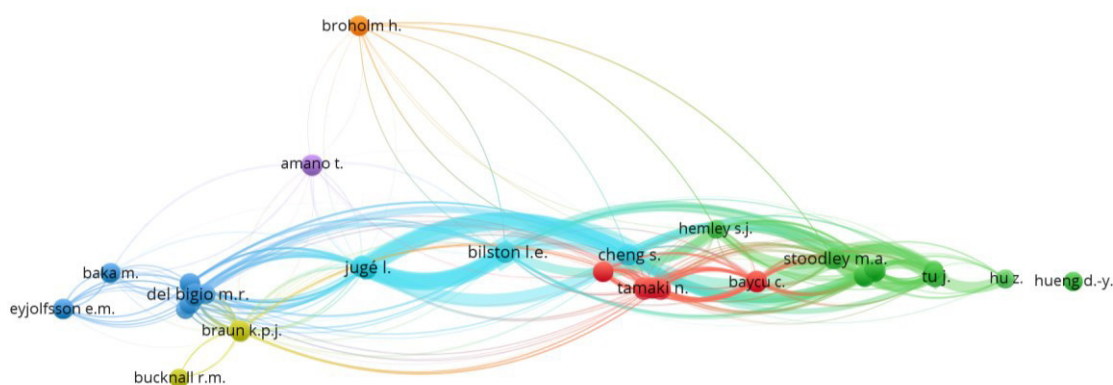
Para Hertz (2003), a utilização de materiais pozolânicos para a fabricação de concreto, que podem ser elevados a altas temperaturas, pode ocasionar problemas na densidade do concreto, sendo mais suscetível ao surgimento de fissuras ou trincas, perdendo resistência de formas consideráveis.

A cinza de resíduos sólidos urbanos foi utilizada por Graupmann et al. (2019) sendo usada na substituição do agregado miúdo na proporção de até no máximo 5%, devido a grande quantidade de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), essa quando entra em contato com hidróxido de cálcio contido no cimento aumenta a quantidade de silicato de cálcio hidratado que faz com que contribua no aumento da resistência do concreto.

A cinza resultante da queima de resíduos sólidos urbanos faz com que a tecnologia esteja cada vez mais avançando para projetos de incineradores desses resíduos. Essas cinzas sólidas chegam a corresponder de 10% a 30% da massa desses resíduos urbanos. Como a cinza resultante da queima é uma cinza sólida inerte, ela pode ser utilizada na fabricação de cimento, materiais de construção e produtos cerâmicos. (REDDY, 2011; NIESSEN, 2002).

Pode-se observar na figura abaixo, a coesão do grupo de pesquisadores sobre cinza e caolin (argila branca), pelo método bibliométrica de pesquisa, a figura abaixo se refere as citações que ocorrem dos autores pelas palavras chaves citadas acima, portanto percebe-se ser um grupo em desenvolvimento, porém significativo e forte.

Figura 1 – Referencia bibliometrica (cinza e argila)



Fonte: Própria autora, com base no software VOSviewer, 2019

Em estudos de Wiemes et al. (2017), cerâmicas foram produzidas a partir de lamas residuais, cinzas de madeira, resíduos de vidro, argila vermelha e areia. Assim foram realizadas amostras com diferentes traços (composições), e após feitas análises que apresentaram resultados expressivos. Quase todas as amostras testadas, atingiram uma resistência mínima necessária para a sua utilização. Diante disso observou-se também que as amostras com os melhores resultados foram as que tinham em sua composição cerca de 60% de resíduos, e as amostras que possuíam cinza no traço contiveram um aumento na resistência, já que esse material apresenta uma boa absorção de água e porosidade constante e uniforme. A pesquisa teve com base a norma NBR 7171/92 – Blocos cerâmicos para alvenaria.

A NBR 7171/92, tem como objetivo principal fixar as condições mínimas para a fabricação de cerâmicas para alvenarias, a norma determina requisitos mínimos para a consideração de o produto final ser utilizável ou não.

Em estudo apresentado por Vaclavikova (2005), as cinzas provenientes da queima de carvão em centrais térmicas, são utilizadas para a fabricação de cerâmicas, sendo que a composição depende do material queimado e da forma do seu armazenamento, mas chega a poder ser utilizado até 20% desses produtos orgânicos. A adição dessa cinza que contenha mais de 15% de matéria orgânica que não tenha sido incinerada pode promover a cristalização heterogênea de cristais prismáticos. Essa cinza apresenta microelementos como o alumínio, resíduo de carbono, quartzo e hematita sob a forma de microesferas, esses elementos fazem com que a utilização dessas cinzas derivadas de centrais térmicas para a fabricação de cerâmica, pode aumentar sua resistência, melhorar a densidade e pode diminuir a absorção de água.

A cinza resultante da queima de carvão possui uma grande quantidade de cálcio que é utilizado como um aditivo para a matéria-prima da cerâmica, portanto esse cálcio é um mineral importante na sua fabricação, sendo assim foi apresentado diferentes combinações com a inclusão dessa cinza, para a fabricação de tijolos com isolamento acústico, para isso foi utilizado 10% de cinza na sua composição e apresentou bons resultados.

Em outro estudo desenvolvido por Boltakova et. al. (2017), apresenta que resíduos de cinza que pode ser utilizado é a cinza resultante da queima de xisto combustível que contém carbonato de sódio, o estudo apresentou que o material

resultante teve uma boa absorção de água, sendo para esse tipo produto, suficiente, chegando à resistência entre 15-20MPa.

A queima do lodo de esgoto faz com que resulte em cinzas, que foram pesquisadas para que fossem fabricados tijolos. Essa cerâmica durante seu processo de cristalização, conservou os metais pesados dispostos e fixados em seu corpo, dessa forma fazendo com que ocorra uma melhora na sua força e reduza a sua densidade.

Em estudos utilizados sedimentos de lodo ativo analisaram-se a queima desses resíduos desse lodo, e a partir foi possível desenvolver a fabricação de blocos cerâmicos com a argila, sedimentos do lodo e a cinza da queima desses sedimentos. Os resultados foram positivos, apresentando a melhoria na forma e tecnologia da fabricação, baixo consumo de energia, redução da poluição ambiental e melhores propriedades nas características da cerâmica.

A utilização de lodo também é estudada por Mymrin et. al. (2018), com um lodo de esgoto, onde foi utilizada a lama residual resultante de lavanderia. A lama foi queimada à 800°C, e a cinza resultante desse processo, foi utilizada para a fabricação de cerâmica branca. Todas as amostras tiveram um aumento de resistência conforme ocorria o aumento da temperatura de queima. Algumas amostras com apenas 10% de cinza do lodo, obtiveram resistência à flexão de até o dobro do que as amostras puras.

Em um estudo realizado com a utilização de cinza de casca de arroz para a produção de cerâmica vermelha, foi adicionado 10% dessa cinza nos traços, para a realização das amostras que foram testadas. Nas amostras que obtiveram a temperatura de queima acima de 850°C, apresentaram resultados suficientes, dentro dos limites necessários. Quanto as amostras com temperatura de queima inferior a 850°C teve-se perda de resistência e uma maior absorção de água. Apresentou-se também que com temperatura entre 900°C e 950°C, pode-se adicionar até 20% de cinza na sua composição, e ter bons resultados. (QUINTANA et al., 1999).

Para Wu et al. (2013) as cinzas provenientes da incineração, podem ser utilizadas na composição para a fabricação de telhas cerâmicas, mas deve-se ter o cuidado de extrair os sais solúveis e os demais componentes voláteis antes da sua fabricação, pois esses materiais podem acarretar em problemas durante o processo de fabricação.

A cinza de madeira pode ser utilizada para melhorar as características do solo (REY-SALGUEIRO et al., 2016). Infere-se que a cinza de madeira é bastante utilizada no mundo, e sua utilização está ligada a inúmeras finalidades dentre elas destaca-se o uso de cinzas em estradas, solos e produção de Biodiesel, como por exemplo em estudo de Uprety et al. (2016) utilizaram a cinza de madeira como uma alternativa química para a obtenção de catalizadores heterogêneos para a geração de biodiesel.

Em estradas o uso da cinza foi estudado por Oburger et. al. (2016), fazendo a utilização desse resíduo para a construção de estradas rurais e sua utilização foi muito bem aceita, tendo em vista que a sua utilização tem efeito “tampão” do solo, sendo apropriada para estradas rurais.

Seguindo a linha de estradas, segundo Baldovino et. al. (2019), quando ocorre a adição de cinza de celulose juntamente com a cal na composição com o solo silte amarelo, observou-se que ocorre um aumento expressivo na resistência de tração, por compressão diametral, na compressão simples. O estudo mostra que pode ser adicionado no solo estudado até 15% de cinza de celulose.

Outra possível utilização de cinzas voláteis foi estudada por Pathak; Siddique (2012), onde foram analisadas e moldadas diferentes composições com o uso dessas cinzas juntamente com areia de fundição. A pesquisa obteve uma redução na resistência do concreto, mas ainda assim pode ser viável a sua produção, já que concretos com resistências que variam entre 19,75-30,69 MPa aos 28 dias, 29,12 a 39,56 MPa a 91 dias e 31,95-42,35 MPa a 365 dias, em temperaturas elevadas, são considerados satisfatórios.

Outra possibilidade da utilização de cinza é ser utilizada a cinza resultante da queima de xisto combustível que contem em sua composição final carbonato de sódio, para a fabricação de cerâmica, as amostras tiveram uma boa absorção de água, chegando a uma resistência entre 15-20MPa. (Boltakova et al., 2017).

### 2.5.3 Uso de Resíduos de Processos de Fabricação na Composição de Materiais de Construção

Um resíduo que é resultante de processos industriais é a escória de alto forno. Em alguns estudos, esse material é utilizado como aglomerante, para Kumar



et al (2008) a utilização da escória de cimento Portland, onde foi utilizado o clínquer ativado mecanicamente e a escória, obteve-se resultados que podem ser substituídos até 85% do clínquer pela escória de alto forno, sem que ocorra a diminuição da sua resistência final.

Também foi apresentado por Kim et al. (2013) que a escória de alto-forno pode até substituir o cimento, essa pesquisa foi baseada em comparativo utilizando o CaO em vez de  $\text{Ca(OH)}_2$  como ativador para a produção de ligantes não-cimentíceos, pois segundo o estudo o uso de CaO apresenta resistências mecânicas maiores que  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Para Lukowski e Salih (2015) a durabilidade das argamassas em conjunto com solos granulados e a utilização de escórias de alto forno, em ambientes ácidos com o sulfato, chegam a adquirir mais lentamente o desenvolvimento da resistência, dessa forma, a resistência não é a única característica a ser observada nessas argamassas.

Em estudo proposto por Jamshidi et. al. (2015), elaboraram a produção de pasta de cimento, incluindo em sua composição escórias de alto forno juntamente com cimentos em quantidades proporcionais, a pesquisa indicou que o produto final tem a sua resistência diminuída em relação à compressão aos 7 (sete) dias, chegando à resistência de 40 MPa na composição com 50-70% de escória de alto forno, mas quando aos 28 dias foi realizado os ensaios de compressão teve o aumento a resistência.

A escória de alto forno pode ser utilizada como agregados e não somente como componentes ativos, segundo Mauthoor; Mohee e Kowlessor (2016), a escória de alto forno quando acontece o resfriamento natural, adquire melhores propriedades físicas quando comparado com os agregados naturais.

O principal objetivo da utilização de escórias de alto forno com grande quantidade de CaO quando misturadas ao solo é ativar as propriedades ligantes da escória melhorando os efeitos do CaO, assim para melhorar a resistência, Mymrin et al. (2005) indicam que pode ser adicionado até 2% de cimento Portland, dessa forma os resultados apresentados, após a análise das amostras apresentaram a resistência uniaxial, quando testadas após um ano de cura, de 47,6 MPa, isso ocorre com o processo de hidratação das amostras.

#### 2.5.4 Concreto com a Utilização de Resíduos

O concreto vem sendo muito estudado pelos pesquisadores, segundo Etxeberria et al. (2010), que analisou as propriedades mecânicas do concreto, onde foi produzido a partir da utilização de escórias de alto forno. Os resultados apontaram que na produção desse concreto foram utilizadas escórias de forno na substituição e agregados graúdos, dessa forma a pesquisa mostrou que a partir disso produz concretos com resistências superiores aos convencionais produzidos com materiais usuais desse processo de fabricação.

No trabalho apresentado por Lubeck et al. (2012), foi mostrado que ao determinar composições com 50-70% de cimento Portland Branco ao ser substituído por escórias de alto-forno, não apareceu diferenças significativas quando foi comparado com a composição de 100% de cimento Portland Branco. Assim, a pesquisa mostrou que pode ser trocado parcialmente o cimento Portland Branco por escória de alto forno. Já para Ozbay, Erdemir, Durmus (2016) quando é utilizado escórias de alto forno na sua forma graduada, tem-se o aumento da resistência à compressão ao longo do tempo, ocorrendo melhoras significativas, quando testadas após 40 dias de cura.

A substituição parcial de agregados naturais por escoria de alto forno foi estudado por Monosi; Ruello; Sani (2016), onde expuseram que ao realizar as essas trocas de componentes da composição do concreto foi possível perceber um aumento expressivo da resistência à compressão desse concreto e também não apresentou alterações no processo de cura do concreto.

A utilização de cascalho natural de rio, foi estudado por Yeih et al. (2015), onde a utilizou para que para a fabricação de concreto juntamente com a escória de alto forno com o resfriamento natural no ambiente, apresentou resistências maiores em comparação com a utilização de areia de rio natural.

Para a fabricação de concreto, também foi estudado por Sekar et al. (2016), misturando solo de escórias graduada de alto forno, casca de coco e areia de brita, resultando que ao substituir 50% de cimento pela escória, os resultados atingidos de resistência à compressão, foram de diminuição da resistência em 26% para curas em água, 24% para cura a vapor e 22% em câmeras de cura.

Outro estudo para a fabricação de concreto com materiais alternativos foi de Guney et al. (2010). Onde foi tentado utilizar areia de fundição para a fabricação de concreto, na pesquisa foi substituído a areia natural por areia de fundição, tendo até 15% de troca dos materiais na composição do concreto. E, dessa forma os resultados que apenas continham a substituição de apenas 10% da areia natural por areia de fundição, obtiveram resultados que chegam bem próximos as características do concreto convencional com a utilização da areia natural.

O concreto vem tendo bons resultados em substituição de um dos seus agregados por resíduos, autores como Singh; Siddique (2012) mostram que utilizando areia de fundição, no lugar se areia natural, constatou-se que aos 28 dias a resistência à compressão foi de 8,3-17MPa e a resistência a tração por 3,6-10,4MPa, além de trazer uma grande melhoria nas propriedades mecânicas com análises das amostras aos 365 dias.

A areia de fundição também foi pesquisada quando utilizada no concreto por Siddique; Noumowe (2008), apresentando resultados satisfatórios, já que o concreto apresentado tem boa qualidade, chegando a resultados que teve aumento da resistência do concreto, quando se tinha o aumento da quantidade de areia de fundição juntamente com o aumento da idade do concreto que foi produzido com a utilização da areia de fundição.

Diversos resíduos foram utilizados por Prabhu; Hyun; Kim (2014), para a fabricação de concreto, onde foi utilizado para o preparo do concreto diferentes composições, desde a utilização de areia de fundição, areia natural e outros agregados finos. Nessa pesquisa realizada, obtiveram-se resultados que mostraram que quando adicionado 20% de areia de fundição as características da resistência do, obtiveram resultados bem próximos ao concreto moldado sem o uso da areia natural, dessa forma mantendo a sua qualidade.

Já na pesquisa apresentada por Mastella et al. (2014) a areia de fundição foi utilizada para a produção de blocos de concreto, para os diferentes usos como: alvenaria e paver, a pesquisa mostrou que os blocos produzidos, com a areia de fundição em sua composição, atendem as exigências das norma vigentes, tanto na sua resistência quanto em seu processo de lixiviação. As melhores composições que obtinham 22% de cimento atingiram 35 MPa de resistência à compressão

quando analisados em 28 dias e, aos 56 dias o traço com apenas 17% de cimento obteve a mesma resistência.

Outro resíduo utilizado para a produção de materiais é o resíduo de vidro. Pode-se ver em estudos de Ling; Poon; Wong (2013), onde apontaram a utilização desses resíduos para a produção de materiais ligantes. Os quais evidenciaram que os resíduos de vidro podem ser utilizados em diferentes tipos de concreto, sendo eles: blocos de concreto e concreto auto adensável, assim como pode ser utilizado para produção de diferentes tipos de argamassa. Já para Jani; Hogland (2014), em sua pesquisa utilizando o resíduo de vidro, pode-se mostrar que ele pode ser utilizado na produção de concreto e cimento, porém o tamanho dessas partículas de vidro é responsável pela reação álcali-sílica e pode depreciar o concreto nas suas características de resistência.

O resíduo de vidro também foi estudado por Avila-López; Almanza-Robles; Escalante-García (2015), juntamente com o resíduo de pedra calcária para a produção de argamassa. Em outro estudo para produção de produtos de cimentícios e argamassas, foi pesquisado a adição de até 25% de diversos tipos de resíduo de vidro, após isso analisado a composição química dessas amostras e chegou-se à conclusão que as reações pozolânicas e álcali-sílica têm relação direta com a composição química do pó de vidro utilizado na combinação (BIGNOZZI et al. 2015).

Para Torres-Carrasco; Puertas (2015), os resíduos de pó de vidro podem ser aproveitados como ativador alcalino, por polímeros, empregando como base as cinzas volantes. Seus resultados afirmam que o vidro pode substituir os resíduos de hidrato de silicato de sódio comercial. Eles também mostraram um estudo no qual analisaram a substituição do cimento Portland por materiais alcalinos ativado sendo esse resíduo de vidro.

Esse resíduo de vidro foi analisado por Rashad (2014) onde apresentou a possibilidade da utilização desse resíduo como material inerte em composições para a produção de cimento com a substituição de agregado fino. A pesquisa chegou a resultados que, com o acréscimo da quantidade de areia de vidro nas composições, proporcionou a diminuição da retração do material. Em alguns estudos foi demonstrada uma influência negativa da areia de vidro, quando foi analisada a resistência por abrasão dos produtos cimentícios analisados.

### 2.5.5 Utilização de Resíduos em Estradas

A construção de estradas utiliza muitos materiais naturais nas suas diversas fases construtivas. Há muito tempo vêm sendo pesquisado a utilização de resíduos da indústria com finalidade de usar estes resíduos para a construção de estradas. Entre estes pesquisadores vê-se nos trabalhos de Mymrin; Ponte; Yamamoto (2003), onde apresentam distintos produtos que podem ser produzidos com escórias de alto forno para utilização em represas, lixeiras, telhas e tijolos.

Assim como para Pasetto, Baldo (2010), utilizaram escória de aço a partir de forno elétrico, que analisado, foi identificado que possui 30% de CaO, apresentando resultados semelhantes quando é comparado com o uso de agregados de rochas naturais.

Já em pesquisas de Mahieux; Aubert; Escadeillas (2009), analisaram uma forma de ativar solos granulados com escória de alto forno e escória básica de fornalha de oxigênio, com a principal ideia de desenvolver um ligante hidráulico para construção de rodovias. Segundo os estudos chegou-se à conclusão que com a composição de 52,5% de escória graduada, e 42,5% de escória de oxigênio, usando 5% de catalizador, foi possível chegar à uma resistência de 10 MPa em 28 dias desse solo.

### 2.5.6 Cerâmicas com a Utilização de Resíduos em sua Composição

Algumas pesquisas utilizam escórias de alto forno na composição de cerâmicas, nas quais as amostras são moldadas e queimadas em altas temperaturas. Ozturk; Gultekin (2015) desenvolveram uma pesquisa onde foi adicionado 33% de escória de alto forno, para formar a composição para produção de azulejos, nessa pesquisa obteve-se um aumento de 25% de resistência. Neste trabalho também foi realizado quatro composições distintas, as quais foram consideradas as principais onde continham argila, areia, pedra calcária, caulim e escória. Nesse trabalho é mostrado que a escória de alto forno pode ser utilizada na produção de azulejos.

Já em pesquisa apresentada por Ozdemir; Yilmaz (2007) buscaram examinar a produção de cerâmicas com a utilização de argila e o resíduo da escória

de alto forno que são obtidas a temperaturas de 1150° C, 1175°C e 1200°C, no período de uma hora. Na análise verificou-se que obteve um aumento de absorção de água e na porosidade da cerâmica, isso conforme era acrescida a quantidade de escória de alto forno, mas em contrapartida houve uma diminuição da retração das amostras cerâmicas dessa análise.

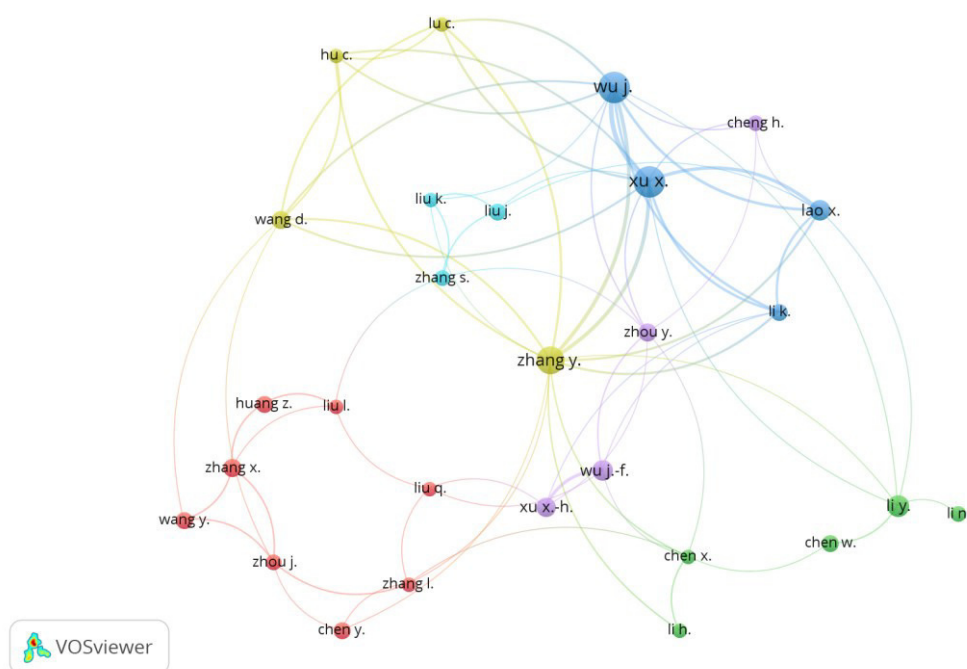
Na produção de cerâmicas a utilização de escória de alto forno, desempenha um papel fundamental no preenchimento dos vazios dessas cerâmicas, pode ser utilizado o resíduo de vidro para a mesma finalidade. Em pesquisa apresentada por Ding et al. (2015) obteve-se cerâmica com a utilização de escória de alto forno e resíduo de vidro, apresentando resultados de um material com baixa densidade 0,79g / cm<sup>3</sup> e baixa absorção de água 2,71% e alta resistência à flexão 14,34 MPa.

Em estudos realizados por Francis; Rahman; Daoud (2013), apresentam que cerâmicas que são produzidas em baixas temperaturas, com a intenção de obter produtos com alta porosidade e utilizando resíduos de vidro e escória de alto forno, foi possível obter cerâmicas vidro poroso.

Já para Wei et al (2014), apresentou viavelmente cerâmica produzida com resíduos de escórias de fornalhas de arco elétrico e sedimentos do porto de Taichung tendo como base as proporções das amostras seguintes: 10/100 - 50/100 e com queimas em temperaturas de 950-1050° C e 1100° C.

