

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MAIQUE HENRIQUE ORLANDIN**

**AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DE ARGILA UTILIZADA NA FABRICAÇÃO DE**  
**PRODUTOS DE CERÂMICA VERMELHA**

**São Leopoldo**

**2018**

MAIQUE HENRIQUE ORLANDIN

**AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DE ARGILA UTILIZADA NA FABRICAÇÃO DE  
PRODUTOS DE CERÂMICA VERMELHA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil em 2018, pelo Curso de  
Engenharia Civil da Universidade do Vale  
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak

São Leopoldo

2018

Dedico este trabalho à minha família, aos meus pais, Gilberto e Marelisse, e a minha irmã Letícia, que sempre estiveram ao meu lado, que acreditaram no meu potencial e contribuíram com essa conquista.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus, por mais essa conquista e por todas as coisas maravilhosas que me colaste à disposição. Pela força de todos os dias para enfrentar as dificuldades, indicando o caminho certo e me ensinando a praticar o bem. Agradeço a Ele por me dar a vida e por me tornar um ser humano melhor.

Agradeço aos meus pais, Gilberto e Marelisse, por todo apoio e incentivo ao longo de todos esses anos, acreditando e confiando em mim e me guiando para mais esta conquista. Eu agradeço a vocês por serem os melhores pais do mundo, por se dedicarem e me concederem a oportunidade de estudar e alcançar uma boa formação profissional e pessoal. Eu dedico esta conquista a vocês.

À minha irmã Letícia, minha melhor amiga, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos em que mais precisei. Pela participação, dedicação e apoio na construção deste trabalho. Por todos os conselhos que me deste para chegar até aqui.

À minha namorada Johana, pela motivação de todo dia para concluir esta etapa tão importante. Agradeço o companheirismo e a dedicação, me ajudando a enfrentar os obstáculos e servindo como fonte inspiradora.

Aos amigos que fiz ao longo da graduação, que se empenharam ao meu lado para superarmos os desafios ao longo do curso. Aos demais amigos, que de forma direta e indireta, participaram e me ajudaram nos momentos de distração, que motivaram a superar as dificuldades.

Ao professor orientador Cláudio, pelos conselhos e orientação, oferecendo seus vastos conhecimentos na área dos materiais cerâmicos.

À Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), pela oportunidade, oferecendo a realização das atividades laboratoriais, metodológicas e de pesquisa.

Aos colegas do laboratório, que se dedicaram e se interessaram para a realização dos ensaios, compartilhando conhecimentos.

E, por fim, à Indústria Cerâmica Orlandin Ltda, pelo apoio e disponibilização de sua matéria-prima indispensável para a realização dos nossos estudos.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso,  
ao esforço, à dedicação, não existe meio termo.

Ou você faz bem feito ou não faz.”

Airton Senna.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estudar a matéria-prima empregada nas massas da indústria cerâmica vermelha, com a finalidade de buscar informações que venham a beneficiar a obtenção de produtos com qualidade. Um bom estudo pode propiciar à indústria melhorias no seu processo produtivo, assim como possíveis formulações de misturas de diferentes argilas. A pesquisa revela ainda, que mesmo nos dias atuais de grandes avanços tecnológicos, muitas empresas do setor não fazem uma avaliação das características das argilas utilizadas e desconhecem as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos seus produtos. Por isto, o estudo também compreende verificar a influência da temperatura de queima nestas propriedades. Para o desenvolvimento do trabalho, foram realizados ensaios de caracterização de uma amostra de argila, utilizada na Cerâmica Orlandin Ltda. O experimento incidiu na preparação da amostra para ensaios de granulometria, fluorescência de raio-x e limites de Atterbeg. Corpos de prova foram moldados por extrusão, secados e sinterizados nas temperaturas de 750°C, 850°C e 950°C, com ciclo de queima de 10 horas e uma taxa de aquecimento de 2°C/min. Os resultados experimentais demonstraram que o aumento de temperatura influenciou nas propriedades dos materiais cerâmicos. Com o acréscimo da temperatura, se obteve um aumento de retração linear, de massa específica e de índice de absorção inicial. Com o aumento da temperatura, a absorção de umidade diminuiu e elevou a resistência mecânica à flexão. Por fim, os resultados encontrados foram satisfatórios em todas as temperaturas e atingiram os parâmetros determinados pelas normas vigentes.

**Palavras-chave:** Cerâmica Vermelha. Argilas. Caracterização. Queima.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de Winkler.....	27
Figura 2 - Fluxograma do processo de fabricação da cerâmica vermelha .....	29
Figura 3 - Sazonamento.....	31
Figura 4 - Caixa Alimentador.....	32
Figura 5 - Misturador .....	32
Figura 6 - Laminador .....	33
Figura 7 – Extrusora (Maromba) .....	34
Figura 8 - Boquilha .....	35
Figura 9 - Corte .....	36
Figura 10 - Secagem Natural .....	38
Figura 11 - Secagem Artificial .....	39
Figura 12 - Variação da retração de secagem em função da água de conformação – curva de Bigot. ....	40
Figura 13 - Curva de Queima típica de Produtos de Cerâmica Vermelha.....	42
Figura 14 - Forno Caieira .....	45
Figura 15 - Forno Paulista .....	46
Figura 16 - Forno Abóboda .....	46
Figura 17 - Forno Garrafão.....	47
Figura 18 - Forno Hoffmann .....	48
Figura 19 - Esquema de funcionamento de um forno túnel.....	49
Figura 20 - Limites de Atterberg para extrusão .....	50
Figura 21 – Fluxograma do programa experimental.....	52
Figura 22 - Amostra de argila .....	54
Figura 23 - Ensaio de Sedimentação e Granulometria.....	56
Figura 24 - Aparelho de Casa Grande .....	57
Figura 25 - Extrusão dos corpos de prova .....	58
Figura 26 - Processo de Queima.....	59
Figura 27 - Ensaio de Absorção de Água.....	61
Figura 28 - Ensaio de Absorção Inicial.....	62
Figura 29 - Resistência Mecânica à Flexão .....	63
Figura 30 - Diagrama de Winkler com a localização da amostra .....	69
Figura 31 - Extrusão a partir dos limites de Atterberg .....	71

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Análise Termogravimétrica (TGA) .....	67
Gráfico 2 - Análise Térmica Diferencial (DTA).....	67
Gráfico 3 - Distribuição granulométrica da matéria-prima .....	68
Gráfico 4 - Limite de Liquidez.....	71
Gráfico 5 - Gráfico de Absorção de Água (AA).....	72
Gráfico 6 - Gráfico do Índice de Absorção Inicial (AAI) .....	73
Gráfico 7 - Gráfico da Retração Linear após a Queima (RLq).....	74
Gráfico 8 - Gráfico da Massa Específica Aparente (MeA) .....	75
Gráfico 9 - Gráfico da Resistência Mecânica à Flexão.....	76
Gráfico 10 - Absorção de Água x Resistência Mecânica à Flexão .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição granulométrica dos produtos cerâmicos.....	27
Tabela 2 - Composição Química da argila .....	65
Tabela 3 - Resultados da composição granulométrica.....	70
Tabela 4 - Resultados tecnológicos após processo de queima.....	77

## LISTA DE SIGLAS

°C	Graus Celsius
µm	Micrometro
AA	Absorção de Água
AAI	Índice de Absorção Inicial
ABC	Associação Brasileira de Cerâmica
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AG	Análise Granulométrica
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Alumínio
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
APICER	Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica
CaO	Óxido de Cálcio
CPs	Corpos de Prova
CTGAS-ER	Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis
DTA	Análise Térmica Diferencial
F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Ferro (III)
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FeO	Óxido de Ferro (II)
FRX	Fluorescência de Raio X
G	Gramas
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IP	Índice de Plasticidade
K <sub>2</sub> O	Óxido de Potássio
Kcal	Kilocaloria
LCVMAT	Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
m <sup>3</sup>	Metro Cúbico
ME	Massa Específica
MEA	Massa Específica Aparente

MgO	Óxido de Magnésio
MnO	Óxido de Manganês
MPa	Megapascal
m <sub>s</sub>	Massa seca
um	Massa úmida
Na <sub>2</sub> O	Óxido de Sódio
NBR	Normas Brasileiras de Regulamentação
PF	Perda ao Fogo
RL	Retração Linear
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SINDICER/RS	Sindicato das Indústrias de Olaria e de Cerâmica para a Construção no Estado do Rio Grande do Sul
SiO <sub>2</sub>	Óxido de Silício
t/mês	Toneladas por mês
TG	Análise Termogravimétrica
TiO <sub>2</sub>	Dióxido de Titânio

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	15
1.2 PROBLEMA .....	15
1.3 OBJETIVOS .....	15
<b>1.3.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>16</b>
1.4 JUSTIFICATIVA .....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
2.1 A INDÚSTRIA CERÂMICA VERMELHA .....	18
<b>2.1.1 Cerâmicas no Brasil</b> .....	<b>19</b>
2.2 PRODUTOS CERÂMICOS .....	20
2.3 MATÉRIA-PRIMA .....	20
<b>2.3.1 Argila</b> .....	<b>21</b>
2.3.1.1 Propriedades da argila .....	22
2.3.1.2 Constituintes da argila .....	23
2.3.1.3 Importância da composição das argilas nas massas cerâmicas .....	26
2.4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DA INDÚSTRIA CERÂMICA .....	28
<b>2.4.1 Exploração e Sazonamento</b> .....	<b>30</b>
2.4.1.1 Sazonamento .....	30
<b>2.4.2 Preparação da massa</b> .....	<b>31</b>
2.4.2.1 Caixão Alimentador .....	31
2.4.2.2 Misturador .....	32
2.4.2.3 Laminador .....	33
<b>2.4.3 Extrusão</b> .....	<b>33</b>
2.4.3.1 Extrusora (Maromba) .....	34
2.4.3.2 Boquilha .....	35
2.4.3.3 Corte .....	35
<b>2.4.4 Sistemas de Secagem</b> .....	<b>36</b>
2.4.4.1 Tipos de secagem .....	37
2.4.4.1.1 <i>Secagem Natural</i> .....	37
2.4.4.1.2 <i>Secagem Artificial</i> .....	38
2.4.4.2 Retração .....	39

<b>2.4.5 Sistema de Queima</b> .....	<b>41</b>
2.4.5.1 Curva de Queima .....	42
2.4.5.2 Combustão .....	44
2.4.5.3 Tipos de Fornos .....	44
2.4.5.3.1 Fornos intermitentes.....	44
2.4.5.3.2 Fornos contínuos.....	47
2.5 PROPRIEDADES DA CERÂMICA VERMELHA .....	49
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>52</b>
3.1 MATÉRIA-PRIMA .....	53
<b>3.1.1 Argila</b> .....	<b>53</b>
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA .....	53
<b>3.2.1 Características Químicas</b> .....	<b>54</b>
3.2.1.1 Fluorescência de Raio X .....	54
<b>3.2.2 Análise Térmica</b> .....	<b>54</b>
<b>3.2.3 Características Físicas</b> .....	<b>55</b>
3.2.3.1 Análise Granulométrica .....	55
3.2.3.2 Limites de Atterberg .....	56
3.3 EXTRUSÃO.....	58
3.4 SECAGEM .....	58
3.5 PROCESSO DE QUEIMA .....	59
3.6 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS APÓS PROCESSO DE QUEIMA .....	60
<b>3.6.1 Absorção de Água</b> .....	<b>60</b>
<b>3.6.2 Índice de Absorção Inicial</b> .....	<b>61</b>
<b>3.6.3 Retração Linear</b> .....	<b>62</b>
<b>3.6.4 Massa Específica Aparente</b> .....	<b>62</b>
<b>3.6.5 Resistência Mecânica à Flexão</b> .....	<b>63</b>
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>65</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA .....	65
<b>4.1.1 Caracterização Química</b> .....	<b>65</b>
4.1.1.1 Fluorescência de Raio X .....	65
<b>4.1.2 Análise Térmica</b> .....	<b>66</b>
<b>4.1.3 Caracterização Física</b> .....	<b>68</b>
4.1.3.1 Análise Granulométrica .....	68
4.1.3.2 Diagrama de Winkler.....	69

4.1.3.3 Limites de Atterberg .....	70
4.2 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS APÓS PROCESSO DE QUEIMA .....	72
<b>4.2.1 Absorção de Água.....</b>	<b>72</b>
<b>4.2.2 Índice de Absorção Inicial .....</b>	<b>73</b>
<b>4.2.3 Retração Linear de Queima .....</b>	<b>74</b>
<b>4.2.4 Massa Específica Aparente .....</b>	<b>75</b>
<b>4.2.5 Resistência Mecânica à Flexão .....</b>	<b>75</b>
4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS APÓS A QUEIMA.....	76
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>80</b>
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	82
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE A - PLANILHA DA GRANULOMETRIA.....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE B - PLANILHAS DOS LIMITES DE ATTERBERG.....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE C - PLANILHA DE DADOS APÓS A QUEIMA COM 750°C.....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE D - PLANILHA DE DADOS APÓS A QUEIMA COM 850°C.....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE E - PLANILHA DE DADOS APÓS A QUEIMA COM 950°C .....</b>	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as indústrias do ramo de cerâmica vermelha são formadas principalmente por micro e pequenas empresas, possuindo como características predominantes uma estrutura organizacional simples e familiar, com baixa capacidade de produção, sendo esta baseada apenas na experiência. Tais características acabam se tornando um entrave para inovações tecnológicas, dificultando o seu desenvolvimento organizacional. Os produtos predominantes do setor são constituídos por telhas, tijolos e blocos cerâmicos de vedação e estrutural (MEDEIROS, 2006).

