

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS  
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

**CARLOS AUGUSTO HORT CANDIDO**

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO GERADO NA PRODUÇÃO DE  
ALUMINA ELETROFUNDIDA À CERÂMICA VERMELHA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA/PR  
2018**

CARLOS AUGUSTO HORT CANDIDO

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO GERADO NA PRODUÇÃO DE  
ALUMINA ELETROFUNDIDA À CERÂMICA VERMELHA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Pollyane Marcia de Souto.

Coorientador: Prof. Dr. Fabiano Moreno Peres.

**LONDRINA/PR  
2018**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

**CARLOS AUGUSTO HORT CANDIDO**

### **INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO GERADO NA PRODUÇÃO DE ALUMINA ELETROFUNDIDA À CERÂMICA VERMELHA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no dia 19 de junho de 2018 como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Cleberson Cipriano de Paula  
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

---

Prof. Dr. Marcio Florian  
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Pollyane Marcia de Souto  
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Silvia Midori Higa  
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)  
Coordenadora do Curso de Engenharia de Materiais

\*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso\*

Dedico este trabalho a Nossa Senhora Aparecida e aos meus entes queridos: Carlos, Antônio Carlos e Ingo (*in memoriam*).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus que me deu forças para seguir até o momento.

Aos meus pais, Carlos e Rose, que mesmo com poucos recursos lutaram para que eu tivesse uma boa educação. Por acreditarem no meu sonho e me apoiarem em minhas decisões.

Agradeço em especial meus entes queridos, por me acompanharem espiritualmente.

Agradeço à minha namorada, Mariane, por me apoiar em minhas escolhas e por ter feito parte desta conquista.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Pollyane M. de Souto, pela paciência e por dividir comigo seu conhecimento.

À banca avaliadora, Prof. Dr. Cleberson Cipriano de Paula e Prof. Dr. Marcio Florian, por aceitarem fazer parte desta etapa final.

Aos grandes amigos que a Engenharia de Materiais me deu: Vitor, Natália e Laiza.

Por fim, agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina por todo apoio estrutural durante os anos de graduação.

*“Treine enquanto eles dormem, estude enquanto eles se divertem, persista enquanto eles descansam e então, viva o que eles sonham.”*

Autor desconhecido

## RESUMO

CANDIDO, C. A. H. **Incorporação de resíduo gerado na produção de alumina eletrofundida à cerâmica vermelha**. 2018. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.

As atividades desenvolvidas pelas indústrias são as principais fontes de capital para os países, todavia, para a obtenção do produto final, são gerados inúmeros resíduos durante os processos produtivos. A destinação desses rejeitos em aterros aumenta os custos de produção. Assim, a incorporação de resíduos em outro processo produtivo se torna uma alternativa viável tanto economicamente, quanto ambientalmente. Este trabalho teve como objetivo a incorporação do resíduo gerado na produção de alumina eletrofundida em até 15% de teor na formulação de uma massa de cerâmica tradicional. Para isso, as matérias-primas foram caracterizadas fisicamente por meio da distribuição granulométrica. A argila utilizada neste trabalho foi caracterizada anteriormente em outro estudo realizado. Após a incorporação do resíduo na argila, os corpos de prova foram confeccionados por prensagem uniaxial e em seguida foram submetidos às temperaturas de queima de 950, 1000, 1050 e 1100 °C. Para analisar a influência da temperatura e do teor de resíduo incorporado, os corpos de prova foram avaliados quanto à retração linear, absorção de água, densidade aparente, porosidade aparente e tensão de ruptura à flexão de três pontos. Os resultados revelaram que a incorporação do resíduo na argila é eficaz devido ao seu comportamento como material fundente, viabilizando a formação da fase líquida durante a sinterização. Foi possível incorporar até 15% em massa desse resíduo na mistura argilosa sem que os valores de absorção de água divergissem do que é estabelecido pela norma vigente. Além disso, os corpos de prova com 15% em massa de resíduo e queimados à 1100 °C foram os que apresentaram maior resistência mecânica.

**Palavras-chave:** Incorporação. Resíduo. Cerâmica tradicional.

## ABSTRACT

CANDIDO, C. A. H. **Incorporate of residue generated in the production of eletrofused alumina to red ceramics**. 2018. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.

Activities developed by the industries are the main capital sources for the countries, however, to the final product obtention, numerous residues are generated during the productive process. Their disposal in landfills increases production costs. Thus, the incorporation of waste into another production process becomes a viable alternative both economically and environmentally. This work aimed to incorporate the residue generated in the production of electrofused alumina in traditional ceramics. The raw materials were physically characterized by the granulometric distribution. The clay that was used had already been characterized in a previous work. Mass compositions were made up to 15% by mass of residue. Test specimens were prepared by uniaxial pressing, then subjected to firing temperatures of 950 °C, 1000 °C, 1050 and 1100 °C. In order to analyze the influence of the temperature and the incorporated residue content, the test specimens were evaluated for linear retraction, water absorption, apparent density, apparent porosity and three-point bending stress. After cooling, the samples were submitted to linear retraction, water absorption, apparent density, apparent porosity, and three point bending tensile tests. The results indicated that the residue proved to be effective as a fluxing material, making it possible to form the liquid phase during sintering. It was possible to incorporate up to 15% of the residue into the ceramic mass without the values of water absorption diverging from what is established by the current norm. In addition, it was found that for the temperature of 1100 °C the samples containing 15% of residue in their composition were those that presented the highest mechanical resistance.

**Keywords:** Incorporation. Residue. Traditional ceramic.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Difratograma de raios X da argila.....	19
<b>Figura 2</b> - Curva termogravimétrica da amostra padrão de argila .....	20
<b>Figura 3</b> - Fluxograma das etapas envolvidas no processo de fabricação dos componentes da cerâmica vermelha.....	22
<b>Figura 4</b> - Esquema de como é realizado o estoque de argila em camadas .....	23
<b>Figura 5</b> - Extrusora: ilustração esquemática .....	24
<b>Figura 6</b> - Prensagem uniaxial de simples efeito: figura esquemática.....	25
<b>Figura 7</b> - Prensagem uniaxial de duplo efeito: figura esquemática .....	25
<b>Figura 8</b> - Fluxograma das etapas desenvolvidas no trabalho .....	33
<b>Figura 9</b> - Ciclo de queima esquematizado .....	35
<b>Figura 10</b> - Curva de distribuição granulométrica da argila .....	38
<b>Figura 11</b> - Curva de distribuição granulométrica do resíduo .....	39
<b>Figura 12</b> - Retração linear em função dos diferentes teores de resíduo e temperaturas de queima .....	40
<b>Figura 13</b> - Densidade aparente em função dos diferentes teores de resíduo e temperaturas de queima .....	42
<b>Figura 14</b> - Porosidade aparente em função dos diferentes teores de resíduo e temperaturas de queima .....	43
<b>Figura 15</b> - Absorção de água em função dos diferentes teores de resíduo e temperaturas de queima .....	45
<b>Figura 16</b> - Tensão de ruptura à flexão em função dos diferentes teores de resíduo e temperaturas de queima .....	46

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Composição química da argila.....	18
<b>Tabela 2</b> - Resíduos com maior percentual de incorporação na massa cerâmica ....	28
<b>Tabela 3</b> - Composição química do resíduo de alumina eletrofundida (% massa). ..	30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	17
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
4.1	ARGILA .....	18
4.2	CERÂMICA VERMELHA.....	21
4.2.1	Definição .....	21
4.2.2	Panorama Econômico .....	21
4.2.3	Processo de Fabricação .....	22
4.2.3.1	Preparação da matéria – prima .....	22
4.2.3.2	Preparação da massa .....	22
4.2.3.3	Formação das peças .....	24
4.2.3.4	Tratamento térmico .....	26
4.3	RESÍDUOS INDUSTRIAIS .....	26
4.4	INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS À CERÂMICA TRADICIONAL .....	27
4.5	BAUXITA .....	28
4.6	PRODUÇÃO DE ALUMINA ELETROFUNDIDA.....	29
4.7	INCORPORAÇÃO Do RESÍDUO DE ALUMINA ELETROFUNDIDA À CERÂMICA TRADICIONAL .....	31
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E METODOLOGIA</b> .....	33
5.1	MATERIAIS .....	33
5.2	METODOLOGIA.....	33
5.2.1	Preparação das Matérias-primas.....	34
5.2.2	Análise Granulométrica dos Pós .....	34
5.2.3	Confecção dos Corpos de Prova.....	34
5.2.4	Queima dos Corpos de Prova .....	35
5.2.5	Caracterização dos Corpos de Prova após a Queima.....	36
5.2.5.1	Retração linear .....	36
5.2.5.2	Absorção de água .....	36
5.2.5.3	Densidade aparente .....	37

5.2.5.4	Porosidade Aparente.....	37
5.2.5.5	Tensão de ruptura à flexão.....	37
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
6.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS PÓS.....	38
6.1.1	Caracterização Granulométrica da Argila.....	38
6.1.2	Caracterização Granulométrica do Resíduo.....	39
6.2	CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS CERÂMICOS APÓS A QUEIMA ...	40
6.2.1	Retração Linear.....	40
6.2.2	Densidade Aparente.....	41
6.2.3	Porosidade Aparente.....	43
6.2.4	Absorção de Água.....	44
6.2.5	Tensão de Ruptura à Flexão .....	46
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O ser humano exerce atividades que interagem em maior ou menor grau com o meio ambiente visando seu desenvolvimento. Esta interação se dá tanto pelo consumo dos recursos disponíveis, quanto pela geração de resíduos que podem afetar o meio ambiente. A interação entre a atividade humana e o meio ambiente pode ser denominada de aspecto ambiental, que quando não controlado, pode causar impacto na natureza (SANTOS; YAMANAKA; PACHECO, 2005).

Atualmente, a interação do homem com a natureza ocorre, na maioria das vezes, por meio do desenvolvimento da atividade industrial e tem como consequência o aumento da quantidade de resíduos produzidos. Com isso, problemas relacionados ao descarte destes rejeitos se tornam uma fonte de custos para as empresas. Portanto, a reciclagem de materiais descartados representa uma alternativa viável tanto para minimizar os custos atribuídos à destinação desses, quanto para reduzir os impactos ambientais causados (SANTOS; YAMANAKA; PACHECO, 2005).

A produção de grãos abrasivos de alumina utiliza a bauxita, minério formado por ação do intemperismo sobre aluminossilicatos, como principal matéria-prima para a obtenção da alumina eletrofundida. No processo de produção da alumina eletrofundida, um pó com granulometria extremamente fina é gerado. Além de não apresentar rendimento significativo quando inserido no processo produtivo, esse resíduo pode contaminar a matéria-prima utilizada e, por isso, deve ser descartado em aterros industriais, gerando custos adicionais à empresa (CONSTANTINO et al., 2002; MENEZES et al., 2010).

A indústria da cerâmica tradicional é um dos setores produtivos com o maior volume de produção de materiais destinados à construção civil no Brasil. Além disso, este ramo industrial apresenta um elevado potencial de absorção de resíduos gerados em outros ciclos produtivos (MENEZES et al., 2010). As cerâmicas vermelhas apresentam características físico-químicas que as tornam boas alternativas para a absorção dos resíduos oriundos de outras atividades industriais, e se destacam por obterem vantagens econômicas com a inserção de rejeitos às demais matérias-primas em sua produção (GOMES et al., 2014).

A massa cerâmica é formulada a partir de dois tipos de materiais: um plástico e outro não plástico. Os materiais plásticos conferem características

relacionadas à conformação das peças em termos da trabalhabilidade e da resistência mecânica antes da queima, enquanto que os materiais não plásticos atuam favorecendo a secagem, diminuindo a retração das peças e controlando deformações durante a sinterização (MOTTA et al., 2002).