Para a produção de cerâmicas é utilizado a argila, este sendo o principal elemento da cerâmica e a areia, essa que em alguns casos, não permanece na proporção correta para a produção e em alguns casos deve ser adicionado areia, para corrigir essa proporção. Para Mymrin et al. (2014), em seu estudo apresenta o uso da areia de fundição, com vários outros resíduos industriais, sendo esses materiais descartados na natureza, para a produção de cerâmicas. Neste estudo apresentaram-se resultados que mostram que a resistências a flexão é de até 14MPa quando as amostras são queimadas entre 950-1050 C°, destacando neste experimento que o produto obtido é ambientalmente correto, por retirar materiais nocivos, a partir do descarte incorreto do meio ambiente.

Figura 2 – Referencia bibliométrica (cerâmica e caolin)



Fonte: Própria autora, com base no software VOSviewer, 2019

Pode-se observar na figura acima, como o grupo de pesquisadores sobre cerâmica e caolin (argila branca), pelo método bibliométrica de pesquisa, a figura abaixo se refere as citações que ocorrem dos autores pelas palavras chaves supracitadas, dessa forma percebe-se ser um grupo em desenvolvimento, com poucos autores e poucas pesquisas, porém vêm se tornando um grupo coeso.

Ainda para a produção de cerâmicas, em pesquisa apresentada por Pytel (2014), identificou que a utilização da areia de fundição, quando processada até ser desmanchada completamente, ocorrendo o processo de separação do metal na indústria de fundição, é possível aplicar como elemento no processo de fabricação de cerâmicas, para a utilização na indústria da construção civil. Assim como Pytel, Mymrin (2014) apresentou resultados de lixiviação de metais pesados, mostrando que esses materiais cerâmicos produzidos respeitam as normas vigentes referente a produção de materiais cerâmicos.

No estudo de Furlani et al. (2012) foi acrescentado 10%, 20%, e 40% de areia de fundição juntamente com a argila vermelha e a amarela, as amostras foram queimadas por uma hora em temperaturas entre 900°C a 1040°C. Dessa forma a areia de fundição pode apresentar novas características para a cerâmica,

diferentemente das características de uma areia natural comum. Quando usado na produção de tijolos cerâmicos, essa areia de fundição com proporção de 30% apresentado por Alonso-Santurde et al. (2011) aponta que os materiais pesados encontrados na areia de fundição acabam ficando inertes pelo processo de queima em temperaturas altas. Assim o tijolo produzido com areia de fundição pode ser considerado ambientalmente correto, além de ter características boas para a sua comercialização.

Ainda o pó de vidro pode ser utilizado na elaboração de cerâmicas, tendo como principal objetivo dessa adição de vidro no traço das cerâmicas é poder diminuir a temperatura de queima no desenvolvimento da cerâmica. Para Phonphuak; Kanyakan; Chindaprasirt et al (2016), apontaram que quando adicionado 10% de resíduo de vidro no traço das cerâmicas, pode ser diminuído 100° C na temperatura de queima desse produto, assim viabiliza a diminuição no custo de fabricação desses produtos.

Para a fabricação de tijolos, utilizando o resíduo com as proporções já mencionadas, podem ser produzidos com queima na temperatura de 900°C mantendo assim as mesmas propriedades e características. Nessa mesma linha de pesquisa Wei; Cheng; Ko (2016) produziram agregados leves, a partir de resíduos de vidro, utilizando também cinzas volantes de carvão. Foi adicionado também pó de vidro o qual permitiu uma redução de tempo de sintetização para apenas 10 minutos. Na pesquisa elaborada por Schwarz-Tatarin; Freyburg (2010) foi descrita a composição mineralógica de cerâmicas com pó de vidro, sendo viável para a utilização.

Diferentes tipos de resíduo de vidro em pó, foram utilizados para a criação de cerâmicas porcelanas, pode-se mostrar o trabalho de Kim; Kim; Hwang (2015) onde realizaram a substituição de feldspato (um mineral rochoso) por pó de vidro, proveniente de visores de cristal líquido, para a composição da porcelana para a sua produção como produtos sanitários. A partir da temperatura de sintetização escolhida para a produção das porcelanas, pode ocorrer a substituição completa e ainda assim obter bons resultados.

Também foram desenvolvidas pesquisas onde foi realizada a substituição de resíduo de vidro para substituir feldspato na elaboração de azulejos de cerâmica. Para Kim; Kim; Hwang (2015), os resultados obtiveram vantagem quando usado o



pó de vidro em relação ao uso de feldspato e, evidenciaram que no processo de reciclagem do vidro de cristal líquido que são produzidos a partir de 2010, não possuem alto teor de elementos tóxicos, portanto se torna viável a sua produção.

O vidro, por si só não é o principal ativo responsável pela origem de elementos tóxicos, quando ele é utilizado para a fabricação de outros materiais, mas, existem alguns materiais que dependem da adição desse resíduo de vidro para neutralizar os elementos tóxicos encontrados nesses outros produtos. Para Ye et al. (2015), é citado pelos estudos do tratamento do rejeito do ouro utilizando o método Cooper, para sintetizar vidro em cerâmica. Portanto nessas composições foram possíveis ser adicionados até 77,6% de dejetos e somente 22,4% de vidro, dessa forma mesmo com pouco resíduo de vidro, os resultados da força na flexão chegou a resultados de 209,6 MPa de resistência, níveis bem altos de resistência para cerâmicas.

O resíduo de vidro também foi utilizado com lama de produção de papel, com o objetivo principal de obter amostras com estruturas vítreas, onde com as baixas temperaturas de sintetização obteve um material com características ambientalmente corretas e de possível fabricação de acordo com as normas vigentes. (MYMRIN et al. 2015).

Na literatura internacional, encontram-se pesquisas onde é feita a produção de cerâmicas de espuma. Como em Bai et al (2014), apresentaram que a produção de espuma utilizando resíduos de vidro juntamente com cinzas volantes, apresentaram que as espumas de vidro obtiveram densidade aparente de 0,267g / cm<sup>3</sup>, e chegaram a resistência de compressão de 0,98 MPa e apresentaram uma porosidade de 81,55%.

Seguindo essa mesma linha de estudos, Zhu et al. (2016) apresentaram um experimento onde foi utilizado resíduo de vidro, cinza volante de carvão, Carbonato de cálcio e Bórax, desenvolvendo assim, o que os autores chamaram de vidro espumas cerâmicas, com propriedades de baixa densidade aparente e baixa condutividade térmica.

O motivo de pesquisar estratégias para o uso correto de resíduos de vidro foi apontado por Gong et al. (2016), pois, o autor relata que o resíduo de vidro âmbar é tradicionalmente despejados em aterros sanitários, onde uma pequena parte apenas

chega a ser reaproveitada, por isso a vontade de pesquisar outras destinações para esse material, para que colabore com a preservação ambiental.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração da dissertação foram utilizadas matérias primas que são em sua maioria descartadas no meio ambiente, sem nenhum planejamento ou cuidados necessários e/ou descartados em aterros sanitários, sendo eles, (AR) Areia de fundição proveniente de Doutor Pedrinho – SC da empresa B2 Fundições LTDA, (EC) escória de alto forno trazida da mesma empresa da areia de fundição, (CQ) Cinza da queima do lixo, proveniente da cidade de Mafra - SC e (VP) Vidro em pó procedente de uma empresa que produz vidros temperados em Rio Negro – PR, empresa Linde Vidros, e o único componente natural a (AB) Argila Branca (Caolin em pó) comprada em Curitiba – PR, na empresa Farmanilquima.

Com os materiais já apresentados que foram utilizados nessa pesquisa, desenvolveu-se 31 traços (composições com diferentes quantidades de cada material). Desses materiais as composições variavam o teor de Cinza da queima do lixo (CQ) entre 0% á 15%, areia de fundição (AR) de 0% a 20%, escória (EC) com variação de 0% a 30%, pó de vidro (VP) entre 0% e 30%, argila branca (AB) de 15% a 100% e a água de 8% a 10%, conforme tabela abaixo. Para essa pesquisa foram feitas 5 amostras de cada composição para cada temperatura de queima.

Tabela 1 – Composição das amostras

	Cinza	Escória	Areia de fundição	Pó de Vidro	Argila Branca
1	0	0	0	0	100
2		20	20	10	50
3		30	10	20	40
4		20	20	30	30
5		10	20	30	40
6		20	10	30	40
7	5	20	20	10	45
8		30	10	20	35
9		20	20	30	25
10		10	20	30	35
11		20	10	30	35
12	7	20	20	10	43
13		30	10	20	33
14		20	20	30	23
15		10	20	30	33
16		20	10	30	33
17	10	20	20	10	40
18		30	10	20	30
19		20	20	30	20
20		10	20	30	30
21		20	10	30	30
22	13	20	20	10	37
23		30	10	20	27
24		20	20	30	17
25		10	20	30	27
26		20	10	30	27
27	15	20	20	10	35
28		30	10	20	25
29		20	20	30	15
30		10	20	30	25
31		20	10	30	25

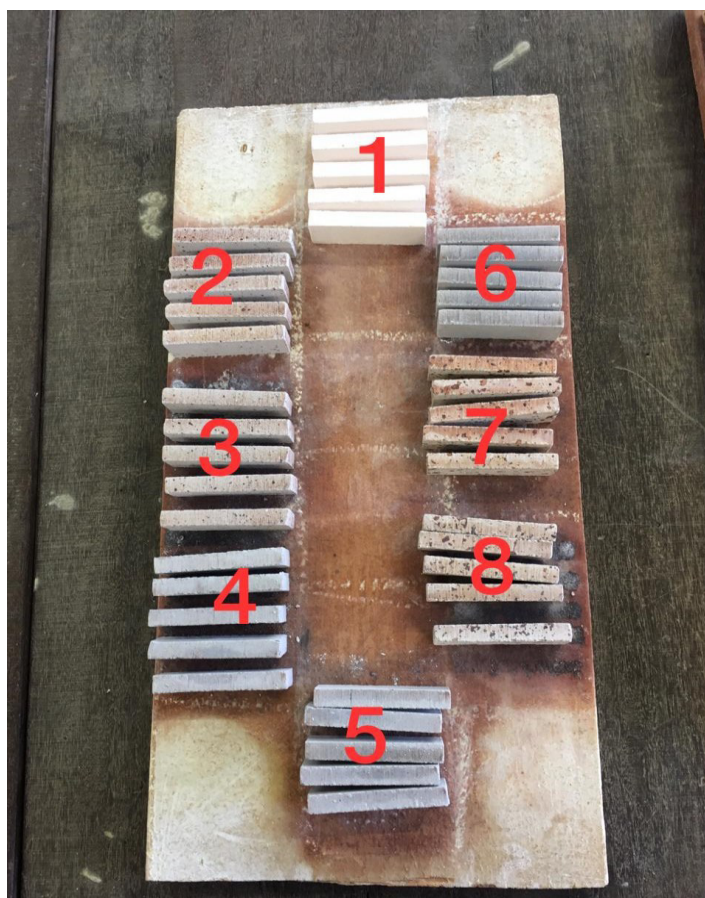
Fonte: própria autora, 2021

A escolha pela umidade ótima para a pesquisa foi a partir da compactação dos corpos de prova (CP), pois durante esse processo com essa quantidade de água, o corpo de prova ficava solta do molde de forma ideal. “Quando se adicionava uma maior quantidade de água os corpos de prova ficavam muito moles” e não ficavam na forma dos moldes e na consistência ideal, o mesmo ocorria com

quantidade de águas menores que deixavam a massa muito seca e não ficava no molde da forma correta e acabava se desmanchando. Caso acontecesse alguma dessas situações pela quantidade de água errônea, era refeito o processo daquele traço. Dessa forma considerou-se a umidade ótima entre 8 a 10%.

Dessa forma os materiais foram separados, pesados para cada composição diferente, misturados até apresentarem uma mistura homogênea e posteriormente era adicionada água, para ter a consistência ideal dos corpos de prova. Foram pesadas 20 gramas da mistura úmida e colocada em um molde com as seguintes dimensões: 60x20x10mm, sendo comprimento, largura e espessura, respectivamente, portanto todas as amostras tendem a ter essas medidas. Todos os corpos de provas foram compactados com uma pressão de 4 MPa, podendo então ter uma variação dos tamanhos das amostras, principalmente em sua espessura.

Figura 3 – Amostras antes da queima

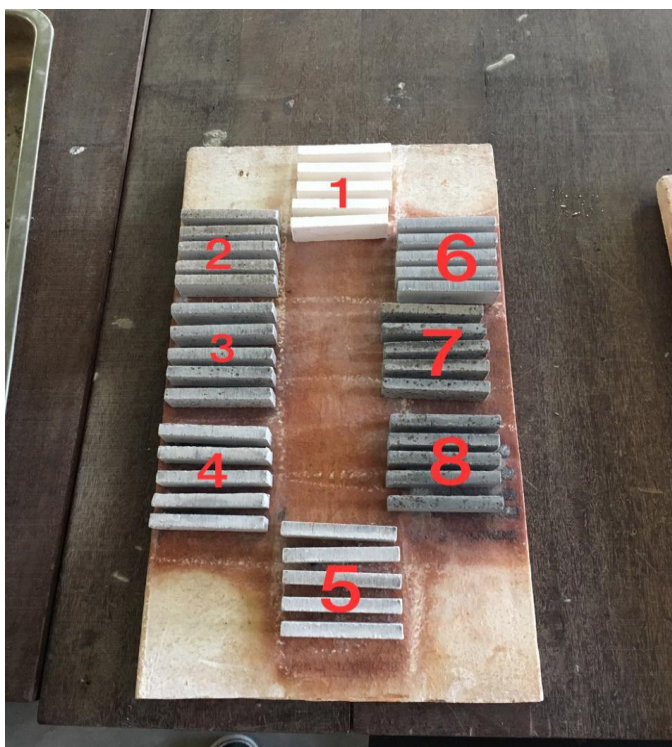


Fonte: Própria autoria, 2020

Após todos os 1.395 corpos de prova prontos, iniciou-se a queima das amostras. Foi utilizado um forno da marca Jung, modelo LF04213, número de série 9106, com capacidade de 70 litros e com temperatura máxima de 1300° C. Para o processo da queima foram colocadas as 5 amostras de cada uma das 31 composições, dentro do forno não foi utilizado nenhum tipo de barreira que pudesse interferir na influência do calor nos corpos de prova e/ou atrapalhasse na distribuição do calor entre esses (CP).

De acordo com a capacidade do forno, para a queima desses compósitos, utilizou-se sempre 5 linhas (traços) de cada vez, resultando em 25 amostras por vez para serem queimadas juntas em cada uma das temperaturas escolhidas para essa pesquisa, que foram: 700°C, 750°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C, 975°C, 1000°C e 1025°C. Dessa forma o forno foi ajustado para que sempre aumentasse a temperatura de queima em 5°C por minuto e quando atingisse a temperatura correta, ficava mantendo essa temperatura por 3 (três) horas, para que houvesse a queima igualmente entre todas as amostras. Assim quando acabava o tempo de queima, era desligado o forno e aguardado que ele resfriasse naturalmente, para não ocorrer choque térmico e facilitasse o manuseio das mesmas.

Figura 4 – Amostras depois da queima



Fonte: Própria autoria, 2020

Após a conclusão da fase de queima dessas amostras, elas foram medidas, tanto largura, comprimento e espessura, pesadas e marcadas, para que fosse possível fazer novos ensaios para determinar as seguintes características descritas:

- Contração linear;
- Absorção de água;
- Densidade;
- Resistência a flexão.

Para a determinação da contração linear, foi pesado todos os CP antes da queima e após a queima e utilizou-se a fórmula descrita abaixo:

$$Cl = \frac{L_{C.a.d}}{L_{C.a.a}} * 100\%$$

Onde:

Cl = é a contração linear.

$L_{C.a.d}$  = é o comprimento da amostra após a queima no forno,

$L_{C.a.a}$  = é o comprimento da amostra antes do processo de queima no forno.

Para a determinação da quantidade de absorção de água, foi pesado as amostras após a queima, colocadas as amostras em uma banheira de água e deixadas por 24 horas, após isso eram cuidadosamente secados com papel absorvente para retirar o excesso de água que fica envolto nos CP's e pesados novamente, para a determinação da sua absorção utilizou-se a seguinte equação:

$$Wa = \frac{Ah - As}{As} * 100$$

Onde:

(Wa) = é taxa de absorção de água;

(Ah) = peso da amostra úmida após permanecer 24 horas na água;

(As) = peso do corpo de prova seco antes da imersão em água.

Figura 5: Amostras no ensaio de absorção de água



Fonte: Própria autoria, 2021

Para ser verificado a densidade dessas amostras, foi utilizado as medidas e pesos depois da queima, com auxílio da formula abaixo:

$$Densidade = \frac{M_{p.a.q}}{a \times b \times c}$$

Onde:

$M_{p.a.q}$  = é o peso da amostra depois de queimada no forno,

“a” = é o comprimento da amostra,

“b” = é a largura da amostra,

“c” = é a espessura da amostra.

E por fim para determinar a resistência de flexão de cada um dos corpos de prova, a prensa estava regulada para que chegasse ao ponto perca total de resistência e tendo a ruptura das amostras, a velocidade adotada para o ensaio foi 0,5mm por minuto, utilizando a formula abaixo:



$$\sigma = \frac{3FL}{2bd^2}$$

Onde:

$\sigma$  = é a resistência à flexão (MPa);

F = é a força no ponto de ruptura (N);

L = é a distância entre os dois pinos inferiores do equipamento utilizado;

B = medida da largura do corpo de prova;

D = medida da espessura da amostra.

Para as matérias-primas realizou-se os seguintes ensaios listados abaixo e, para as melhores composições realizou-se o ensaio DRX e MEV, conforme descritos abaixo:

- Densidade das amostras;
- Mapeamento químico para identificar a densidade desses elementos em diferentes pontos;
- Ensaio de distribuição do tamanho das partículas;
- Perda por queima dos materiais;
- MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) – faz a caracterização do tamanho das partículas com visão ampliada das mesmas;
- FRX (Espectrômetros de Fluorescência de Raios X) – o qual mostra a composição química dos materiais;
- DRX (Difratômetros de Raio X) - apresenta os picos da formação cristalina;
- EDS (Espectroscopia por Dispersão de Elétrons) – caracteriza a heterogeneidade dos elementos;

Para a determinação da densidade, as amostras foram moídas e alocadas em recipientes pré-determinados e compactadas apenas com vibração, sem esforço externo, dessa forma foram pesadas secas e úmidas para a determinação da densidade conforme apresentado mais abaixo.

O ensaio de distribuição do tamanho das partículas, foi feito a partir do peneiramento e sedimentação das amostras, após pegar uma quantidade de amostras do material, ele foi separado e misturado com pedregulho grosso, pedregulho fino, material arenoso e material argiloso, em seguida foi peneirado os

materiais e espera a sedimentação, após isso faz-se a leitura para definir a faixa granulométrica.

Para o ensaio de perda por queima das matérias-primas, utilizou como embasamento o método de ensaio proposto pela ABIFA – CEMP – Comissão de Estudos de Matérias Primas, (2015) – Materiais para fundição – determinação de perda ao fogo, onde abrange diversos materiais. Esse procedimento faz com que mostre a quantidade de material orgânico e água que constituem o material da análise. O ensaio, pela queima faz a eliminação desses materiais orgânicos presentes nos materiais.

Os ensaios de MEV, para a microscopia das amostras, foram realizadas em Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV (modelo TM3000, Hitachi) com filamento de tungstênio. As amostras foram coletadas e depositadas em uma câmara para amostras de 25 mm de diâmetro preparadas com fita de carbono e cobre. As imagens foram geradas com aumento de 300x, 500x e 1000x e em seguida realizadas correções de foco, brilho e contraste.

Os ensaios de EDS e mapeamento para a obtenção dos principais componentes químicos das matérias primas, foi realizado a moagem de forma simples desses materiais, para que passassem na peneira de 200mm, após isso foi utilizado o equipamento de microscópio eletrônico de varredura, modelo EVO MA 15, Zeiss. Ele é composto por filamentos de tungstênio e câmara para amostras de até 250mm de diâmetro e massa de 500 gramas. Nesse aparelho pode-se fazer a formação de imagem microscopia com detectores de elétrons e também composto para microanálise química de EDS X-Max de 20mm<sup>2</sup>.

Para realizar o ensaio de FRX, seguiu-se os procedimentos de trituração das materiais primas por 30 segundos, após a trituração, utilizou-se 7 (sete) gramas de cada amostra e 1,4 gramas de cera orgânica e foram homogeneizados. Com esse material foi pressionado na prensa em formato de disco e posteriormente é instalado no equipamento Philipps/Panalytical 2400.

No ensaio de DRX (difratômetro de raios-x), sendo de bancada possui tubos geradores de raios-x ( $K\alpha$  do Cu  $\lambda = 0,154$  nm) funcionando a 600 W de potência e voltagem de 40kV. Para o ensaio usou-se o equipamento modelo Miniflex 600. Usando o volume de (0,5g) de cada amostra, com os seguintes parâmetros de ensaios, modo de ensaio contínuo, com ângulo de faixa de varredura de 20° a 80°, e

velocidade de varredura de 1º/min e step 0,02º. Para a análise desses resultados foi utilizado o software X'Pert Highscore Plus, associado com um banco de dados cristograficos do ICDD (International Center for Diffraction Date) de 2003.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para chegar aos resultados desse experimento, foi analisado os corpos de prova, os quais seguiram as normas ABNT-NBR 13818/1987 – Placas cerâmicas para revestimentos e métodos de ensaio, ABNT-NBR 16661/2017 - Materiais refratários densos conformados, para determinar a densidade de massa, ABNT – NBR 10237/2014 - matérias refratários cerâmicos - Determinação da variação linear dimensional, onde foi analisado e verificado as propriedades físicas e mecânicas.

Dessa forma para a consideração dos resultados, analisou-se as resistências a flexão, contração linear, absorção de água e densidade das amostras em todas as suas temperaturas de queima.

Também se analisou as características físico-químicas dos materiais utilizados na pesquisa conforme ensaios descritos na metodologia dessa pesquisa.

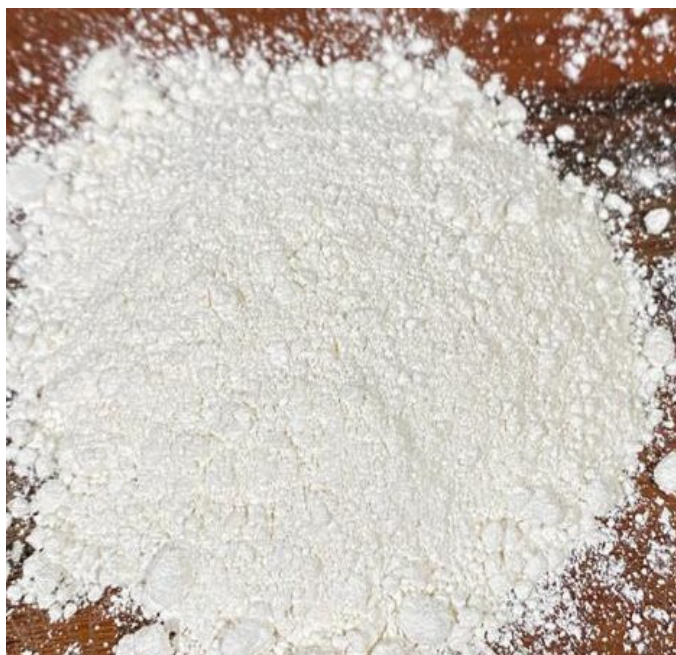
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATERIAS PRIMAS

Os materiais usados para a elaboração dessa pesquisa, foram todos obtidos na região sul, mais precisamente próximos à cidade de Curitiba. Foi retirado o material das indústrias, que após os seus processos de fabricação esses resíduos são descartados em sua maioria em aterros sanitários.

#### 4.1.1 Caracterização da Argila Branca (Caolin)

A argila branca é facilmente encontrada para compra por ser muito utilizada na fabricação de cosméticos. E também é encontrada em diversos locais, desde que seja fruto de um longo processo de meteorização das rochas. A imagem abaixo mostra como ela é encontrada.

Figura 6: Argila branca



Fonte: Própria autoria, 2021

A densidade da argila branca  $2,60\text{g/cm}^3$ , a perda por queima desse material foi relativamente alta, chegando a 15,5% e a faixa granulométrica desse material apresenta que esse material é muito fino, conforme tabela abaixo.