De acordo com os dados da Associação Nacional da Indústria Cerâmica – ANICER (2018), o mercado nacional conta atualmente com 6.903 fábricas de cerâmica, gerando 293.000 empregos diretos e 900.000 indiretos, contabilizando um faturamento anual de R\$ 18 bilhões, que representa 4,8% do faturamento da indústria da construção civil.

O Estado do Rio Grande do Sul é o terceiro maior produtor de cerâmica vermelha do país, com uma produção média estimada em 356.000 peças por mês, o que representa 10,2% da produção nacional, por meio de 708 empresas. A produção estadual é composta de 60% de blocos, 30% de telhas e 10% de pisos e lajotas. O setor cerâmico do estado processa em torno de 700.000 t/mês de argila, produzindo uma totalidade de 605.000 t/mês de produto acabado. O faturamento médio mensal do setor no estado é de R\$90.000,00, mesmo que possuam empresas com faturamento muito maior, em função da sua grandiosidade de produção (INT, 2012).

Segundo o Sindicato das Indústrias de Olaria e de Cerâmica para a Construção – SINDICER (2008), o setor cerâmico tem uma dependência direta com o da construção civil, uma vez que este é o principal responsável pelo crescimento geral da economia no país. Em um mercado extremamente competitivo, o controle de qualidade se tornou cada vez mais intenso, sendo que a qualidade da produção influencia diretamente no produto acabado. Logo, o processo produtivo na indústria cerâmica vermelha, mesmo sendo considerado simples, é de extrema importância que cada etapa do processo seja muito bem executada e conseqüentemente aprimorada.

## 1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho visa estudar a matéria-prima utilizada na indústria Cerâmica Orlandin Ltda. Este estudo é composto por uma análise física, química e térmica das argilas utilizadas, com o intuito de conhecer as suas propriedades e alcançar melhores resultados de produção, bem como características finais das peças mais adequadas. A influência da temperatura no processo de sinterização será avaliada em diferentes ciclos de queima da massa cerâmica, visando otimizar as propriedades dos materiais cerâmicos.

## 1.2 PROBLEMA

O produto cerâmico é um material muito utilizado na construção civil, mas, em muitas situações aparece com falta de conformidade. Isso ocorre pelo fato de desconhecimento técnico e falta de acompanhamento profissional. Pode-se citar inicialmente a situação da matéria-prima, que não tem um controle de qualidade na extração, exploração nas jazidas e nem uma análise física que indicaria como o material se comporta ao ser processado. O fabricante, na maioria das situações, desconhece os componentes químicos da argila, sua granulometria e sua classificação. Por consequência disto, não consegue homogeneização nas misturas das argilas e não sabe a dosagem correta para obter uma massa com plasticidade adequada. O mesmo problema aparece no processo de queima, do qual, em muitos casos, não se conhece ou são efetuadas de forma ineficiente questões como temperatura e tempo de queima, que são muito importantes para a qualidade do produto (SINDICER, 2008).

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho objetiva conhecer e estudar as características das argilas utilizadas em uma indústria cerâmica vermelha, no estado do Rio Grande do Sul e analisar a influência da temperatura de queima nas propriedades da cerâmica,

visando uma contribuição na melhoria do processo e um melhor aproveitamento tecnológico de suas características.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Especificamente, os seguintes objetivos do trabalho são apresentados:

- Caracterizar a argila por meio de uma análise física, química e térmica;
- Estudar a influência da temperatura de queima nas propriedades da cerâmica;
- Avaliar as propriedades da cerâmica geradas a partir da queima.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

O setor da indústria cerâmica tem um grande potencial de desenvolvimento e vem crescendo num ritmo intenso, devido à expansão da construção civil, nos últimos anos. Este avanço propicia grandes demandas de produtos cerâmicos, fazendo com que cada vez mais as empresas invistam em tecnologias de processos, buscando a melhoria de seus produtos e tendo um melhor aproveitamento dos seus insumos. (COELHO, 2009).

De acordo com dados da SINDICER (2008), a grande maioria das empresas do ramo cerâmico não possui um responsável técnico especializado na área e as atividades são desenvolvidas pelo método empírico. Além disso, 52,4% destas não têm conhecimento, nem cópia de alguma das normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Este dado é muito preocupante para o setor, pois reflete diretamente na questão da qualidade final dos produtos e dos seus compromissos com o consumidor.

Nos últimos anos, a construção civil tem enfrentado diversas mudanças na questão da qualidade, já que o mercado está mais competitivo e mais exigente. Logo, a utilização de alguns produtos é dificultada pelo fato da não conformidade dos materiais, de acordo com as normas vigentes. (MEDEIROS, 2006).

Na busca por materiais de qualidade, a indústria de cerâmica vermelha necessita de estudos das massas empregadas na sua produção. Atualmente, as empresas do setor não fazem uma avaliação das características das argilas

utilizadas e desconhecem suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Para a melhoria da massa de extrusão são necessárias formulações de misturas e melhorias no processo produtivo. (SILVA e MACEDO, 2010).

Existe uma variabilidade muito grande de matéria-prima, por isso é necessário a caracterização da argila e o estudo de todas as suas características que indicarão quais os produtos que podem ser fabricados. Argilas diferentes geram produtos diferentes, e com os resultados encontrados, pode se estabelecer misturas adequadas com outras argilas, assim como ciclos de queimas e temperaturas que deverão ser implantadas para o produto pretendido (OLIVEIRA, 2011).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A INDÚSTRIA CERÂMICA VERMELHA

A indústria cerâmica é caracterizada pela atividade de produção de artefatos a partir da argila que, umedecida, torna-se plástica e facilmente moldável. Após a moldagem, a peça passa por um processo de secagem para a retirada da maior parte da água e é submetida a altas temperaturas para a sua sinterização, que lhe atribuem rigidez e resistência. (ANICER, 2018).

Descobertas arqueológicas apontam que as primeiras construções foram erguidas na Mesopotâmia, compreendidas entre os rios Tigres e Eufrates. De maneira inicial, os blocos cerâmicos eram utilizados no estado seco, sem que fossem submetidos ao processo de queima. Posteriormente, estes blocos cerâmicos passaram a ser queimados e usados para revestimento externo das grandes construções, de tal modo que protegessem a camada interna construída com os blocos secos. (SINDICER, 2018).

Na Europa, até o final do século XIX, ainda não havia sofrido mudanças no sistema produtivo, a produção ainda era manual, a secagem era feita ao sol e a queima realizada em fornos. A partir da Revolução Industrial, veio a introdução da primeira máquina à vapor, que tornou possível a mecanização da preparação da massa cerâmica e da extrusão dos elementos. Conquista importante, que propiciou um salto de quantidade e qualidade de produção. (SANTOS, 2001).

Os componentes cerâmicos são os materiais mais antigos produzidos pelo homem, existindo há cerca de 10 a 15 mil anos. São materiais resistentes e são encontrados com certa frequência em escavações arqueológicas. A produção de artefatos cerâmicos é uma atividade a partir da argila, a qual em contato com água se torna plástica e facilmente moldável. Depois de submetida a uma secagem e, posteriormente, a uma queima em temperaturas em torno de 1000°C, a cerâmica adquire rigidez e resistência, mediante a fusão de certos componentes da massa. (SINDICER, 2018).

### 2.1.1 Cerâmicas no Brasil

No Brasil, o setor de cerâmica vermelha teve origem no século XVI, inicialmente nos estados da Bahia e Pernambuco, se espalhando para os demais estados do país, em diversas formas e técnicas de fabricação. (ALMEIDA, 2009).

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica – ABC (2018), atualmente, os maiores produtores cerâmicos encontram-se nas regiões Sul e Sudeste, onde melhor se desenvolveram em razão de uma melhor infraestrutura, maior atividade industrial, maior facilidade de matérias-primas, além de universidades e centros de pesquisa.

A indústria cerâmica vermelha brasileira é composta por 6.903 empresas, responsáveis pela fabricação de blocos, telhas e tubos cerâmicos. É o principal fornecedor de materiais para as edificações, coberturas e saneamentos. Mensalmente são produzidos no país aproximadamente 4 bilhões de unidades de blocos e 1 bilhão de peças de telhas. As peças brasileiras abastecem os mercados regionais, bem como países vizinhos que já conhecem o potencial, a qualidade e a resistência dos produtos da indústria brasileira. (ANICER, 2018).

No Rio Grande Sul, 65% das indústrias foram criadas na década de 80, evidenciando que, boa parte dos empreendimentos mais antigos, não perdurou. Apenas 6% das empresas gaúchas não apresentam administração familiar e as vendas são destinadas em 54% para lojas e revendedoras de materiais de construção e 46% para consumidor final. A distribuição das indústrias apresenta uma particular concentração na região nordeste do estado, no entorno das regiões com maior densidade populacional. (INT, 2012).

Uma pesquisa realizada pela SINDICER (2008) aponta que 90% das empresas gaúchas não fazem controle tecnológico, não realizam análise física e química da argila e desconhecem a sua granulometria. Controles realizados para a qualidade do produto como, por exemplo, controle dimensional, controle de desvio em relação ao esquadro e controle de peso das peças, na grande maioria não são efetuados e registrados. Um dos controles de qualidade que deve ser verificado é o controle de resistência mecânica e absorção de água, o que não ocorre em 87% das empresas no estado.

## 2.2 PRODUTOS CERÂMICOS

Para a Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica – APICER (2009), os tijolos cerâmicos podem ser classificados conforme as suas características e quanto ao tipo de aplicação.

Quanto às características:

- **Maciço** - componente de alvenaria que possui todas as faces plenas de material;
- **Perfurado** – componente de alvenaria cujos furos verticais são distribuídos em toda a sua face de assentamento;
- **Furado** – componentes de alvenaria não participante da estrutura, que possui furos ou vazados prismáticos perpendiculares às faces que os contêm.

Quanto ao tipo de aplicação:

- **Face à vista** – tijolos cujo destino é ficarem aparentes, no interior ou exterior da construção;
- **Enchimento** – tijolos sem função resistente, para além do seu peso próprio;
- **Estrutural** – tijolos com função estrutural na construção.

## 2.3 MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada na indústria cerâmica vermelha tradicional é de origem natural, encontrada em depósitos espalhados pela crosta terrestre. Após a mineração, estes materiais devem ser processados de tal modo que sejam desagregados ou moídos e classificados de acordo com a sua granulometria. Os materiais cerâmicos são fabricados a partir da composição de dois ou mais tipos de argilas, com características diferentes na sua composição. Durante o processo de produção, essas argilas são misturadas e recebem uma dosagem que deve seguir, com rigor, para as formulações das massas previamente estabelecidas. (ABC, 2018).

### 2.3.1 Argila

São sedimentos geológicos resultantes da decomposição de rochas silicosas e aluminosas pela ação atmosférica. São essencialmente silicatos de alumínio, contendo ferro, cálcio e magnésio. A argila é um mineral terroso, de granulometria muito fina. Quando umedecida com certa quantidade de água, adquire certo grau de plasticidade suficiente para ser moldável e que a perde temporariamente pela secagem e permanente pela queima. (OLIVEIRA, 2011).

As argilas são resultantes dos efeitos da erosão, transportadas pela ação das águas e do vento até que a energia destes meios não for mais suficiente para os transportarem. Na maioria dos casos a água é o principal meio de transporte, onde o processo todo é dominado pela força da gravidade e as argilas acabam depositadas e compactadas, originando um depósito argiloso. (COSTA, 2016).

A aplicação da argila como matéria-prima é muito utilizada na agricultura e também em várias indústrias, tais como, cerâmicas, papel, metalúrgica e petrolífera. As propriedades úteis da argila advêm dos minerais argilosos, constituídos de grãos finos, com diâmetro equivalente  $\leq 2\mu\text{m}$ , com estrutura cristalina perfeita ou quase perfeita. Por meio de técnicas de aplicação como fluorescência de raios X, análise térmica gravimétrica e diferencial, microscopia eletrônica, possibilita a identificação, caracterização e classificação dos minerais, além da distinção tecnicamente entre minerais argilosos e argila. (GOMES, 1986).

As argilas utilizadas na indústria cerâmica vermelha são conhecidas na literatura como argilas comuns e que abrangem uma grande variedade de minerais de natureza argilosa. Queimam em cores avermelhadas, com temperaturas compreendidas entre 800°C e 1000°C. Possuem granulometria fina, com matéria orgânica incorporada, que proporciona diferentes graus de plasticidades quando adicionada água, além de trabalhabilidade, resistência a seco após queima, tornando uma fabricação com variabilidade muito grande de produtos cerâmicos. (CABRAL JUNIOR *et. al.*, 2005).

A argila é constituída basicamente de argilominerais, mas também contém outros minerais como quartzo, mica, hematita, matéria orgânica e outras impurezas. Os argilominerais são minerais característicos das argilas, contendo outros elementos como ferro, potássio, lítio e outros. Características dos argilominerais são responsáveis por uma série de propriedades às argilas como, por exemplo,

plasticidade, retração linear, resistência mecânica e compactação, o que explica a sua aplicação em variadas tecnologias. Os principais argilominerais são caulinita, illita e montmorilonita. (ABC, 2018).

### 2.3.1.1 Propriedades da argila

Segundo Gomes (1986), as propriedades da argila são decorrentes das suas próprias características, tais como:

- **Granulometria:** define dimensão, forma e distribuição dimensional dos grãos, sendo uma das características mais importantes, que governam muitas propriedades da argila como plasticidade e resistência;
- **Composição química e mineralógica:** determinam argilominerais e impurezas presentes, importantes para a previsão e entendimento do comportamento das argilas nas suas aplicações;
- **Troca catiônica:** um mineral argiloso pode adsorver e trocar cátions que resulta do desequilíbrio de suas cargas elétricas e podem influenciar nas propriedades físico-químicas das argilas.