O resíduo gerado na produção de alumina eletrofundida, por apresentar características de material não plástico, pode ser agregado à formulação da massa cerâmica pela sua capacidade de regular parâmetros como o tempo de secagem, retração após a queima e sinterabilidade. Assim, a viabilidade da incorporação do rejeito gerado na produção de alumina eletrofundida à cerâmica vermelha se torna um fator de extrema importância para o desenvolvimento sustentável, podendo proporcionar um bom retorno econômico para as empresas (MOTTA et al., 2002).

Este projeto buscou incorporar o resíduo de alumina eletrofundida à massa de cerâmica vermelha e avaliar seu efeito, juntamente com a temperatura de queima, sobre as propriedades físicas e mecânica.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem por objetivo geral analisar a viabilidade da incorporação do resíduo de alumina eletrofundida à massa de cerâmica vermelha.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a influência do teor de resíduo incorporado à massa nas propriedades físicas e mecânica dos corpos de prova;
- Estudar a influência da temperatura de queima nas propriedades físicas e mecânica dos corpos de prova.

### **3 JUSTIFICATIVA**

Os materiais cerâmicos são utilizados desde os tempos mais remotos até os dias atuais. Estes materiais têm atravessado gerações devido à ampla possibilidade de aplicação, especialmente no campo da construção civil.

Deste modo, considerando os custos relacionados à destinação adequada do resíduo gerado na produção de alumina eletrofundida, pretende-se neste trabalho, identificar as melhores condições para a incorporação do resíduo à massa cerâmica tradicional. Com isso, a inserção do resíduo em outro ciclo produtivo viabilizará a transformação deste material oneroso em uma matéria-prima rentável. Ainda, a preocupação em se reduzir o impacto ambiental gerado pela produção de rejeitos reforça a necessidade de se expandir o conhecimento, por meio de estudos e pesquisas sobre as características desses resíduos e o efeito da sua adição em formulações cerâmicas.

Nesse contexto, este estudo pode colaborar com dados à literatura e, se a viabilidade da incorporação do resíduo à argila sem redução na resistência mecânica for comprovada e esse implementado nas indústrias de cerâmica tradicional, causará um impacto positivo na economia e no meio ambiente, além de contribuir com o desenvolvimento de futuros trabalhos sobre o resíduo gerado na produção de alumina eletrofundida.



## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 ARGILA

A argila pode ser definida como um produto natural, terroso, de granulometria fina e que apresenta plasticidade após ser umedecido. As argilas são constituídas por argilominerais, que são partículas cristalinas de tamanhos muito pequenos. Estes, por sua vez, são formados por silicatos hidratados de alumínio e ferro, além de apresentarem teores de metais alcalinos e alcalino-terrosos (SANTOS, 1989).

Na composição química dos argilominerais há também a presença de matéria orgânica e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita, entre outros minerais residuais (SANTOS, 1989).

As características químicas da argila utilizada neste trabalho foram determinadas em estudos realizados anteriormente com esta matéria-prima. A caracterização química foi feita por meio de análises como: difrações de raios X, fluorescência de raios X e análise termogravimétrica (SOKEN, 2015).

Na Tabela 1 é apresentada a composição química da argila obtida pelo método de análise de fluorescência de raios X.

**Tabela 1 - Composição química da argila**

Amostra	Composição Química (% massa)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O
Argila	59,9	23,5	0,92	<0,1	4,6	<0,1	0,65	0,94

**Fonte:** Adaptado de Soken (2015).

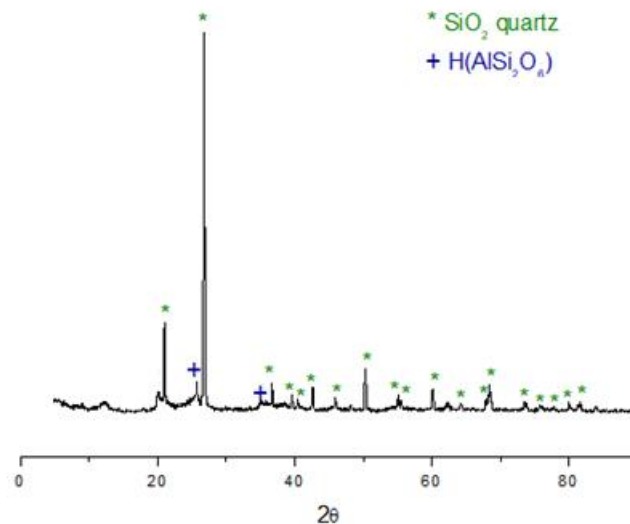
Quando a argila é utilizada como matéria-prima para a confecção de peças cerâmicas, o óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) presente em sua composição química atua como fundente responsável pela formação da fase líquida durante a sinterização. Este óxido também é responsável por proporcionar a coloração avermelhada do produto final, já que o seu teor (4,6%) se encontra próximo ao teor necessário (5%) para dar a coloração avermelhada da argila (MURRAY, 2006).

Os resultados obtidos com a fluorescência de raios X indicam também a presença de MgO, SO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>O.

Na Figura 1 é apresentado o difratograma de raios X da argila. É possível

constatar que a presença de MgO, SO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>O não foi detectada. Isso pode ter ocorrido devido à problemas durante a análise, pois as informações que geram os difratogramas são influenciadas pela precisão do equipamento e pela preparação da amostra, entre outros fatores (GOBBO, 2003).

**Figura 1 - Difratograma de raios X da argila**



**Fonte:** Soken (2015, p.28).

No difratograma de raios X da argila, de acordo com o Centro Internacional de Dados de Difração (2018), foi possível obter somente seguintes fases como predominantes: quartzo, ficha no Internacional Center for Diffraction Data (ICDD): 83-2466; e hidrogênio aluminossilicato, (ficha no ICDD: 80-1387) (ICDD, 2018).

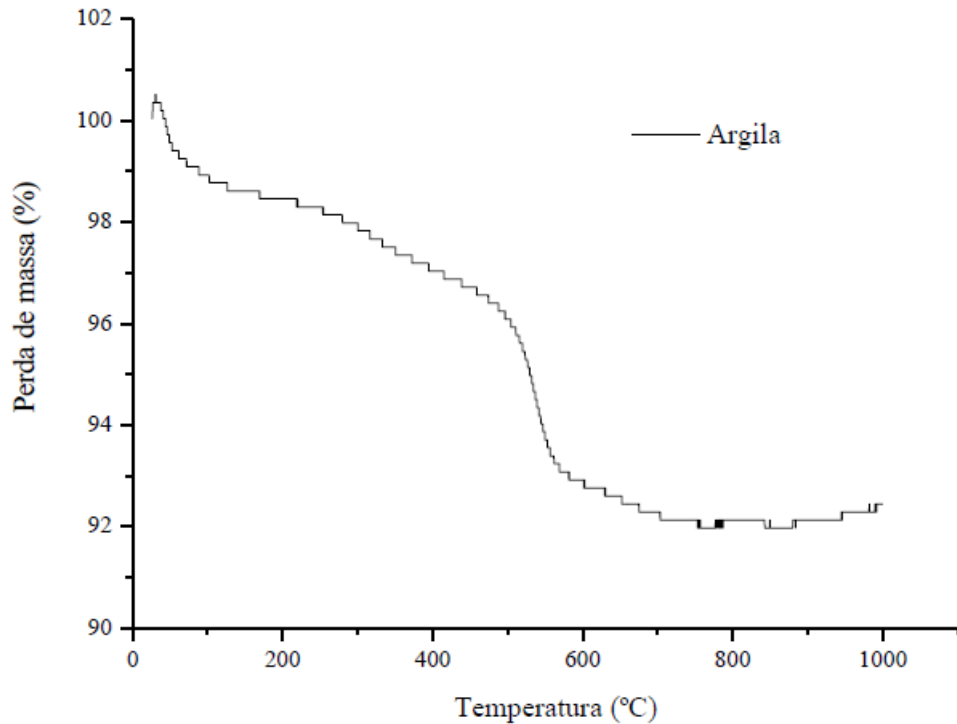
A amostra padrão de argila não apresentou uma grande variedade de fases constituintes, o que é um fator benéfico, uma vez que no processo de queima, a probabilidade de ocorrer algum problema durante densificação do corpo cerâmico é reduzida (SOKEN, 2015).

O comportamento térmico da argila é representado pela curva termogravimétrica da amostra, Figura 2.

Conforme a curva, é possível observar três perdas de massa significantes: a primeira entre 100 e 150 °C; a segunda entre 200 e 500 °C e a terceira entre 500 e 600 °C. A perda de massa que ocorreu entre as temperaturas de 100 e 150 °C está relacionada à eliminação de água livre presente na amostra. Por sua vez, a perda de massa que foi observada entre 200 e 500 °C está relacionada à degradação do material orgânico presente na argila. O decréscimo de massa ocorrido entre 500 e 600 °C se deve à desidroxilação dos argilominerais

constituintes da argila (CRUZ et al., 2012; SOKEN, 2015).

**Figura 2 - Curva termogravimétrica da amostra padrão de argila**



**Fonte:** Soken (2015, p.30).

Estudos realizados mostraram que o evento de desidroxilação ocorre na faixa de temperatura de 600 °C. Este processo de decomposição consiste na cisão das hidroxilas estruturais seguido de liberação de água, fato que o torna irreversível (MARIANI et al., 2014).

Quanto à aplicabilidade, as argilas podem ser utilizadas em diversos setores da indústria cerâmica e da construção civil. Essa característica se deve ao fato da variação em sua composição química resultar em diferentes propriedades físicas, químicas e mecânicas do produto final, proporcionando uma gama de aplicações (GRUN, 2007).

## 4.2 CERÂMICA VERMELHA

### 4.2.1 Definição

A cerâmica vermelha, também conhecida como cerâmica estrutural, apresenta esta denominação devido à coloração avermelhada de seus produtos. Entre os diversos produtos de cerâmica vermelha, destacam-se: tijolos, blocos cerâmicos, telhas e pisos (ABCERAM, 2018). A confecção desses objetos pode ser feita por meio de processos manuais, ou com o auxílio de equipamentos como no caso da prensagem e da extrusão, por exemplo. A temperatura de queima pode variar desde 800 até 1250 °C, conforme a origem da matéria-prima (CABRAL JUNIOR et al., 2007).

### 4.2.2 Panorama Econômico

Em meados da década de 60, houve um desenvolvimento considerável do setor de cerâmica vermelha no Brasil. Este avanço se deu por meio das políticas habitacionais adotadas pelo poder público, que proporcionaram o crescimento exponencial da construção civil no país (CABRAL JUNIOR et al., 2007).

De acordo com o Ministério de Minas e Energias - MME, o setor de cerâmica vermelha no Brasil é responsável pela produção estimada de 63,6 bilhões de peças por ano. A partir de dados apresentados no Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não metálicos, o número de empresas voltadas à produção de cerâmica tradicional em 2016 era de aproximadamente 7,4 mil empresas. A atuação destas indústrias gerou mais de um milhão de empregos diretos e indiretos. Só no estado de São Paulo, foram gerados aproximadamente 35 mil empregos diretos e 110 mil empregos indiretos. Neste cenário, a quantidade de produtos confeccionados a partir da cerâmica vermelha representa 90% das alvenarias e coberturas de imóveis construídos no país (MME, 2017).