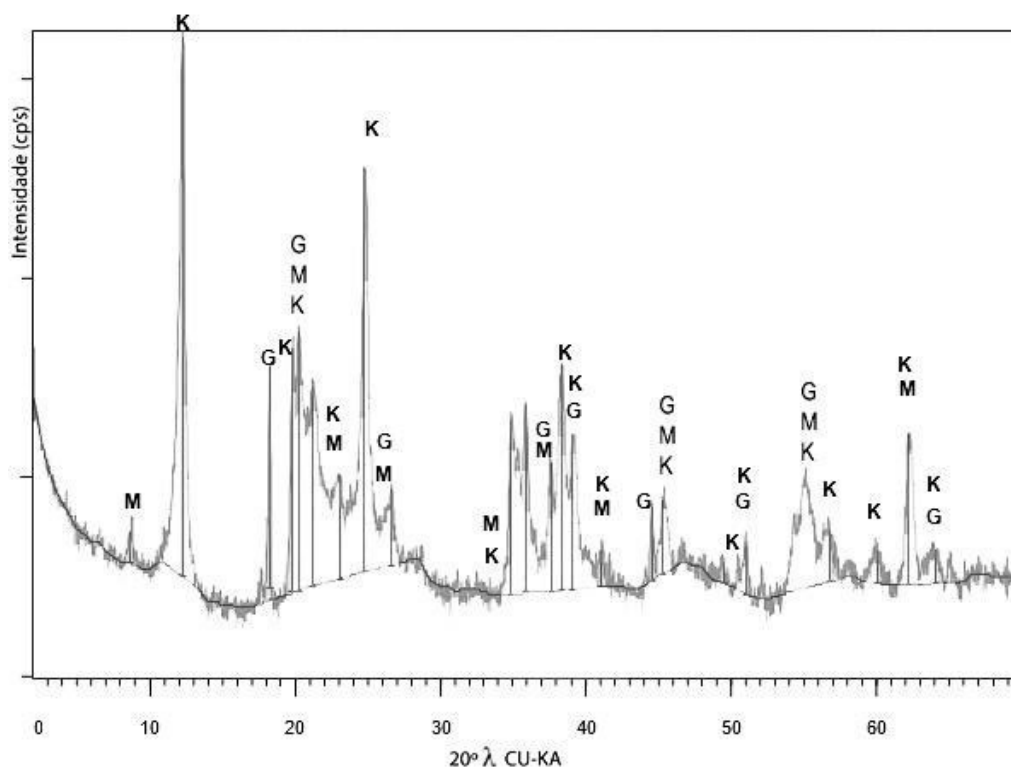
Tabela 02 – Faixa granulometria da argila branca

Tamanho (mm)	0,0-0,075	0,075-0,149	0,15-0,29	0,30-0,59	0,60-1,19	+ que 1,20
peso em %	99,19%	0,63%	0,18%	-	-	-

Fonte: Própria autoria, 2021

O DRX, apresentou que o caulim é composto principalmente pelos minerais: caulinita, gibsitita e muscovita, conforme mostra o gráfico abaixo.

Figura 7: Composição mineral da argila branca por DRX



Fonte: Própria autoria, 2021

Como pode-se ver na tabela abaixo, do ensaio de FRX a argila branca apresenta grande quantidade de  $\text{SiO}_2$  com 45,1% e o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  com 38,5% em sua composição, a perda por queima de material foi 14,98%.

Tabela 03: Óxidos encontrados na argila por FRX

ÓXIDOS ENCONTRADOS(%)							
ÓXIDO	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$
QUANTIDADE (%)	45,1	38,5	0,5	0,4	0,3	<0,1	<0,1

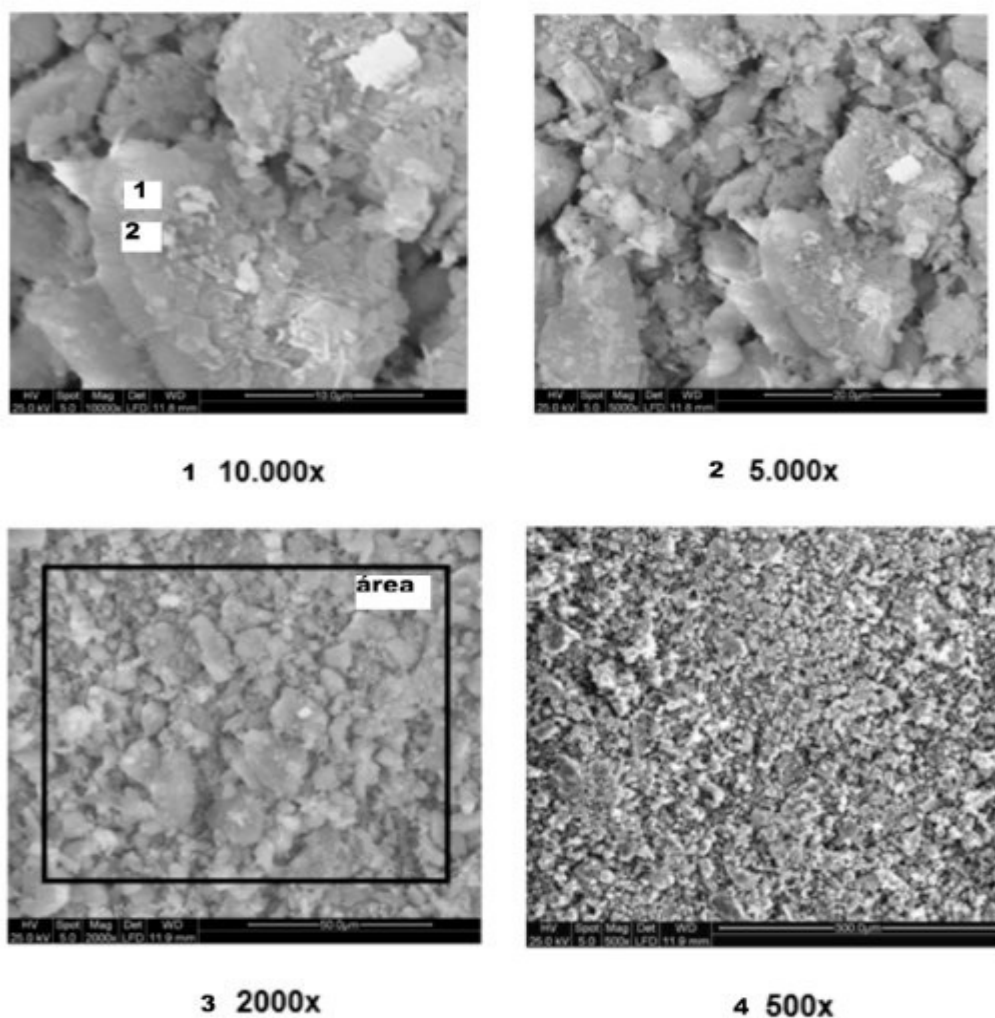
Fonte: Própria autoria, 2021

A caulinita é associada a outros materiais aluminosos, no gráfico acima, são os quais tem os maiores picos de concentração. O caolin apresentou uma grande quantidade de material amorfo, isso pode-se ser observada pela distância entre a abscissa e a curva do gráfico, essa curvatura é característica de materiais amorfos.

Pelo ensaio de MEV e EDS apresentam que o caulim é disforme e heterogêneo, portanto de formas irregulares, porém de tamanhos e características

muito finas. Portanto pelo MEV pode-se observar que as partículas são muito menores, conforme figura abaixo.

Figura 8: Mapeamento químico da argila por MEV



Fonte: Própria autoria, 2021

E pelo ensaio de EDS, conforme tabela abaixo, vê-se que os pontos 1 e 2 são muito similares, conforme tabela abaixo, representando que esse material pertence ao mesmo cristal. Observa-se que ocorre uma maior concentração de Si e Al, sendo respectivamente 49,62% e 30,11%

Tabela 04: Composição química da argila por EDS

Ponto/Elemento	C	Al	Ai	K	Fe
1	27,63	27,55	44,06	0,41	0,36
2	29,30	26,89	43,10	0,45	0,27
Área	18,87	30,11	49,62	0,82	0,59
máximo encontrado	29,30	30,11	49,62	0,82	0,59
Mínimo encontrado	18,87	26,89	43,10	0,41	0,27

Fonte: Própria autoria, 2021

#### 4.1.2 Caracterização da cinza residual de lixo urbano

A cinza utilizada nessa pesquisa como principal componente, é proveniente da queima de lixo urbano, de uma empresa responsável pela coleta de lixo urbano, sendo resíduos sólidos, da cidade de Mafra – Santa Catarina. Essa companhia implantou em sua sede, do mesmo município, uma unidade de gaseificação experimental, com intensão de geração de energia, que pode chegar a produzir até 2.5 megawatts por hora, considerando a energia bruta. A capacidade dessa central é para gaseificar 3 toneladas de lixo por hora, dessa forma resultando em 10% de cinza útil, que, normalmente é descartada em aterros sanitários, para a utilização em produção de cerâmicas.

Para a queima do lixo, essa unidade experimental tem o seguinte procedimento, após recolher todo o resíduo municipal diário, esse lixo fica armazenado na unidade, nessa unidade é recebido diariamente lixo urbano proveniente de 24 cidades que rodeiam ou são próximas a Mafra. Com o auxílio de uma garra mecânica, esses detritos são levados da sua armazenagem até uma esteira que rasga as sacolas plásticas, deixando esses resíduos descompactados, logo após esse material é agitado em cima de um tipo de peneira para separar ao máximo resíduo orgânicos do restante dos dejetos.

Após a passagem por essa peneira, a esteira continua seu processo e leva o material até o ponto onde se inicia o processo de queima na câmara de gaseificação, ao final desse processo os dejetos queimados, são levados até a próxima peneira que separa os materiais de acordo com a sua granulometria, as que tem a granulometria correta ao ponto de cinza é depositados diretamente nas caçambas para seguirem até o aterro sanitário, os que ainda não atingiram o ponto



correto é porque não são possíveis de queima completa, ou por algum outro motivo não puderam ser totalmente gaseificados, como materiais metálicos, louças entre outros, e por isso, são alocados em caçambas diferentes que levam até outro aterro sanitário.

Por fim, os gases que são liberados nesse processo de “queima” desses resíduos, são conduzidos até a câmara onde são queimados e a partir daí que é gerado a energia calórica, para o processo de geração de energia elétrica.

Figura 9: Cinza de resíduos urbanos

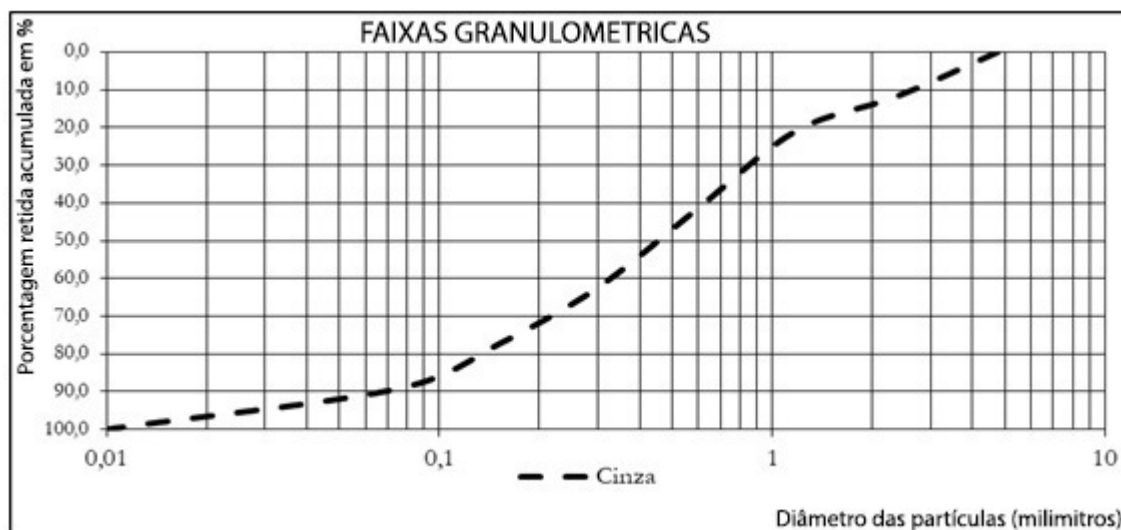


Fonte: Própria autoria, 2020

Amostra do material após a queima do lixo urbano, resultando nessa cinza apresentada na figura acima.

Expõe-se a granulometria da cinza da queima de lixo urbano, sendo resíduos sólidos.

Figura 10 – Distribuição granulométrica da cinza



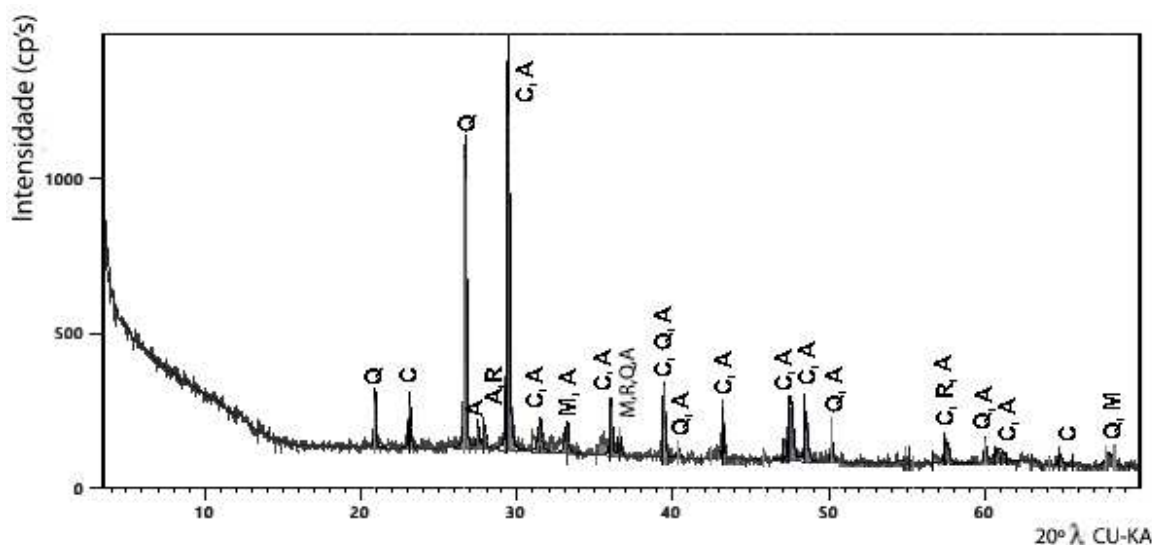
Fonte: Própria autoria, 2021

Com base no gráfico acima, onde apresenta a granulometria da cinza, pode-se perceber que ela é bem distribuída, sendo uma concentração mais fina com 24,59% e com maior concentração nos diâmetros entre 0,60 e 1,19.

A densidade testada dessa cinza foi 1,95 g/cm<sup>3</sup>, taxa de umidade igual a 0,00% pois a cinza passa pelo processo de gaseificação e sai do processo em uma temperatura muito alta.

Para definir as composições mineralógicas do material, utilizou o método de ensaio DRX, onde utiliza o pó apenas dessas matérias primas e é analisada com um difractômetro de raio x com radiação 20°λ CU-KA.

Figura 11: Composição mineral da cinza pelo método DRX



Fonte: Própria autoria, 2021

Na figura acima identifica as principais composições mineralógicas da cinza, onde pode-se observar que o mineral com maior concentração é o quartzo  $\text{SiO}_2$ , confirmando essas composições, foi analisado no ensaio FRX, onde mostra os principais componentes minerais dessa cinza, conforme tabela abaixo:

Tabela 05: Óxidos presentes na cinza por FRX

óxidos encontrados (%)																	
óxidos	$\text{Si}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	Cl	ZnO	$\text{SO}_3$	PbO	CuO	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	MnO	SrO
Quantidade (%)	35,30	16,10	9,50	6,00	3,70	2,60	2,50	1,50	1,40	1,10	1,00	0,70	0,30	0,30	0,10	0,10	0,10

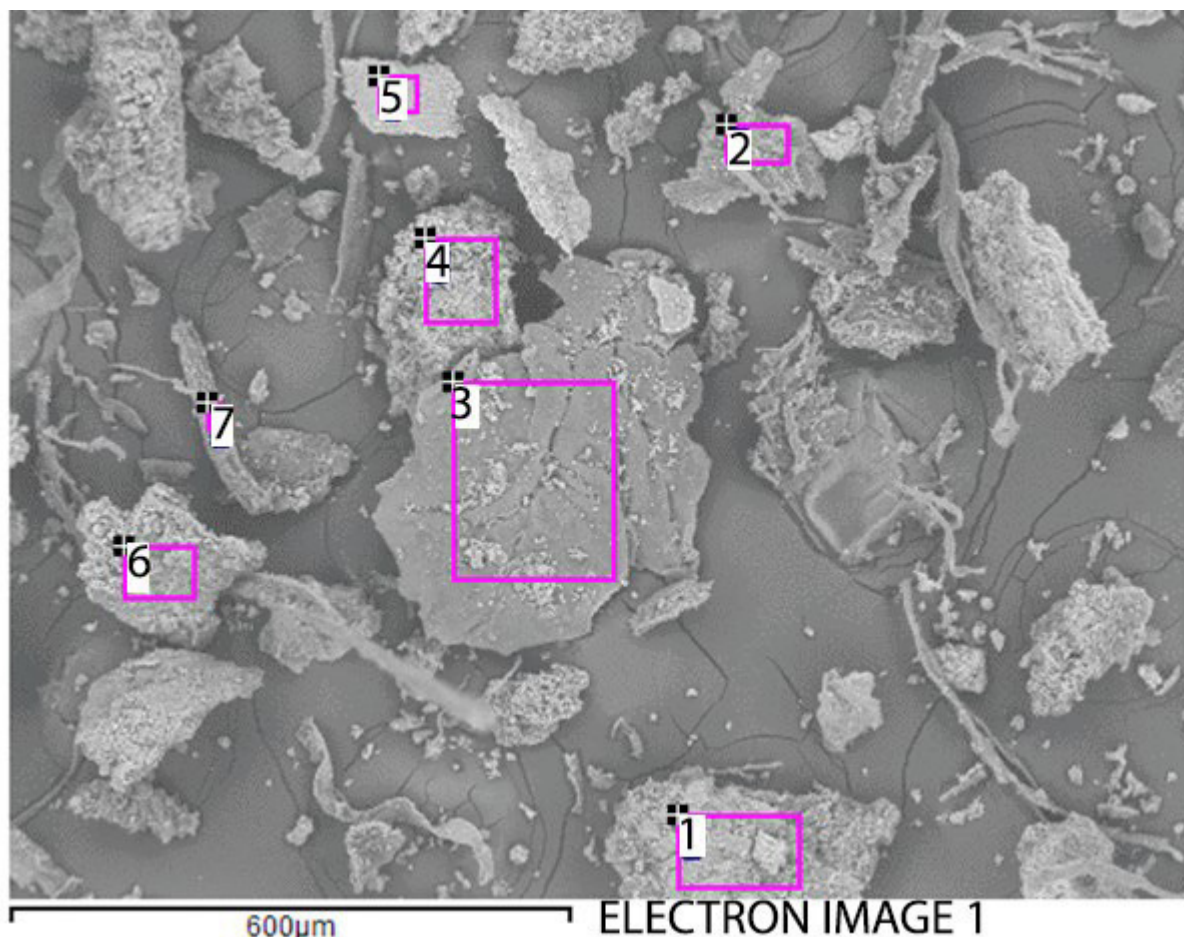
Fonte: Própria autoria, 2021

Nessa tabela acima, podemos confirmar que o mineral que se destaca é o quartzo, seguido pelo óxido de cálcio  $\text{CaO}$  (16,20%), esse que tem propriedades de material fundente.

Também foi realizado o ensaio MEV e EDS, para análise dos tamanhos das partículas que essa cinza apresenta. Pode-se observar uma grande variedade de tamanho de partículas, devido a sua variedade de materiais que compõe esse lixo que é gaseificado. Na figura abaixo, apresenta-se 7 pontos distintos que mostram essa variedade de formas, tamanhos maiores que em relação a argila e distanciamento grande entre as partículas, dessa forma é possível perceber a

composição orgânica e fibrosa desse material, assim como sua porosidade alta, ocasionando alta absorção de água.

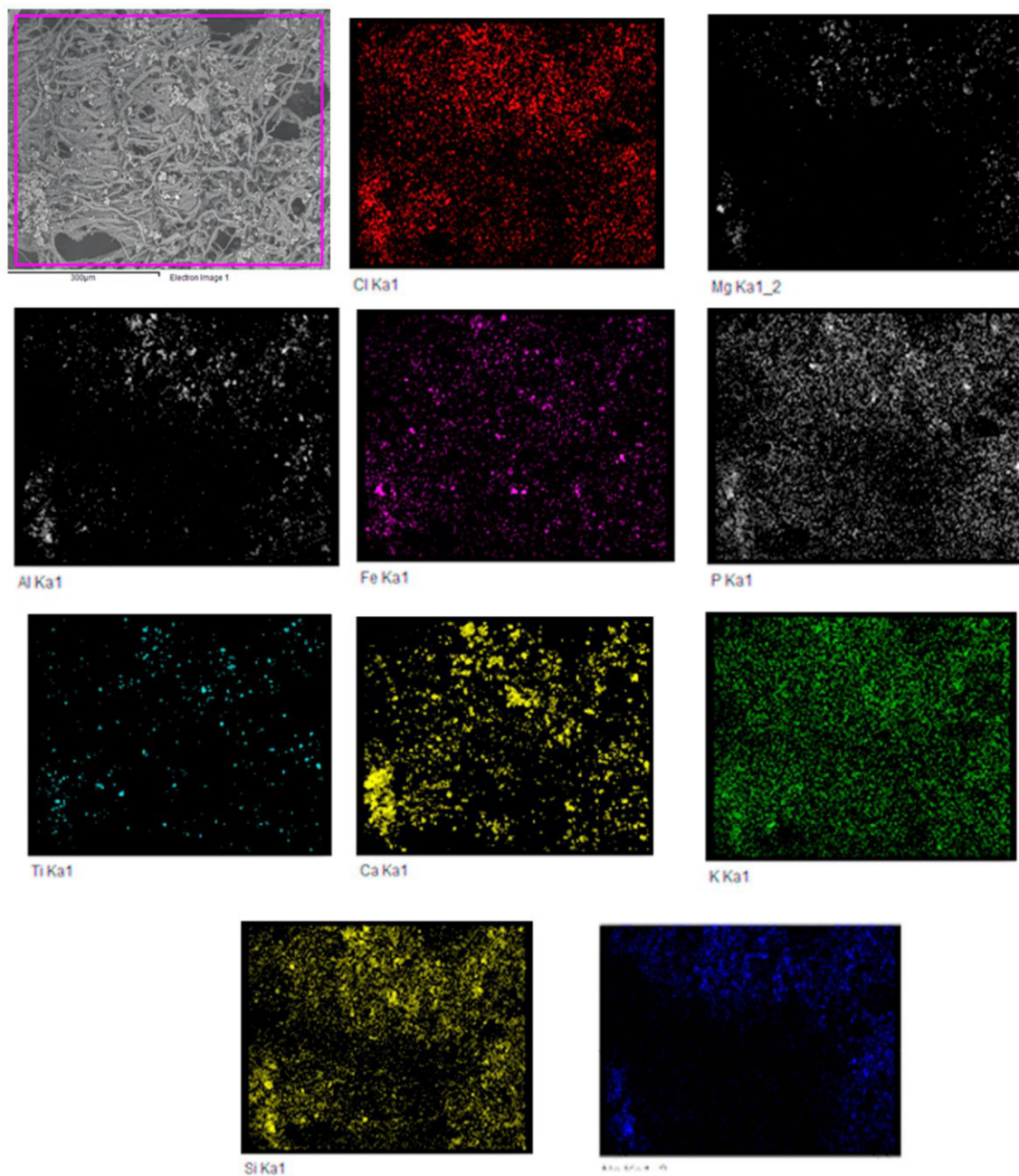
Figura 12: Mapeamento químico da cinza por MEV



Fonte: Própria autoria, 2021

Assim como na figura abaixo, observa-se que os elementos têm uma coloração uniforme, desse modo pode-se perceber que nas suas formações cristalinas não ocorrem muitas aglutinações ou separações, isso pode ocorrer devido a sua forma amorfa.