Ainda de acordo com Gomes (1986), o uso da argila para a fabricação de uma série de produtos cerâmicos, se deve a suas principais propriedades como:

- **Plasticidade:** é uma propriedade que permite uma mudança de forma sem ruptura de uma massa feita com argila e água por aplicação de uma força;
- **Resistência mecânica:** corpos formados a partir de uma pasta de argila apresentam uma resistência mecânica no seu estado verde após ser moldado, no seu estado seco e após queima em temperaturas adequadas;
- **Retração:** é uma redução de tamanho que ocorre em um corpo cerâmico submetido à secagem, denominada retração ou contração. Ocorre a eliminação da água necessária para determinação da trabalhabilidade, que evapora e as partículas de argila vão procurando estabelecer melhores contatos entre si à medida que o filme de água que as envolvem vão desaparecendo.

- **Sinterização:** é uma propriedade que permite o processo de adensamento das partículas com redução dos poros mediante a uma aplicação térmica sobre o corpo, que proporciona resistência adequada ao uso.

### 2.3.1.2 Constituintes da argila

Em conformidade com Santos (1995), os elementos constituintes mais básicos da argila utilizada em cerâmica vermelha são os argilominerais, juntamente com minerais acessórios como sílica livre, sais solúveis, compostos de ferro, entre outros citados abaixo:

- **Argilominerais:** são minerais constituintes das argilas, compostos de silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, geralmente com porcentagens de alcalinos terrosos. Seus principais tipos são caulinitas, illitas e montmorilonitas.
  - a) **Caulinita:** principal argilomineral das composições argilosas, sendo responsável pela elevada resistência mecânica dos produtos cerâmicos. Na sua forma pura, é pouco utilizada na cerâmica vermelha, sendo misturada com outros tipos de argila;
  - b) **Illita:** apresenta uma composição muito plástica, de fácil moldagem e apresenta um bom desempenho na secagem. É muito utilizada para a fabricação de blocos, tijolos, telhas e lajotas;
  - c) **Montmorilonita:** é benéfica nas composições de argilas para a indústria cerâmica, favorecendo a plasticidade, a fusibilidade e a sinterização. Tem como característica ser expansiva por absorver grande quantidade de água. Seu uso sem mistura pode ocasionar problemas na moldagem, secagem e queima, causando trincas devido a sua alta plasticidade.
- **Óxido de ferro:** em pequenas quantidades, é responsável pela cor avermelhada dos produtos cerâmicos, além de diminuir a plasticidade.
- **Alumina:** responsável para que a argila suporte elevadas temperaturas sem se deformar.
- **Sílica livre:** tem como principal característica diminuir a retração de secagem e queima, além de facilitar a moldagem das peças.

- **Sais solúveis:** em elevados teores podem produzir manchas antes e após a queima.
- **Matéria-orgânica:** de origem vegetal, seu excesso pode causar trincas na secagem e na queima devido à retração. Durante a queima pode originar pontos pretos na superfície dos produtos.
- **Compostos de cálcio:** sulfatos de cálcio (gesso) e carbonato de cálcio (calcário) podem originar defeitos as peças cerâmicas por produzir aumento de volume.
- **Silicatos e fosfatos:** são fundentes, considerados benéficos quando utilizados em pequenas quantidades. Seu excessivo uso pode causar problemas de quebra das peças.

De acordo com a ABC (2018), outros componentes ainda podem ser citados, conforme as suas características principais:

- **Quartzo:** é uma das formas mais cristalinas da sílica ( $\text{SiO}_2$ ), sendo um dos minerais mais abundantes da crosta terrestre e normalmente é encontrado fragmentado em pequenas partículas formando grandes depósitos naturais de areia, resultantes de alterações das rochas. A areia é o resíduo da desagregação composta por grãos de quartzo e apresentam dimensões de 0,06mm a 2mm. Sua distribuição granulométrica permite que essas argilas não sofram contração durante a secagem e queima. Tem como característica reduzir a plasticidade, reduzir a resistência mecânica e produzir textura mais aberta facilitando a secagem e a liberação dos gases durante a queima.
- **Feldspato:** grupo de minerais semelhantes, normalmente compostos de silicatos de alumínio combinados com sódio, potássio ou cálcio, lítio e ocasionalmente com bário e cério. Dificilmente são encontrados puros e apresentados em mistura podem estar associados a outras impurezas. Para a indústria cerâmica são importantes por terem temperatura de fusão baixa e assim são empregados como geradores de massa vítrea nas peças cerâmicas.
- **Filitos cerâmicos:** é uma rocha metamórfica, laminada, composta por uma mistura de caulinita, mica moscovita finamente dividida e quartzo em

proporções variadas. Apresentam cores claras no seu estado natural e suas principais propriedades são a baixa plasticidade e a baixa resistência.

- **Talco:** é um silicato hidratado de magnésio. É utilizado como constituinte principal em massas de fabricação de isoladores elétricos, tendo como principal característica um baixo coeficiente de dilatação térmica. É empregado também em massas de corpos porosos para melhorar resistência mecânica e reduzir trincas de corpos vítreos.
- **Wollastonita:** é um silicato de cálcio fibroso que se comporta no material cru como inerte, na queima (980°C a 1050°C) como fundente e no resfriamento não apresenta os inconvenientes do quartzo, isto é, sensíveis reduções volumétricas.
- **Dolomita:** é o carbonato duplo de cálcio e magnésio, correspondendo a um teor teórico de 54,5% de carbonato de cálcio e 45,5% de carbonato de magnésio. É utilizada na fabricação de refratários e esmaltes.
- **Calcita:** é um carbonato de cálcio aplicado em massas calcárias com teores de umidade de até 30%. Proporciona corpos de elevada porosidade e, portanto, baixa resistência mecânica, mas tem a vantagem de apresentar corpos de baixa contração linear na queima, o que se torna muito conveniente para outras aplicações. Calcita é utilizada também para minimizar problemas de trincas na produção vidrados e cimento aluminoso.

No Brasil, o feldspato e o filito, descritos anteriormente, são os fundentes mais tradicionais. Entretanto, os ceramistas sempre estão em busca de novos materiais, como fonolito e algumas rochas potássicas que tem um menor teor de sílica e um elevado teor de álcalis, que permitem uma redução da temperatura de queima e porosidade do produto. Estas condições são de muita importância para a cerâmica vermelha, uma vez que além de baixar o custo, reduzem a absorção de água e aumentam a resistência mecânica. (ABC, 2018).

### 2.3.1.3 Importância da composição das argilas nas massas cerâmicas

Para serem adequadas ao processo de fabricação de produtos cerâmicos, as argilas devem, de modo geral, apresentar uma distribuição granulométrica conveniente, serem de fácil desagregação, apresentarem uma boa combinação entre materiais plásticos e não plásticos, para conferirem a peça uma boa resistência mecânica após a queima. No entanto, as argilas são materiais muito heterogêneos, tendo suas características definidas de acordo com a sua localização de extração e a sua formação geológica. Desse modo, se torna indispensável uma identificação das características físico-mineralógicas das argilas. (RAMOS *et. al.*, 2010).

As argilas são compostas de materiais argilosos e materiais não plásticos. Os materiais não plásticos são compostos por areias, micas e óxidos de ferro que atuam como agentes desplastificantes, reduzindo a plasticidade das composições quando misturadas com materiais argilosos. Sua introdução nas composições argilosas reduzem as contrações sofridas pela massa, tanto no processo de secagem, como no de queima. Para agirem de forma eficaz, devem apresentar granulometria acima de  $60\mu\text{m}$  e serem usadas em quantidades moderadas. Seu uso proporciona uma redução da interação das argilas plásticas com a água, causando uma descontinuidade nas forças de coesão entre as partículas, produzindo poros que facilitam a passagem da água do interior até a superfície da peça. As argilas plásticas, por apresentarem uma granulometria muito fina, quando processadas exclusivamente numa composição, tornam-se complicadas. Possuem um alto grau de compactação, dificultando a eliminação da água durante a secagem. Com isto, ocorre um aumento de umidade no interior do produto, causando fortes retrações e deformações, causando perdas ao processo produtivo. Neste caso, há uma necessidade de se fazer uma mistura entre estas argilas, com a finalidade de se obter uma distribuição granulométrica adequada ao processamento visando qualidade ao produto desejado. (PRACIDELI e MELCHIADES, 1997).

Tendo em vista que uma massa cerâmica não pode ser constituída somente de argilas plásticas, a solução é fazer uma composição granulométrica adequada, dosando-se grãos finos, médios e grossos. Para isto, o diagrama de Winkler nos orienta para um estudo da composição granulométrica das massas cerâmicas. A Figura 1 mostra o diagrama granulométrico de Winkler, com as regiões onde se

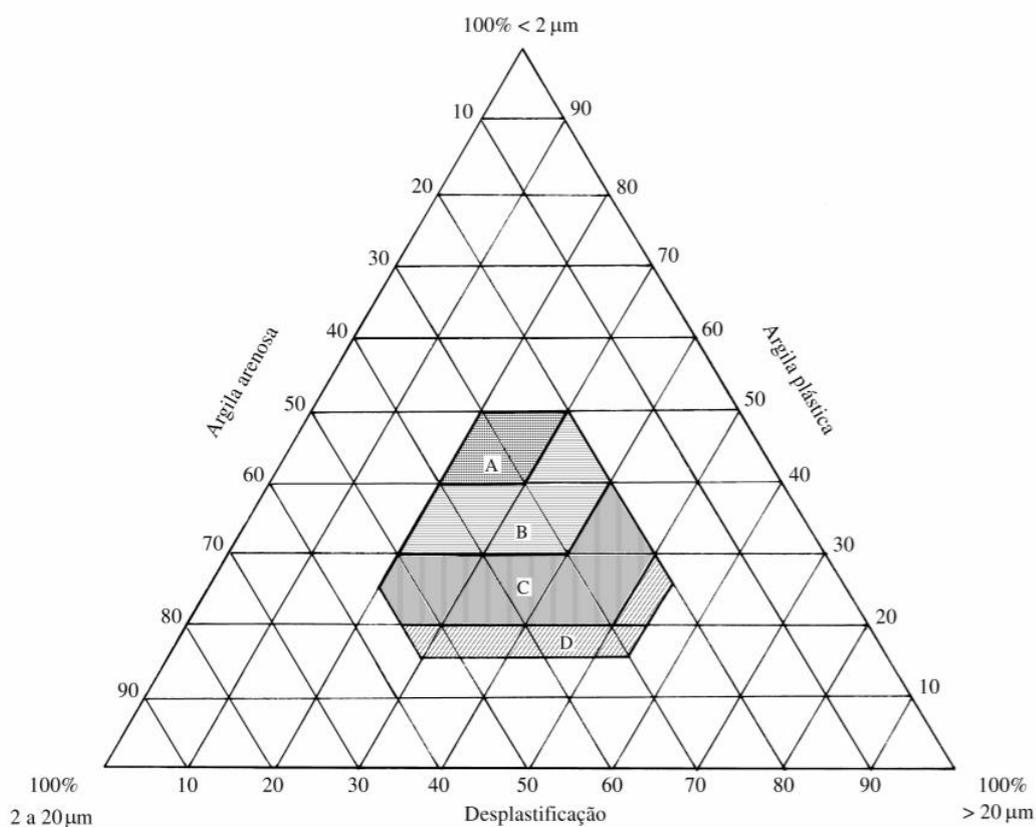
situam os tipos de produtos cerâmicos que podem ser produzidos. Na Tabela 1, são apresentadas as composições granulométricas dos produtos de acordo com o diagrama de Winkler. (PRACIDELI e MELCHIADES, 1997).

Tabela 1 - Composição granulométrica dos produtos cerâmicos

Regiões	Composição granulométrica (%)		
	2 $\mu\text{m}$	2 a 20 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$
A. Materiais de qualidade com dificuldade de produção	40 a 50	20 a 40	20 a 30
B. Telhas, capas	30 a 40	20 a 50	20 a 40
C. Tijolos furados	20 a 30	20 a 55	20 a 50
D. Tijolos maciços	15 a 20	20 a 55	25 a 55

Fonte: Pracideli e Melchiades (1997, p. 2).

Figura 1 - Diagrama de Winkler



Fonte: Pracideli e Melchiades (1997, p. 2).