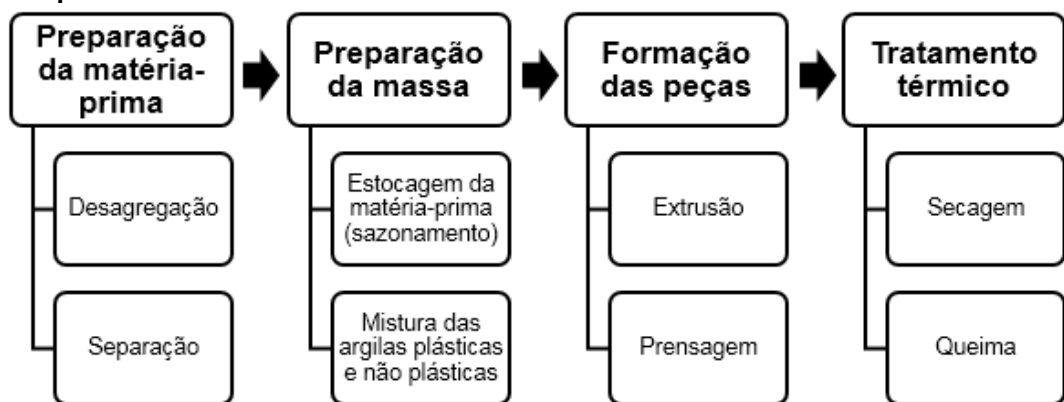
O setor referente à produção de tijolos apresenta uma ampla diversidade econômica, pois além de abranger grandes indústrias, também conta com pequenas unidades fabris familiares que apresentam um sistema primitivo de confecção dos produtos cerâmicos. Essas empresas de pequeno porte, na maioria das vezes, carecem de um sistema de gestão ambiental que visa à implantação de

políticas relacionadas à preservação do meio ambiente através da recuperação de áreas prejudicadas pela extração da argila (ANICER, 2017).

#### 4.2.3 Processo de Fabricação

A Figura 3 representa o fluxograma com as principais etapas envolvidas no processo de fabricação de componentes de cerâmica vermelha.

**Figura 3 - Fluxograma das etapas envolvidas no processo de fabricação dos componentes de cerâmica vermelha**



**Fonte:** Autoria própria (2018).

##### 4.2.3.1 Preparação da matéria – prima

Na indústria da cerâmica tradicional, os produtos são fabricados a partir da combinação de dois ou mais tipos de argilas, que em geral, são obtidas através da atividade de mineração. Após esta etapa é feito o beneficiamento destas matérias-primas, que são desagregadas e separadas por tamanho de grão ou composição química (ABCERAM, 2017).

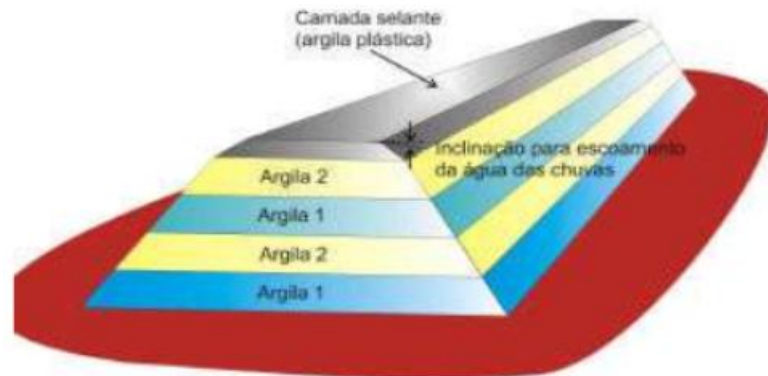
##### 4.2.3.2 Preparação da massa

A mistura de um conjunto de matérias-primas argilosas para a fabricação de produtos cerâmicos é denominada massa cerâmica. Por sua vez, os produtos obtidos a partir desta massa devem apresentar propriedades físicas, químicas e mecânicas condizentes com a sua aplicação (AMARAL, 2016).

A etapa de formulação da mistura se inicia na estocagem da matéria-prima. Devido à irregularidade de sua composição química, as argilas extraídas são

armazenadas em forma de camadas horizontais com espessura inferior a um metro, como mostrado no esquema da Figura 4 (MINEROPAR, 2007).

**Figura 4 - Esquema de como é realizado o estoque de argila em camadas**



**Fonte:** Mineropar (2007, p.8).

Cada camada deve apresentar a maior homogeneidade possível de acordo com a jazida que a argila foi extraída. Este processo de estocagem é denominado sazonalidade (GAIDZINSKI, 2006).

O próximo passo é a obtenção da massa cerâmica com o comportamento plástico adequado. Essa propriedade é alcançada a partir da mistura de diferentes tipos de argilas até que a proporção ideal seja atingida. As quantidades das argilas que serão misturadas são determinadas empiricamente de acordo com a composição química das matérias-primas obtidas em cada região. A preparação da massa é realizada através da mistura de uma argila que apresenta alto índice de plasticidade com outra argila rica em quartzo (não plástica). A primeira é responsável por melhorar a trabalhabilidade da massa cerâmica, enquanto a segunda tem como função reduzir a plasticidade da mistura (AMARAL, 2016).

A massa cerâmica produzida, quando formulada adequadamente, garante a obtenção de maior uniformidade em relação às suas propriedades nas peças finais, menor consumo de energia durante o processo de fabricação, menor desgaste dos equipamentos e redução das perdas após o processo de queima (AMARAL, 2016).

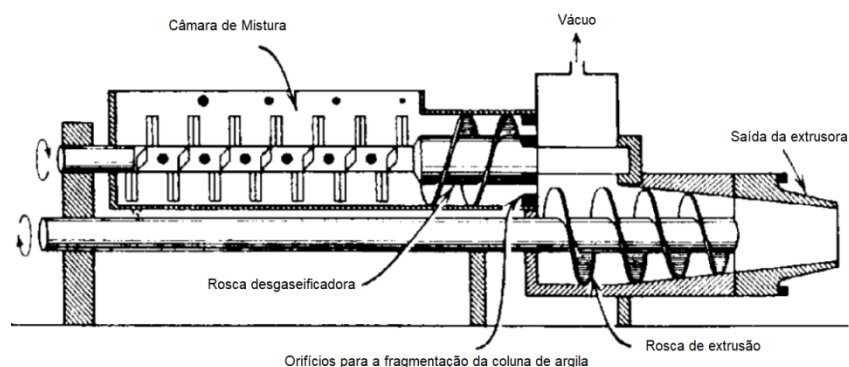
#### 4.2.3.3 Formação das peças

Há vários processos que podem ser utilizados para a formação de uma peça cerâmica. Entretanto, apenas dois métodos importantes para este trabalho serão apresentados.

O primeiro processo é a extrusão no qual se utiliza um equipamento denominado de extrusora e que está esquematizado na Figura 5. A extrusora é composta por uma câmara de mistura e por roscas que conduzem a massa cerâmica até o molde, onde a seção transversal da peça é estabelecida de forma contínua.

De acordo com Reed (1995), o processo de extrusão é constituído pelos seguintes estágios: (1) alimentação com a matéria-prima; (2) consolidação e fluxo do material no barril; (3) fluxo do material através de um molde com seção constante e (4) retirada da peça de acordo com as dimensões especificadas.

**Figura 5 - Extrusora: ilustração esquemática**

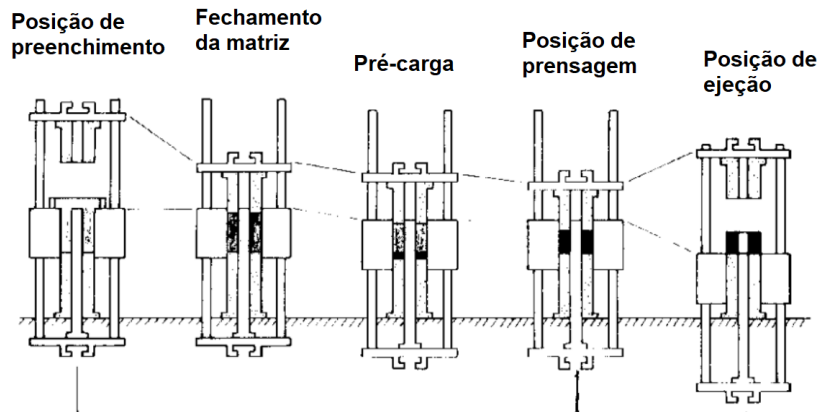


**Fonte:** Adaptado de Reed (1995).

O segundo processo é a prensagem uniaxial. Este método pode ser realizado de duas formas: prensagem uniaxial de simples efeito e prensagem uniaxial de duplo efeito (REED, 1995)

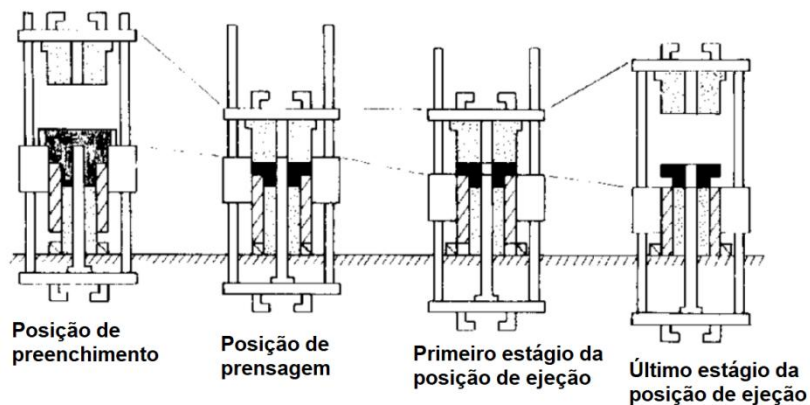
As etapas da prensagem uniaxial de simples efeito estão representadas na Figura 6. O pistão superior se move promovendo a compactação da matéria-prima, enquanto a matriz e o pistão inferior ficam estáticos. Na prensagem uniaxial de duplo efeito, o movimento é realizado pelos dois pistões, superior e inferior, enquanto a matriz fica estática, como mostrado na Figura 7.

**Figura 6 - Prensagem uniaxial de simples efeito: figura esquemática**



**Fonte:** Adaptado de Reed (1995).

**Figura 7 - Prensagem uniaxial de duplo efeito: figura esquemática**



**Fonte:** Adaptado de Reed (1995).

O ciclo de prensagem é constituído pelas seguintes etapas: (1) preenchimento do molde; (2) ciclo da primeira prensagem; (3) tempo de desaeração; (4) ciclo da segunda prensagem e (5) extração da peça. No decorrer da compactação ocorre o fluxo, a reorganização, a deformação e a densificação dos grânulos (REED, 1995).

Durante o processo de prensagem é preciso garantir que os seguintes eventos não ocorram: gradientes de pressão, compressão não uniforme devido à má distribuição do pó no molde e atrito com a parede do molde na ejeção. Além disso, o corpo obtido após a prensagem deve resistir à ejeção e ao manuseio (REED, 1995).



#### 4.2.3.4 Tratamento térmico

O tratamento térmico da peça é uma etapa importante do processo de fabricação, visto que suas propriedades mecânicas finais são obtidas nesse momento.

Esta etapa pode ser dividida em duas partes: a primeira, referente ao processo de secagem em que a água é removida de maneira lenta e gradual a fim de reduzir a possibilidade de ocorrer defeitos na peça; e a segunda, que contempla a queima propriamente dita, em que o produto adquire suas características mecânicas finais (NICOLITE, 2016).

Na etapa de queima ocorre a sinterização, onde as partículas estão em contato entre si e a temperatura do sistema está próxima à temperatura de fusão dessas. A sinterização permite a obtenção de peças com microestrutura controlada (MENDES, 2009)

Os processos de sinterização podem ser divididos em: sinterização no estado sólido e sinterização com fase líquida. Neste trabalho, devido ao resíduo utilizado desempenhar a função de material fundente, serão abordados, de forma geral, os principais pontos a respeito da sinterização com fase líquida.