Figura 13 – Mapeamento dos estados químicos de cada elemento encontrado na cinza por Raio-X tomográfico



Fonte: Própria autoria, 2021

Pode-se ver também a partir do método EDS que os elementos químicos encontrados nesse resíduo, o que tem maior proporção em relação a amostra é o Ca chegando a 70,39 no ponto 7 e o com menor concentração é o Mn chegando a 0,57 apenas no ponto 4.

Tabela 06: Composição química da cinza por EDS

Pontos/elementos	Al	Ca	Cl	Cr	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si	Ti
1	7,47	49,50	3,77	-	4,50	2,21	4,37	-	2,85	4,33	10,36	10,64
2	16,40	10,65	2,60	-	11,17	3,72	3,07	-	1,94	-	47,22	3,23
3	20,56	45,08	2,43	-	0,93	0,40	2,07	-	2,39	-	25,31	0,83
4	5,86	40,35	3,41	-	15,13	1,44	14,13	0,57	1,83	-	14,33	2,95
5	7,48	44,19	7,31	1,04	5,02	2,66	5,40	-	4,81	5,67	8,85	7,57
6	8,46	32,70	2,88	-	9,81	2,67	4,20	-	2,47	-	19,58	17,23
7	4,11	70,39	4,17	-	-	3,60	3,31	-	4,11	-	8,46	1,85
<b>Mínimo encontrado</b>	<b>4,11</b>	<b>10,65</b>	<b>2,43</b>	<b>1,04</b>	<b>0,93</b>	<b>0,40</b>	<b>2,07</b>	<b>0,57</b>	<b>1,83</b>	<b>4,33</b>	<b>8,46</b>	<b>0,83</b>
<b>Máximo encontrado</b>	<b>20,56</b>	<b>70,39</b>	<b>7,31</b>	<b>1,04</b>	<b>15,13</b>	<b>3,72</b>	<b>14,13</b>	<b>0,57</b>	<b>4,81</b>	<b>5,67</b>	<b>47,22</b>	<b>17,23</b>

Fonte: Própria autoria, 2021

Portanto observa-se, conforme tabela acima, que o cálcio é muito presente na cinza, esse material está relacionando com a redução da temperatura de síntese e aumentar a resistência a ruptura ou compressão dos materiais.

#### 4.1.3 Caracterização do pó de vidro

O pó de vidro é proveniente da produção de vidro temperado. Quando o vidro é finalizado ele precisa ser polido ou passar por cortes e esses processos finais deixam uma espécie de pó como resíduo. Esse resíduo é estocado na empresa, até que outra empresa especializada venha retirar esse material para fazer seu descarte de forma correta.

Figura 14: Pó de vidro



Fonte: Própria autoria, 2020

Na imagem acima verifica-se como esse resíduo fica após a produção do vidro temperado.

Esse pó encontra-se em maior quantidade nos tamanhos 0,149-0,070 com 39,38% e devido ao polimento do vidro tem-se em grande quantidade pó nos tamanhos entre 0,075-0,00 sendo 18,78%, conforme verifica-se na tabela abaixo:

Tabela 07: Granulometria do pó de vidro

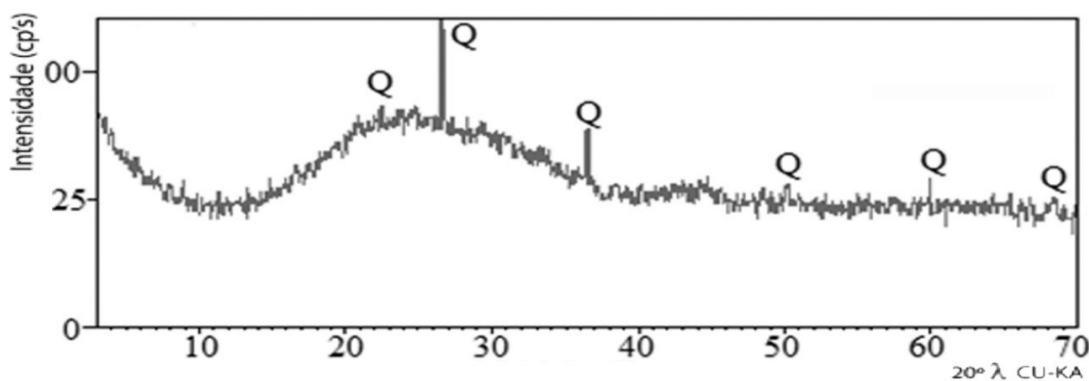
Tamanho (mm)	0,0-0,075	0,075-0,149	0,15-0,29	0,30-0,59	0,60-1,19	+ que 1,20
(peso em %)	18,78	39,38	18,55	23,29	-	-

Fonte: Própria autoria, 2021

Tem-se também a densidade testada de  $0,99 \text{ g/cm}^3$  e porcentagem de umidade de 1,4%, proveniente da umidade atmosférica do local em que fica armazenado esse vidro até ser feito a sua retirada.

Foi realizado o ensaio denominado DRX, mostrado na figura abaixo, que apresentou os seguintes resultados: o pó de vidro tem em sua composição basicamente o quartzo, conforme figura abaixo, pode-se perceber também que esse resíduo é amorfo com maior homogeneidade entre  $12^\circ$  e  $38^\circ$ .

Figura 15: Composição mineral do pó de vidro pelo método DRX



Fonte: Própria autoria, 2021

Essa composição desse resíduo fica comprovado pelo ensaio de FRX, conforme tabela abaixo, feito com esse pó, onde apresentou que na composição ocorre 75,2% de  $\text{SiO}_2$ . O segundo componente em maior quantidade que aparece nessa composição é o  $\text{Na}_2\text{O}$  com 10,0%.

A perda de fogo desse resíduo é apenas 0,3% o que torna a característica desse material bom para a produção de cerâmicas, pois a chances de ocorrer deformações usando esse material são menores.

A utilização desse material para a composição de cerâmicas, tem-se tornado usual pois ele tem a finalidade de diminuir o ponto de fusão das cerâmicas.

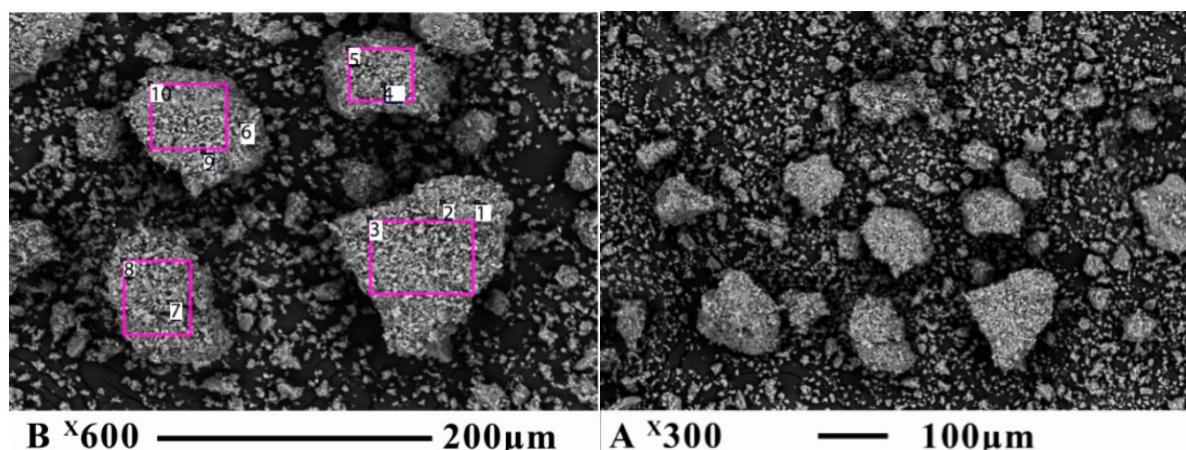
Tabela 08: Óxidos encontrados no pó de vidro por FRX

óxidos encontrados (%)										
óxidos	Si <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO	SO <sub>3</sub>
Quantidade (%)	75,20	10,00	8,30	3,20	0,90	0,80	0,80	0,30	0,30	0,20

Fonte: Própria autoria, 2021

Também foi realizado o ensaio de MEV, figura abaixo, e, EDS para a análise cristalógrafa desse material, assim pelo ensaio MEV, pode-se perceber que as partículas do vidro são bem pequenas. Pode-se também identificar 10 pontos distintos que tem composições químicas diferentes em 4 quadros diferentes. Analisa-se também que as formações têm suas bordas arredondadas, porém são irregulares e partículas em sua maioria em tamanhos menores.

Figura 16: Mapeamento químico do pó de vidro por MEV



Fonte: Própria autoria, 2021



Na tabela abaixo, resultados do ensaio EDS, observa-se que a maior concentração química desse material é o Si, chegando a 61,82% como máximo encontrado, e em sua maioria nos pontos é o elemento que tem maior concentração.

Tabela 09: Composição química do pó de vidro por EDS

Pontos/elementos	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Si
Área 1 - 1	1,01	18,66	-	0,55	3,62	13,27	62,89
Área 1 - 5	0,89	20,09	1,54	0,70	3,53	10,63	62,62
Área 1 - 6	1,28	35,10	4,68	-	2,23	5,88	50,83
Área 2 - 2	1,13	19,56	-	-	3,47	11,90	64,35
Área 2 - 7	1,38	16,97	-	0,83	2,71	8,45	9,69
Área 3 - 3	0,86	20,56	-	-	3,68	13,24	61,66
Área 3 - 8	1,08	61,56	-	-	1,36	5,72	30,01
Área 3 - 9	0,91	28,38	-	0,63	3,12	9,41	57,55
Área 4 - 4	1,09	14,96	0,59	0,54	3,95	13,96	64,91
Área 4 - 10	0,86	25,00	-	-	3,91	11,18	59,05
<b>Minimo encontrado</b>	<b>0,86</b>	<b>14,96</b>	<b>0,90</b>	<b>0,54</b>	<b>1,36</b>	<b>5,72</b>	<b>30,00</b>
<b>Máximo encontrado</b>	<b>1,38</b>	<b>61,82</b>	<b>4,68</b>	<b>4,68</b>	<b>3,95</b>	<b>13,96</b>	<b>69,69</b>

Fonte: Própria autoria, 2021

Observa-se que assim como a cinza, o pó de vidro também possui maior concentração de Cálcio, esses elementos combinados podem fazer com que haja o aumento da resistência ou diminuição da sua temperatura de sintetização por obterem em sua maioria o cálcio como elemento principal.

#### 4.1.4 Caracterização da escória de auto forno

O resíduo de escória de alto forno é proveniente da fabricação de peças de automóveis. Para o processo de fabricação das peças é preciso desenvolver ferros e aços que serão usados, durante o processo de fabricação desses ferros, sobra um resíduo onde é retirado as impurezas e componentes químicos que existem nesse material, esse resíduo é descartado e quando seco forma a escória. A imagem abaixo mostra como é encontrado esse resíduo.

Figura 17: Escória de auto forno



Fonte: Própria autoria, 2021

A escória apresenta uma maior concentração de partículas entre 0,2-0,15mm sendo 66,39% e a segunda maior concentração ocorre em 0,149-0,095mm com 17,63%. Esse material também apresenta baixa perda por queima sendo 1,7%, devido a sua alta temperatura de fusão, conforme observa-se na tabela abaixo.

Tabela 10: Granulometria da escória

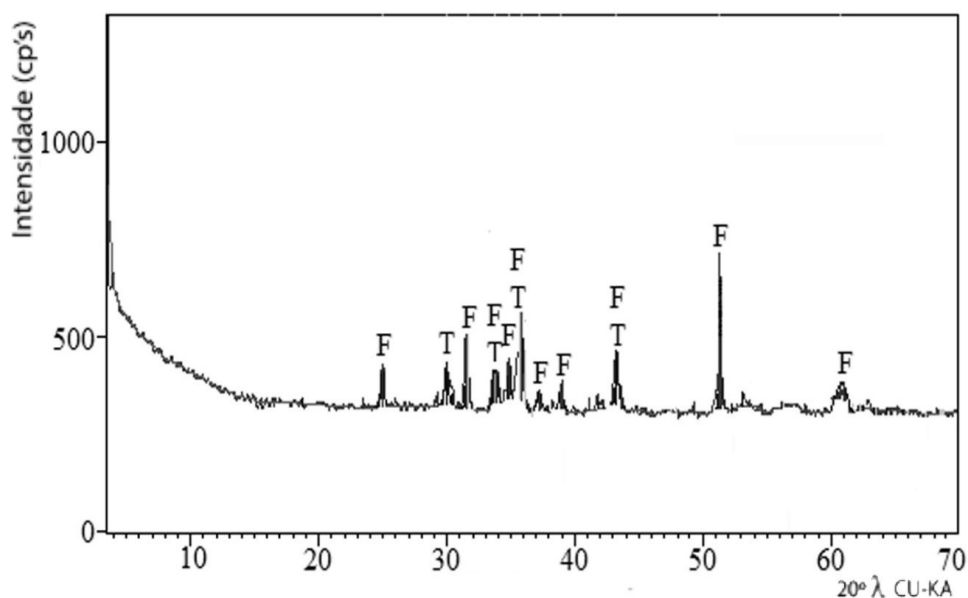
Tamanho (mm)	0,0-0,075	0,075-0,149	0,15-0,29	0,30-0,59	0,60-1,19	+ que 1,20
(peso em %)	1,35	17,63	66,39	14,78	-	-

Fonte: Própria autoria, 2021

A densidade desse material chegou a 2,17g/cm<sup>3</sup>, esse valor se torna maior em função do alto teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de acordo com o ensaio de FRX. A umidade resultou em 1,1%, já que esse material fica estocado em tambores dentro da indústria, e tem apenas a umidade atmosférica que age sobre esse material.

A composição química da escória foi analisada pelo ensaio DRX, podendo ser analisado na figura abaixo, e, apresenta-se duas principais composições mineralógicas a (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) e FeS, essas duas ocorrem com os maiores picos, conforme figura abaixo, e infere-se que a razão desses picos é a estrutura amorfa que se forma quando esse material é submetido a altas temperaturas que chegam a 1500°C no processo de fusão.

Figura 18: Composição mineral da escória pelo método DRX



Fonte: Própria autoria, 2021

Esse material possui níveis altos de óxidos ferrosos que chega a 62,10% conforme tabela abaixo, o próximo material com maior concentração é o  $\text{SiO}_2$  com 13,8% e por ser material de produção metalúrgica temos com relativa grande quantidade o  $\text{SO}_3$  com 10,00%.

Os óxidos ferrosos podem interferir nas características da cerâmica, porem como a quantidade desse material utilizado para a composição da cerâmica é muito baixo, esse óxido não tem interferência na produção da cerâmica, pela baixa quantidade, conforme se analisa pela tabela abaixo:

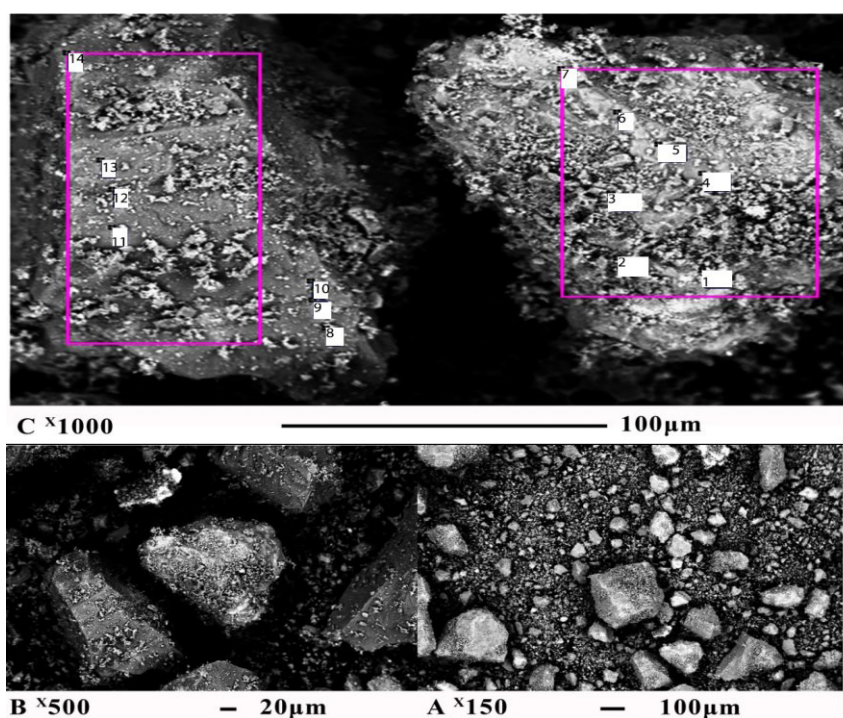
Tabela 11: Óxidos encontrados na escória por FRX

óxidos encontrados (%)																
óxidos	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Si}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MnO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{BaO}$	$\text{ZnO}$	$\text{CuO}$	$\text{SnO}_2$
Quantidade (%)	62,10	13,80	10,00	4,50	2,60	2,50	0,90	0,60	0,40	0,40	0,30	0,30	0,20	0,10	0,10	0,10

Fonte: Própria autoria, 2021

No ensaio de MEV obteve-se que esse material apresenta uma variedade de tamanhos e formas das suas partículas e elas são extremamente pequenas, com poucas partículas chegando a dimensões de 200 a 300 microns. Esse material possui forma pontiaguda conforme vemos na imagem abaixo.

Figura 19: Mapeamento da escória por MEV



Fonte: Própria autoria, 2021

Já no ensaio e EDS, percebe-se a composição química desse material, sendo ela com características incomuns, conforme vê-se na tabela abaixo.

Tabela 12: Composição química da escória por EDS

Pontos/elementos	Al	Ba	Ca	Cl	Fe	K	Mg	Mn	Na	Pb	S	Si
Área 1	2,15	-	2,99	0,94	67,76	0,75	-	0,94	2,48	-	8,49	13,51
Área 2	1,52	-	1,27	0,82	-	0,55	-	69,00	1,77	-	19,83	5,24
3	-	-	1,97	-	77,75	-	0,71	1,38	-	-	3,15	15,04
4	0,96	-	4,01	-	90,52	0,30	-	1,38	-	-	1,37	1,60
5	0,93	-	2,33	-	68,46	-	-	0,97	0,80	15,28	4,01	7,18
6	0,84	-	2,45	-	76,79	-	0,85	1,29	-	-	1,31	16,48
7	11,75	2,66	6,09	1,45	31,39	9,09	-	-	5,24	-	2,29	27,04
8	0,86	-	1,19	-	71,80	-	-	-	0,87	-	20,81	4,48
9	0,54	-	0,47	0,69	70,00	-	-	-	1,51	-	24,90	1,90
10	1,04	-	1,91	1,35	71,23	-	-	0,81	3,16	-	10,37	10,13
11	0,70	-	-	-	94,17	-	-	-	1,44	-	2,59	1,10
12	2,10	-	0,80	-	88,94	-	-	-	-	-	3,51	4,65
13	1,13	-	1,49	0,96	62,97	0,70	-	-	1,12	-	26,69	4,95
14	0,95	-	0,81	-	90,52	-	-	-	-	0,50	3,98	3,24
<b>Minimo encontrado</b>	<b>0,54</b>	<b>2,66</b>	<b>0,47</b>	<b>0,69</b>	<b>62,97</b>	<b>0,30</b>	<b>0,71</b>	<b>0,81</b>	<b>0,84</b>	<b>0,50</b>	<b>1,37</b>	<b>1,10</b>
<b>Máximo encontrado</b>	<b>11,75</b>	<b>2,66</b>	<b>6,09</b>	<b>1,45</b>	<b>94,17</b>	<b>9,09</b>	<b>0,85</b>	<b>69,00</b>	<b>5,24</b>	<b>15,28</b>	<b>26,69</b>	<b>27,04</b>

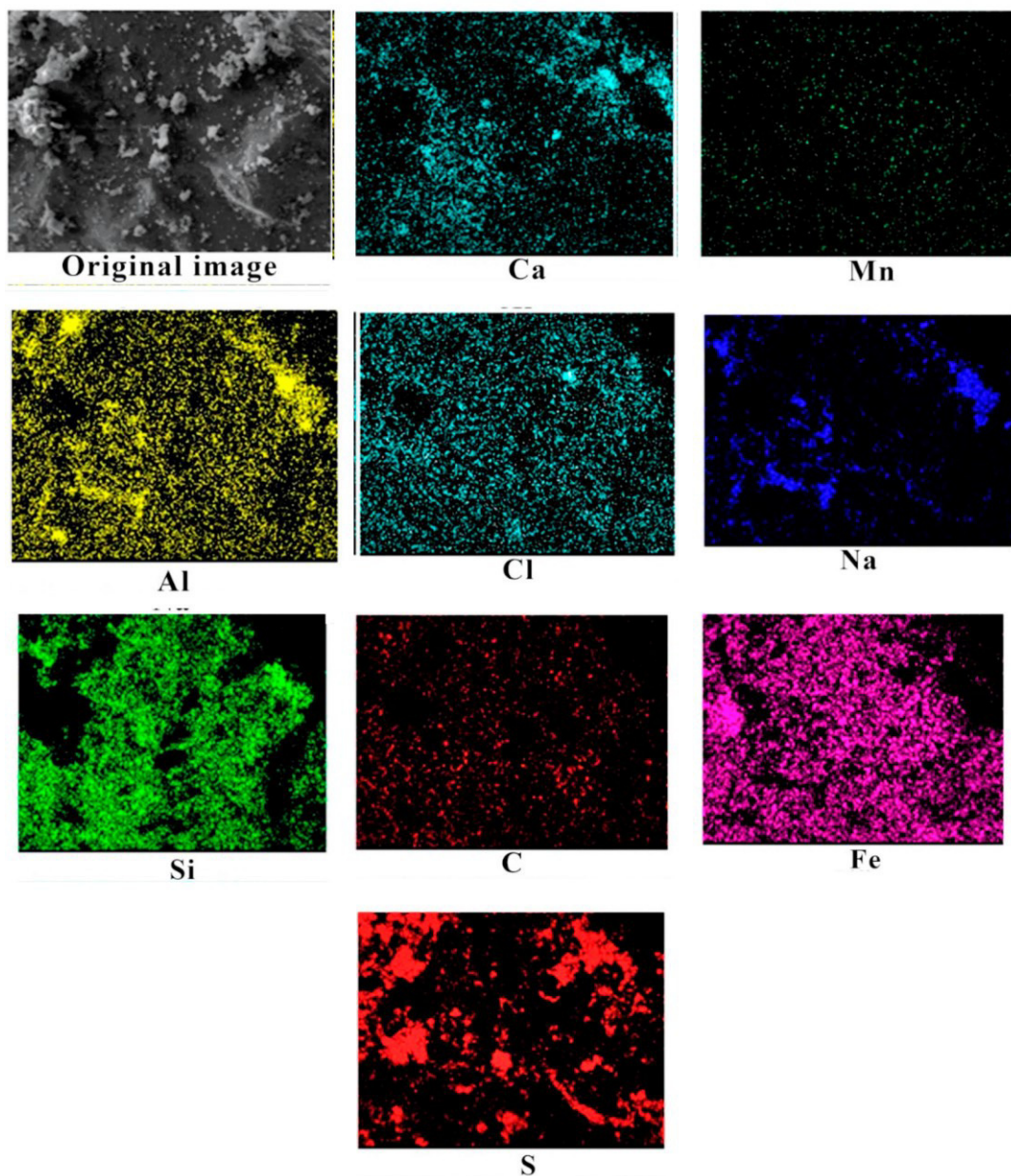
Fonte: Própria autoria, 2021

Podemos perceber na tabela acima que existem duas áreas descritas, e em ambas ocorreu diferenças significativas. Como se pode perceber no elemento Mn (manganês) onde na primeira área ocorre 0,94%, já na segunda área ocorre 69,00% desse mesmo elemento. Pode-se perceber essa mesma oscilação no elemento Fe (ferro), onde na primeira área ocorre 67,79% e na segunda área apresenta 0,00% de ferro. Ocorre também oscilação de quantidade de elemento presentes nos seus pontos de análises também.