## 2.4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DA INDÚSTRIA CERÂMICA

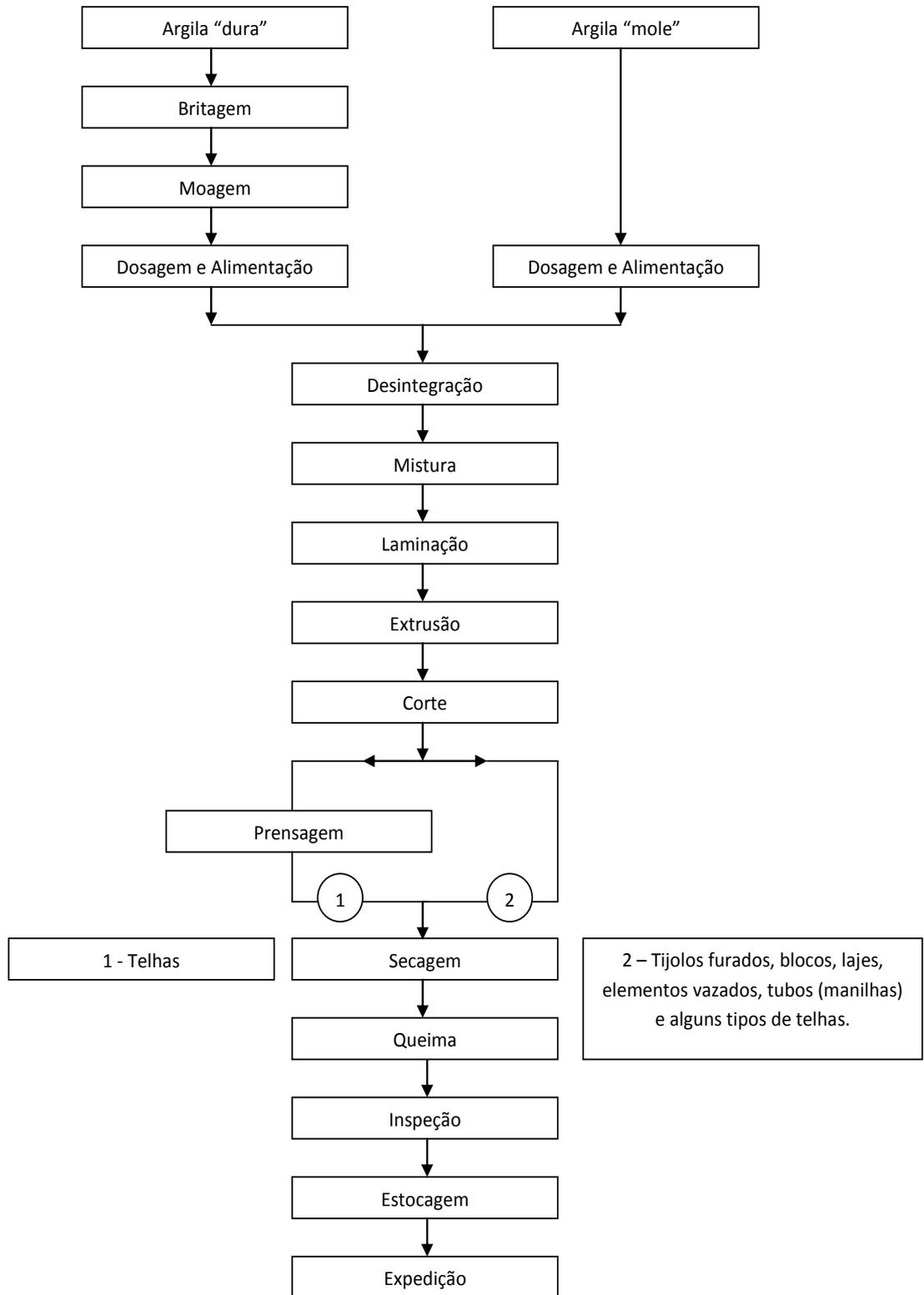
De acordo com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro Empresas – SEBRAE (2008, *apud* ORLANDIN, 2010), a indústria cerâmica é caracterizada por duas etapas, sendo que uma delas envolve a exploração da argila como matéria-prima e a outra, a sua transformação para a elaboração do produto final.

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI (2016), o modo tradicional da produção da indústria cerâmica consiste na preparação e moldagem da massa, por meio de uma argila estocada no setor de armazenamento, transportada por esteiras e preparadas por caixão alimentador, laminador, extrusão e corte. Em resumo, a preparação da massa pode ser definida em três formas básicas de preparo, que resultam em produtos diferentes:

- **Via úmida:** laminação de argila plástica, sem moagem, voltada para produtos simples, de limitado valor agregado;
- **Via semiúmida:** moagem conjunta das massas de argila plástica e dura, até 14% de umidade, sem necessidade de laminação, mas demanda hidratação contínua e aquecimento da massa na moagem;
- **Via seca:** moagem de argila dura, em pó, com até 6% de umidade, incorpora a matéria plástica em processo de hidratação, mistura e laminação.

Segue o fluxograma, de acordo com a ABC (2018), relacionado ao processo de fabricação da indústria cerâmica vermelha, que podem variar em função do tipo de produto e do estágio tecnológico da empresa.

Figura 2 - Fluxograma do processo de fabricação da cerâmica vermelha



Fonte: ABC (2018).

### 2.4.1 Exploração e Sazonamento

Argilas são encontradas em jazidas, depósitos geológicos de formação mineral ou de minério. Geralmente, são constituídas por rochas de onde são extraídos os minerais ou metais, situados no interior de outras rochas estéreis. O minério pode ser extraído apenas por suas propriedades físicas como as argilas, que são aproveitadas por sua plasticidade e sua resistência mecânica. (OLIVEIRA, 2011).

Ao encontrar uma jazida de argila, com índice de plasticidade considerado bom para a indústria cerâmica, é necessário determinar a extensão e a quantidade de matéria-prima existente, a fim de determinar a viabilidade de exploração. Após o estudo exploratório da jazida se faz necessário a caracterização da argila, estudando as suas características para estabelecer misturas e definir os equipamentos, processos e produtos que podem ser fabricados. (OLIVEIRA, 2011).

A exploração deve ser iniciada a partir de uma limpeza para melhorar visibilidade do nível do terreno, bem como a acessibilidade de máquinas e pessoas. Procede-se fazendo sondagens em distância de 25 a 50 metros, acompanhada por um técnico com conhecimentos de geologia ou cerâmica, de modo a fazer uma triagem do interesse relativo das camadas que vão sendo encontradas. (COSTA, 2016).

#### 2.4.1.1 Sazonamento

A argila escolhida é extraída e estocada em terreiros nas proximidades das jazidas ou das cerâmicas. Os depósitos são feitos em forma de sanduíches, contendo porcentagens diferentes de argilas nas camadas, de acordo com a composição desejada, para determinado produto. Estes depósitos são expostos ao ambiente, sob sol e chuva, havendo assim uma decomposição dos carbonatos, sulfatos, matéria orgânica, proporcionando melhor qualidade física às argilas. (OLIVEIRA, 2011).

O sazonalamento é uma operação determinante para o sucesso e otimização do processo produtivo. Esta operação está relacionada com a estabilidade do processo de conformação, extrusão e produtividade das operações a jusante: movimentação e secagem. (COSTA, 2016).

Figura 3 - Sazonamento



Fonte: Autor.

### 2.4.2 Preparação da massa

A preparação da massa é fundamental para obtenção de produtividade e de produtos com qualidade. Embora isso seja verdadeiro, muitas empresas não o fazem, provocando inúmeros problemas de qualidade como trincas, deformações, variação no corte e variação quantitativa da produção. A qualidade do produto está diretamente ligada ao processamento da argila que compõe a massa. Quanto mais se prepara a massa cerâmica, mais produtividade e mais qualidade se alcançará. (OLIVEIRA, 2011).

#### 2.4.2.1 Caixão Alimentador

O caixão alimentador é a primeira máquina no processo de preparação da argila, responsável pelo abastecimento constante e uniforme das demais máquinas da linha de produção ou preparação. Possuem facas rotativas para desfragmentar os torrões. (BERTAN, 2018).

Figura 4 - Caixão Alimentador



Fonte: Autor.

#### 2.4.2.2 Misturador

O misturador é uma máquina responsável pela mistura da argila, devido à necessidade de dois ou mais tipos, para que se tenha um produto cerâmico de alta qualidade. É uma máquina indispensável no processo de preparação, garantindo a quebra dos torrões e uma mistura homogênea dos diversos tipos de argila. (BERTAN, 2018).

Figura 5 - Misturador



Fonte: Autor.

### 2.4.2.3 Laminador

Máquina indispensável para a preparação da massa. A qualidade final do produto cerâmico depende de uma boa laminação. O laminador realiza o processo de eliminação dos pedregulhos, completa a mistura da massa e melhora distribuição da água presente na argila. O resultado desse processo garante melhor acabamento e maior resistência do produto acabado. (NATREB, 2018).

Figura 6 - Laminador



Fonte: Autor.

### 2.4.3 Extrusão

A extrusão é um processo de conformação plástica, destinada à fabricação de objetos de seção constante, sendo muito utilizada na indústria cerâmica vermelha, para a fabricação de tijolos e bastões para prensagem de telhas. Este processamento é utilizado há mais de 150 anos, tendo a sua tecnologia sofrido pequenas alterações, a partir de década de 50, no século passado. É uma técnica de produção associada a uma elevada produtividade e muito importante em termos de homogeneização e retirada do ar da massa. (RIBEIRO; FERREIRA e LABRINCHA 2003).

Segundo Wieck e Duailibi (2013), alguns fatores afetam o rendimento do processo de extrusão e qualidade final dos produtos. Entre estes está a composição

e preparação das massas cerâmicas; plasticidade das massas; moldes de extrusão (boquilhas); tipo de extrusora e qualidade do vácuo. Todos estes fatores têm sua importância e devem ser considerados para que o ceramista, que trabalha com extrusão, melhore sua qualidade e produtividade.

#### 2.4.3.1 Extrusora (Maromba)

A extrusora é um equipamento também conhecido nas cerâmicas como maromba, responsável pelo transporte, compactação e extrusão da massa cerâmica. Existem as marombas tradicionais para baixa produção e as monoblocos, para alta produção, que possuem maior capacidade e qualidade de extrusão. A extrusora monobloco permite obter um produto cerâmico com qualidade e rendimento, possibilitando trabalhar argilas com baixo nível de umidade, facilitando o processo de secagem. A maromba recebe a argila beneficiada em um misturador de facas e anexado ao misturador encontra-se um sistema de extrusão, formado por um caracol que força a passagem da massa por uma mandíbula cônica possibilitando a compactação da argila, direcionando para os martelos calcadores que fazem a passagem para outro caracol, forçando a massa para uma câmara de compressão conhecida como embudo, e finalmente passa pela boquilha que define o formato final do produto desejado. (BERTAN, 2018).

Figura 7 – Extrusora (Maromba)



Fonte: Autor.

### 2.4.3.2 Boquilha

As boquilhas ou moldes de extrusão são componentes responsáveis pelo formato dos produtos desejados. Devem ser dimensionadas para cada tipo de produto, levando em consideração as características da massa, respeitando a sua contração, a sua umidade, dentre outros fatores. Devem ser respeitadas características como equilíbrio de velocidade do fluxo em toda sua seção transversal, resistência ao fluxo de argila e apresentar durabilidade. (WIECK, DUAILIBI, 2013).

Figura 8 - Boquilha



Fonte: Boqcer (2018).

### 2.4.3.3 Corte

Desde a invenção do corte do tijolo via arames, o cortador passou, ao longo dos anos, por inúmeras modificações. Inicialmente, o corte era manual, evoluindo para corte automático, podendo ser para cima, para baixo e lateralmente. Atualmente, existem no mercado cortadores que cortam com rebarbas e outros sem rebarbas, visando economia, mas, esquecendo-se da qualidade do corte e precisão do mesmo. (OLIVEIRA, 2011).

Figura 9 - Corte



Fonte: Autor.

#### 2.4.4 Sistemas de Secagem

Secagem significa a transferência de líquido de um sólido úmido para a fase gasosa insaturada, ou ainda, de forma inteligível, pode-se denominar como processo adotado para eliminar o líquido do produto por evaporação com ajuda do calor. É conhecido que esta operação consiste na retirada da umidade, fornecendo certa energia que permita eliminar as moléculas de água fixadas num corpo. Esta energia depende necessariamente de temperatura e do teor de umidade da atmosfera circundante a superfície a secar. (OLIVEIRA, 2011).

O processo de secagem é uma etapa essencial da produção da indústria cerâmica e que demanda grande quantidade de energia térmica para evaporar a água adicionada, durante o processo de extrusão das peças. Há uma relação muito importante entre as etapas de extrusão, secagem e queima, que são bastante complexas, sendo que quaisquer mudanças nestas etapas do processo produtivo afetam toda a sequência da produção. (HARTKE, 2004).

Seguindo o pensamento de Hartke (2004), no que tange ao estudo da fenomenologia da secagem da argila, a eficiência do processo está ligada às questões termodinâmicas, das relações entre a água líquida, o vapor d'água e o ar seco; e às questões morfológicas do meio poroso que é a argila e a velocidade de secagem.

O calor contido no ar quente é utilizado para o aquecimento da massa de produtos a secar, para evaporar a água de umidade. Entretanto, a velocidade de

secagem da peça cerâmica é limitada pelo comportamento do meio poroso da argila. Como a umidade da peça se encontra no interior de seus poros, a forma e a estrutura destes terão grande influência sobre a secagem, de modo que mesmo sob um ambiente de evaporação favorável, a umidade pode vir a ficar presa no interior dos poros da argila. Isto ocorre quando a superfície da peça seca muito rapidamente, sofrendo uma contração, dificultando ainda mais a difusão da umidade do interior do poro para a superfície. Percebe-se assim a complexa relação entre o processo de extrusão, com sua influência nas propriedades do meio poroso, e o processo de secagem. (HARTKE, 2004).

#### 2.4.4.1 Tipos de secagem

##### *2.4.4.1.1 Secagem Natural*

A secagem natural é realizada a partir da exposição das peças cerâmicas à temperatura ambiente, por meio da movimentação natural do ar. O tempo de secagem deste processo é muito variável, pois depende das condições climáticas. Este tipo de secagem apresenta alguns inconvenientes como, tempo de secagem muito longo, excessivos manuseios das peças, além de uma ocupação de área muito grande para a colocação das peças. (OLIVEIRA, 2011).

Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, é muito comum realizar esse procedimento de secagem ao ar livre, na qual as peças são colocadas num terreiro sem proteção nenhuma. Este procedimento só é possível porque as argilas dessas regiões possuem arranjos granulométricos bem definidos, tendo uma considerável porcentagem de resíduo e as movimentações das partículas não sofrem alterações no processo de secagem. (OLIVEIRA, 2011).