A sinterização com fase líquida é utilizada quando se deseja alta densidade e pequena porosidade residual. Este processo ocorre, principalmente, quando um dos componentes da mistura se funde durante o aquecimento. A presença da fase líquida auxilia na homogeneização da mistura, condição de fundamental importância para a obtenção de peças com propriedades mecânicas desejadas (CHIAVERINI, 2001).

### 4.3 RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Segundo a Resolução nº 313 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), são considerados resíduos industriais os rejeitos advindos de atividades industriais, no estado líquido, gasoso e sólido ou combinados, que não são passíveis de descarte através de redes pluviais ou fluviais e a solução técnica e econômica para a destinação sejam inviáveis (CONAMA, 2002).

Todas as atividades humanas interagem em maior ou menor grau com o meio ambiente, consumindo recursos, modificando o espaço físico ou gerando rejeitos (resíduos sólidos, efluentes líquidos ou emissões atmosféricas) (SANTOS; YAMANAKA; PACHECO, 2005).

As interações entre as atividades humanas e o meio ambiente são denominadas aspectos ambientais, que podem causar impacto ao meio ambiente, caso não sejam controlados. Em relação à atividade industrial, todas as empresas geram aspectos ambientais, em maior ou menor escala, que em algum momento podem se converter em impactos ambientais (SANTOS; YAMANAKA; PACHECO, 2005).

Um grande problema encontrado atualmente está relacionado à destinação adequada dos resíduos provenientes da atividade industrial, pois a política de gestão ambiental que propõe a destinação correta dos resíduos gerados ainda é vista, por algumas empresas, como atividades economicamente inviáveis. Deste modo, a extração desenfreada de matérias-primas e a disposição dos resíduos em espaços inadequados, são ações extremamente nocivas ao meio ambiente (PATRICIO et al., 2013).

Uma saída eficiente para a destinação de alguns resíduos industriais consiste na sua reinserção em outros processos produtivos. Desta forma, pesquisas a respeito da incorporação de resíduos às matérias-primas naturais têm como objetivos a redução do consumo de energia, redução no uso de matéria-prima não renovável, redução do custo de destinação a aterros, etc. (PATRICIO et al., 2013).

#### 4.4 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS À CERÂMICA TRADICIONAL

A absorção de resíduos gerados pelas diversas atividades industriais como a exploração de carvão, indústria têxtil e de curtume, extração e refino do petróleo e indústria do papel, apresenta-se de forma expressiva no setor de produção de cerâmica tradicional, de modo que, o uso destes rejeitos traz vantagens econômicas e ambientais (CARREIRO et al., 2018).

De acordo com a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER), a incorporação de resíduos na cadeia produtiva da indústria da construção civil, até o estabelecimento da política de gestão de resíduos, era feita em pequenas

quantidades (em torno de 10 a 20%). Contudo, devido à elevada quantidade de rejeitos produzidos, surgiu a necessidade de formulação de composições com mais de 50% de resíduo incorporado (ANICER, 2017).

Rejeitos incorporados à cerâmica tradicional podem atuar tanto como redutores de plasticidade, quanto formadores de fase líquida. O surgimento da fase líquida ocorre durante o processo de queima do corpo cerâmico e é responsável pela formação de uma matriz ligante que favorece o preenchimento de poros presentes no material. Assim, a formação da fase líquida tem influência direta nas propriedades físicas como: absorção de água, densidade aparente e porosidade aparente (CARREIRO et al., 2018).

Deste modo, a adição de rejeitos à massa cerâmica deve ser feita de forma que as características do produto final estejam de acordo com as normas vigentes, como, por exemplo, a norma NBR 15270-1, que define um coeficiente de absorção de água de 8 a 22% para blocos cerâmicos (CARREIRO et al., 2018).

Na Tabela 2 estão representados os resíduos com maior percentual de incorporação na massa cerâmica.

**Tabela 2 - Resíduos com maior percentual de incorporação na massa cerâmica**

Resíduos incorporados	Absorção do resíduo na massa cerâmica (%)
Pó de granito	20 a 50
Pó de rocha	10 a 100
Resíduos cerâmicos	80
Resíduo gerado na indústria de papel	1 a 50
Lama de esgoto	20 a 40
Lodo orgânico	13 a 26

**Fonte:** Adaptado de Gomes et al. (2014).

É possível constatar a diversidade de linhas de pesquisas relacionadas à incorporação de resíduos provenientes de outras atividades industriais às massas cerâmicas.

#### 4.5 BAUXITA

A bauxita é o minério de importância industrial para a obtenção do alumínio metálico e de outros compostos de alumínio, como a alumina, por exemplo.

(CONSTANTINO et al., 2002).

Quanto aos seus constituintes, a bauxita é formada, principalmente, por gibbsita, boehmita, diaspório e impurezas como óxidos de ferro, sílica, óxido de titânio e aluminossilicatos. O teor destes constituintes varia de acordo com as regiões de ocorrência (CONSTANTINO et al., 2002).

Devido à elevada quantidade de impurezas presentes na bauxita, foi desenvolvida uma rota de purificação deste material, processo conhecido como Bayer. A partir deste processo obtém-se o hidróxido de alumínio  $\text{Al}(\text{OH})_3$  que, depois de calcinado, dá origem à alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (CONSTANTINO et al., 2002).

A bauxita também pode servir de matéria-prima para a produção da alumina através do método de eletrofusão que é detalhado no item 4.6.

#### 4.6 PRODUÇÃO DE ALUMINA ELETROFUNDIDA

As matérias-primas principais para a fabricação de alumina por eletrofusão são: bauxita, coque de petróleo, ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) e cavacos de ferro. Esta mistura é levada a um forno elétrico especial, onde ocorre o processo de fusão através da aplicação de corrente elétrica (ABCERAM, 2017).

Quanto às funções que cada matéria-prima exerce na mistura, tem-se que o coque de petróleo atua como agente redutor e fonte de carbono, promovendo a purificação da bauxita; a ilmenita, com função de suplementar o teor de titânio na bauxita; a sucata de ferro, que por sua vez, é responsável pela remoção do silício metálico; e os cavacos de ferro, que junto com o coque, são utilizados no início do processo para a geração dos arcos elétricos (PINTO, 2015).

Durante o processo de eletrofusão, os óxidos metálicos presentes na mistura, com exceção do óxido de alumínio, são reduzidos a metais elementares. Assim, ligas mais densas que a alumina fundida são formadas e se acumulam no fundo do forno, como a liga ferro-silício (SILVERIO, 2017).

O bloco fundido, após resfriamento controlado, passa pelo processo de cominuição (SILVERIO, 2017).

Na última etapa, as impurezas e as ligas de ferro são removidas e então porções de óxido de alumínio eletrofundido são encaminhadas para o processo de britagem, secagem e separação magnética (SILVERIO, 2017).

Durante o processamento da alumina eletrofundida, um grande volume de resíduo rico em óxido de alumínio é gerado na forma de pó. A granulometria deste material é extremamente fina e seu manuseio concebe uma névoa de poeira que é arrastada facilmente por correntes de ar dificultando sua reutilização no processo produtivo. A poeira é coletada através de filtros instalados no sistema de exaustão. Devido a sua composição química, é necessário que o resíduo em forma de pó seja destinado a aterros industriais (MENEZES et al., 2010).

Vale destacar que há duas etapas, durante o processo de obtenção da alumina eletrofundida, em que ocorre o descarte de resíduos. A primeira ocorre no silo de abastecimento de matérias-primas e a segunda ocorre no filtro coletor do forno (SILVERIO, 2017).

O resíduo utilizado no presente trabalho é obtido a partir da segunda etapa.

O tratamento adequado do resíduo abrange sua manipulação, descarte e monitoramento no aterro. Assim, uma série de implicações econômicas é gerada, tornando-se uma fonte de custos para a empresa (MENEZES et al., 2010).

#### 4.6.1 Características Químicas do Resíduo Gerado na Produção de Alumina Eletrofundida

Na Tabela 3 é mostrada a composição química de um resíduo gerado na produção de alumina eletrofundida estudado por Menezes (2010).

**Tabela 3 - Composição química do resíduo de alumina eletrofundida (% massa).**

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>	Zn	PbO
71,19	9,85	5,11	2,59	2,25	0,75	0,53	0,49	0,41	0,31

**Fonte:** Menezes et al. (2010).

O resíduo gerado na produção de alumina eletrofundida apresenta uma composição química diversificada. Este material é constituído basicamente de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>, com teores de K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que ocorrem devido às impurezas presentes nas matérias-primas usadas para produção de alumina eletrofundida. Observa-se também a presença de metais pesados, como o chumbo (MENEZES, 2010).

Os compostos K<sub>2</sub>O, MgO e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> possuem efeito fundente e facilitam a formação da fase líquida necessária à união das partículas, com isso, aumenta a

retração linear no processo de queima (CARGNIN et al., 2011).

O quartzo, nas etapas que antecedem a queima, atua como desplastificante, reduzindo a quantidade de água necessária para conformar a peça, facilitando a secagem e reduzindo a probabilidade de ocorrência de defeitos nessa fase. Durante a queima da peça cerâmica, o quartzo funciona como material inerte, formando uma estrutura envolvida pela fase líquida (NICOLITE, 2017).

#### 4.7 INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DE ALUMINA ELETROFUNDIDA À CERÂMICA TRADICIONAL

Ao ser agregado à massa cerâmica, o resíduo realizará o papel de material não plástico. A adição de materiais não plásticos promove a formação de regiões de descontinuidades na matriz argilosa. Portanto, tensões provenientes do processo de secagem e queima são significativamente reduzidas (PRACIDELLI; MELCHIADES, 1997).

Paradoxalmente, se a quantidade de material não plástico presente na formulação for excessiva, a porosidade aumentará significativamente, comprometendo o desempenho mecânico da peça (MENEZES et al., 2010).

Alguns estudos a respeito da incorporação do resíduo de alumina eletrofundida à argila vermelha já foram realizados. Os resultados obtidos são descritos a seguir (MENEZES et al., 2010; NICOLITE et al., 2016; BIGELLI, 2015; CANDIDO, 2015).

Menezes et al. (2010) formularam composições de massa cerâmica com a presença de 5, 10, 15, 20, 25 e 30% em massa de resíduo, que posteriormente foram prensadas e queimadas em temperaturas de 900, 950 e 1000 °C. Os autores observaram uma redução inversamente proporcional da absorção de água com o percentual de resíduo incorporado à massa, independente da temperatura de queima. Constatou-se também que é possível incorporar até 20% de resíduo, para uma temperatura de sinterização de 1000°C, na formulação da massa cerâmica utilizada na produção de tijolos furados e telhas.

Nicolite et al. (2016) incorporaram 5, 10, 15 e 20% do resíduo de alumina eletrofundida à argila proveniente da região de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. A partir dos resultados, foi observado que a adição do resíduo provocou o aumento da absorção de água e, conseqüentemente, o incremento da porosidade

aparente das peças cerâmicas. Os corpos com 5% de resíduo em sua composição apresentaram resultados de absorção de água dentro do limite de 22% estabelecido pela norma NBR 15270-1. Por sua vez, constatou-se que, para uma temperatura de queima de 900 °C, o resíduo não alterou significativamente a retração do sistema.

Cabe destacar que o teor de resíduo incorporado nas amostras para a realização deste trabalho foi determinado tendo como base resultados obtidos em pesquisas já realizadas anteriormente. Os valores obtidos mostraram que a adição de pequenas quantidades de resíduo (5%) não provocou alteração nas características mecânicas do sistema (BIGELLI, 2015; CANDIDO, 2015).