Essas oscilações ocorrem devido as variações térmicas que a escória suporta para o seu resfriamento e para chegar ao ponto de fusão que ocorre em 1500°C, podemos atribuir essa mudança acelerada de temperatura a estrutura cristalina encontrada nesse material, pois não há tempo suficiente para a formação de cristais, portanto surge com grande quantidade de materiais amorfos.

Na imagem abaixo temos os elementos químicos da escória com o método de mapeamento por espectroscopia de absorção de Raios-X tomográfica. Percebe-se que os elementos não têm variação de colocação, sem a ocorrência de coágulos separados, fato esse explicado pela sua predominância amorfa.

Figura 20: Mapeamento dos estados químicos de cada elemento encontrados na escória por Raio-X tomográfico



Fonte: Própria autoria, 2021

#### 4.1.5 Caracterização da areia de fundição

A areia de fundição da presente dissertação é proveniente de resíduos resultantes da fabricação de peças automotivas. Para o processo de fabricação das peças é necessário fazer moldes para a montagem das peças, esse moldes são produzidos com areia natural e componentes químicos e, após a sua utilização sobra resíduos de ferro nesse molde, onde ocorre a moagem desse molde para

reutilizar até a sua granulometria estar muito fina para utilizar como moldes novamente. Abaixo imagem de como esse material fica quando coletado.

Figura 21: Areia de fundição



Fonte: Própria autoria, 2020

Esse resíduo apresenta uma boa distribuição granulométrica, sendo em sua maioria mais uniforme, tendo a concentração maior nas partículas de dimensões entre 0,59 a 0,30mm representando 85,17% das partículas. O material mais fino é quase inexistente, conforme mostra tabela abaixo:

Tabela 13: Granulometria da areia de fundição

<b>Tamanho (mm)</b>	<b>0,0-0,075</b>	<b>0,075-0,149</b>	<b>0,15-0,29</b>	<b>0,30-0,59</b>	<b>0,60-1,19</b>	<b>+ que 1,20</b>
<b>(peso em %)</b>	0,08	0,62	13,86	85,17	0,26	-

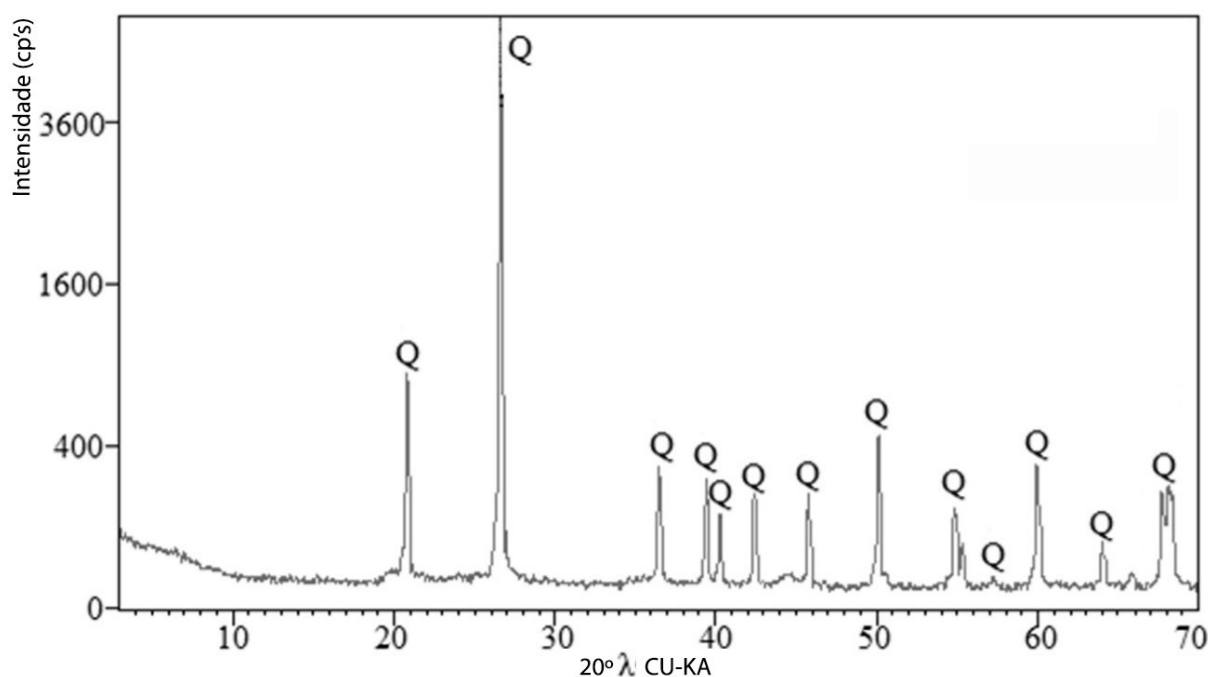
Fonte: Própria autoria, 2021

A densidade apresentada desse material é 1,59g/cm<sup>3</sup> e a umidade tiveram 1,3% nesse resíduo, proveniente da umidade atmosférica natural, pois esse material era depositado em barris esperando o transporte para outra região. A perda por queima desse material é 3,7% e é explicada pela forma em que fica estocado esse

material, já que não tem uma boa separação e pode ser contaminada por quantidades pequenas de materiais orgânicos, assim como fica exposto a umidade local.

Com o ensaio de difração de raio-x (DRX), apresenta-se um resultado de composição predominantemente de quartzo, com picos elevados desse material, conforme imagem abaixo.

Figura 22: Composição mineral da areia de fundição pelo método DRX



Fonte: Própria autoria, 2021

Esse ensaio pode ser confirmado com o ensaio da composição química desse material pelo método FRX, onde apresenta que 91,2% dessa composição é  $\text{SiO}_2$  e em seguida tem o Al com apenas 2,3% desse elemento na sua composição, conforme tabela abaixo.

Tabela 14: Óxidos encontrados na areia de fundição por FRX

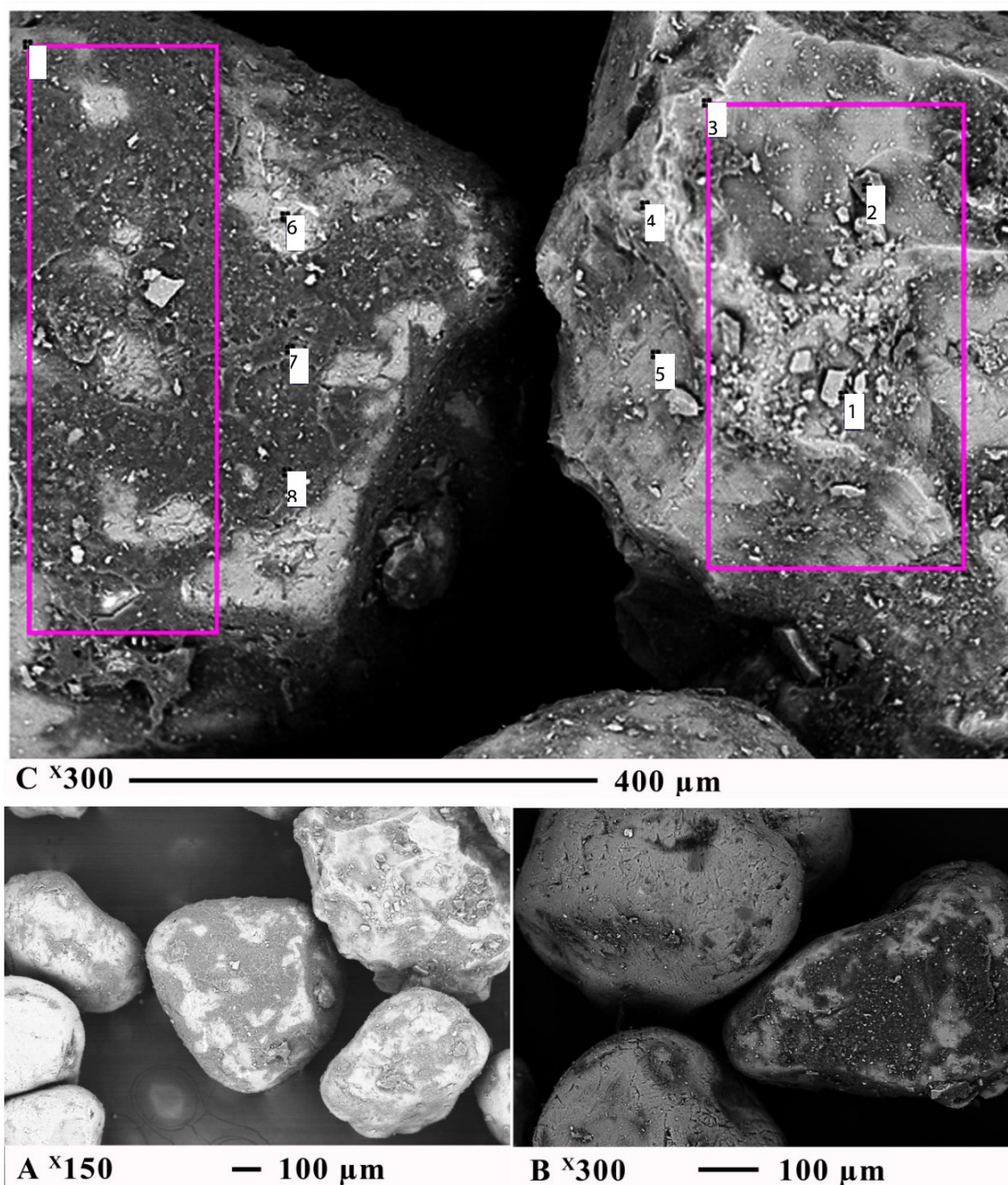
óxidos encontrados (%)								
óxidos	$\text{Si}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SO}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{K}_2\text{O}$
<b>Quantidade (%)</b>	91,20	2,30	1,20	0,70	0,30	0,20	0,10	0,10

Fonte: Própria autoria, 2021



Também foi analisada a formação desses elementos pelo método de microscopia de imagem (MEV), tendo as partículas dimensões entre 100 a 300 microns. Em análise as suas estruturas morfológicas percebem-se que as partículas não sofrem alterações significativas em suas superfícies, conforme imagem abaixo e sua ampliação.

Figura 23: Mapeamento químico da areia de fundição por MEV



Fonte: Própria autoria, 2021

A areia de fundição sofre uma mudança de temperatura muito brusca e repentinamente em torno de variação de 1300°C para ser feita a montagem das peças, sendo assim ocorre mudanças estruturais da areia, que pode ficar invisível no interior dessas partículas, e quando utilizada essa areia poucas vezes, pode nem ser possível notar alterações superficiais provocadas por esse choque térmico.

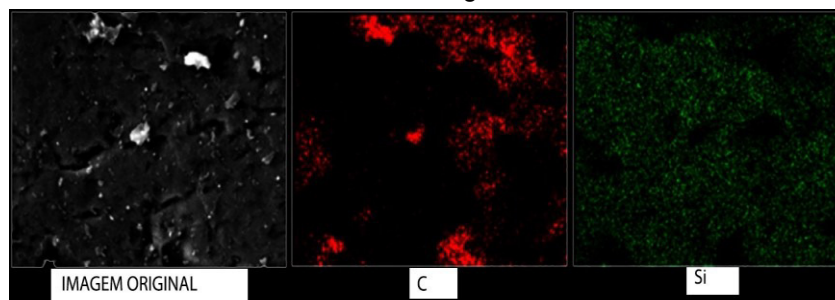
Tabela 15: Composição química da areia de fundição por EDS

Pontos/elementos	Al	Fe	Na	Si
Área 1	2,71	5,43	-	91,86
Área 2	0,89	1,25	2,68	95,18
3	0,49	-	-	99,51
4	2,44	5,08	-	92,48
5	10,22	9,20	-	80,58
6	-	-	2,24	97,76
7	3,99	-	5,92	90,09
8	6,52	11,28	-	82,20
9	3,95	-	-	96,05
<b>Mínimo encontrado</b>	<b>0,49</b>	<b>1,25</b>	<b>2,24</b>	<b>80,58</b>
<b>Máximo encontrado</b>	<b>10,22</b>	<b>11,28</b>	<b>5,92</b>	<b>99,51</b>

Fonte: Própria autoria, 2021

Após ser feito o mapeamento dos estados químicos desses elementos, pode-se perceber que de acordo com o FRX os elementos predominantes é o Si e C e pelo método MEV encontra-se componentes de Fe, Al e Na, porem nesse método de mapeamento conforme a figura abaixo, não foram encontrados esses elementos. Isso pode ocorrer pelo fato do processo da queima na superfície dessas partículas combinado com o choque térmico ocorrido para a fabricação das peças.

Figura 24: Mapeamento dos estados químicos dos elementos encontrados na areia de fundição por Raio-X tomográfico



Fonte: Própria autoria, 2021

## 4.2 RESISTÊNCIAS DAS COMPOSIÇÕES

Tabela 16: Resistencia a flexão (MPa)

Comp. Nº	Comp., % de peso					Resistência a flexão em (MPa) após a queima com T°C									
	CQ	EC	AR	VP	AB	700°C	750°C	800°C	850°C	900°C	950°C	975°C	1000°C	1025°C	
1	0	0	0	0	100	<b>1,34</b>	<b>1,04</b>	<b>1,13</b>	<b>1,17</b>	<b>1,25</b>	<b>1,42</b>	<b>1,06</b>	<b>1,06</b>	<b>0,85</b>	
2		20	20	10	50	<b>1,43</b>	<b>1,48</b>	<b>1,50</b>	<b>1,47</b>	<b>2,68</b>	<b>3,31</b>	<b>3,33</b>	<b>3,59</b>	<b>4,41</b>	
3		30	10	20	40	<b>1,66</b>	<b>1,94</b>	<b>2,24</b>	<b>2,28</b>	<b>5,45</b>	<b>6,38</b>	<b>5,70</b>	<b>7,03</b>	<b>5,67</b>	
4		20	20	30	30	<b>1,97</b>	<b>2,12</b>	<b>2,44</b>	<b>2,55</b>	<b>6,90</b>	<b>6,86</b>	<b>6,05</b>	<b>7,20</b>	<b>6,13</b>	
5		10	20	30	40	<b>2,51</b>	<b>2,49</b>	<b>2,88</b>	<b>3,26</b>	<b>6,91</b>	<b>7,89</b>	<b>7,50</b>	<b>7,51</b>	<b>7,27</b>	
6		20	10	30	40	<b>4,90</b>	<b>4,67</b>	<b>5,09</b>	<b>5,16</b>	<b>10,94</b>	<b>9,77</b>	<b>10,44</b>	<b>9,03</b>	<b>9,90</b>	
7	5	20	20	10	45	<b>0,99</b>	<b>1,53</b>	<b>1,26</b>	<b>1,19</b>	<b>2,98</b>	<b>3,42</b>	<b>3,69</b>	<b>3,73</b>	<b>4,12</b>	
8		30	10	20	35	<b>1,30</b>	<b>0,98</b>	<b>2,53</b>	<b>2,60</b>	<b>5,26</b>	<b>7,23</b>	<b>5,85</b>	<b>5,87</b>	<b>5,00</b>	
9		20	20	30	25	<b>1,23</b>	<b>1,60</b>	<b>3,32</b>	<b>3,48</b>	<b>4,43</b>	<b>4,78</b>	<b>5,09</b>	<b>5,73</b>	<b>6,94</b>	
10		10	20	30	35	<b>1,75</b>	<b>2,16</b>	<b>4,86</b>	<b>4,98</b>	<b>5,00</b>	<b>7,45</b>	<b>5,85</b>	<b>7,05</b>	<b>7,45</b>	
11		20	10	30	35	<b>1,64</b>	<b>2,88</b>	<b>5,75</b>	<b>5,91</b>	<b>6,88</b>	<b>8,89</b>	<b>7,26</b>	<b>8,73</b>	<b>10,29</b>	
12	7	20	20	10	43	<b>1,03</b>	<b>0,93</b>	<b>1,45</b>	<b>1,55</b>	<b>3,43</b>	<b>2,95</b>	<b>3,42</b>	<b>3,43</b>	<b>3,67</b>	
13		30	10	20	33	<b>1,57</b>	<b>2,00</b>	<b>3,55</b>	<b>3,74</b>	<b>5,11</b>	<b>5,86</b>	<b>5,09</b>	<b>5,33</b>	<b>5,23</b>	
14		20	20	30	23	<b>0,72</b>	<b>1,23</b>	<b>3,19</b>	<b>3,25</b>	<b>3,96</b>	<b>5,00</b>	<b>4,08</b>	<b>5,34</b>	<b>5,63</b>	
15		10	20	30	33	<b>1,15</b>	<b>1,72</b>	<b>4,36</b>	<b>4,62</b>	<b>5,79</b>	<b>5,91</b>	<b>5,47</b>	<b>7,06</b>	<b>7,18</b>	
16		20	10	30	33	<b>1,25</b>	<b>1,89</b>	<b>4,67</b>	<b>4,73</b>	<b>6,62</b>	<b>6,97</b>	<b>6,89</b>	<b>7,92</b>	<b>8,85</b>	
17	10	20	20	10	40	<b>1,08</b>	<b>1,23</b>	<b>1,92</b>	<b>1,99</b>	<b>3,22</b>	<b>3,82</b>	<b>3,11</b>	<b>3,10</b>	<b>3,47</b>	
18		30	10	20	30	<b>1,21</b>	<b>2,79</b>	<b>3,78</b>	<b>3,93</b>	<b>4,16</b>	<b>5,68</b>	<b>4,56</b>	<b>5,36</b>	<b>6,25</b>	
19		20	20	30	20	<b>0,83</b>	<b>2,01</b>	<b>2,68</b>	<b>2,81</b>	<b>3,14</b>	<b>3,73</b>	<b>3,48</b>	<b>4,43</b>	<b>6,10</b>	
20		10	20	30	30	<b>0,97</b>	<b>2,01</b>	<b>3,96</b>	<b>4,02</b>	<b>4,98</b>	<b>6,45</b>	<b>5,08</b>	<b>5,91</b>	<b>5,72</b>	
21		20	10	30	30	<b>1,29</b>	<b>1,87</b>	<b>4,13</b>	<b>4,56</b>	<b>5,52</b>	<b>7,14</b>	<b>5,55</b>	<b>6,62</b>	<b>8,63</b>	
22	13	20	20	10	37	<b>0,67</b>	<b>0,87</b>	<b>1,53</b>	<b>1,67</b>	<b>2,70</b>	<b>3,11</b>	<b>2,86</b>	<b>2,43</b>	<b>2,99</b>	
23		30	10	20	27	<b>0,81</b>	<b>1,57</b>	<b>2,82</b>	<b>2,75</b>	<b>2,76</b>	<b>3,39</b>	<b>3,07</b>	<b>3,08</b>	<b>4,38</b>	
24		20	20	30	17	<b>0,60</b>	<b>0,95</b>	<b>2,51</b>	<b>1,28</b>	<b>1,24</b>	<b>2,07</b>	<b>2,22</b>	<b>2,60</b>	<b>4,16</b>	
25		10	20	30	27	<b>0,72</b>	<b>1,20</b>	<b>0,99</b>	<b>1,09</b>	<b>2,74</b>	<b>4,55</b>	<b>3,33</b>	<b>3,53</b>	<b>4,62</b>	
26		20	10	30	27	<b>0,74</b>	<b>1,22</b>	<b>2,30</b>	<b>2,46</b>	<b>3,03</b>	<b>4,64</b>	<b>3,23</b>	<b>4,02</b>	<b>5,22</b>	
27	15	20	20	10	35	<b>0,62</b>	<b>0,72</b>	<b>1,60</b>	<b>1,65</b>	<b>1,67</b>	<b>2,58</b>	<b>1,57</b>	<b>1,69</b>	<b>2,05</b>	
28		30	10	20	25	<b>0,89</b>	<b>1,65</b>	<b>1,93</b>	<b>1,91</b>	<b>1,90</b>	<b>2,69</b>	<b>2,21</b>	<b>2,49</b>	<b>3,55</b>	
29		20	20	30	15	<b>0,56</b>	<b>0,71</b>	<b>0,80</b>	<b>0,78</b>	<b>1,39</b>	<b>1,58</b>	<b>1,98</b>	<b>2,84</b>	<b>4,66</b>	
30		10	20	30	25	<b>0,49</b>	<b>1,19</b>	<b>0,69</b>	<b>1,21</b>	<b>1,33</b>	<b>1,91</b>	<b>2,06</b>	<b>2,78</b>	<b>1,39</b>	
31		20	10	30	25	<b>0,70</b>	<b>0,62</b>	<b>2,56</b>	<b>2,87</b>	<b>3,20</b>	<b>4,54</b>	<b>2,44</b>	<b>2,54</b>	<b>3,27</b>	

Nota: CQ – Cinza de lixo urbano; EC – Escória de alto forno; AR – Areia de Fundição; VP – Pó de vidro; AB - argila branca.

Fonte: Própria autoria, 2021

A resistência das amostras foi obtida através do ensaio de flexo-compressão em prensa, conforme descrito na metodologia, assim foi rompido as 5 amostras de

cada uma das 31 composições. As resistências obtidas estão representadas na tabela acima.

A composição 01, a qual é composta apenas de argila branca, teve a produção das duas amostras de acordo com a fabricação de cerâmica, conforme NBR 13818/97. Tendo as suas resistências maiores em temperaturas mais baixas, porém observa-se que essa composição apresenta em sua maioria as menores resistências apresentadas na pesquisa.

A temperatura que chegou a resistências mais altas foram 1025°C, ficando com resistências entre 1,39MPa – 10,29MPa, sendo a menor na composição 30 e a maior na composição 11, não levando em consideração a composição 01 apenas de argila branca, usada como comparativo. A segunda temperatura que atingiu melhores resistências nas suas amostras foram 950°C, tendo a menor resistência 1,58MPa na composição 29 e a maior resistência na composição 5 com 7,89MPa.

A resistência a flexão de acordo com a NBR 15270-3/05 para produção de blocos cerâmicos segundo o padrão brasileiro são classificados de acordo com suas resistências, sendo classificadas da seguinte forma:

- Classe A <2,5MPa;
- Classe B 2,5 – 4,00MPa;
- Classe C >4,00MPa.

As resistências a flexão têm aumento contínuo em sua maioria dos 700°C a 800°C e 900°C a 1025°C, já em 850°C obtém-se um pico de queda das suas resistências na maioria dos traços, apenas na composição 01, 05, 06 não tem essa queda da resistência.

A composição 01, composta apenas de argila branca tem a sua maior resistência em 950°C com 1,42MPa e redução gradativa conforme é aumentado a temperatura de queima, chegando a apenas 0,85MPa em 1025°C, apresentando fissuras e deformações nas amostras nas temperaturas mais altas.

Na composição 05, composta de 10% de escória, 20% de areia de fundição, 30% de resíduo de vidro e 40% de argila branca, teve um aumento gradativo de resistência até a temperatura de 950°C atingindo 7,89MPa. Nas temperaturas mais altas, acima de 975°C teve diminuição da sua resistência, porém ela ainda se enquadra na classificação de cerâmicas da classe “A” até a “C”.

Na composição 06, onde foi misturado 20% de escória, 10% de areia de fundição, 30% de pó de vidro e 40% de argila, teve picos de resistências altas em 900°C com 10,94MPa e 975°C com 10,44MPa. Em as demais resistências são altas em relação às demais composições, tendo a maior resistência em 700°C, chegando a 4,90MPa. Essa composição tem em todas as temperaturas classificação “C” de acordo com a norma de resistência de blocos cerâmicos. Porém em sua composição não tem cinza do lixo urbano.