Figura 10 - Secagem Natural



Fonte: Autor.

#### *2.4.4.1.2 Secagem Artificial*

A secagem artificial é efetuada a partir de secadores constituídos por um ambiente fechado, com capacidade de secagem variável, que pode ser ajustada, de acordo com a carga a secar. A fonte térmica para este tipo de secador é o restante de ar quente que se reutiliza no interior do forno, proveniente da zona de resfriamento. Esse procedimento é recomendado por se utilizar o ar a uma temperatura mais elevada, compatível com esse sistema que opera com ciclos curtos e com temperaturas elevadas. (CASSANI, 2009).

Este tipo de secagem, além da vantagem de proporcionar alto rendimento de produção, também oferece um bom controle da atmosfera interior do secador. O ar pode ser alimentado e controlado durante todo o ciclo, permitindo ciclos de secagens diferentes, adequado a cada tipo de produto. As peças são carregadas em vagonetas e circulam, em trilhos, ao longo de um túnel de secagem, que utiliza um sistema de ventiladores na parte central. (COSTA, 2016).

O sistema funciona a partir do movimento dos objetos a secar contra uma corrente de massa de ar quente, proporcionando uma secagem suficientemente completa e uniforme. A massa de ar quente adentra no secador na região de saída das vagonetas, e absorve a umidade evaporada na secagem transportando-a pela ação de ventiladores até próximo à extremidade de entrada do secador. (OLIVEIRA, 2011).

Figura 11 - Secagem Artificial



Fonte: Autor.

#### 2.4.4.2 Retração

Outro parâmetro importante que ajuda avaliar o comportamento de argilas e misturas argilosas durante o processo de secagem é a retração. No início da secagem, as partículas de argila da massa estão cercadas de água por todos os lados. Com a liberação da água, as partículas aproximam-se e a massa retrai. Na primeira fase de retração, a variação do volume da massa é proporcional ao decréscimo do volume de água. E no decorrer da secagem as partículas se aproximam até encostarem-se. (LEHMKUHL, 2004 *apud* ALMEIDA, 2009).

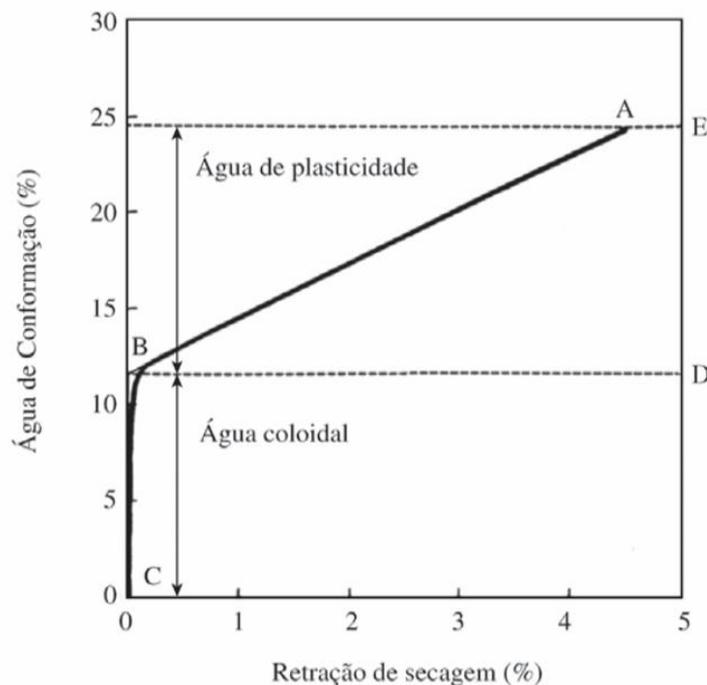
A retração de secagem constitui um sério problema para a indústria cerâmica, uma vez que são essas diferenças de contração que provocam o aparecimento de trincas e possíveis quebras de peças em secadores. Para uma mesma argila podem ter diferentes contrações, que vão variar de acordo com a porcentagem de umidade de moldagem. E para uma mesma umidade de extrusão, também podem corresponder distintas retrações de secagem, que variam de acordo com a granulometria da argila. Quanto mais fina for a argila, maior será a retração. (COSTA, 2016).

A retração que as peças cerâmicas sofrem durante a etapa de secagem é um parâmetro de grande importância tecnológica. Durante a secagem são geradas tensões que podem levar ao aparecimento de defeitos, comprometendo a qualidade das peças. A evolução da retração linear de secagem, em função da perda de água

de conformação, é representada pela chamada curva de Bigot. Esta é uma representação gráfica de percentagem de água em função da retração de secagem. Por meio do conhecimento desta curva é possível estabelecer um ciclo de secagem, permitindo otimizar o tempo de tal forma que as peças não apresentem defeitos. (VIEIRA; FEITOSA e MONTEIRO, 2003).

A Figura 12 mostra uma típica curva de Bigot que descreve a evolução da retração de secagem.

Figura 12 - Variação da retração de secagem em função da água de conformação – curva de Bigot.



Fonte: Vieira, Feitosa e Monteiro (2003, p.2).

O ponto A representa, na ordenada (ponto E), a quantidade de água de umidade que as peças apresentam, no início da secagem. Na abscissa, observa-se a retração total de secagem que irá acontecer. A linha A-B representa a primeira fase de secagem com a eliminação da água de plasticidade. Esta é a fase mais problemática, já que a eliminação de água das partículas é acompanhada de retração. A linha B-C representa a segunda fase de secagem caracterizada pela eliminação de água intersticial, proveniente dos capilares e que não produzem retração. O ponto D, separa os dois tipos de água de umidade, sendo a água de

plasticidade correspondida ao valor (D-E) e a água intersticial representada pelo segmento (D-C). (VIEIRA; FEITOSA e MONTEIRO, 2003).

#### **2.4.5 Sistema de Queima**

O sistema de queima na indústria cerâmica corresponde a uma das etapas de maior relevância para o setor. Essa etapa é de extrema importância, pois a qualidade dos produtos é basicamente em função da matéria-prima utilizada e do processo de queima, que depende do tempo e da temperatura ideal para que as peças alcancem determinadas propriedades. (ALEXANDRE; ALBUQUERQUE JÚNIOR e XAVIER, 2006).

De acordo com Oliveira (2011):

O objetivo da queima das peças cerâmicas é que sob a ação do calor, ocorram certas reações e transformações químicas e físicas nos componentes da massa, a fim de se obter o corpo cerâmico. O fator temperatura/tempo é muito importante para provocar as reações e a atmosfera do forno também influencia no resultado final, pois os constituintes da massa também reagem com os gases que estão em contato. (OLIVEIRA, 2011, p. 130).

Após a secagem, as peças são submetidas a um tratamento térmico de queima em altas temperaturas que, por meio de transformações físico-químicas, altera as propriedades mecânicas e conferem as características inerentes ao produto cerâmico como resistência, cor, dimensões. A etapa de queima é conduzida em equipamentos térmicos, denominados fornos, com temperatura na ordem de 800°C a 1000°C, possuindo uma variabilidade de concepção térmica e de combustíveis. (BACCELLI JÚNIOR, 2010).

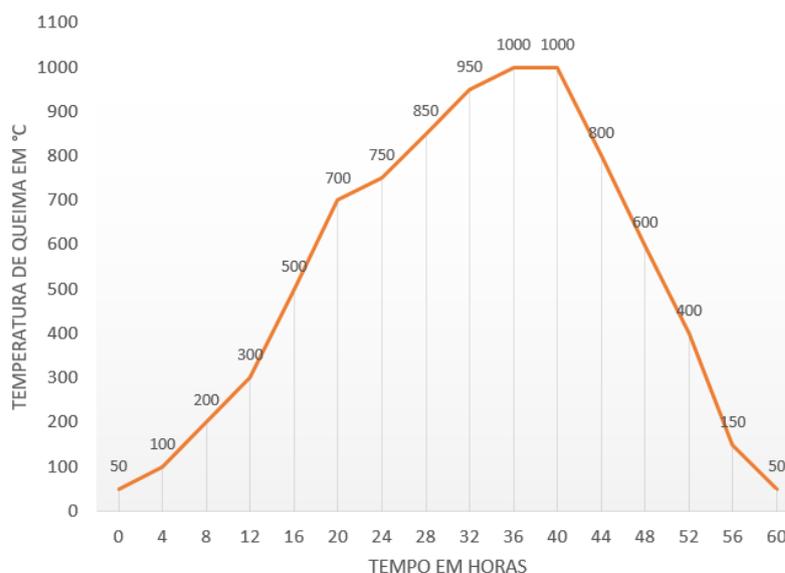
A transmissão de calor das peças cerâmicas em um forno corre por convecção e radiação de fontes externas, como a queima do combustível. No interior das peças e das pilhas das peças, a transmissão de calor ocorre por condução entre os materiais, tendo gradientes de temperatura entre o interior e exterior. Com a uniformidade da temperatura, as transformações físicas e químicas são obtidas com o tempo de permanência e com o controle das oscilações térmicas. (SANTOS, 2001).

### 2.4.5.1 Curva de Queima

O processo de queima de um forno cerâmico deve seguir uma curva de queima pré-estabelecida, com uma relação entre temperatura e tempo de aquecimento, em função das características da matéria-prima e da geometria da peça. Não existe um tempo e uma curva de aquecimento geral, uma vez que esses parâmetros dependem do tipo de forno, argila, eficiência de queima e distribuição do calor no interior do forno. (SANTOS, 2001).

Na operação do forno, é muito importante que se controle a marcha de aquecimento e resfriamento. A velocidade com que a temperatura aumenta e diminui ao longo do tempo, deve ser controlada devido às variações dimensionais das peças (expansão e contração), que ocorrem durante o aquecimento e resfriamento. Esses tempos devem ser respeitados para evitar deformações, fissuras e quebras das peças. Deste modo, a função do estabelecimento da curva de queima é determinar as faixas de temperatura onde o aquecimento ou resfriamento devem ser acelerados ou retardados. A qualidade final do produto e o rendimento de queima ocorrem em função do modo como a queima é conduzida. (SANTOS, 2001).

Figura 13 - Curva de Queima típica de Produtos de Cerâmica Vermelha



Fonte: Sudene/Itep, 1988 *apud* Santos (2001, p. 15).

De modo geral, durante o processo queima de um corpo cerâmico, ocorrem os seguintes fenômenos, de acordo com a curva típica de queima:

- Entre 20°C e 150°C ocorre a evaporação de águas de plasticidade, de amassamento e de capilaridade, presentes nos poros que preenchem os vazios; (TOLEDO, 2003).
- Em 200°C ocorre a eliminação da água coloidal, presente entre as pequenas partículas de argilominerais depois da secagem, sendo esta água proveniente da matéria orgânica; (GUIMARÃES, 2017).
- Entre 350°C e 650°C ocorre a oxidação da matéria orgânica; (OLIVEIRA, 2011).
- Em torno de 500°C ocorre a transformação do quartzo na sua forma cristalina  $\alpha$  para quartzo  $\beta$ , acompanhada de uma alteração de volume  $\pm$  2% expandindo no aquecimento e contraindo no resfriamento; (SANTOS, 2001).
- Entre 450°C e 650°C ocorre a decomposição dos minerais da argila com a liberação da água de constituição, constituinte fundamental da argila contendo sílica e alumina. Neste momento ao perder a água de constituição, as propriedades argilosas são perdidas de forma irreversível; (GUIMARÃES, 2017).
- Entre 700°C e 950°C ocorre a decomposição dos carbonatos; (OLIVEIRA, 2011).
- A partir dos 700°C verifica-se a reação química da sílica e alumina, elementos fusíveis, formando sílico-aluminatos complexos, proporcionando dureza, resistência física e estabilidade a peça cerâmica; (OLIVEIRA, 2011).
- Por volta dos 800°C normalmente ocorre a dilatação máxima, podendo se estabelecer um patamar de queima mais ou menos amplo, podendo englobar um intervalo de temperaturas até 900°C/950°C; (SANTOS, 2001)
- Acima de 1000°C ocorre a sinterização, reorganização dos cristais formando nova estrutura cristalina, proporcionando aumento da resistência mecânica e fechamento dos poros; (TOLEDO, 2003).
- O resfriamento das peças cerâmicas deve ocorrer de forma lenta, na faixa de temperatura entre 600°C e 560°C, na qual ocorre a transformação do

quartzo  $\beta$  para o quartzo  $\alpha$  e as peças podem apresentar baixa resistência ao choque térmico. (GUIMARÃES, 2017).

#### 2.4.5.2 Combustão

De acordo com Oliveira (2011), a combustão é uma reação química produtora de luz e calor, ocorrendo necessariamente na presença de um combustível, de oxigênio e de uma fonte de calor para iniciar o processo de combustão.

Os combustíveis utilizados para a combustão em fornos cerâmicos, geralmente são a biomassa, óleo combustível ou gás liquefeito de petróleo (GLP), que são utilizados para aquecer a carga, evaporar a umidade e fornecer calor necessário para a decomposição e cristalização dos componentes químicos do material cerâmico. (ALMEIDA, 2009).

#### 2.4.5.3 Tipos de Fornos

Os fornos utilizados para a queima na indústria cerâmica vermelha podem ser de funcionamento contínuo ou intermitente, acarretando níveis de eficiência diferentes. (APICER, 2009).

##### 2.4.5.3.1 Fornos intermitentes

Os fornos classificados como intermitentes são aqueles que funcionam num regime de carga-queima-descarga, não permitindo continuidade na produção. O ciclo de queima de um forno intermitente inicia-se com o carregamento do material a ser queimado dentro do forno, onde permanece de forma estática. Após o seu preenchimento, o forno é vedado para dar início ao processo de queima. Ao término da queima, o forno é resfriado até que permita o manuseio das peças. (KAWAGUTI, 2004).