A partir da análise dos resultados de estudos já realizados com o resíduo em questão, considerou-se no presente trabalho a viabilidade de incorporá-lo à massa cerâmica vermelha, propondo soluções para problemas de cunho econômico e ambiental.

## 5 MATERIAIS E METODOLOGIA

### 5.1 MATERIAIS

A seguir são apresentados os materiais utilizados.

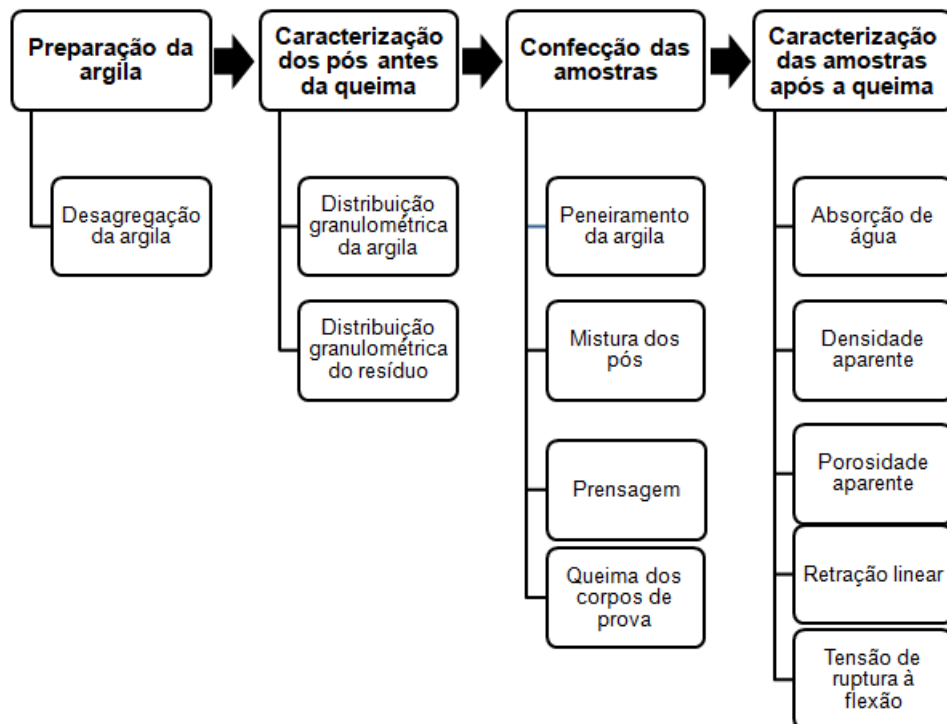
A argila utilizada é oriunda da olaria Palmeira, localizada na Rua Piquiri, 62, no município de Jataizinho, PR, Brasil. No tópico 4.1 do Referencial Teórico foi realizado um maior detalhamento da caracterização dessa argila.

O resíduo originado da produção de alumina eletrofundida foi doado pela indústria Imerys Fused Minerals Salto Ltda., localizada na Rua Marechal Rondon, 107, no município de Salto, SP, Brasil.

### 5.2 METODOLOGIA

Na Figura 8 é apresentado o fluxograma da sequência das etapas desenvolvidas no trabalho. A seguir, cada etapa é detalhada.

**Figura 8 - Fluxograma das etapas desenvolvidas no trabalho**



**Fonte:** Autoria própria (2018).



### 5.2.1 Preparação das Matérias-primas

A desagregação da argila foi feita no Laboratório de Cerâmicas (B002) do Departamento de Engenharia de Materiais (DAEMA) da UTFPR/LD. Nesta etapa, foi utilizado um moinho de martelos do modelo MA 900/1 - Marconi. O resíduo, passado em peneira com abertura de 325 mesh, foi utilizado como recebido.

### 5.2.2 Análise Granulométrica dos Pós

A distribuição do tamanho de partícula da argila e do resíduo pelo método de peneiramento foi feita no Laboratório de Cerâmicas (B002) do Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais (DAEMA) da UTFPR/LD. A análise foi feita a partir de uma adaptação da norma ABNT NBR-7181 (ABNT, 1984). Foram utilizadas peneiras Bertel com aberturas de 20, 28, 35, 48, 80, 100, 115, 150, 200, 250 e 270 mesh.

### 5.2.3 Confeção dos Corpos de Prova

Para obtenção da mistura cerâmica, o resíduo foi incorporado à argila, peneirada a 270 mesh, em teores de 10, 12 e 15% com a finalidade de determinar se este material, quando incorporado à massa cerâmica, influencia significativamente as propriedades do produto final.

Foram produzidos no total 80 corpos de prova, sendo 05 para cada condição (composições com 0, 10, 12 e 15% de resíduo e quatro diferentes temperaturas de queima). Por exemplo, 05 amostras com 10% de teor de resíduo queimadas à 1100 °C.

A incorporação do resíduo de alumina eletrofundida à argila foi feita por meio de um moinho de jarros do modelo SL-34/3-DT - Solab, contendo 10 esferas cerâmicas. O tempo de homogeneização foi de 15 minutos com velocidade de 150 rpm.

Para a confecção dos corpos de prova, as misturas foram umedecidas com um teor de 8% de água a fim de facilitar a compactação durante a prensagem.

Nesta etapa, além de uma prensa uniaxial, utilizou-se um molde metálico retangular com comprimento e largura aproximados de 70 mm e 20 mm,

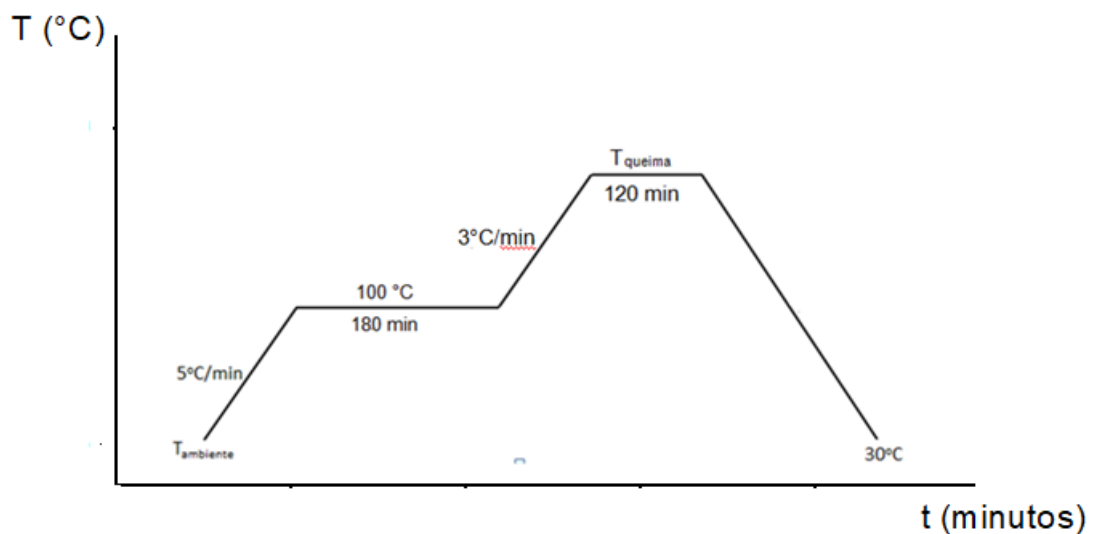
respectivamente.

A carga aplicada foi dividida em dois estágios, sendo o primeiro estágio de pré-prensagem com uma carga de 14 MPa por 15 segundos e o segundo estágio de prensagem, com uma carga de 42 MPa por 60 segundos.

#### 5.2.4 Queima dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram queimados em forno mufla modelo ML 1300 - Fortelab, com rampas de aquecimento de 5°C/min até 100°C, com um patamar de 180 min, com taxa de aquecimento de 3°C/min até as temperaturas de queima, 950, 1000, 1050 e 1100 °C, onde permaneceram por 120 min, conforme o ciclo apresentado na Figura 9. O resfriamento foi realizado de forma natural.

**Figura 9 - Ciclo de queima esquematizado**



**Fonte:** Autoria própria (2018).

Após a queima, os corpos cerâmicos foram identificados de acordo com o número do corpo de prova, a composição de resíduo e a temperatura de queima utilizada. Por exemplo, CP1 – 10% - 1000 °C.

Por fim, as amostras foram analisadas com o intuito de identificar possíveis diferenças de propriedades físicas e mecânicas provocadas pela adição do resíduo estudado.

## 5.2.5 Caracterização dos Corpos de Prova após a Queima

A caracterização dos corpos de prova após a queima foi feita pela retração linear à queima e absorção de água de acordo com a norma ABNT NBR ISO 5017-15 (ABNT, 2015).

A porosidade aparente e a densidade aparente foram determinadas de acordo com a norma ASTM C 373 (ASTM, 1977).

Para a determinação da tensão de ruptura à flexão, utilizou-se a máquina universal de ensaios WDW-100E do Laboratório de Ensaios do DAEMA da UTFPR/LD. O afastamento entre os apoios (60 mm) e a velocidade de ensaio (0,5 mm/min) foram determinados a partir de uma adaptação da norma ASTM C 1161 (ASTM, 1990).

As Equações de 1 a 5 foram utilizadas para os cálculos das caracterizações descritas anteriormente.

### 5.2.5.1 Retração linear

A retração linear das peças após a queima foi determinada com o auxílio de um paquímetro digital da marca Insize com resolução de 0,01 mm, por meio da seguinte expressão:

$$R (\%) = [(L_0 - L_f) / L_0] \times 100 \quad (1)$$

Onde  $L_0$  é o comprimento do corpo de prova antes da queima e  $L_f$  o comprimento do corpo de prova após a queima.

### 5.2.5.2 Absorção de água

A absorção de água foi calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$AA (\%) = [(M_3 - M_1) / M_1] \times 100 \quad (2)$$

Onde  $M_3$  é a massa do corpo de prova úmido e  $M_1$  é a massa do

corpo de prova seco.

#### 5.2.5.3 Densidade aparente

$$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = (M_1 / M_3 - M_2) \times 100 \times \rho_{\text{água}} \quad (3)$$

Onde  $M_2$  é a massa do corpo de prova imerso e  $\rho_{\text{água}}$  é a densidade da água.

#### 5.2.5.4 Porosidade Aparente

$$\pi_a = [(M_3 - M_1) / (M_3 - M_2)] \times 100 \quad (4)$$

#### 5.2.5.5 Tensão de ruptura à flexão

$$\text{TRF (MPa)} = 3PL / 2bh^2 \quad (5)$$

Onde P é a carga, em newtons, atingida no momento da ruptura; L é a distância entre os apoios, em milímetros, b e h são, respectivamente, a largura e a espessura do corpo de prova, em milímetros.

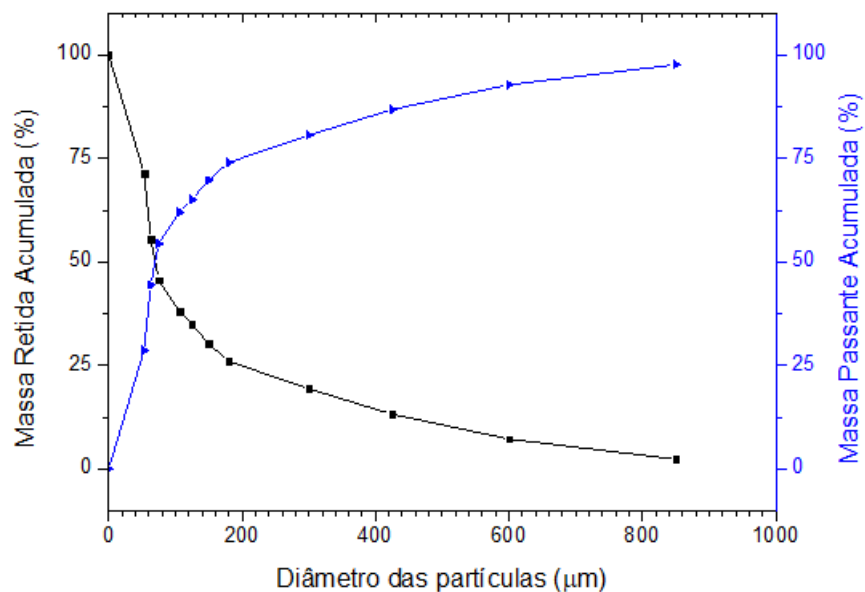
## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS PÓS

#### 6.1.1 Caracterização Granulométrica da Argila

A distribuição granulométrica da argila é representada na Figura 10.