Tem-se nessa pesquisa seis grupos de composições diferentes, utilizando os resíduos apresentados na pesquisa. O primeiro grupo apresenta apenas escória, areia de fundição, pó de vidro e argila branca, portanto não tem a cinza em suas composições. O segundo grupo apresenta as mesmas composições do primeiro grupo, porém com 5% de cinza de lixo urbano, e os demais grupos tem em sua composição 7%, 10%, 13% e 15% de cinza sucessivamente, sendo o terceiro, quarto, quinto e sexto grupo de composições.

O primeiro grupo tem uma variação de resíduos entre 50% a 70% na sua composição e variação de 30% a 50% apenas de material natural. Nesse grupo temos como melhor composição o traço 06, onde atingiram as melhores resistências de todas as amostras, esse traço teve 60% de resíduos e 40% de material natural.

O segundo grupo que possui 5% de cinza, tendo variação de 55% a 75% de resíduos e 25% a 45% de argila branca, sendo o material natural. Esse grupo apresentou como melhor traço a composição 11, apresentando na temperatura de 750°C, considerada baixa, uma resistência de 2,88MPa, sendo considerada já um bloco cerâmico classe “A” e chegando a uma resistência de 10,29MPa a 1025°C, sendo a segunda melhor resistência atingida de modo geral e a melhor resistência utilizando a cinza da queima do lixo urbano em sua composição.

Já no terceiro grupo que contém a adição de 7% de cinza, apresenta variação de mistura de resíduos entre 57% a 77% e de matéria natural a variação de 23% a 43%. No traço 16 teve uma resistência baixa a 700°C com 1,25MPa e aumento gradativo até a melhor resistência do grupo com 8,85MPa a 1025°C.

No próximo grupo que contém 10% de cinza, e variação de resíduos utilizados entre 60% e 80% e 20% - 40% de argila natural. Apresentando a melhor resistência desse grupo no traço 21 chegando a 8,63MPa a 1025°C utilizando 70% de resíduos que são descartados no meio ambiente.

O grupo quinto, contém 13% de cinza, tendo em sua composição a variação de 63% a 83% de resíduos e 17% - 37% de material natural. Nesse grupo o traço que melhor apresentou resistência foi o 26 com 5,22MPa na temperatura de queima de 1025°C, porém a partir de 900°C já apresenta boa resistência para a utilização na fabricação de blocos cerâmicos, conforme sua classificação.

No último grupo, com 15% de cinza, apresentando a variação de 65% a 85% de resíduos e 15% a 35% de argila natural. O traço 29 teve a maior resistência do grupo com 4,66MPa a 1025°C, porém apenas com 1000°C e 1025°C poderia ser utilizado para a fabricação de blocos cerâmicos segundo a NBR 15270-3/05.

Figura 25: Amostras da composição 6 queimada a 900°C



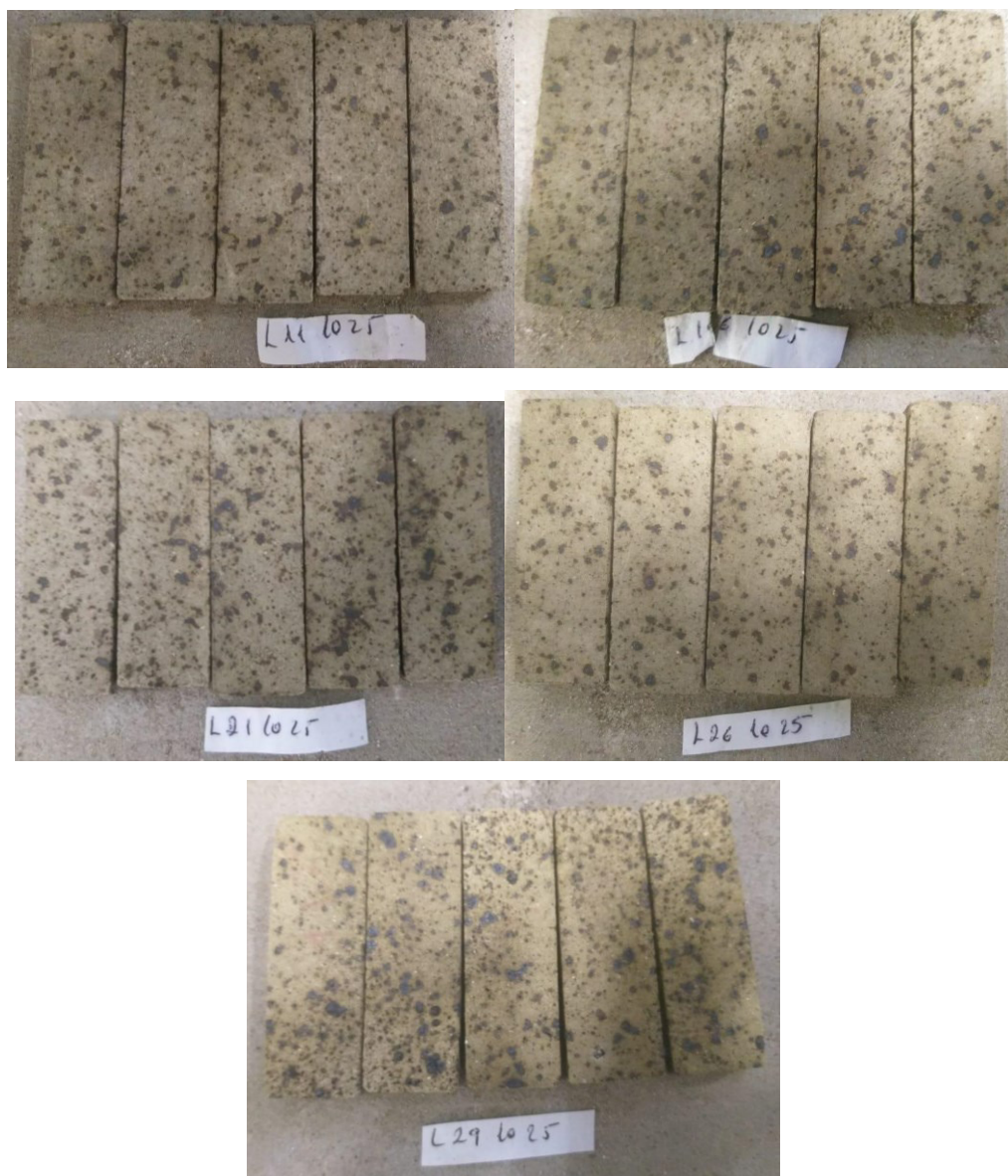
Fonte: Própria autoria, 2021

A resistência a flexão da composição 6 foi maior em todas as temperaturas e em sua maior temperatura foi em 900°C e em comparação com o traço 1 de apenas a argila natural, a composição com resíduos teve resistência 83% maior do que apenas a argila branca na mesma temperatura.

Assim como a composição 11 do grupo dois teve a sua maior resistência em 1025°C sendo 91,73% maior do que a resistência das amostras apenas de argila branca.

As próximas melhores composições dos próximos grupos todos tiveram suas melhores resistências em 1025°C, sendo respectivamente 90,35%, 90,15%, 83,71% e 81,75%, sendo dos grupos três ao seis em ordem.

Figura 26: Amostras queimadas a 1025°C



Fonte: Própria autoria, 2021

Todos os melhores traços dos seis grupos tiveram em suas composições mais de 50% de utilização de resíduos, sendo do primeiro ao quinto grupo utilizado 20% de escória, 10% de areia de fundição, 30% de pó de vidro, nessas composições teve apenas a variação de argila branca e cinza, conforme foi aumentando a quantidade de cinza da queima do lixo foi conseqüentemente diminuindo a quantidade de argila a ser utilizada. No sexto grupo teve a utilização de 20% de escória, 20% de areia de fundição, 30% de pó de vidro, 15% de argila branca e 15% de cinza.

Portanto percebe-se que a cinza atuou como um substituto da argila branca. Infere-se que areia de fundição, a qual é composta principalmente por  $\text{SiO}_2$ , essa composição mineralógica é quimicamente inerte e dessa forma é normalmente utilizado apenas como material de enchimento juntamente com a cinza que também tem em sua composição o  $\text{SiO}_2$ , em maiores quantidades, assim quando são combinadas ocorre uma diminuição da sua capacidade a resistência a flexão.

De maneira geral observa-se que o uso da escória juntamente com o pó de vidro tem efeitos positivos nas resistências atingidas, sendo que em todas as melhores resistências observadas nos seis grupos continham 30% de pó de vidro e 20% de escória.

Quando analisado as composições químicas dos materiais que se encontravam nas composições que alcançaram as melhores resistências, observa-se que a escória e o pó de vidro são compostos principalmente por  $\text{SiO}_2$ , sendo 62,10 e 75,20% respectivamente, os quais tem pontos de fusão mais altos e conforme aumenta a sua temperatura de queima, melhor a eficácia de interação química entre as partículas, promovendo assim melhores resistências, pela formação cristalina que se dá.



## 4.3 VARIAÇÃO LINEAR DAS COMPOSIÇÕES

Tabela 17: Variação Linear Dimensional

Comp. Nº	Comp., % de peso					Retração Linear em (%) após a queima T°C								
	CQ	EC	AR	VP	AB	700°C	750°C	800°C	850°C	900°C	950°C	975°C	1000°C	1025°C
1	0	0	0	0	100	2,18	2,18	2,60	1,85	3,22	4,05	4,28	4,43	4,41
2		20	20	10	50	0,55	0,54	0,83	0,54	1,48	1,94	1,60	4,23	1,68
3		30	10	20	40	0,56	0,40	0,70	0,60	1,90	1,99	2,44	4,23	2,48
4		20	20	30	30	0,83	1,00	1,24	0,87	2,93	4,43	3,88	4,23	3,60
5		10	20	30	40	1,14	1,14	1,35	1,54	4,32	4,01	4,26	4,52	5,31
6		20	10	30	40	1,71	1,32	1,90	1,81	4,83	5,79	5,74	4,52	5,43
7	5	20	20	10	45	0,85	0,60	1,08	0,69	2,48	2,81	4,76	2,44	2,84
8		30	10	20	35	0,97	1,17	1,24	1,13	2,85	3,85	4,21	2,90	3,30
9		20	20	30	25	0,66	0,85	1,82	0,79	2,89	3,91	3,33	2,81	3,35
10		10	20	30	35	1,30	1,40	2,67	1,58	4,38	6,03	5,04	5,37	5,13
11		20	10	30	35	1,09	1,35	3,04	1,99	4,22	5,48	4,57	4,75	4,77
12	7	20	20	10	43	0,86	0,96	1,39	1,18	2,70	3,56	3,94	4,81	2,84
13		30	10	20	33	0,82	1,27	1,72	0,93	2,81	3,98	3,03	4,81	3,00
14		20	20	30	23	0,69	1,22	2,56	1,59	3,78	3,78	2,78	4,81	2,95
15		10	20	30	33	0,89	1,41	2,78	1,59	4,11	6,17	4,61	4,81	4,96
16		20	10	30	33	1,22	1,42	3,05	1,73	3,98	5,87	4,50	4,81	4,35
17	10	20	20	10	40	0,92	0,95	1,95	1,26	2,63	4,88	5,26	4,81	2,87
18		30	10	20	30	1,29	2,10	2,82	2,04	2,98	4,98	5,26	4,81	2,88
19		20	20	30	20	0,82	1,95	2,61	1,86	2,57	3,27	5,26	4,81	2,81
20		10	20	30	30	0,83	1,50	3,32	2,10	4,45	5,87	3,69	4,81	4,13
21		20	10	30	30	1,11	1,35	3,17	1,81	3,38	5,41	3,99	4,81	4,06
22	13	20	20	10	37	0,91	1,20	1,76	0,99	3,35	3,78	4,26	4,65	3,19
23		30	10	20	27	0,98	1,77	2,77	1,90	2,84	3,86	2,73	4,65	2,32
24		20	20	30	17	0,49	1,12	1,74	1,19	1,97	2,40	2,31	4,65	3,04
25		10	20	30	27	0,53	1,52	1,78	1,87	3,51	4,91	3,47	4,65	3,55
26		20	10	30	27	0,72	1,32	2,33	1,35	3,30	4,78	3,34	4,65	3,48
27	15	20	20	10	35	0,91	1,27	1,96	1,38	2,93	3,11	2,92	2,94	3,07
28		30	10	20	25	1,41	2,19	2,23	2,25	2,62	3,62	2,43	2,25	2,51
29		20	20	30	15	0,87	1,57	1,83	1,47	1,91	2,35	2,28	2,78	3,68
30		10	20	30	25	0,60	1,72	2,19	1,55	2,46	3,18	2,71	2,90	4,04
31		20	10	30	25	0,75	1,07	2,58	1,51	3,84	4,85	3,77	3,68	3,79

Nota: CQ – Cinza de lixo urbano; EC – Escória de alto forno; AR – Areia de Fundição; VP – Pó de vidro; AB - argila branca.

Fonte: Própria autoria, 2021

A contração linear é uma característica essencial para o material cerâmico, pois se entende que o conteúdo da composição juntamente com a temperatura da

sua queima e diante desse fato ocorre-se a contração linear que em alguns casos é adequado para a produção de telhas enquanto outros podem ser produzidos apenas tijolos. Os resultados desse ensaio estão demonstrados na tabela acima.

Essa contração foi calculada medindo o comprimento de todas as amostras antes e depois da queima, tendo em consideração que o tamanho da peça antes da queima era 60,00mm.

A composição feita apenas de argila a "01" apresentou a sua menor contração em 850°C sendo 1,85% de encolhimento e a sua maior contração foi em 1000°C, tendo 4,43%. Teve-se as maiores taxas de contração linear com a temperatura de queima em 950°C, em contrapartida essa temperatura foi a segunda maior em relação às resistências.

A temperatura com a menor contração foi em 700°C, em sua maioria tem-se o aumento gradativo até 950°C e a partir de 1000°C tem-se uma diminuição da contração, e em alguns casos em 1025°C começa a ocorrer de forma leve a sua deformação e início de derretimento, porém ainda consegue manter a sua forma.

Quando comparado as composições entre os seis grupos, pode-se perceber que conforme diminui a quantidade de argila branca, diminui-se a contração linear, assim como se observa que o aumento da cinza não teve relação com o aumento da contração. Pode ser observada a menor contração apenas da argila branca (composição 01) foi 1,85% quanto a sua maior foi 4,43% enquanto a linha 29, onde contém 15% de cinza e 15% apenas de argila branca, teve como menor contração 0,87% e a maior 3,68%.

A linha que obteve a maior contração linear foi a 15 com 6,17% em 950°C, essa composição é de 10% de escória, 20% de areia de fundição, 30% de pó de vidro, 33% de argila branca e 7% de cinza. Os materiais que possuem uma menor quantidade de escória são os que tiveram uma contração maior em relação às demais, em sua maioria. Portanto pode-se observar que a escória tem um papel estabilizador nas amostras.

Essa menor quantidade de escória acompanhada com a maior quantidade de areia de fundição obteve-se contrações maiores que as demais, em sua maioria. A combinação de maiores quantidades de pó de vidro também ocasiona o aumento do encolhimento das amostras, como pode-se ver na linha 5 com apenas 10% de escória, 20 de areia de fundição, 30% de pó de vidro e 40% de argila, teve-se em

1025°C 5,31% de retração, enquanto no mesmo grupo de pesquisa a linha 2 com 20% de escória, 20% de areia de fundição, 10% de pó de vidro e 50% de argila teve-se uma contração na mesma temperatura de 1,68%.

Portanto quanto menor a quantidade de escória e maior a quantidade de pó de vidro, tem-se o aumento da contração linear das amostras, principalmente em temperaturas mais altas. Porém em temperaturas mais baixas o pó de vidro tem uma boa influência em ter menor contração.

## 4.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA DAS COMPOSIÇÕES

Tabela 18: Absorção de água

Comp. Nº	Comp., % de peso					Absorção de água em (%) após a queima com T°C								
	CQ	EC	AR	VP	AB	700°C	750°C	800°C	850°C	900°C	950°C	975°C	1000°C	1025°C
1	0	0	0	0	100	26,03	27,87	28,20	28,14	27,55	26,87	25,11	25,63	27,57
2		20	20	10	50	16,44	17,63	17,71	17,30	16,77	16,30	14,37	15,08	17,28
3		30	10	20	40	15,10	16,53	16,67	16,75	13,94	13,49	12,20	15,02	12,62
4		20	20	30	30	18,10	18,70	18,49	18,32	14,31	12,65	11,80	15,07	13,74
5		10	20	30	40	18,40	20,00	19,13	19,41	14,96	13,56	11,54	12,58	12,87
6		20	10	30	40	18,65	19,85	19,29	20,82	14,10	12,06	11,67	14,35	12,57
7	5	20	20	10	45	19,23	21,91	20,46	19,76	17,73	17,86	16,45	16,85	17,47
8		30	10	20	35	20,00	20,32	20,64	20,45	17,59	15,45	15,92	19,04	18,42
9		20	20	30	25	21,89	22,24	19,98	22,15	17,98	16,10	16,38	16,87	17,51
10		10	20	30	35	22,28	22,86	19,33	22,06	15,35	13,21	13,63	14,30	15,44
11		20	10	30	35	23,43	23,89	20,32	22,41	17,15	13,96	16,29	17,15	14,54
12	7	20	20	10	43	21,19	20,86	21,17	20,81	19,15	18,94	18,66	19,97	18,18
13		30	10	20	33	21,72	21,40	21,23	20,89	19,07	16,31	20,44	17,95	19,22
14		20	20	30	23	24,15	23,35	20,64	22,38	20,40	18,68	20,34	20,34	17,58
15		10	20	30	33	25,30	23,79	21,52	23,47	18,14	15,84	21,56	16,01	15,59
16		20	10	30	33	25,07	25,17	21,50	24,09	18,41	15,38	19,91	22,04	16,73
17	10	20	20	10	40	22,52	23,93	21,52	22,58	20,13	18,97	20,17	20,26	19,11
18		30	10	20	30	24,43	23,39	20,88	21,64	20,17	18,16	21,82	20,09	18,10
19		20	20	30	20	25,54	23,69	22,16	23,05	22,21	20,85	22,09	22,24	17,06
20		10	20	30	30	26,41	24,80	20,81	23,68	19,37	16,03	22,80	18,49	20,58
21		20	10	30	30	26,11	26,07	21,76	24,87	20,52	17,14	19,96	20,90	21,77
22	13	20	20	10	37	25,72	25,42	24,20	25,17	22,73	21,17	25,18	22,00	25,05
23		30	10	20	27	27,53	26,18	25,03	25,30	24,28	21,29	25,00	26,10	23,96
24		20	20	30	17	28,61	29,49	24,59	27,90	28,51	26,10	31,12	24,02	22,83
25		10	20	30	27	29,65	29,21	27,46	29,00	25,54	20,90	27,56	25,16	26,50
26		20	10	30	27	31,11	29,72	26,55	29,41	25,85	23,37	28,30	26,02	24,22
27	15	20	20	10	35	27,62	27,91	26,34	26,76	25,75	23,32	26,04	26,60	22,30
28		30	10	20	25	30,55	28,91	27,94	28,55	27,41	24,27	31,28	27,78	27,28
29		20	20	30	15	31,64	31,22	30,30	29,85	30,03	28,96	31,00	24,87	22,78
30		10	20	30	25	34,11	30,08	31,81	32,33	31,02	29,43	33,84	27,42	27,25
31		20	10	30	25	30,69	33,33	27,34	29,52	24,68	23,22	28,42	24,26	27,12

Nota: CQ – Cinza de lixo urbano; EC – Escória de alto forno; AR – Areia de Fundição; VP – Pó de vidro; AB - argila branca.

Fonte: Própria autoria, 2021

A absorção de água tem papel fundamental na produção de telhas, pois elas não devem ter a característica de terem uma grande absorção de água. Percebe-se

que em temperaturas mais altas a partir de 975°C tem-se a menores capacidades de absorção de água das amostras, conforme observa-se na tabela acima.

Para a produção de cerâmicas de revestimento, tem-se as seguintes taxas de absorção de água, conforme a NBR 13817/97, de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 19: Classificação de absorção de água

Nomenclatura	absorção	grupo de absorção
Porcelanato	0 a 0,5%	quase nula
Grés	0,5 a 3%	baixa
Semi-Grés	3 a 6%	média
Semi-Poroso	6 a 10%	média alta
Poroso	>10%	alta
Azulejo	>10%	alta
Azulejo Fino	>10%	alta

Fonte: Própria autoria, construída com base na norma NBR 13817/97, 2021

A composição 1, apresenta a menor quantidade de absorção de água em 975°C com 25,11%, tendo a maior absorção em 800°C com 28,20%. Assim como observa-se também que em 950°C e 1025°C tem na maioria das composições as menores taxas de absorção de água.

Pode-se perceber que conforme tem o aumento da cinza de resíduo de lixo urbano ocorre o aumento da taxa de absorção das amostras de modo geral, assim como apenas a argila branca também tem uma absorção de água alta, explica-se o fato que a cinza substitui a argila branca e, portanto, mantem os mesmos parâmetros. Podendo ser comparada com a linha 30 que em sua composição tem 15% de cinza a sua maior absorção de água foi 34,11% em 700°C sendo a maior em todas as amostras, e a menor taxa na mesma linha foi 27,25% na temperatura de 1025°C, já na linha 5, composta por 0% de cinza, tem-se como maior taxa 20,00% e a menor 11,54% sendo a menor absorção de água de todas as amostras.

Conforme tem o aumento de pó de vidro tem-se a diminuição da absorção, pois ela causa uma melhor sintetização, além da presença do vidro que cria uma formação superficial amorfa, e com isso diminui a absorção, tendo efeito positivo nas amostras. Como exemplo a linha 17 onde tem 20% de escória, 20% de areia de fundição, 10% de pó de vidro, 40% de argila e 10% de cinza, tem como menor taxa

de absorção 18,97% em 950°C, já na linha 20 com 10% de escória, 20% de areia de fundição, 30% de pó de vidro, 30% de argila e 10% de cinza, tem como menor taxa 16,03%.

Podemos assim, analisar que em relação as cerâmicas, as amostras em sua maioria as são porosas e, portanto, poderiam ser utilizadas como azulejo. Diferentemente da utilização para blocos cerâmicos onde pela norma NBR 15.270/05, para blocos cerâmicos de vedação a absorção de água pode variar entre 8% a 25%.

#### 4.5 DENSIDADE DAS COMPOSIÇÕES

A tabela abaixo mostra os resultados obtidos de densidade de todas as amostras analisadas.