Ainda de acordo com Kawaguti (2004), as principais características dos fornos intermitentes são:

Suas vantagens:

- a) Concepção simples;
- b) Construção fácil e rápida;

c) Baixo custo de construção;

Suas desvantagens:

a) Aquecimento irregular;

b) Maior consumo específico;

c) Necessidade de maior número de operadores.

De acordo com Oliveira (2011) e o Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis (CTGAS-ER) (2014), dentre os fornos intermitentes, esses podem ser dos seguintes tipos:

- **Caieira:** forno intermitente de chama direta, sendo um dos tipos de fornos mais primitivos, que consiste em um sistema de caixão retangular, de quatro paredes laterais, com teto aberto. O produto é colocado em uma base onde ficam as fornalhas, recoberto com blocos queimados para proteger a saída do calor gerado. O ciclo de queima varia entre 36 a 48 horas, com produção média de 170.000 peças/mês. Apresenta elevado consumo energético devido a elevadas perdas térmicas e péssima qualidade de queima, totalizando muita perda. Ainda utilizado no Brasil em regiões mais carentes.

Figura 14 - Forno Caieira



Fonte: CTGAS-ER (2014, p. 04).

- **Paulista:** forno retangular com queimadores laterais, muito utilizado para queima de telhas. Consome muita energia, pois seu sistema retangular demora a homogeneizar a temperatura em todo forno. É de difícil operação, pois seu sistema de registros nas laterais é problemático, pois cada lado do forno puxa de uma forma diferente, gerando inúmeros

problemas na queima, entre eles, peças com cores e resistências diferentes. A sua produção média é de 25.000 peças por fornada, com consumo médio de 1,5m<sup>3</sup> por tonelada de massa queimada.

Figura 15 - Forno Paulista



Fonte: Autor.

- **Abóboda:** forno cuja seção horizontal é circular e geralmente constituído por seis fornalhas. É um dos fornos mais utilizado nas indústrias cerâmicas brasileiras, sendo muito econômico e de fácil operação. Utilizado para produção de telhas e blocos por apresentar boa homogeneização de queima. O ciclo de queima desse tipo de forno varia entre 60 e 72 horas, com produção de 160.000 peças/mês, consumindo 0,7m<sup>3</sup> de lenha por tonelada de massa queimada.

Figura 16 - Forno Abóboda



Fonte: CTGAS-ER (2014, p. 08).

- **Garrafão:** forno similar ao tipo abóboda, mas possui uma chaminé ao centro da abóboda do forno, com controle de vazão realizado através de

registros. Possui uma homogeneização de queima muito boa, permitindo sua utilização para queima de telhas.

Figura 17 - Forno Garrafão



Fonte: Telhas Polla (2018).

#### 2.4.5.3.2 Fornos contínuos

Os fornos contínuos são denominados assim por possuírem um processo de queima de forma contínua, sem interrupção para carga ou descarga das peças. Enquanto um lote de peças chega ao final da queima, outro lote igual ou semelhante está sendo iniciado, sem descontinuidade do processo. (SANTOS, 2011).

Ainda de acordo com o autor, os fornos contínuos apresentam as seguintes características:

Suas vantagens:

- a) Menor consumo específico;
- b) Baixo ciclo de queima;
- c) Controle e aproveitamento dos gases de exaustão;
- d) Aquecimento mais homogêneo;
- e) Menor necessidade de mão de obra para operação;
- f) Mais facilidade de automação na produção.

Suas desvantagens:

- a) Concepção mais complexa;
- b) Construção mais demorada e de elevado custo;
- c) Parada da produção para manutenção;
- d) Menor flexibilidade de produção.

Segundo Norton (1973) e Oliveira (2011), dentre os fornos contínuos, esses podem ser do tipo Hoffmann e Túnel:

- **Forno Hoffmann:** pode ser classificado como um forno semicontínuo e contínuo, que tem um processo de queima com zona de fogo dinâmica (móvel), carga de produtos estática (fixa) e com excelente aproveitamento de calor. A alimentação do combustível é realizada pela parte superior do forno, sendo que o movimento convectivo do calor no interior do forno ocorre em forma horizontal, com formação de arco aberto pela ação da força de exaustão. O comprimento desse forno pode variar de 40 a 100 metros de comprimento, havendo portas em intervalos constantes para efetuar a carga e descarga. A produção média mensal é de 1.000.000 de peças, consumindo 0,6m<sup>3</sup> de lenha por tonelada de massa.

Figura 18 - Forno Hoffmann

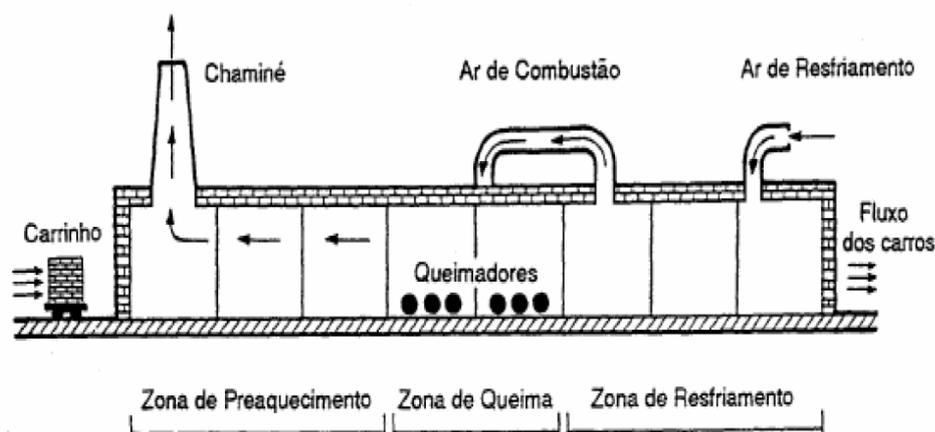


Fonte: Zanelato *et. al.* (2017, p. 5).

- **Forno Túnel:** é o tipo de forno mais eficiente na qualidade para a queima de cerâmica vermelha. Tem a forma de um túnel longo com comprimento variando entre 80 a 100m, divididos em zona de preaquecimento, zona de queima e zona de resfriamento. Os produtos a serem queimados são introduzidos num extremo do forno, carregados sobre vagonetas, que deslizam sobre trilhos, aquecendo-se progressivamente na zona de preaquecimento pelos gases de combustão, que os alcançam em sentido contrário até a chaminé. As vagonetas seguem até atingir a zona de queima, empurradas por outras vagonetas introduzidas em intervalos de tempo regulares. Nesta zona, atingem a temperatura máxima de queima, permanecendo tempo suficiente para que o calor se distribua por igual em

todas as peças. Na sequência, são resfriados lentamente até a temperatura ambiente antes da retirada do forno pela outra extremidade. A eficiência térmica e a produção mensal do forno túnel são similares ao Hoffman, porém, há uma economia no trabalho de carga e descarga.

Figura 19 - Esquema de funcionamento de um forno túnel



Fonte: Henriques Jr. *et. al.* (1993 *apud* ALMEIDA, 2009, p. 55).

## 2.5 PROPRIEDADES DA CERÂMICA VERMELHA

As características mineralógicas da argila e suas propriedades estão sujeitas a grandes variações que dependem do local de formação do depósito mineral e das modificações químicas e físicas sofridas durante a formação geológica. A qualidade dos produtos cerâmicos está diretamente ligada a essas propriedades mineralógicas. Logo, o conhecimento de tais propriedades como granulometria, plasticidade, análise térmica e análise química por fluorescência de raios X, são fundamentais para obtenção de características desejadas no produto final. (ALMEIDA, 2009).

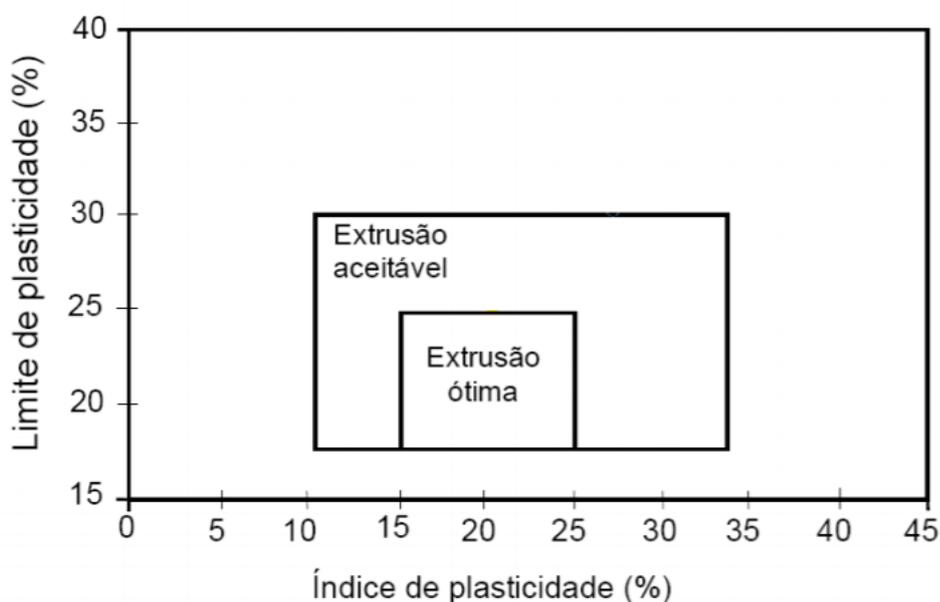
A granulometria de solos é classificada, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, seguindo a norma ABNT NBR 6.502: Rochas e Solos. (ABNT, 1995). Sua classificação é determinada pelos seguintes diâmetros de grãos: argila ( $d \leq 0,002$  mm), silte ( $0,002$  mm  $< d \leq 0,06$  mm), areia ( $d \geq 0,06$ mm). Por meio deste estudo, utiliza-se como ferramenta o diagrama de Winkler para elaborar a composição granulométrica de massas cerâmicas,

classificando os grãos de acordo com as faixas de tamanho e estabelecendo as composições para cada tipo de produto. (PRACIDELI e MELCHIADES, 1997).

A plasticidade é uma propriedade indispensável aos processos de toda indústria cerâmica necessária para a confecção de seus produtos. Suas características são tradicionalmente determinadas pelos limites de Atterberg. O Índice de Plasticidade (IP), de uma amostra de solo é classificado como fracamente plástica ( $1\% < IP < 7\%$ ), mediamente plástica ( $7\% < IP < 15\%$ ) e altamente plástica ( $IP > 15\%$ ). (CAMPOS *et. al.*, 1999).

O Limite de Plasticidade (LP) indica a quantidade mínima de água necessária para que se obtenha uma boa consistência plástica numa massa cerâmica, tendo valores de 22% a 24% como parâmetros de valores ideais para extrusão. O Limite de Liquidez (LL) representa a quantidade de água para que a massa atinja a faixa de consistência plástica. O Índice de Plasticidade (IP) representa a quantidade de água que ainda pode ser adicionada à massa sem alterar o estado plástico da argila. A partir destes parâmetros é possível delimitar regiões de extrusão ótima e aceitável, conforme demonstrado na Figura 20. (RIBEIRO *et. al.*, 2012).

Figura 20 - Limites de Atterberg para extrusão



Fonte: Ribeiro *et. al.* (2012, p. 06).

Demais propriedades tecnológicas também devem ser avaliadas quanto ao desempenho dos produtos cerâmicos como retração linear, absorção de água e a

tensão de ruptura à flexão. A retração linear é uma propriedade física, na qual a massa argilosa tem a tendência de diminuir de volume pela perda de umidade de secagem e queima. Em um material cerâmico, essa retração não deve ser superior a 12%, pois o produto pode ser danificado pelas excessivas deformações e trincas. (SANTOS e SILVA, 1995 *apud* KOHL, MEDTLER e SANTOS, 2015).

A Absorção de Água (AA) Compreende a porcentagem do peso de água absorvido pelo corpo de prova após a queima e deve atender requisitos da norma ABNT NBR 15.270-1: Componentes Cerâmicos – Parte 1: Blocos e Tijolos para alvenaria. (ABNT, 2017). De acordo com a norma, a absorção d'água deve variar entre 8% a 25% para blocos de vedação e entre 8% e 21% para blocos estruturais. Quanto a resistência mecânica, a presente norma determina valor mínimo de 1,5MPa para blocos de vedação e para blocos estruturais estes valores podem variar de 4 até 20MPa.