**Figura 10 - Curva de distribuição granulométrica da argila**



**Fonte:** Autoria própria (2018).

Observa-se que a argila apresenta em torno de 75% de partículas com diâmetro inferior a 200 µm e aproximadamente 25% de partículas com granulometria mais grosseira (> 200µm).

O percentual considerável de partículas grosseiras está relacionado com a presença do quartzo na massa argilosa, conforme apresentado no difratograma de raios X (Figura 1).

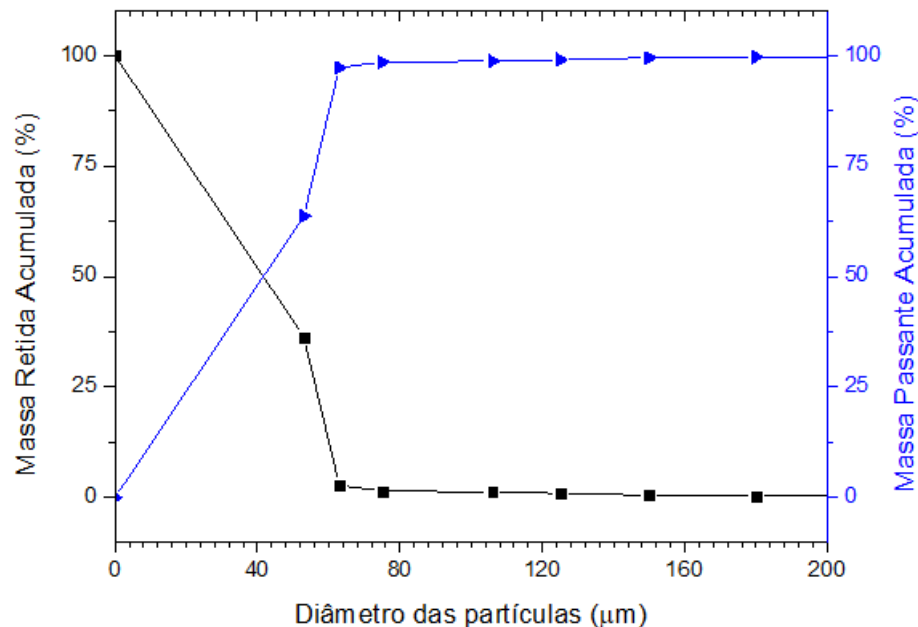
A presença desse material proporciona a redução da probabilidade de ocorrência de defeitos de secagem, como explicado no item 4.6.1.

Ainda, a presença de componentes com granulometria inferior a 200 µm, também presentes na composição granulométrica da argila, favorece a reatividade do sistema devido a maior área superficial de contato entre essas partículas (SANTOS, 1989).

### 6.1.2 Caracterização Granulométrica do Resíduo

A distribuição granulométrica do resíduo é representada na Figura 11.

**Figura 11 - Curva de distribuição granulométrica do resíduo**



**Fonte:** Autoria própria (2018).

Observa-se que a distribuição granulométrica do resíduo é estreita e que este apresenta tamanho de partícula inferior a 53 µm. Tal fato explica porque o resíduo é concebido em forma de névoa e captado através de filtros instalados nos coletores de ar.

Deve-se considerar, a partir desse resultado, que o elevado teor de finos presentes na granulometria do resíduo compromete sua ação como material não plástico. Assim, durante a formulação da massa cerâmica é necessário que a relação entre materiais plásticos e não plásticos seja correta (PRACIDELLI; MELCHIADES, 1997).

Todavia, o grande percentual de componentes com granulometria refinada (< 200 µm), presente na composição granulométrica do resíduo, favorece a reatividade do sistema devido a maior superfície específica entre as partículas (SANTOS, 1989).

Caso o resíduo seja incorporado de forma inadequada à massa cerâmica, poderá ocorrer a redução da interconectividade da matriz vítrea, que resulta no

aumento excessivo da porosidade da peça, tornando-a frágil (NICOLITE, 2017).

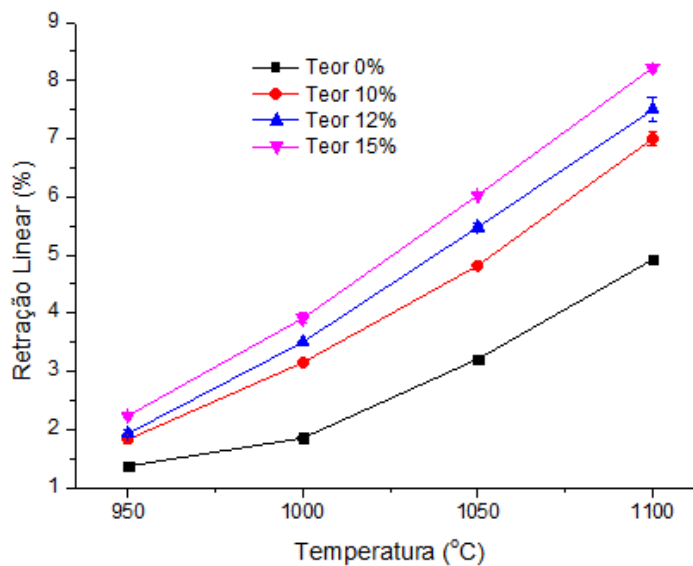
## 6.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS CERÂMICOS APÓS A QUEIMA

A seguir serão apresentados os resultados obtidos a partir da caracterização dos corpos de prova após a queima em diferentes temperaturas.

### 6.2.1 Retração Linear

Na Figura 12 é representada a retração linear total dos corpos de prova.

**Figura 12 - Retração linear em função dos diferentes teores de resíduo e temperaturas de queima**



**Fonte:** Autoria própria (2018).

De modo geral, há um aumento da retração linear com o incremento da temperatura e do percentual de resíduo presente na composição das peças cerâmicas.

Com relação à influência da temperatura de queima, observa-se que a retração linear das amostras sem resíduo incorporado aumentou à taxa de 259%. A mesma tendência de incremento foi observada para as amostras preparadas com teores de resíduo de 10, 12 e 15%, cujas retrações aumentaram às taxas de 283, 289 e 267%, respectivamente. Isso mostra que a retração de queima variou à taxa

média de 275% para a faixa de temperatura utilizada (950 à 1100 °C).

Com relação à adição de resíduo à massa cerâmica, observa-se que para a temperatura de queima de 950 °C a retração dos corpos de prova sem resíduo em suas composições foi de 1,37% e para as amostras confeccionadas com 15% de resíduo em suas composições a retração foi de 2,24%. Estes valores representam o aumento da retração linear à taxa de 64%. Para as temperaturas de 1000, 1050 e 1100 °C o aumento da retração linear, com a adição de 15% de resíduo, ocorreu às taxas de 64, 87 e 67%, respectivamente.

Conclui-se, que tanto o aumento da temperatura de queima, quanto do teor de resíduo incorporado à massa cerâmica resultam no acréscimo da taxa com que a retração linear varia. Tal comportamento está relacionado ao favorecimento da formação de fase líquida devido à presença de óxidos fundentes no material.

Por fim, para enaltecer a função do resíduo como material fundente, considera-se um projeto de engenharia em que uma das exigências é que a peça cerâmica apresente retração de queima de 4,5%. Este valor de retração pode ser obtido submetendo-se a massa sem resíduo à temperatura de 1100 °C. Porém, com a adição de 10% de resíduo na formulação da massa, é possível atingir o mesmo valor de retração a partir da temperatura de queima de 1050 °C. Isso implica em uma maior economia de energia durante o processo e ainda, reduz custos de descarte do resíduo em aterros industriais.

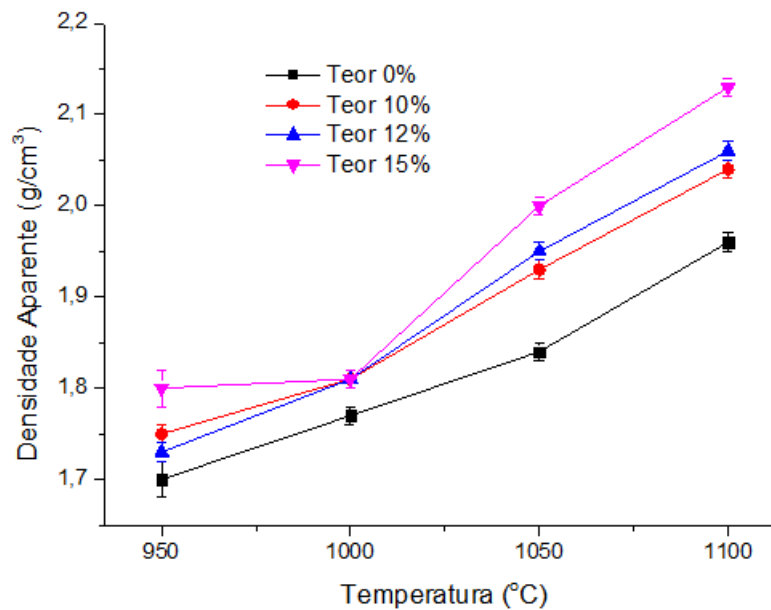
### 6.2.2 Densidade Aparente

Na Figura 13 são mostrados os resultados de densidade aparente dos corpos de prova.

De forma geral, a densidade aparente tende a aumentar com a incorporação de resíduo e o aumento da temperatura de queima. Isso revela a importância destes parâmetros na eficiência da densificação da peça cerâmica.



**Figura 13 - Densidade aparente em função dos diferentes teores de resíduo e temperaturas de queima**



**Fonte:** Autoria própria (2018).

Em relação à influência do incremento da temperatura na densidade dos corpos de prova, constatou-se que as amostras com 0% de resíduo apresentaram 15,2% de variação na taxa de aumento da densidade dos corpos cerâmicos. As amostras confeccionadas com teores de 10, 12 e 15% de resíduo, cujas densidades aumentaram às taxas de 17, 19 e 18%, seguiram o mesmo comportamento. Isso revela que a densidade aparente dos corpos de prova variou à taxa média de 17,25%.