Tabela 20: Densidade das composições

Comp. Nº	Comp., % de peso				Densidade em (g/cm <sup>3</sup> ) após a queima com T°C									
	CQ	EC	AR	VP	AB	700°C	750°C	800°C	850°C	900°C	950°C	975°C	1000°C	1025°C
1	0	0	0	0	100	1,51	1,69	1,45	1,45	1,48	1,50	1,52	1,54	1,54
2		20	20	10	50	1,76	1,77	1,70	1,78	1,77	1,82	1,64	4,62	1,71
3		30	10	20	40	1,80	1,82	1,72	1,80	1,88	1,85	1,79	1,80	1,81
4		20	20	30	30	1,71	1,72	1,67	1,74	1,77	1,76	1,73	1,81	1,78
5		10	20	30	40	1,71	1,63	1,69	1,73	1,82	1,81	1,81	1,79	1,78
6		20	10	30	40	1,71	1,67	1,65	1,68	1,80	1,85	1,81	1,73	1,79
7	5	20	20	10	45	1,68	1,61	1,70	1,68	1,73	1,73	1,72	1,65	1,70
8		30	10	20	35	1,64	1,64	1,64	1,72	1,63	1,80	1,69	1,70	1,66
9		20	20	30	25	1,57	1,62	1,64	1,63	1,69	1,68	1,63	1,68	1,70
10		10	20	30	35	1,57	1,58	1,64	1,63	1,64	1,81	1,69	1,74	1,67
11		20	10	30	35	1,55	1,60	1,62	1,59	1,62	1,77	1,67	1,69	1,68
12	7	20	20	10	43	1,67	1,64	1,68	1,71	1,74	1,64	1,62	1,58	1,64
13		30	10	20	33	1,63	1,70	1,62	1,65	1,64	1,71	1,67	1,61	1,67
14		20	20	30	23	1,52	1,51	1,58	1,64	4,02	1,72	1,60	1,59	1,60
15		10	20	30	33	1,50	1,53	1,67	1,56	1,67	1,66	1,63	1,65	1,62
16		20	10	30	33	1,51	1,56	1,59	1,54	1,65	1,72	1,62	1,61	1,63
17	10	20	20	10	40	3,52	1,62	1,58	1,68	1,66	1,67	1,59	1,62	1,63
18		30	10	20	30	1,58	1,55	1,59	1,67	1,63	1,71	1,62	1,62	1,57
19		20	20	30	20	1,51	1,57	1,59	1,59	1,55	1,58	1,54	1,53	1,56
20		10	20	30	30	0,97	1,50	1,58	1,54	1,58	1,66	1,56	1,59	1,58
21		20	10	30	30	1,53	1,51	1,56	1,56	1,59	1,73	1,59	1,55	1,59
22	13	20	20	10	37	1,51	1,57	1,46	1,52	1,58	1,60	1,58	1,51	1,51
23		30	10	20	27	1,45	1,52	1,55	1,57	1,56	1,49	1,51	1,46	1,49
24		20	20	30	17	1,43	1,43	5,28	1,46	1,40	1,44	1,45	1,46	1,47
25		10	20	30	27	1,42	1,45	1,46	1,41	1,52	1,58	1,52	1,45	1,47
26		20	10	30	27	1,43	1,44	1,44	1,44	1,46	1,55	1,48	1,43	1,46
27	15	20	20	10	35	1,49	1,50	1,56	1,53	1,53	1,58	1,48	1,46	1,52
28		30	10	20	25	1,41	1,48	1,49	1,44	1,48	1,50	1,45	1,39	1,41
29		20	20	30	15	1,35	1,41	1,41	1,42	1,43	1,45	1,38	1,41	1,45
30		10	20	30	25	1,35	1,43	1,34	1,38	1,37	1,43	1,36	1,35	1,37
31		20	10	30	25	1,38	1,38	1,49	1,45	1,56	1,59	1,44	1,40	1,43

Nota: CQ – Cinza de lixo urbano; EC – Escória de alto forno; AR – Areia de Fundição; VP – Pó de vidro; AB - argila branca.

Fonte: Própria autoria, 2021

A densidade das amostras é calculada a partir das três dimensões das amostras, ela tem influência dos componentes iniciais sobre o peso das amostras. As fissuras e deformações também têm influência nessa densidade.

Nas amostras da composição 01 a densidade se mantém relativamente uniforme ao longo das temperaturas de queima, tendo um pico mais alto em relação as demais em 750°C sendo 1,69 g/cm<sup>3</sup>, conforme analisa-se na tabela acima.

Em sua maioria as amostras das composições se comportam de forma crescente da sua densidade até 950°C a após isso tem uma diminuição da densidade. Assim como se observa que conforme aumenta a quantidade de cinza diminui a densidade, como se pode observar na linha 6 com 20% de escória, 10% de areia de fundição, 30% de pó de vidro e 40% de argila, teve em 700°C 1,71 g/cm<sup>3</sup> e em 950°C 1,85 g/cm<sup>3</sup>, já na linha 31 onde tem a mesma composição, porém a adição de 15% de cinza e a diminuição de argila para 25%, em 700°C tem-se 1,38 g/cm<sup>3</sup> e em 950°C 1,59 g/cm<sup>3</sup>.

A menor densidade apresentada foi na linha 20 onde a composição é 10% de escória, 20% de areia de fundição, 30% de pó de vidro, 30% de argila branca e 10% de cinza, obteve uma densidade de 0,97 g/cm<sup>3</sup> a 700°C.

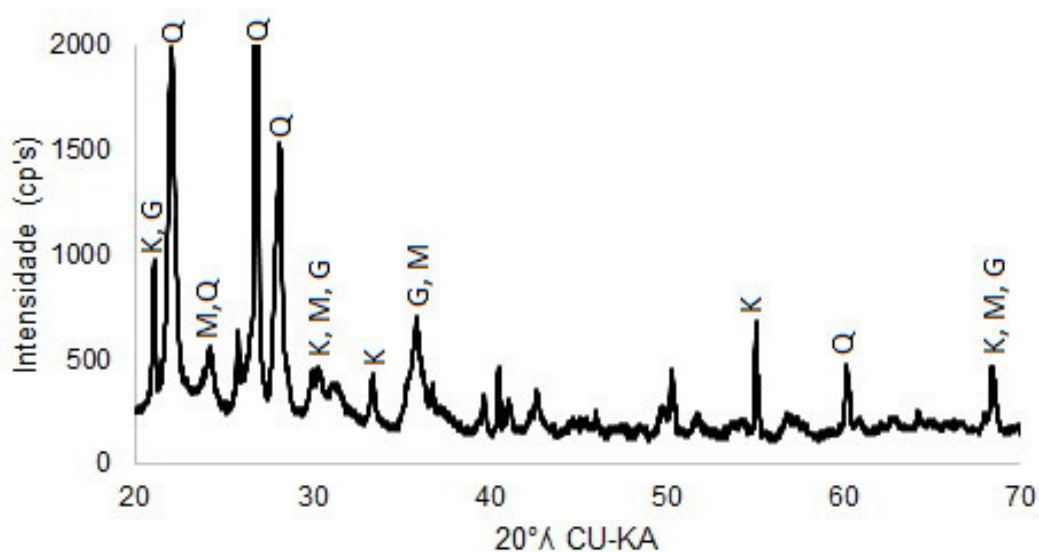
#### 4.6 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS

Foi realizado os ensaios de DRX e MEV de 3 amostras queimadas a 1025°, foi escolhido as composições 6, 11 e 29 as quais tiveram bons resultados com composições diferentes, utilizando cinza, areia de fundição, escória, pó de vidro e argila branca, sendo a 6 sem cinza e a composição 29 com o máximo de cinza da pesquisa, para entender qual a influência que a cinza teve para os resultados.

A composição 06, a qual continha 20% de escória, 10% de areia de fundição, 30% de pó de vidro e 40% de argila branca, nessa composição não incluíam a cinza. Conforme figura abaixo mostra os picos cristalinos, segundo o ensaio DRX. Pode-se analisar que o pico de intensidades mais elevado está em 20 a 30° e o restante dos picos se torna uniforme.



Figura 27 – Picos cristalinos da amostra 06 a 1025° pelo método DRX

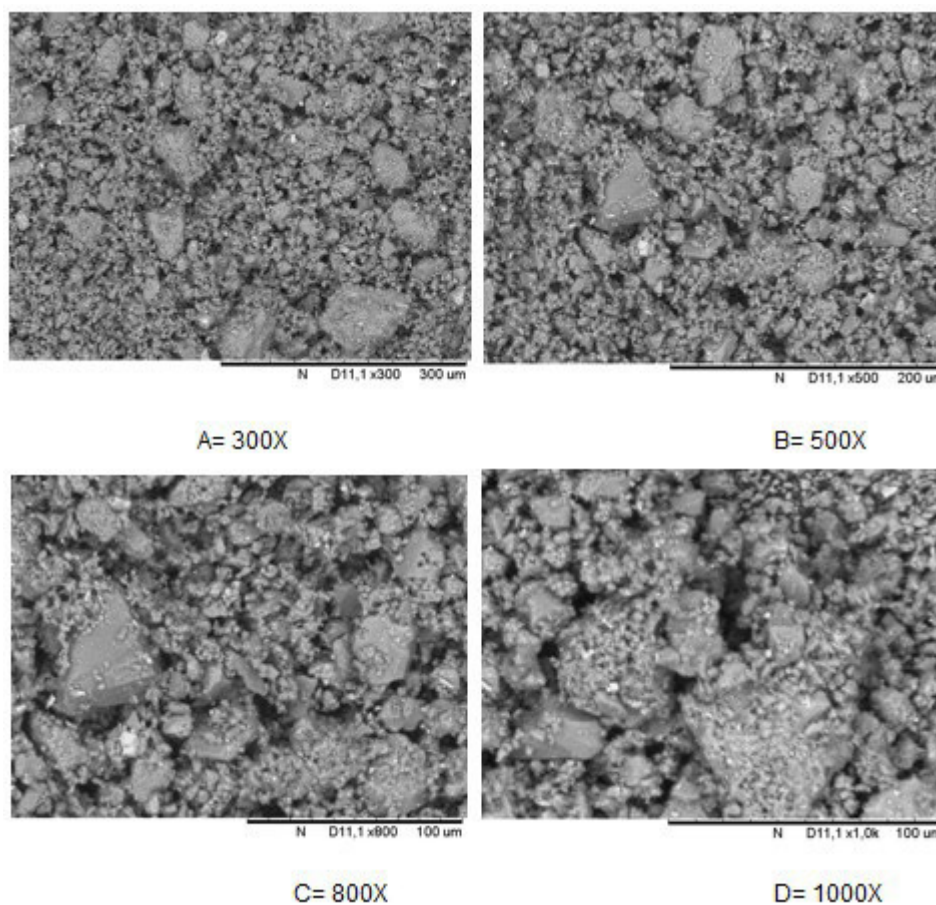


Fonte: Própria autoria, 2021

O principal componente da argila branca, que é o principal componente dessa composição, é composto principalmente por Sílica, nesse caso na forma de Quartzo e o Óxido de alumínio esses componentes são bases de materiais amorfos, essa maior concentração de quartzo, no processo de derretimento desse componente na sua queima, pode ser o causador do aumento da resistência.

Conforme figura abaixo, pelo MEV, observa-se que a amostra tem pequenos poros, partículas pequenas e uniformes o que mostra que ocorreu um processo de fusão entre os materiais e sua integração, fato que provavelmente desencadeou uma melhor resistência, já que suas partículas de mistura se fundiram e quimicamente se interagem bem.

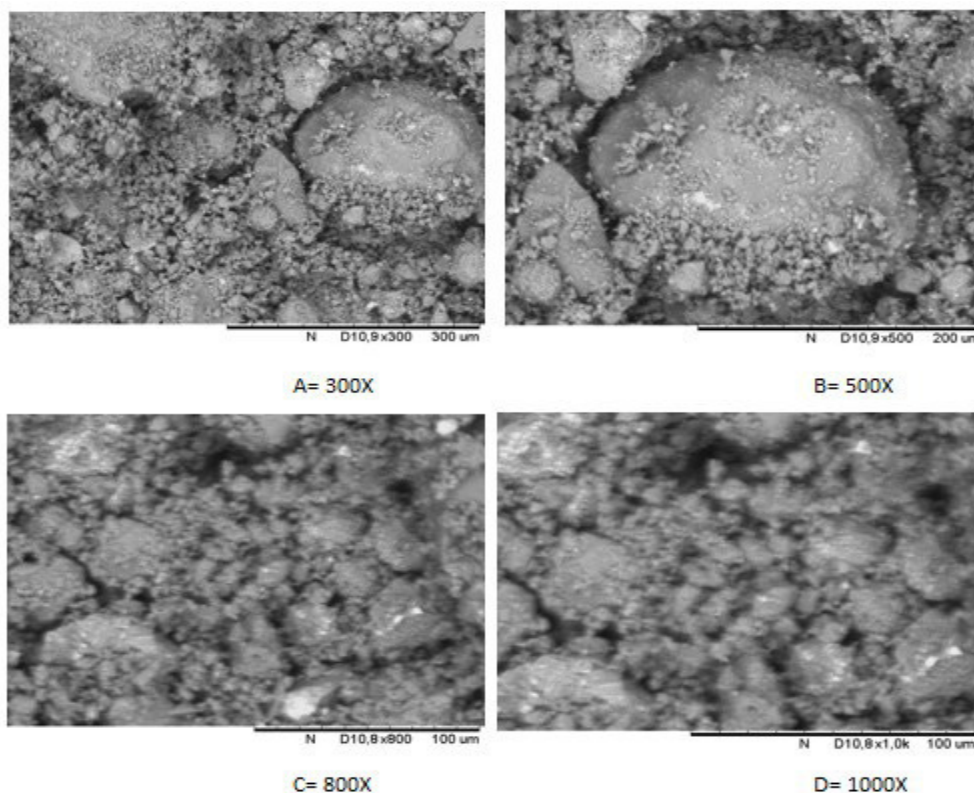
Figura 28 – Mapeamento químico da amostra 06 a 1025° por MEV



Fonte: Própria autoria, 2021

Já quando em comparação com a análise do MEV da amostra 11, composta por 5% de cinza, 20% escória, 10% e areia de fundição, 30% de pó de vidro e 35% de argila branca, observa-se formas irregulares, tamanho distintos e o aparecimento de poros maiores. Esses tipos de formação cristalinos representam um material amorfo, conforme figura abaixo.

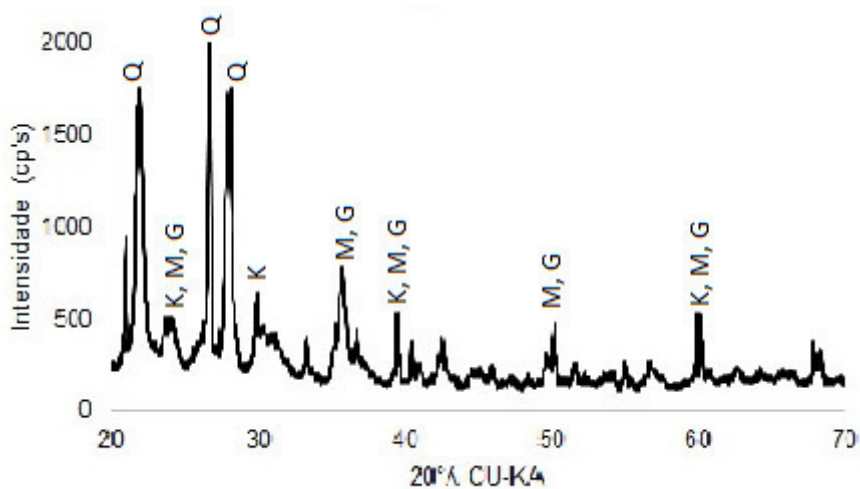
Figura 29 – Mapeamento químico da amostra 11 a 1025° por MEV



Fonte: Própria autoria, 2021

Quando analisado o DRX dessas amostras, observa-se que ela tem um comportamento similar a amostra 06, porem tem um pico cristalino maior em 25°, conforme figura abaixo.

Figura 30 – Picos cristalinos da amostra 11 a 1025° pelo método DRX

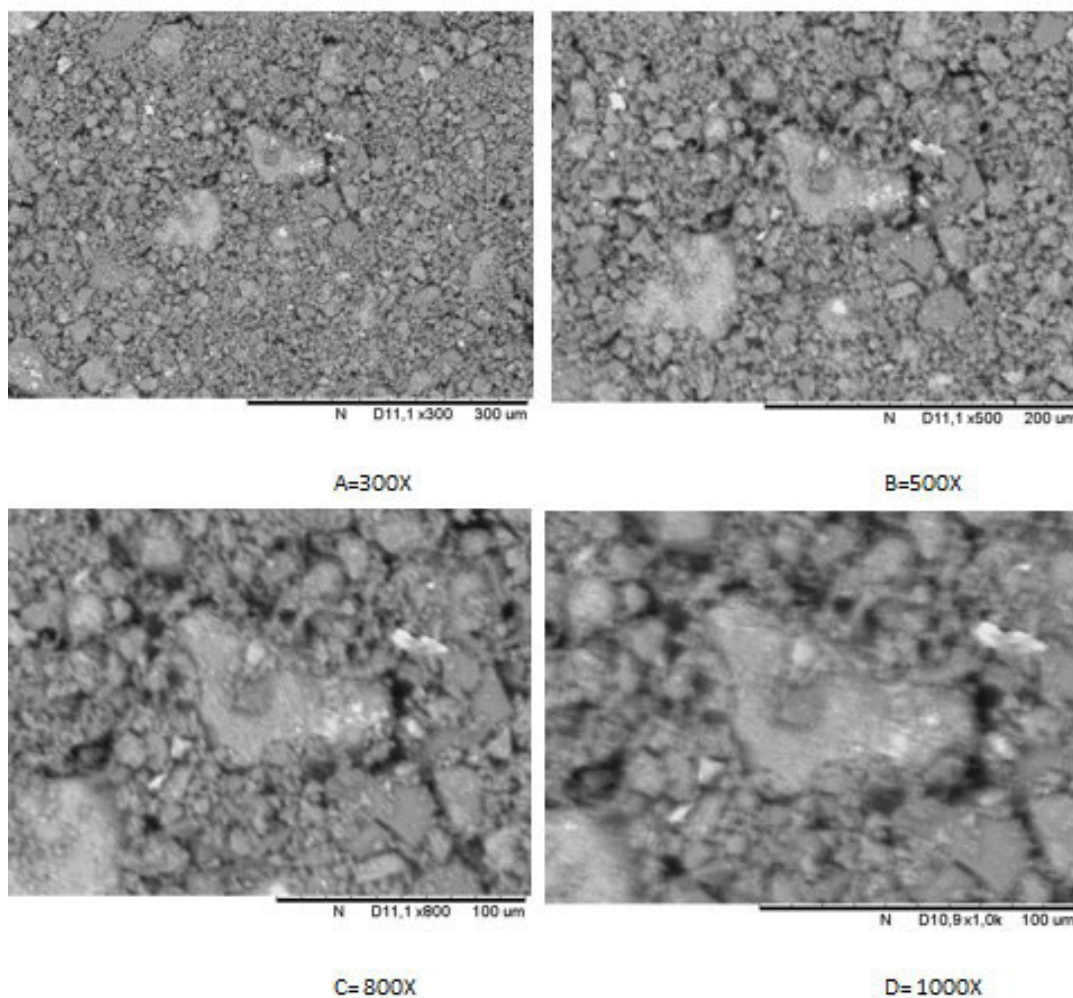


Fonte: Própria autoria, 2021

O aumento dos poros intensifica a taxa de absorção de água quando comparado as amostras, sendo a 11 que teve uma maior taxa que em relação a amostra 6, porém uma resistência maior em relação a amostra 06 variando 9,90MPa para 10,29MPa.

Já para a amostra 29 onde continha 15% de cinza, 20% de escória, 20% de areia de fundição, 30% de pó de vidro e apenas 15% de argila branca, pelo ensaio do MEV, figura abaixo, apresenta superficialmente que está melhor fundido e quimicamente ligados, porém tamanhos de partículas irregulares, apresentam leve formação de bolhas e aumento dos poros, principalmente entre as maiores partículas.

Figura 31 – Mapeamento químico da amostra 29 a 1025° por MEV



Fonte: Própria autoria, 2021

Nessa amostra teve uma maior concentração de cinza em relação as outras amostras em sua composição e no geral maior concentração de pó de vidro, quando em comparação ao ensaio MEV do pó de vidro observa-se uma semelhança entre elas, com a diferença dos tamanhos das partículas e os poros encontrados.

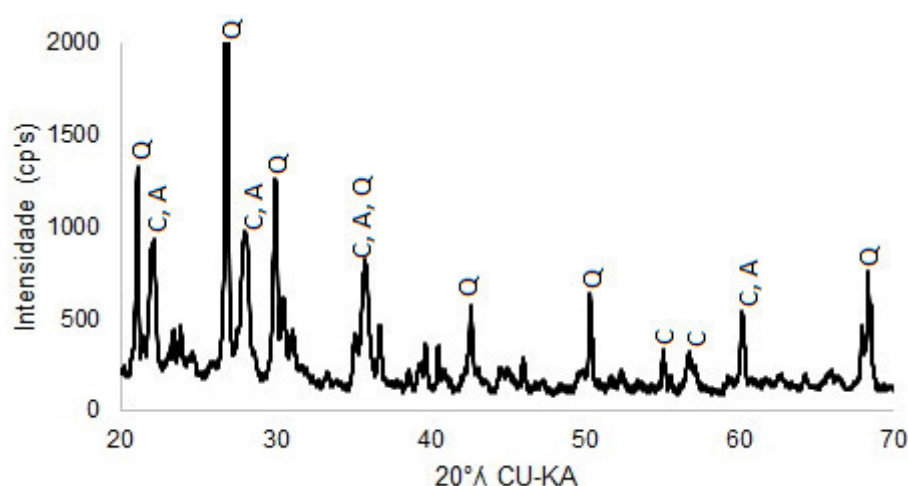
Assim como comparado a cinza, possuem as mesmas semelhanças, mostrando um comportamento mais orgânico e fibroso dessa composição, ocasionando assim um aumento na taxa de absorção de água, sendo 22,78%.

A cinza que nessa composição tem uma maior quantidade em relação ao uso da cinza nas demais composições, pode ter influência direta pelo tamanho das suas partículas, onde a sua granulometria é mais fina que em relação aos demais materiais.

Observa-se poucas mudanças morfológicas pela comparação do ensaio MEV dos materiais e da amostra final, pode-se entender que esse fato mostra a baixa resistência atingida por essas amostras, quando em relação as demais amostras da pesquisa.

Quando analisado o ensaio DRX, conforme figura abaixo, observa-se picos cristalinos com menor intensidade, mas com pico maior em 25° assim como nas demais amostras.

Figura 32 – Picos cristalinos da amostra 29 a 1025° pelo método DRX



Fonte: Própria autoria, 2021

Essa amostra apresentou picos cristalinos parecidos com a areia de fundição e pó de vidro que contem 20% e 30% respectivamente em sua composição.

## 5 CONCLUSÕES

Diante da pesquisa apresentada foram escolhidas 3 composições, que apresentaram resultados satisfatórios e poderiam ser aplicados em escala industrial e retiraria grande parte dos resíduos usados nessa pesquisa do descarte a aterros sanitários, assim diminuindo o impacto ambiental, essas composições podem ser usadas para a produção de cerâmicas para revestimento, blocos cerâmicos e tijolos.

A composição 6, foi a que apresentou uma maior resistência entre todas as composições, que contém apenas 20% de escória, 10% de areia de fundição, 30% de pó de vidro e 40% de argila branca, portanto 60% dessa composição é resíduo. Esse produto pode ser utilizado para revestimento cerâmico de paredes sendo o azulejo, blocos cerâmicos e tijolos maciços.

1. Quando queimado a 900°C: resistência a flexão 10,94 MPa; Contração Linear 4,83%; Absorção de água 14,10% e densidade de massa 1,80 g/cm<sup>3</sup>.

2. Quando queimado a 975°C: resistência a flexão 10,44 MPa; Contração linear 5,74%; Absorção de água 11,67% e densidade de massa 1,81 g/cm<sup>3</sup>.

Já para tijolos e blocos cerâmicos, a taxa de absorção pode ser de até no máximo 25% para blocos cerâmicos, portanto se enquadra, assim como resistências superiores a 4,00MPa para ser considerado as melhores classes de blocos cerâmicos e tijolos maciços.

A composição 11 teve resistências consideráveis e a adição de cinza, portanto composta por 5% de cinza de lixo urbano, 20% de escória, 10% de areia de fundição, 30% de pó de vidro e 35% de argila branca, sendo nessa composição 65% de resíduos, esse produto final também pode ser utilizado para azulejo, blocos cerâmicos e tijolos maciços.

1. Quando queimado a 950°C: resistência a flexão 8,89 MPa; Contração linear 5,48%; Absorção de água 13,96% e densidade de massa 1,77 g/cm<sup>3</sup>.

2. Quando queimado a 1025°C: resistência a flexão 10,29 MPa; Contração linear 4,77%; Absorção de água 14,54% e densidade de massa 1,67 g/cm<sup>3</sup>.

Essa composição tem melhores resistências em temperaturas maiores do que em comparação com a composição 6, porém tem o acréscimo de mais um resíduo, a cinza. Esse produto final pode ser utilizado também como azulejo, blocos

cerâmicos e tijolos maciços, onde se enquadra em blocos cerâmicos como classe 25 quando taxa de absorção de até 25,00% e em classe “C” para resistências maiores que 4,00 MPa, a contração linear é baixa e densidade uniforme, muito próxima a da argila natural.