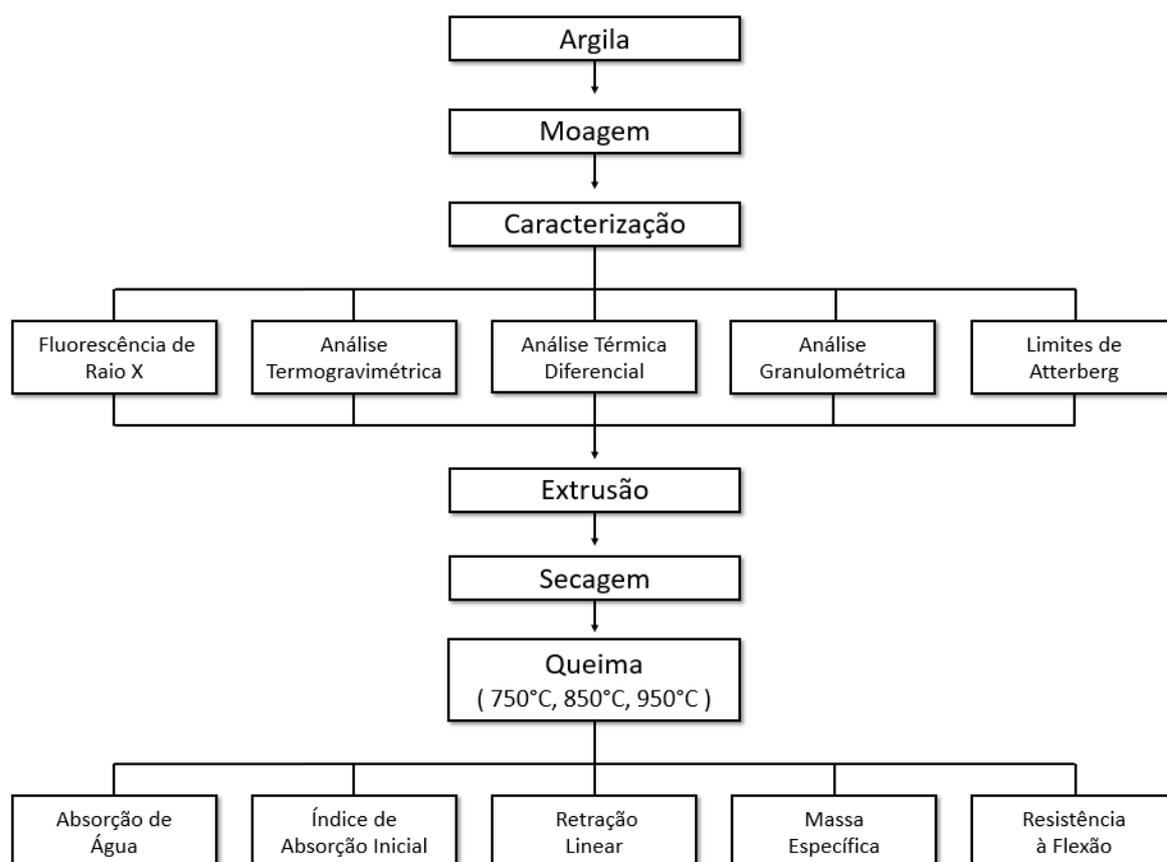
### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão apresentados os materiais e os métodos utilizados para a realização da presente pesquisa, sendo estes caracterizados pelos processos envolvidos tanto na elaboração e caracterização das amostras, quanto na execução dos ensaios laboratoriais.

O experimento consiste na determinação das propriedades mineralógicas da matéria-prima, na preparação dos corpos de prova (CPs) e na determinação das propriedades tecnológicas antes e após a queima, com a finalidade de avaliar a qualidade do produto cerâmico obtido.

No fluxograma abaixo, pode-se observar, de forma resumida, a metodologia utilizada no programa experimental.

Figura 21 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1 MATÉRIA-PRIMA

#### 3.1.1 Argila

A matéria-prima utilizada neste trabalho é uma amostra de material argiloso utilizado na empresa Cerâmica Orlandin Ltda, localizada no município de Vale Real/RS, para a fabricação de produtos cerâmicos como: blocos de vedação, tijolos maciços e tijolos perfurados para vedação. A empresa utiliza matéria-prima extraída de jazidas próprias, localizadas dentro do município, a uma distância média de 5 km.

A amostra foi coletada junto ao processo produtivo da empresa após ser submetida ao sistema de preparação de argila. Após, foi transportada em saco plástico em temperatura ambiente e estocada no Laboratório de Solos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Os ensaios foram realizados nos Laboratórios de Solos, de Materiais de Construção Civil e de Caracterização e Valorização dos Materiais.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A preparação das amostras para os ensaios de caracterização da matéria-prima foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 6.457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. (ABNT, 2016).

Seguindo a norma, foi utilizado o método com secagem prévia, no qual aproximadamente 1kg da matéria-prima foi colocada em estufa da marca Biomatic, com temperatura de  $(100 \pm 5)$  °C. Após a secagem, os torrões foram desmanchados para homogeneizar a amostra e passados na peneira ABNT n° 40 (0,42mm), a fim de se obter uma quantidade reduzida de amostra, ou seja, aproximadamente 200 gramas, suficientes para realizar os ensaios de caracterização.

Figura 22 - Amostra de argila



Fonte: Autor.

### 3.2.1 Características Químicas

#### 3.2.1.1 Fluorescência de Raio X

Uma análise química fornece dados fundamentais para a caracterização de materiais argilosos, permitindo uma melhor avaliação da composição mineralógica e de suas propriedades tecnológicas. As determinações mais usuais presentes nas composições das argilas estão na forma de óxidos, tais como:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . (FEITOSA, 2015).

O ensaio de Fluorescência de Raio-X (FRX) consiste na identificação da composição química das argilas. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVMAT) da Unisinos, por meio do equipamento EDX- 720 SHIMADZU, buscando identificar os teores dos principais componentes químicos.

### 3.2.2 Análise Térmica

A Análise Térmica é composta por Análise Termogravimétrica (TGA) e Análise Térmica Diferencial (DTA), consistindo numa técnica termoanalítica que faz

um acompanhamento da perda ou ganho de massa de uma amostra de material argiloso, em função do tempo ou da temperatura. O equipamento utilizado é composto basicamente por uma termobalança. Este permite a pesagem contínua de uma amostra em função da temperatura à medida que ela é aquecida ou resfriada. A termobalança é composta por uma balança registradora, forno, suporte de amostra, sensor de temperatura, programador de temperatura do forno, sistema registrador e fonte de gás para controle da atmosfera do forno. (DENARI e CAVALHEIRO, 2012).

### **3.2.3 Características Físicas**

#### **3.2.3.1 Análise Granulométrica**

O método para Análise Granulométrica (AG) de solos deve seguir a norma ABNT NBR 7.181: Solo – Análise granulométrica. (ABNT, 2016), na qual a granulometria da amostra da matéria-prima é efetuada por meio de uma combinação de técnicas de peneiramento e sedimentação.

Para a execução do ensaio foram retiradas pequenas quantidades da amostra de argila que foram submetidas a uma secagem prévia. Foram utilizadas 70g de argila adicionada de defloculante para o ensaio de sedimentação e 50g para o cálculo do peso específico real dos grãos. Iniciado o ensaio de sedimentação, observaram-se por 24h, as leituras do densímetro para a determinação do tamanho dos grãos. Após o procedimento, a amostra foi lavada na peneira ABNT n° 200 (0,075mm) e levada novamente a estufa. Passadas 24 horas, a amostra foi submetida ao processo de peneiramento através de uma combinação de peneiras de acordo com a norma. Concluído o ensaio foi possível construir o gráfico completo da granulometria.

Figura 23 - Ensaio de Sedimentação e Granulometria



Fonte: Autor.

### 3.2.3.2 Limites de Atterberg

A determinação do Limite de Plasticidade (LP), do Limite de Liquidez (LL) e do Índice de Plasticidade (IP), é obtida pelo método de Atterberg, utilizando o aparelho de Casagrande. O experimento consiste na determinação das propriedades mineralógicas da matéria-prima e na preparação dos corpos de prova a partir das normas ABNT NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez e ABNT NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. (ABNT, 2016).

Para a determinação do limite de liquidez, uma parte da amostra com secagem prévia foi colocada numa cápsula de porcelana adicionada com água e amassada, de forma a se obter uma pasta homogênea. Parte dessa mistura foi transferida para a concha do aparelho de Casagrande, alisando a sua superfície e obtendo uma camada com espessura de 10mm na parte central. A massa de solo foi dividida em duas partes com auxílio de um cinzel, de maneira a abrir uma ranhura na sua parte central. Iniciou-se o giro da manivela do aparelho fazendo golpear a concha contra uma base, anotando o número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de 13mm de comprimento. Uma quantidade de material junto às bordas que se uniram foi transferida para um recipiente para a determinação da umidade. Este procedimento se repetiu cinco vezes, de acordo com o intervalo de golpes determinado pela norma. Com os

resultados obtidos, um gráfico foi gerado, no qual as ordenadas sejam os números de golpes e as abcissas sejam os teores de umidade e ajustadas por uma reta pelos pontos obtidos.

Figura 24 - Aparelho de Casagrande



Fonte: Autor.

O limite de plasticidade foi determinado a partir de uma amostra com secagem prévia, adicionada de água para obter-se uma pasta homogênea. Aproximadamente 10g desta amostra foi utilizada para a formação de uma pequena bola. Esta, foi rolada sobre uma placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar a forma de cilindro, até se fragmentar com diâmetro de 3mm e comprimento da ordem de 100mm (o que se verifica com o gabarito de comparação). Parte dessa amostra foi separada em um recipiente para a determinação da umidade.

O índice de plasticidade dos solos foi obtido pela equação:

$$IP = LL - LP$$

Onde:

IP = índice de plasticidade;

LL = limite de liquidez;

LP = limite de plasticidade.

### 3.3 EXTRUSÃO

Para a preparação das amostras para conformação e por conseguinte secagem e queima, utilizou-se o restante da matéria-prima para a confecção de 20 corpos de prova (cps) para cada ciclo de queima. A umidade da argila foi ajustada de acordo com os Limites de Atterberg obtidos em ensaio realizado anteriormente. Foram efetuados corpos de prova de seção retangular com a configuração 18x27x86mm (altura x largura x comprimento). Os corpos de prova foram confeccionados por extrusão em uma maromba a vácuo da marca VERDÉS, modelo 051, com uma pressão de vácuo de 700mmHg.

Após a conformação, os corpos de prova foram devidamente identificados, tendo suas medidas e pesos registrados, por meio de paquímetro digital da marca Mitutoyo, modelo MIP/E-103 e de uma balança analítica de capacidade máxima de 200g e mínima de 0,02g da marca Marte.

Figura 25 - Extrusão dos corpos de prova



Fonte: Autor.

### 3.4 SECAGEM

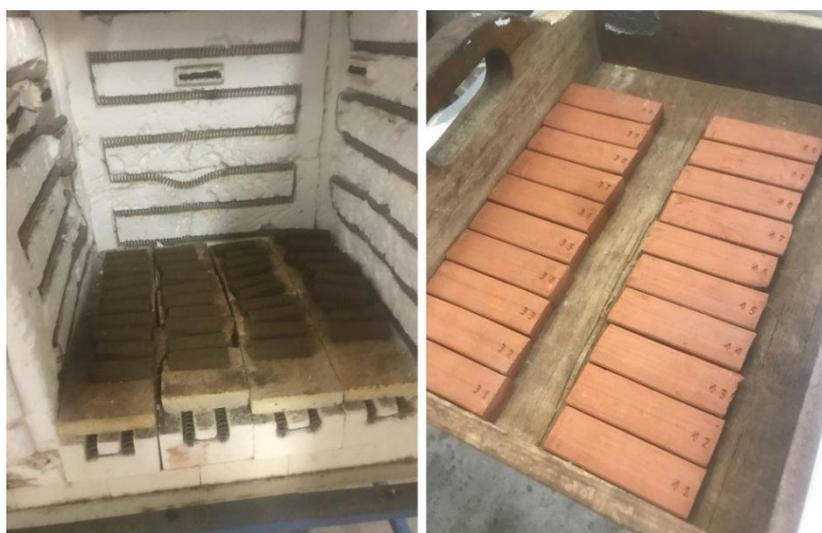
Após a conformação dos corpos de prova e suas devidas identificações, os mesmos foram submetidos a uma secagem em temperatura ambiente nas primeiras 72 horas. Em seguida, foi realizada secagem em estufa da marca DeLeo, com

temperatura de  $(100 \pm 5)$  °C, por um período de 24 horas. Essas condições foram utilizadas para se obter 60 corpos de prova para serem caracterizados em ciclo de queima diferentes. Após o período de secagem, os corpos de prova novamente foram medidos e pesados, no qual foi possível verificar modificações nessas características devido à perda de água. Em seguida os corpos de prova retornaram para a estufa com a finalidade de manter a umidade e seguirem para a etapa de processo queima.

### 3.5 PROCESSO DE QUEIMA

Após o processo de secagem, os corpos de prova foram submetidos a um processo de queima, sendo eles divididos em três grupos de 20 peças, para serem queimados em temperaturas diferentes e caracterizados na sequência. Os grupos foram separados e queimados um de cada vez, conforme as temperaturas de patamar de 750°C, 850°C e 950°C. O processo de queima foi realizado em um forno elétrico do tipo mufla, da marca Irmãos Sanches e Cia Ltda, do modelo DTT 1250. Para as diferentes temperaturas, todos os grupos respeitaram um ciclo de 10 horas com uma taxa de aquecimento de 2°C/min. Respeitado o ciclo e as temperaturas de queima, o forno foi desligado para realizar o resfriamento dos corpos sinterizados por convecção natural.

Figura 26 - Processo de Queima



Fonte: Autor.

## 3.6 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS APÓS PROCESSO DE QUEIMA

### 3.6.1 Absorção de Água

O método de ensaio consiste na determinação da massa seca ( $m_s$ ) e massa úmida ( $m_u$ ), a fim de determinar o índice de absorção de água (AA), de acordo com a norma ABNT NBR 15270-2: Componentes Cerâmicos – Parte 2: Blocos e Tijolos para alvenaria, Anexo B. (ABNT, 2017). Após a remoção da mufla, os corpos de prova foram pesados para medir a massa seca ( $m_s$ ). Na sequência, os corpos de prova foram colocados em um recipiente, preenchido com água à temperatura ambiente, em volume suficiente para mantê-los totalmente imersos por um período de 24h. Os corpos de prova saturados foram removidos e colocados em bancada para permitir o escoamento do excesso de água. A água remanescente foi removida com o auxílio de um pano limpo e úmido. A massa úmida ( $m_u$ ), expressa em gramas (g), foi determinada pela pesagem de cada corpo de prova saturado.