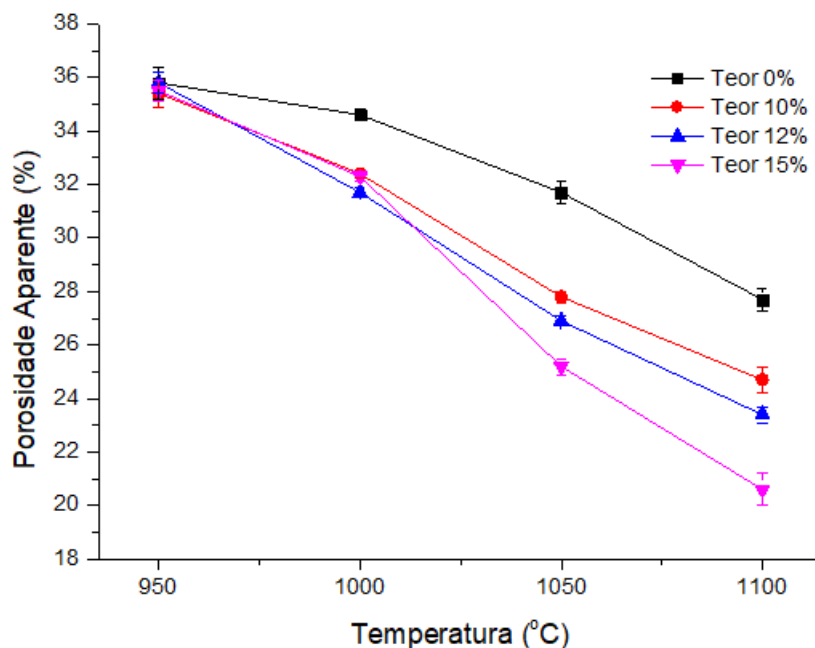
Em relação à influência na densidade dos corpos de prova com a adição de resíduo à massa cerâmica, observou-se que na temperatura de 950 °C as amostras contendo 0% de resíduo em suas composições apresentaram densidade aparente média de 1,7 g/cm<sup>3</sup>, enquanto as amostras confeccionadas com 15% de resíduo apresentaram densidade aparente média de 1,8 g/cm<sup>3</sup>. Esses valores mostram que a densidade aumentou à taxa de 6%. Para as demais temperaturas (1000, 1050 e 1100 °C), a adição de 15% de resíduo à massa cerâmica resultou em corpos de prova com densidades aparentes que aumentaram às taxas de 2,3; 8,7 e 8,7%, respectivamente. É interessante destacar que, em todas as temperaturas de queima, as peças cerâmicas contendo 10, 12 e 15% de resíduo em suas formulações possuem maiores valores de densidade aparente em relação às amostras sem resíduo.

Conclui-se, que assim como ocorreu com o aumento da temperatura de queima dos corpos de prova, a adição de maiores teores de resíduo favorece o aumento da taxa com que a densidade aparente aumenta. Este comportamento corrobora com a ideia de que ao ser incorporado à massa cerâmica, o resíduo contribuirá com a formação de fase líquida durante a etapa de sinterização, favorecendo a densificação do corpo cerâmico.

### 6.2.3 Porosidade Aparente

Na Figura 14 estão mostrados os valores de porosidade aparente dos corpos de prova.

**Figura 14 - Porosidade aparente em função dos diferentes teores de resíduo e temperaturas de queima**



**Fonte:** Autoria própria (2018).

Observa-se que de modo geral, a porosidade aparente tende a diminuir com o aumento da temperatura de queima e do teor de resíduo adicionado à massa argilosa.

Com relação à influência do aumento da temperatura na porosidade aparente dos corpos de prova foi observado que no intervalo de temperatura de 950 à 1100 °C, as amostras contendo 0% de resíduo em suas formulações

apresentaram redução da porosidade aparente à taxa de 22,6%. Para as amostras com 10, 12 e 15% de resíduo em suas composições, as taxas de redução foram de 30, 35 e 42%, respectivamente. Vale destacar, que para o maior teor de resíduo adicionado, o aumento da temperatura resultou na taxa de variação na queda do valor da porosidade quase duas vezes maior em relação às amostras sem rejeito.

Com relação à influência da adição do resíduo na porosidade aparente dos corpos de prova, constatou-se, que para a temperatura de 950 °C, a porosidade aparente não apresentou valores destoantes, independente da quantidade de resíduo adicionado à massa cerâmica. De acordo com Menezes et al. (2010), tal comportamento pode estar relacionado ao fato de que nesta temperatura o resíduo ainda não desempenha a função de fundente. Todavia, ao analisar o comportamento das amostras queimadas à 1100 °C, é possível observar que as amostras com 0% de resíduo apresentaram porosidade de 22,7%, enquanto a porosidade dos corpos de prova confeccionados com 15% de rejeito em suas composições foi de 20,6%. Isso mostra que a porosidade aparente reduziu à taxa de 26% com a adição do resíduo.

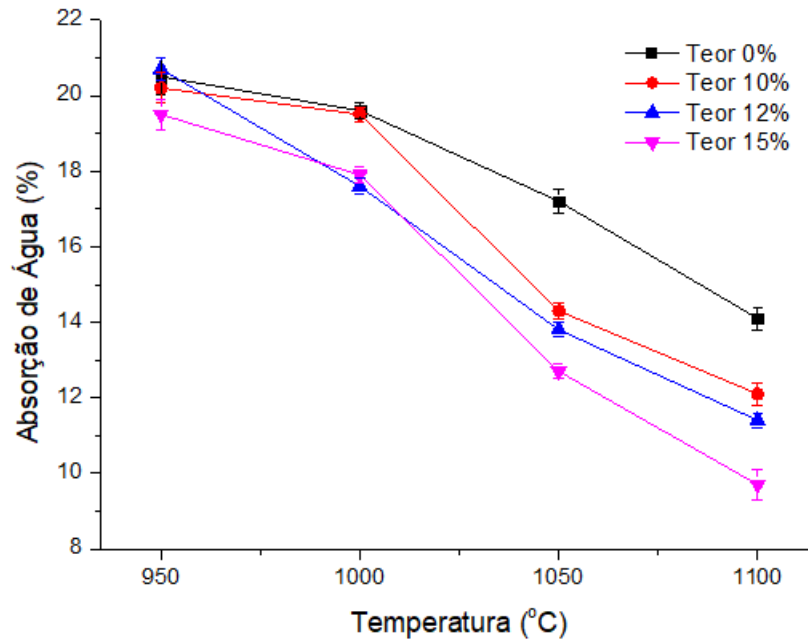
Estes dados revelam que a adição do resíduo de alumina eletrofundida à massa cerâmica e o aumento da temperatura de queima colaboram com a redução da porosidade, como no caso da temperatura de 1100 °C, em que a adição de 15% de resíduo reduziu em 34,5% a porosidade aparente em relação à massa sem resíduo, atingindo o menor valor observado (21%).

#### 6.2.4 Absorção de Água

Na Figura 15 são representados os valores de absorção de água dos corpos de prova.

Nota-se que, de modo geral, no intervalo de temperatura de 950 à 1100 °C houve uma tendência de redução da absorção de água à medida que foram adicionados maiores teores de resíduo à massa.

**Figura 15 - Absorção de água em função dos diferentes teores de resíduo e temperaturas de queima**



**Fonte:** Autoria própria (2018).

Com relação à influência da temperatura nesta propriedade, observou-se que a absorção de água das amostras com 0, 10, 12 e 15% de resíduo em suas composições reduziu à taxa de: 30, 40, 45 e 50%, respectivamente. Estes dados revelam que houve uma tendência de redução da absorção de água com o aumento da temperatura de queima. Isso ocorreu devido à maior densificação das peças relacionada ao preenchimento dos poros pela fase líquida formada.

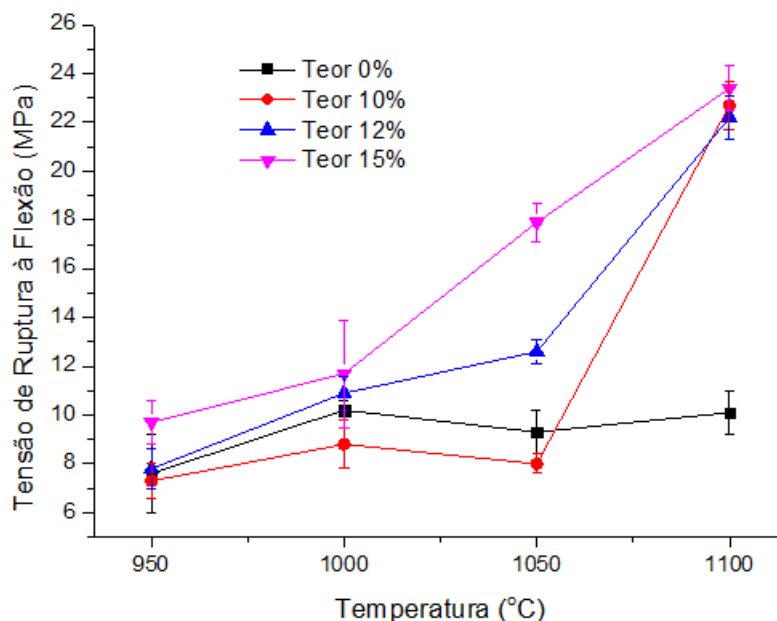
Com relação à influência da adição do resíduo, para a temperatura de 950 °C, as amostras, independente dos teores de resíduo em suas composições, não apresentaram taxas de redução significativas na absorção de água. Esse comportamento corrobora o que foi observado para a porosidade aparente. Contudo, ao observar os valores de absorção de água das amostras queimadas à 1100 °C, as amostras sem resíduo em suas composições apresentaram absorção de água de 14,1%, já a absorção de água das amostras confeccionadas com 15% de resíduo foi de 9,7%. Isso mostra que a absorção de água reduziu à taxa de até 31% com a adição do resíduo. Tal comportamento reforça os resultados obtidos quanto à porosidade aparente, pois formação da fase líquida favorecida pela presença da maior quantidade de resíduo contribui com o preenchimento dos poros, reduzindo a porosidade e consequentemente, a absorção de água do corpo de prova após a queima.

Por fim, analisando a influência do teor de resíduo incorporado à argila quanto as diferentes temperaturas de queima nas quais os corpos de prova foram submetidos, os valores de absorção de água não ultrapassaram os limites de 8 e 22%, obedecendo ao que é estabelecido pela norma NBR 15270-1 para a confecção de blocos cerâmicos. Entretanto, para a confecção de telhas somente as amostras queimadas a partir de 1000 °C estão dentro do limite máximo de 20% de absorção de água estabelecido pela norma ABNT NBR 15310 (ABNT, 2005).

### 6.2.5 Tensão de Ruptura à Flexão

Na Figura 16 são apresentados os valores da tensão de ruptura à flexão em três pontos dos corpos de prova.

**Figura 16 - Tensão de ruptura à flexão em função dos diferentes teores de resíduo e temperaturas de queima**



**Fonte:** Autoria própria (2018).

De modo geral, observa-se que em todos os casos, considerando o erro, o aumento da resistência mecânica aumentou com o incremento da temperatura e com a adição de resíduo à massa cerâmica.

O maior aumento da resistência mecânica (141 %) foi obtido para as amostras com 15% de resíduo em suas composições, já que os corpos de prova queimados à 950 °C apresentaram resistência mecânica em torno de 9,7 e 23,4

MPa, quando queimados à 1100 °C.

Este comportamento é coerente com os resultados observados nas Figuras 11 e 12, ou seja, a maior resistência mecânica do corpo cerâmico está relacionada com a baixa quantidade de poros presentes em sua estrutura e, conseqüentemente, com a alta densidade da peça.

Quanto à aplicabilidade, Santos (1989) sugere que o valor limite de tensão de ruptura para telhas, blocos vazados e blocos de alvenaria seja de 6,37; 5,5 e 2 MPa, respectivamente. Assim, é possível observar que todas as amostras apresentaram valores dentro do recomendado para estas aplicações.

Em vista disso, o desempenho do resíduo como material fundente e a sua contribuição para o aumento da resistência do corpo cerâmico são fatores positivos para sua incorporação à massa.

Em um projeto de engenharia, cuja uma das exigências é que o corpo cerâmico apresente resistência mecânica de 10 MPa, este valor pode ser obtido submetendo a massa sem resíduo a uma temperatura de 1100 °C. Porém, com a adição de 15% de resíduo na formulação da mistura, é possível atingir o mesmo valor de resistência mecânica em uma temperatura consideravelmente menor (950 °C).