A composição 29, é a melhor das composições com a maior quantidade de resíduos, composta por 15% de cinza, 20% de escória, 20% de areia de fundição, 30% de pó de vidro e apenas 15% de argila branca, portanto temos uma composição de 85% de resíduos e apenas 15% de matéria natural. A composição que apresenta os melhores resultados dentro do grupo com maiores quantidades de resíduos, onde temos como um dos principais componentes a cinza, esse material é o principal objetivo dessa pesquisa de retirá-lo do meio ambiente a partir da sua utilização para a produção de novos materiais.

1. Quando queimado em 950°C temos: resistência a flexão 1,58 MPa; Contração linear 2,35%; Absorção de água 28,96 % e densidade de massa 1,45 g/cm<sup>3</sup>.

2. Quando queimado em 1000°C temos: resistência a flexão 2,84 MPa; Contração linear 2,78%; Absorção de água 24,87 % e densidade de massa 1,41 g/cm<sup>3</sup>.

3. Quando queimado em 1025°C temos: resistência a flexão 4,66 MPa; Contração linear 3,68%; Absorção de água 22,78 % e densidade de massa 1,45 g/cm<sup>3</sup>.

Essa composição apesar de ter resistências menores, do que em comparação com as demais, tem resultados satisfatórios por se tratar da composição com um resultado melhor quando analisada que em sua composição 85% é resíduo e não matéria natural.

Para a fabricação de tijolos e tijolos maciços todas as três amostras destacadas dessa composição demonstram que podem ser utilizadas para a fabricação desse material dentro das classificações da NBR 7171/92, visto que respectivamente se enquadram como tijolos maciços, Classe “A”, “B” e “C”, onde as resistências mínimas as flexões dessas classes são respectivamente maior que 1,5MPa, entre 1,5 e 2,5MPa, entre 2,5 e 4,00MPa e acima de 4,00MPa.

Já para a fabricação de blocos cerâmicos a taxa de absorção de água deve estar entre 8 a 25%, portanto apenas essa composição poderia ser utilizada em



temperaturas mais altas, sendo 1000°C e 1025°C, dessa forma as duas amostras se enquadram na Classe 25 de blocos cerâmicos conforme a NBR 7171/92.

De modo geral, entre todas as composições, para blocos cerâmicos classe A o qual é necessário uma resistência de até 2,5 MPa pode-se utilizar 29 composições que também atendem o máximo de absorção de água de 25%. Já para blocos cerâmicos classe B, com resistência entre 2,5 – 4MPa e absorção até 25% - 20 composições podem ser utilizadas e para blocos classe C, acima de 4,00MPa, atendem as exigências mínimas 24 composições das 31 elaboradas.

A produção de azulejo com essas composições poderia ser feitas apenas na classificação de cerâmicas porosas, onde é admitida uma taxa de absorção de água maior que 20%, sendo a produção de azulejo fino, com uma alta absorção de água, sendo mais indicada a sua utilização em revestimentos de paredes não úmidas. Para azulejos com resistência entre 2 e 4 MPa e absorção de água maior que 10%, pode-se utilizar 26 composições.

De maneira geral a utilização de maiores concentrações de cinzas para a produção de cerâmica, tem os seguintes resultados:

- Blocos cerâmicos Classe A – 5 composições;
- Blocos cerâmicos Classe B – 3 composições;
- Blocos cerâmicos Classe C – 1 Composição;
- Cerâmicas porosas – Nenhuma;
- Azulejo – 5 composições.

Aponta-se que a utilização de resíduos para a produção de cerâmicas, como as apresentadas nessa conclusão, é viável e poderia ser utilizada em escala industrial, porém com a utilização de temperaturas mais elevadas do que as usuais em cerâmica. Porém estaria retirando do meio ambiente, aterros sanitários e em muitas vezes descartes incorretos de resíduos, cooperando com a melhoria do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR. NBR 7181. GRANULOMÉTRICA, SOLO-ANÁLISE.** 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270: 3/05:** Componentes Cerâmicos-Parte 3: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural e de Vedação-Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13818/97:** Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 16661/17:** Materiais refratários densos conformados - Determinação do volume aparente, volume aparente da parte sólida, densidade de massa aparente, densidade aparente da parte sólida, porosidade aparente e absorção. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 10237/14:** Materiais refratários – Classificação. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 13185/14:** Materiais refratários densos – Determinação da resistência a erosão a temperatura ambiente. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 10237/14:** Materiais refratários - classificação: Materiais refratários classificação. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 13817/97:** Placas cerâmicas para revestimento – Classificação. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR. 10004.** Resíduos sólidos–Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 7171/92:** Bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1992.

AMADEI, Daysa Ione Braga et al. **A questão dos resíduos de construção civil:** um breve estado da arte. Revista NUPEM, Vol. 3, No 5 (2011). Disponível em: <http://www.fecilcam.br/revista/index.php/nupem/article/view/72>. Acesso em: 30/03/2021.

ALONSO-SANTURDE, R. et al. **Technological behaviour and recycling potential of spent foundry sands in clay bricks.** Journal of Environmental Management, v. 92, n. 3, p. 994-1002, 2011.

AVILA-LÓPEZ, U.; ALMANZA-ROBLES, J. M.; ESCALANTE-GARCÍA, J. I. **Investigation of novel waste glass and limestone binders using statistical methods.** Construction and Building Materials, v. 82, p. 296-303, 2015.

BAI, Jianguang et al. **Preparation of foam glass from waste glass and fly ash.** Materials Letters, v. 136, p. 52-54, 2014.

BALATON, Vitor T. GONÇALVES, Paulo S, FERRER, Luciana M. **Incorporação de Resíduos Sólidos Galvânicos em Massas de Cerâmica Vermelha**. Cerâmica Industrial, 7 (6) Novembro/Dezembro, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237214110>. Acesso em 0/03/2021.

BALDOVINO, Jair de Jesús Arrieta, et al. **Uso Sustentável de Resíduo da Indústria da Celulose e Papel na Estabilização de um Solo Expansivo**. XII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul GEOSUL 2019 – 17 a 19 de Outubro, Joinville, Santa Catarina, Brasil. Disponível em: <https://conferencias.ufsc.br/index.php/geosul2019/2019geosul/paper/view/115/198> Acesso em 05 de nov de 2019.

BEZERRA, Izabelle M. T. et al. **Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.15, n.6, p.639–645, 2011 Campina Grande, PB, UAEA/UEFCG. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xBdfQfDCZTTpBgSt9yMvdD/?lang=pt&format=pdf#:~:text=A%20cinza%20produzida%20pela%20queima,utilizada%20tamb%C3%A9m%20como%20material%20pozol%C3%A2nico>. Acesso em 30/03/2021.

BIGNOZZI, M. C. et al. **Glass waste as supplementary cementing materials: The effects of glass chemical composition**. Cement and Concrete Composites, v. 55, p. 45-52, 2015.

BOUZOUBAA, Nabil et al. **Mechanical properties and durability of concrete made with high-volume fly ash blended cement produced in cement plant**. Materials Journal, v. 99, n. 6, pp. 560-567, 2002.

BOLTAKOVA, N. V. et al. **Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics**. Review of Russian experience for the years 2000-2015. Journal Waste Management. Vol. 60, pg. 230-246. Fevereiro, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16306663> Acesso em: 01 de out 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

BUI, D. D.; HU, Jing; STROEVEN, Piet. **Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete**. Cement and concrete composites, v. 27, n. 3, pp. 357-366, 2005.

CHEAH, Chee Ban; PART, Wei Ken; RAMLI, Mahyuddin. **The hybridizations of coal fly ash and wood ash for the fabrication of low alkalinity geopolymers load bearing block cured at ambient temperature**. Construction and Building Materials, v. 88, p. 41-55, 2015.

CHEAH, Chee Ban; RAMLI, Mahyuddin. **The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade**

**concrete and mortar:** An overview. Resources, Conservation and Recycling, v. 55, n. 7, p. 669-685, 2011.

CHOWDHURY, Swaptik; MISHRA, Mihir; SUGANYA, Om. **The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete:** An overview. Ain Shams Engineering Journal, v. 6, n. 2, p. 429-437, 2015.

COMISSÃO DE ESTUDOS DE MATÉRIAS PRIMAS (CEMP). **Materiais para fundição** – determinação da perda ao fogo – Método de ensaio. 2015.

COUTINHO, N. C.; VIEIRA, C. M. F. **Caracterização e incorporação de cinza de resíduo sólido urbano em cerâmica vermelha.** Cerâmica vol.62 no.363 São Paulo July/Sept. 2016. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132016000300249](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132016000300249). Acesso em 25/10/2019.

DING, Linfeng et al. **Preparation and characterization of glass–ceramic foams from blast furnace slag and waste glass.** Materials Letters, v. 141, p. 327-329, 2015.

DOVETAIL PARTNERS, I. **Plasma gasification: An examination of health, safety, and environmental records of established facilities.** City of Palisade, EUA, 2010.  
ETXEBERRIA, M. et al. **Properties of concrete using metallurgical industrial by-products as aggregates.** Construction and Building Materials, v. 24, n. 9, p. 1594-1600, 2010.

FRANCIS, A. A.; RAHMAN, MK Abdel; DAOUD, A. **Processing, structures and compressive properties of porous glass-ceramic composites prepared from secondary by-product materials.** Ceramics International, v. 39, n. 6, p. 7089-7095, 2013.

FURLANI, E. et al. **Preparation and characterization of sintered ceramics made with spent foundry olivine sand and clay.** Ceramics International, v. 38, n. 4, p. 2619-2625, 2012.

GIRALDI, Renata; ADJUTO, Graça. **Brasil é o 4º país que mais produz lixo no mundo, diz WWF:** Só está atrás dos Estados Unidos, China e Índia. Publicado em 05/03/2019 - 08:36 Por Agência Brasil – Brasília. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2019-03/brasil-e-o-4o-pais-que-mais-produz-lixo-no-mundo-diz-wwf#:~:text=O%20estudo%20%E2%80%9CSolucionar%20a%20Polui%C3%A7%C3%A3o,1%2C28%25%20de%20reciclagem> Acesso em 30/03/2021.

GONG, Y. et al. **Recycling of waste amber glass and porcine bone into fast sintered and high strength glass foams.** Journal of Cleaner Production, v. 112, p. 4534-4539, 2016.

GOUVEIA, Nelson. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. Scielo - Ciência & Saúde Coletiva. São Paulo. Versão final aprovada em 26/04/2012. Disponível em <https://www.scielo.org/article/csc/2012.v17n6/1503-1510/pt/> Acesso em : 30/03/2021.

GRAUPMANN, Olaf. Et al. **Análise da resistência à compressão de concretos com adição de cinza de aterro sanitário**. Revista Matéria. v.24, n.2, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/28987/16215> Acesso em 01 de nov. 2019.

GUNEY, Yucel et al. **Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete**. Waste Management, v. 30, n. 8, p. 1705-1713, 2010.

HABLE, Marlon; GRAUPMANN, Olaf; GRAUPMANN, Susan. **Estudo da resistência do concreto em altas temperaturas utilizando cinza da queima de madeira**. International Journal of development research. Vol 9. Agosto, 2019.

HERTZ, Kristian Dahl. **Limits of spalling of fire-exposed concrete**. Fire safety journal, v. 38, n. 2, pp. 103-116, 2003.

HJELMAR, OLE. **Disposal strategies for municipal solid waste incineration residues**. Journal of hazardous materials, v. 47, n. 1-3, p. 345-368, 1996.

ITÔ, L. C. M. **Geração de Energia Elétrica a partir de Resíduos Sólidos Urbanos**. São Carlos, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014

JAMSHIDI, Ali et al. **Analysis of structural performance and sustainability of airport concrete pavements incorporating blast furnace slag**. Journal of Cleaner Production, v. 90, p. 195-210, 2015.

JANI, Yahya; HOGLAND, William. **Waste glass in the production of cement and concrete – A review**. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 2, n. 3, p. 1767-1775, 2014.

JOHN, Vanderley M. **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. Artigo S. D. São Paulo. Disponível em: [https://www.pick-upau.org.br/mundo/reciclagem\\_entulho/capitulo\\_01.pdf](https://www.pick-upau.org.br/mundo/reciclagem_entulho/capitulo_01.pdf) Acesso em 30/03/2021.

KIM, Kidong; KIM, Kicheol; HWANG, Jonghee. **LCD waste glass as a substitute for feldspar in the porcelain sanitary ware production**. Ceramics International, v. 41, n. 5, p. 7097-7102, 2015.

KUMAR, Sanjay et al. **Mechanical activation of granulated blast furnace slag and its effect on the properties and structure of portland slag cement**. Cement and Concrete Composites, v. 30, n. 8, p. 679-685, 2008.

LING, Tung-Chai; POON, Chi-Sun; WONG, Hau-Wing. **Management and recycling of waste glass in concrete products**: Current situations in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 70, p. 25-31, 2013.

LINO, F. A. M., ISMAIL, K. A. R. **Incineration and recycling for MSW treatment**: Case study of Campinas, Brazil, *Sustainable Cities and Society*, v. 35, pp. 752-757, 2017.

LÜBECK, A. et al. **Compressive strength and electrical properties of concrete with white Portland cement and blast-furnace slag**. *Cement and Concrete Composites*, v. 34, n. 3, p. 392-399, 2012.

ŁUKOWSKI, Paweł; SALIH, Ali. **Durability of mortars containing ground granulated blast-furnace slag in acid and sulphate environment**. *Procedia Engineering*, v. 108, p. 47-54, 2015.

MAHIEUX, P.-Y.; AUBERT, J.-E.; ESCADEILLAS, G. Utilization of weathered basic oxygen furnace slag in the production of hydraulic road binders. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 2, p. 742-747, 2009.

MARGALLO, Maria. **Avaliação da sustentabilidade ambiental da gestão de resíduos da incineração de resíduos sólidos urbanos**: uma revisão da situação atual. / Publicado online: 28 de abril de 2015 Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015.

MASTELLA, Miguel Angelo et al. **Mechanical and toxicological evaluation of concrete artifacts containing waste foundry sand**. *Waste management*, v. 34, n. 8, p. 1495-1500, 2014.

MAUTHOOR, Sumayya; MOHEE, Romeela; KOWLESSER, Prakash. **Characterisation of electric arc furnace slags as concrete aggregate in a small island developing state**: A preliminary study. *Construction and Building Materials*, v. 105, p. 459-464, 2016.

MONOSI, Saveria; RUELLO, Maria Letizia; SANI, Daniela. Electric arc furnace slag as natural aggregate replacement in concrete production. **Cement and Concrete Composites**, v. 66, p. 66-72, 2016.

MOTTA, José Francisco Marciano ET AL. **Argila Plástica para Cerâmica Branca**. Rochas e Minerais Industriais – CETEM/2008, 2ª Edição.

MYMRIN, Vsévolod; PONTE, Haroldo A.; YAMAMOTO, Carlos I. **Synthesis of new colloidal formations during the strengthening of different activated hydrated metallurgical slags**. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 220, n. 1, p. 211-221, 2003.

MYMRIN, V. A. et al. **Structure formation of slag-soil construction materials**. *Materials and structures*, v. 38, n. 1, p. 107-113, 2005.

MYMRIN, Vsévolod et al. **Environment friendly ceramics from hazardous industrial wastes**. *Ceramics International*, v. 40, n. 7, p. 9427-9437, 2014.

MYMRIN, Vsévolod et al. **Red clay application in the utilization of paper production sludge and scrap glass to fabricate ceramic materials**. *Applied Clay Science*, v. 107, p. 28-35, 2015.

MYMRIN, Vsévolod et al. **Influence of kaolin clay on mechanical properties and on the structure formation processes of white ceramics with inclusion of hazardous laundry sewage sludge**. *Applied Clay Science* Volume 155, April 2018, 88 Pages 95-102 . Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131718300127> . Acesso em 25/10/2019.

NIESSEN, W. R. **Combustion and incineration processes** (3rd ed.). New York: Marcel Dekker, Inc. 2002.

OBURGER, Eva et al. **Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance - A field study**. *Science of the Total Environment*, v. 544, p. 711-721, 2016.

ÖZBAY, Erdoğan; ERDEMİR, Mustafa; DURMUŞ, Halil İbrahim. **Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties –A review**. *Construction and Building Materials*, v. 105, p. 423-434, 2016.

OLIVEIRA, G. E. HOLANDA, J. N. F. **Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha**. *Cerâmica* 50 (314) • Jun 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132004000200002> Acesso em 30/03/2021.

OZDEMİR, Ilker; YILMAZ, Senol. **Processing of unglazed ceramic tiles from blast furnace slag**. *Journal of materials processing technology*, v. 183, n. 1, p. 13-17, 2007.

OZTURK, Zahide Bayer; GULTEKIN, Elif Eren. **Preparation of ceramic wall tiling derived from blast furnace slag**. *Ceramics International*, v. 41, n. 9, p. 12020-12026, 2015.

PATHAK, Neelam; SIDDIQUE, Rafat. Effects of elevated temperatures on properties of self-compacting-concrete containing fly ash and spent foundry sand. **Construction and Building Materials**, v. 34, p. 512-521, 2012.

PASETTO, Marco; BALDO, Nicola. **Experimental evaluation of high performance base course and road base asphalt concrete with electric arc furnace steel slags**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 181, n. 1, p. 938-948, 2010.

PEREIRA, José Almir Rodrigues. **Geração de resíduos industriais e controle ambiental**. 2014. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/228719448>

PHONPHUAK, Nonthaphong; KANYAKAM, Siwadol; CHINDAPRASIRT, Prinya. **Utilization of waste glass to enhance physical–mechanical properties of fired clay brick**. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 3057-3062, 2016.

PRABHU, G. Ganesh; HYUN, Jung Hwan; KIM, Yun Yong. **Effects of foundry sand as a fine aggregate in concrete production**. *Construction and Building Materials*, v. 70, p. 514-521, 2014.

PYTEL, Zdzisław. **Evaluation of potential applications of recycled moulding and core sands to production of ceramic building materials**. *Ceramics International*, v. 40, n. 3, p. 4351-4358, 2014.

QUINTANA, L. M. H. et al. **Utilização da cinza de casca de arroz na produção de cerâmica vermelha**. *Anais do 43º congresso brasileiro de cerâmica*. Florianópolis. Junho de 1999. Disponível em : <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:QXjJK2c6f8QJ:https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/1999/Artigos/150.doc+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br> . Acesso em 01 de nov 2019.

RAMOS, Telma; MATOS, Ana Mafalda; SOUSA-COUTINHO, Joana. **Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion**. *Construction and Building Materials*, v. 49, p. 343-351, 2013.

RASHAD, Alaa M. **Recycled waste glass as fine aggregate replacement in cementitious materials based on Portland cement**. *Construction and Building Materials*, v. 72, p. 340-357, 2014.

REDDY, P. J. **Municipal solid waste management: Processing, energy recovery, global examples**. India: BS Publications. 2011.

REY-SALGUEIRO, Leticia et al. **Organic pollutants profiling of wood ashes from biomass power plants linked to the ash characteristics**. *Science of the Total Environment*, v. 544, p. 535-543, 2016.

SCHWARZ-TATARIN, Anja; FREYBURG, Sabine. **Influence of scrap glass powders and the maturing process in the unfired state on the body properties of a kaolinitic clay after firing**. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 30, n. 7, p. 1619-1627, 2010.

SEKAR, S. K. et al. **Mechanical and fracture characteristics of Eco-friendly concrete produced using coconut shell, ground granulated blast furnace slag and manufactured sand**. *Construction and Building Materials*, v. 103, p. 1-7, 2016.

SHAKIR, Alaa. MOHAMMED, Ali. **Manufacturing of bricks in the past, in the presente and in the future: a atate of the art review**. Vol. 02. Setembro, 2013. <https://www.researchgate.net/publication/270751259> Manufacturing of Bricks in the e Past in the Present and in the Future A state of the Art Review



SIDDIQUE, Rafat; NOUMOWE, Albert. **Utilization of spent foundry sand in controlled low-strength materials and concrete**. Resources, Conservation and Recycling, v. 53, n. 1, p. 27-35, 2008.

SIDDIQUE, Rafat. **Utilization of wood ash in concrete manufacturing**. Resources, Conservation and Recycling, v. 67, p. 27-33, 2012.

SILVA, Penha Souza; ALMEIDA, Matheus Venturini. **Módulo Didático: Lixo, saúde e ambiente**. Educação Ambiental Centro de Referência Virtual do Professor - SEE-MG / agosto 2010. Disponível em: [http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema\\_crv/index.aspx?ID\\_OBJETO=119524&tipo=ob&cp=003366&cb&n1&n2=M%EF%BF%BDdulos+Did%EF%BF%BDticos&n3=Tem%EF%BF%BDtica+s+Especiais+-+Educa%C3%A7%C3%A3o+Ambiental&n4&b=s](http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/index.aspx?ID_OBJETO=119524&tipo=ob&cp=003366&cb&n1&n2=M%EF%BF%BDdulos+Did%EF%BF%BDticos&n3=Tem%EF%BF%BDtica+s+Especiais+-+Educa%C3%A7%C3%A3o+Ambiental&n4&b=s). Acesso em: 04/01/2021

SINGH, Gurpreet; SIDDIQUE, Rafat. **Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste foundry sand (WFS)**. Construction and Building Materials, v. 28, n. 1, p. 421-426, 2012.

TABASOVÁ, A. **Waste-to-energy technologies: Impact on environment**, Energy. v. 44, n. 1, p. 146- 155, 2012.

TORKAMAN, Javad; ASHORI, Alireza; MOMTAZI, Ali Sadr. **Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks**. Construction and building materials, v. 50, p. 432-436, 2014.

TORRES-CARRASCO, M.; PUERTAS, F. **Waste glass in the geopolymer preparation. Mechanical and microstructural characterisation**. Journal of cleaner production, v. 90, p. 397-408, 2015.

UPRETY, Bijaya K. et al. Biodiesel production using heterogeneous catalysts including wood ash and the importance of enhancing byproduct glycerol purity. **Energy Conversion and Management**, v. 115, p. 191-199, 2016.

VACLAVIKOVA, M. et al. Removal of cadmium, zinc, copper and lead by red mud, an iron oxides containing hydrometallurgical waste. **Studies in Surface Science and Catalysis**, v. 155, p. 517-525, 2005.

YE, Chuqiao et al. **Preparation and properties of sintered glass–ceramics containing Au–Cu tailing waste**. Materials & Design, v. 86, p. 782-787, 2015.

YEIH, Weichung et al. **Properties of pervious concrete made with air-cooling electric arc furnace slag as aggregates**. Construction and Building Materials, v. 93, p. 737-745, 2015.

YLINIEMI, Juho et al. Lightweight aggregates produced by granulation of peat-wood fly ash with alkali activator. **International Journal of Mineral Processing**, v. 149, p. 42-49, 2016.

WU, Ching-Wei. et al. **Mechanochemically induced synthesis of anorthite**: in MSWI fly ash with kaolin. *Journal of Hazardous Materials*. Vol 244-245. Janeiro, 2013. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389412011545>

WEI, Yu-Ling et al. **Recycling steel-manufacturing slag and harbor sediment into construction materials**. *Journal of hazardous materials*, v. 265, p. 253-260, 2014.

WEI, Yu-Ling; CHENG, Shao-Hsian; KO, Guan-Wei. **Effect of waste glass addition on lightweight aggregates prepared from F-class coal fly ash**. *Construction and Building Materials*, v. 112, p. 773-782, 2016.

WIEMES, Leandro. **Incorporation os industrial wastes as raw materials in brick's formulation**. *Journal of Cleaner production*. Vol. 142, Parte 01, Pg. 67-77. Janeiro, 2017. 91  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616308617>

ZANTA, Viviana Maria; FERREIRA, Cynthi Fantoni Alves. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. 2016. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/266446543>.

ZHU, Mengguang et al. **Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass**. *Construction and Building Materials*, v. 112, p. 398-405, 2016.