Conclui-se, que de acordo com a norma ABNT NBR 15270-1, é possível confeccionar blocos cerâmicos de alvenaria com até 15% de teor de resíduo em suas composições e queimados na faixa de temperatura entre 950 e 1100 °C. Entretanto, para a confecção de telhas, de acordo com a norma ABNT NBR 15310, que estabelece o limite máximo de 20% de absorção de água, somente a formulação que contém 15% de teor de resíduo pode ser queimada na faixa de temperatura entre 950 e 1100 °C. As demais composições, se utilizadas para a confecção de telhas, deverão ser queimadas em temperaturas maiores que 1000 °C.

Assim, a incorporação do rejeito à massa argilosa apresenta alta viabilidade econômica, pois reduz significativamente o gasto energético relacionado à queima da peça cerâmica, além de permitir a obtenção de materiais com altas resistências mecânicas.

## 7 CONCLUSÃO

A incorporação deste resíduo à massa argilosa mostrou que:

Propriedades como densidade aparente, retração linear e limite de resistência à flexão apresentaram taxas crescentes de variação com o aumento da temperatura de queima. Assim, os maiores valores foram obtidos na temperatura de 1100 °C. Em contrapartida, a porosidade aparente e a absorção de água apresentaram taxas decrescentes de variação de até 42%. Isso mostra que a temperatura de queima é um fator determinante na produção de uma peça cerâmica, pois influencia diretamente na sinterização do material e consequentemente nas propriedades finais.

Para o teor de 0%, observou-se a menor taxa de variação nos valores das propriedades como: retração linear, densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água. Quanto ao limite de resistência à flexão, as amostras apresentaram o maior valor de resistência mecânica (9,7 MPa), quando queimadas à 1100°C. Entretanto, este valor foi até 132% inferior ao observado para as demais composições.

Para os teores de 10, 12 e 15%, observaram-se as maiores variações em relação à amostra sem resíduo das propriedades como: retração linear, densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água. Este comportamento corroborou com a ideia de que o resíduo ao ser incorporado à massa cerâmica desempenha a função de fundente.

Quanto à resistência à flexão, para todas as temperaturas de queima, as peças confeccionadas com teor de 15% de resíduo apresentaram a maior resistência mecânica. O maior valor observado foi de 23,4 MPa para a temperatura de 1100°C.

Ainda, todas as amostras apresentaram valores de absorção de água dentro dos limites (8 a 22%) estabelecidos pela norma vigente para a fabricação de blocos cerâmicos. Entretanto, apenas as amostras queimadas em temperatura igual ou maior que 1000 °C apresentaram valor de absorção de água (limite de 20%) estabelecido pela norma vigente para a confecção de telhas.

Assim, com base nos resultados encontrados neste trabalho, conclui-se, que a adição de resíduo de alumina eletrofundida na formulação da massa argilosa é uma alternativa promissora para a destinação deste material.

## 8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a realização deste trabalho, foi possível notar que há uma carência de literatura a respeito da incorporação de resíduo de alumina eletrofundida à cerâmica vermelha. Desta forma, para trabalhos futuros é recomendável que seja feita a caracterização completa do resíduo de alumina eletrofundida.

Também é de grande valia a realização do estudo estatístico através da distribuição de Weibull.

Por fim, recomenda-se a confecção de amostras com maiores teores de resíduo incorporado, com a finalidade de avaliar qual é o máximo teor de rejeito que pode ser agregado à massa cerâmica sem prejudicar as propriedades físicas, químicas e mecânicas do produto final.



## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR - 5017. **Produtos refratários densos: Determinação da densidade de massa, porosidade aparente e porosidade real.** Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. NBR – 7181. **Determinação da Análise Granulométrica dos solos.** Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. NBR - 15270-1. **Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria e vedação – Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR – 15310. **Componentes cerâmicos: Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2005.

ABCERAM. Associação Brasileira de Cerâmicas. **Informações técnicas - definição e classificação.** Disponível em: < <http://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/> >. Acesso em: 9 de maio de 2017.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Cerâmicas. **Informações técnicas - definição e classificação.** Disponível em: < <http://abceram.org.br/ceramica-vermelha/> >. Acesso em: 22 de junho de 2018.

AMARAL, L. F. **Formulação de massa cerâmica para fabricação de telhas.** 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado). Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2016.

ANICER. Associação Nacional da Indústria de Cerâmica. **Cerâmica Sustentável.** Disponível em: < <http://ceramicasustentavel.anicer.com.br/> >. Acesso em: 9 de maio de 2017.

ASTM. C 373. **Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products.** 1977.

\_\_\_\_\_. C 1161-90. **Standard Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature.** American Society for Testing and Materials Annual Book of Standards, v. 15, p. 333-339, 1990.

BIGELLI, V.; SOUTO, P.M. Reaproveitamento do Resíduo Gerado na Produção de

Alumina Eletrofundida em Cerâmica Vermelha. **In:** SICITE, 2015.

CABRAL JUNIOR, M.; MOTTA, J. F. M.; ALMEIDA, A. dos S.; TANNO, L. C. Argilas para Cerâmica Vermelha. **In:** CIMINELLI, R. R. **Rochas e minerais industriais**. CETEM/MCT, 2007. cap 28.

CANDIDO, C. A. H.; SOUTO, P.M. Reaproveitamento do Resíduo Gerado na Produção de Alumina Eletrofundida em Cerâmica Vermelha. **In:** SICITE, 2015.

CARGNIN, M.; SOUZA, S. M. A. G.; SOUZA, A. A. U.; A. J., Determinação de parâmetros cinéticos da sinterização de revestimentos cerâmicos de monoqueima do tipo Blla, **Revista Cerâmica Industrial**, v. 57 p. 461-466. 2011.

CARREIRO, M. E. A.; SANTOS, R. C.; SILVA, V. J.; LIRA, H. L.; NEVES, G. A., MENEZES, R. R.; SANTANA, L. N. L. Resíduo de quartzito-matéria-prima alternativa para uso em massas de cerâmica estrutural. **Cerâmica**, V. 62, N. 362, P. 170-178, 2018.

CHIAVERINI, V. **Metalurgia do pó: técnica e produtos**. 4. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 326 p., 2001

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº313** de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 20 de outubro de 2002.

CONSTANTINO, V. R. L.; ARAKI, K.; DE OSILVA, D.; DE OLIVEIRA, W. Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. **Química Nova**, v. 25, n. 3, p. 490-498, 2002.

CRUZ, R. T. BERGMAN, C. P. BRAGANÇA. S. R. Technical characterization of plastic clay from Pantano Grande, RS, Brazil. **Revista Cerâmica**, v.58, p. 66-70, 2012.

GAIDZINSKI, R. **Estudo do Sazonamento de Argilas para a Utilização na Indústria Cerâmica**. 2006. 179 f. Tese (Doutorado) Ciência em Engenharia Metalúrgica e de Materiais), Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro-RJ.

GOBBO, Luciano de Andrade. **Os compostos de clínquer Portland: sua caracterização por difração de raios X e quantificação por refinamento de Rietveld**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GOMES, Patrícia G.; CARDOSO, Isabela C.; SOUZA, Melina S. de; BROCHADO, Marina R. Análise da absorção de resíduos industriais por cerâmicas vermelhas. In: X Congresso Nacional de excelência em gestão, Rio de Janeiro, 2014.

GRUN, Elayne. **Caracterização de argilas provenientes de Canelinha/SC e estudo de formulações de massas cerâmicas**. 2007. 74 f. Dissertação (Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Tecnológicas (CCT). Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2007.

INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA. Inorganic Crystal Structure Database. **Hidrogênio aluminossilicato (Ficha ICDD: 80-1387)**. Chemical Database Service. Disponível em: <<https://cds.dl.ac.uk/cds/datasets/crys/icsd/llicsd.html>>. Acesso em: 03 de maio de 2018.

\_\_\_\_\_. Inorganic Crystal Structure Database. **Quartzo (Ficha ICDD: 83-2466)**. Chemical Database Service. Disponível em: <<https://cds.dl.ac.uk/cds/datasets/crys/icsd/llicsd.html>>. Acesso em: 03 de maio de 2018.

MARIANI, F. Q.; VILLALBA, J. C.; ANAISSI, F. J. Caracterização estrutural de argilas utilizando DRX com Luz Síncrotron, MEV, FTIR e TG-DTG-DTA. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v. 5, n. 4, p. 249-256, 2014.

MENDES, Paulo Gedeão. **Estudo da cinética de sinterização em sistemas nanoparticulados de SnO<sub>2</sub>**. 2009. 74 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Caracterização de Materiais) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

MENEZES, R. R.; MARQUES, L. N.; SANTANA, L. N. L.; KIMINAMI, R. H. G. A.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. S. Uso de resíduo da produção de alumina eletrofundida na produção de blocos e telhas cerâmicos. **Cerâmica**, São Paulo, v. 56, n. 339, 2010.

MINERAIS DO PARANÁ (MINEROPAR). **A preparação de Argilas para a Produção de Telhas e Blocos Cerâmicos**. Pró-cerâmica. Curitiba: MINEROPAR, 2007.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico do setor de**

**transformação de não metálicos**, 2017. Disponível em <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732813/ANU%C3%81RIO+N%C3%83O-METALICOS+2017+27.03.2018.pdf/d20dce50-bfe8-4718-8924-129038887835>

MOTTA, J. F. M.; CABRAL JR, M.; TANNO, L. C.; ZANARDO, A. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte II: Os Minerais Industriais e as Massas da Cerâmica Tradicional. **Cerâmica Industrial**, v.7, n. 1, Janeiro/Fevereiro, 2002.

MURRAY, H. H. Developments in Clay Science: Applied Clay Mineralogy. Amsterdam: **Elsevier Science**, v. 2, p. 141-145, 2006.

NICOLITE, M.; DELAQUA, G. C. G.; AMARAL, L. F.; VERNILLI, F.; VIEIRA, C. M. F. Efeito da incorporação de resíduo da etapa de produção da alumina eletrofundida nas propriedades da cerâmica vermelha. **In: 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica**. 614-621p. 2016.

NICOLITE, M. **Aproveitamento de resíduo da produção de alumina eletrofundida em cerâmica vermelha**. 2017. 106 f. Tese (Doutorado). Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2017.

PATRICIO, S. M. R.; FIGUEIREDO, S. S.; BEZERRA, I. M. T. NEVES, G. A. FERREIRA, H. C. Blocos solo-cal utilizando resíduo da construção civil. **Cerâmica**. p. 27-33 v. 59, 2013.

PINTO, R.B.S **Estudo do efeito da substituição parcial da sucata de ferro na produção de óxido de alumínio fundido marrom em fornos elétricos a arco a partir da bauxita pelo subproduto ferro-silício**. 2015. 78f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso). Engenharia química – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade, 2015.

PRACIDELLI, S., MELCHIADES, F.G. A importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 1-2, p 31-35, 1997.

REED, J. S. **Principles of ceramics processing**. 2. ed. 1995.

SANTOS, M. S.; YAMANAKA, H, T; PACHECO, C. E. M. **Bijuterias**. Série P+L. São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: < <http://consumosustentavel.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/39/2013/11/bijuterias.pdf> >. Acesso em: 9 de maio de 2017.

SANTOS, P. de S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, v. I, 1989.

SILVERIO, G.R. **Aglomerção de finos gerados em fornos de eletrofusão de alumina**. 2017. 59f. Monografia. (Trabalho de Conclusão de Curso). Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo, Lorena, SP., 2017

SOKEN, E. M. **Reaproveitamento do gesso descartado na construção civil em cerâmica vermelha**. 2015. 41f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Pr, 2015.