O índice de absorção d'água (AA) de cada corpo de prova foi determinado pela equação:

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100$$

Onde:

AA = absorção de umidade (%);

$m_u$  = massa úmida (g);

$m_s$  = massa seca (g).

Figura 27 - Ensaio de Absorção de Água



Fonte: Autor.

### 3.6.2 Índice de Absorção Inicial

O Índice de Absorção Inicial (AAI) foi definido de acordo com a norma ABNT NBR 15.270-2, Anexo D (ABNT, 2017), com a finalidade de determinar a sucção da face de um corpo de provas. Após a retirada da mufla, os corpos de prova foram resfriados ao ar livre até a temperatura ambiente e depois pesados. Na sequência do ensaio as peças foram levadas a um reservatório com água, que sobre suportes metálicos, ficaram a um nível de água ajustados para  $(3,0 \pm 0,2)$  mm. Após a permanência de 60 segundos de cada peça na lâmina de água, foi feita a retirada e rapidamente secado o excesso de água e determinado a massa final de cada corpo de prova, em gramas (g).

O Índice de Absorção Inicial (AAI), foi calculado de acordo com a equação:

$$AAI = 194 \times \frac{\Delta p}{\text{Área}}$$

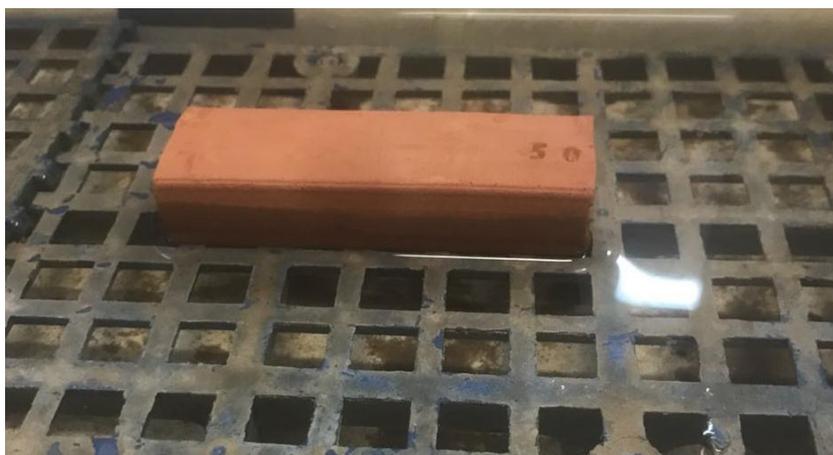
Onde:

$AAI$  = índice de absorção d'água inicial (sucção) da face do corpo de prova, expresso em  $(g/194cm^2/min)$ ;

$\Delta p$  = variação de massa obtida no ensaio, expressa em gramas (g);

$\text{Área}$  = área líquida da face do corpo de prova ensaiado, expresso em centímetros quadrados ( $cm^2$ ).

Figura 28 - Ensaio de Absorção Inicial



Fonte: Autor.

### 3.6.3 Retração Linear

A retração linear (RL) é a medida da variação dimensional linear do corpo de prova após o processo de queima. Por meio de um paquímetro digital, foram medidas as dimensões dos corpos de prova, antes e após a queima. Os resultados foram obtidos por meio da equação. (FEITOSA, 2015):

$$RL (\%) = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100$$

Onde:

RL = retração linear (%);

$L_i$  = comprimento do corpo de prova seco antes da queima (cm);

$L_f$  = comprimento do corpo de prova após processo de queima (cm).

### 3.6.4 Massa Específica Aparente

A Massa Específica Aparente (MEA) foi determinada por meio da relação do valor da massa do cp queimado ( $M_0$ ), da massa do cp úmido ( $M_U$ ) e da massa do cp imerso em água ( $M_I$ ). Para realizar a pesagem do cp imerso e úmido, foi necessário que o mesmo ficasse imerso em água por 24 horas. Para o cálculo do peso imerso, utilizou-se o Princípio de Arquimedes (deslocamento de um fluido por um corpo imerso).

Os resultados foram determinados com os corpos de prova imersos em água e de acordo com a equação: (FEITOSA, 2015):

$$MeA (g / cm^3) = \frac{M_Q}{M_U - M_I}$$

Onde:

MeA = massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>);

M<sub>Q</sub> = massa do corpo de prova queimado (g);

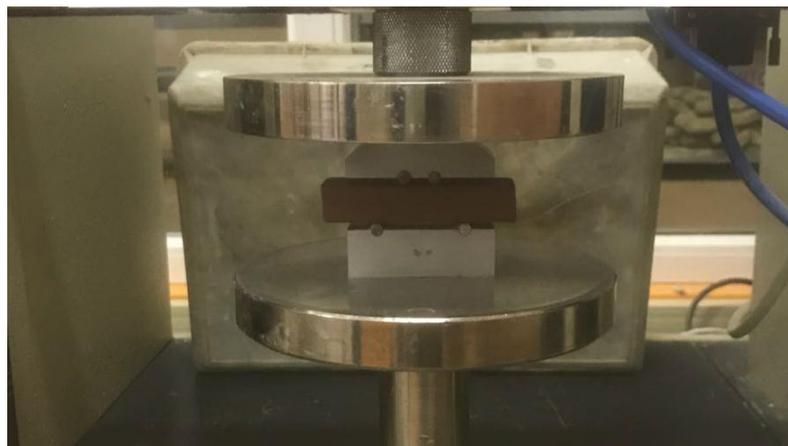
M<sub>U</sub> = massa do corpo de prova úmido (g);

M<sub>I</sub> = massa do corpo de prova imerso em água (g).

### 3.6.5 Resistência Mecânica à Flexão

A Resistência Mecânica à Flexão dos corpos de prova foi determinada por meio da tensão de ruptura à flexão em ensaio de quatro pontos no equipamento universal EMIC, modelo DS 2000, com velocidade de carregamento de 0,008 mm/s. Medidas do equipamento: inferior 36mm x 12mm superior.

Figura 29 - Resistência Mecânica à Flexão



Fonte: Autor.

Os resultados obtidos para Resistência Mecânica foram fornecidos pela equação: (COLLATTO, 2008)

$$\alpha \text{ (MPa)} = \frac{3}{2} \times \frac{P \times (L - l)}{b \times d^2}$$

Onde:

- $\alpha$  = tensão máxima de ruptura (MPa);
- P = carga máxima aplicada (N);
- L = distância entre os apoios inferior (mm);
- l = distância entre os apoios superior (mm);
- b = base do cp (mm);
- d = altura do cp (mm).

Para a realização do ensaio de Resistência Mecânica à Flexão, todos os corpos de prova estavam na condição saturada. A resistência média dos cp's, expressa em megapascal, foi calculada usando a média aritmética dos valores individuais com aproximação decimal.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados para a caracterização da matéria-prima utilizada na pesquisa, bem como resultados das características conferidas às amostras, de acordo com seus ciclos de queima.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

#### 4.1.1 Caracterização Química

##### 4.1.1.1 Fluorescência de Raio X

Analisando o resultado da sua composição, verifica-se que a argila estudada é predominantemente composta por óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , revelando uma composição típica de matéria-prima argilosa para cerâmica vermelha. A Tabela 2 apresenta a composição química da argila.

Tabela 2 - Composição Química da argila

<b>Elementos</b>	<b>%</b>
<b><math>\text{SiO}_2</math></b>	36,686
<b><math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math></b>	11,368
<b><math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></b>	8,036
<b><math>\text{K}_2\text{O}</math></b>	1,07
<b><math>\text{TiO}_2</math></b>	0,981
<b><math>\text{CaO}</math></b>	0,934
<b><math>\text{MgO}</math></b>	0,552
<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math></b>	0,1
<b><math>\text{MnO}</math></b>	0,018
<b>Outros</b>	30,09
<b>P.F.</b>	<b>10,165</b>

Fonte: Autor.

Analisando os teores de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), verifica-se um teor de 36,68%, proveniente da sílica livre e de minerais argilosos. O  $\text{SiO}_2$  é um componente essencial para a massa cerâmica, uma vez que beneficia trabalhabilidade, diminui tempo de secagem e reduz a retração proveniente da secagem e queima. No entanto, um elevado teor de  $\text{SiO}_2$ , pode provocar baixa resistência mecânica as peças sinterizadas. O óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), apresenta um teor aproximado de 8%, provindo de argilominerais com característica abrasiva devido a sua dureza. (MILLOGO *et. al.*, 2011 *apud* GUIMARÃES, 2017).

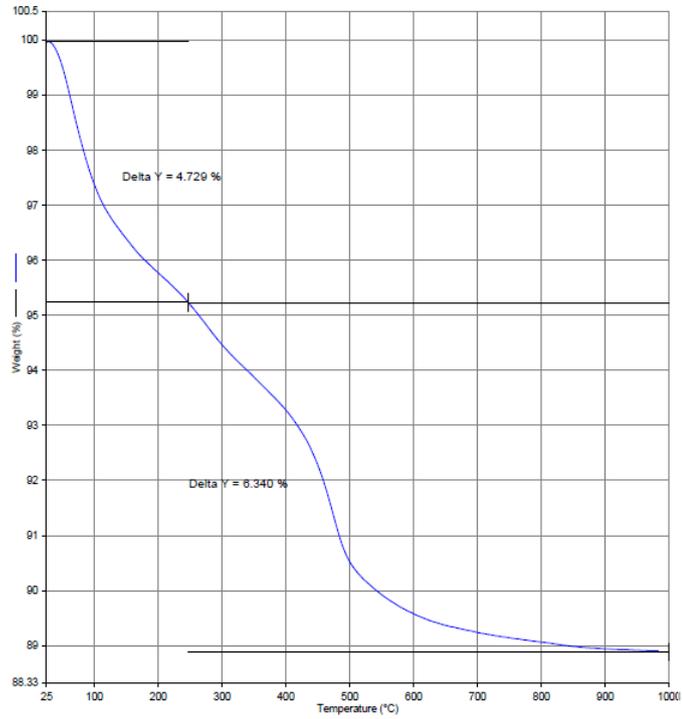
O teor óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) presente na massa cerâmica superior a 11%, determina que, após a queima, a massa cerâmica apresentará uma coloração vermelha devido a oxidação do composto de ferro que se torna óxido férrico. Logo, a quantidade de óxido férrico determina a intensidade da coloração vermelha. (BARBA *et. al.*, 1997 *apud* SANTANA, 2006).

A composição da massa cerâmica apresenta também baixos teores álcalis ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{MnO}$ ). Os óxidos alcalinos ( $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ ) e alcalino-terrosos ( $\text{CaO}$  e  $\text{MnO}$ ) presentes na argila, são fundentes ativos muito importantes para a consolidação das partículas após a queima e são os responsáveis pelo aumento da retração linear após a queima. A perda ao fogo (PF) registrada, representa a perda de água de constituição dos argilominerais, oxidação da matéria orgânica, desidratação de hidróxidos e decomposição dos carbonatos. (PEREIRA *et. al.*, 2011). Outros elementos não foram quantificados por não constarem nos padrões de calibração do laboratório.

#### **4.1.2 Análise Térmica**

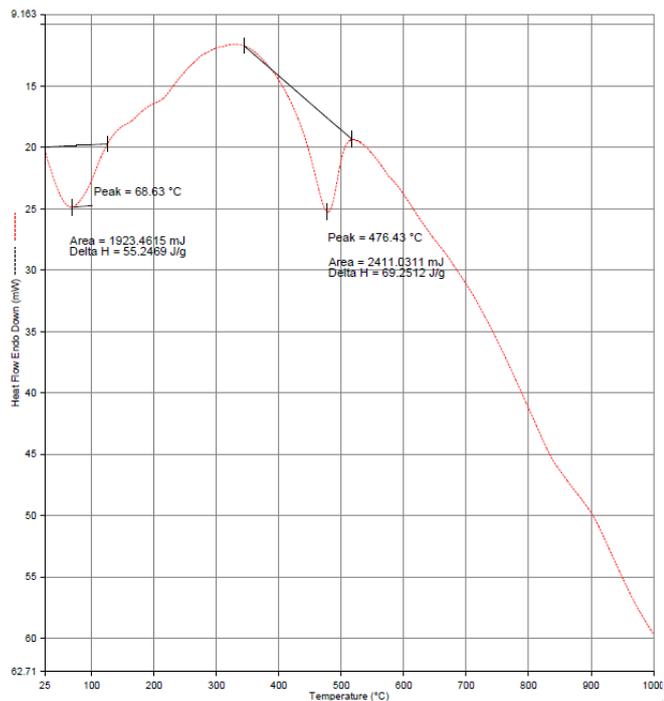
Os Gráficos 1 e 2 respectivamente, representam as curvas da Análise Termogravimétrica (TGA) e Análise Térmica Diferencial (DTA). Esta análise mostra a distribuição da temperatura e a perda de umidade e de matéria orgânica da argila em função da temperatura.

Gráfico 1 - Análise Termogravimétrica (TGA)



Fonte: Laboratório LCVMAT.

Gráfico 2 - Análise Térmica Diferencial (DTA)



Fonte: Laboratório LCVMAT.

Analisando a curva TGA da argila, representada no Gráfico 1, constata-se que ocorreu uma perda de massa total de 11%. Verifica-se uma perda correspondente a 4,73% característico de água livre a uma temperatura entre 25°C e 250°C. A queda de massa ocorre até a temperatura próxima a 1000°C, provavelmente devido à perda de matéria orgânica que correspondem a uma perda de 6,34% da massa total. (ALMEIDA, 2010).

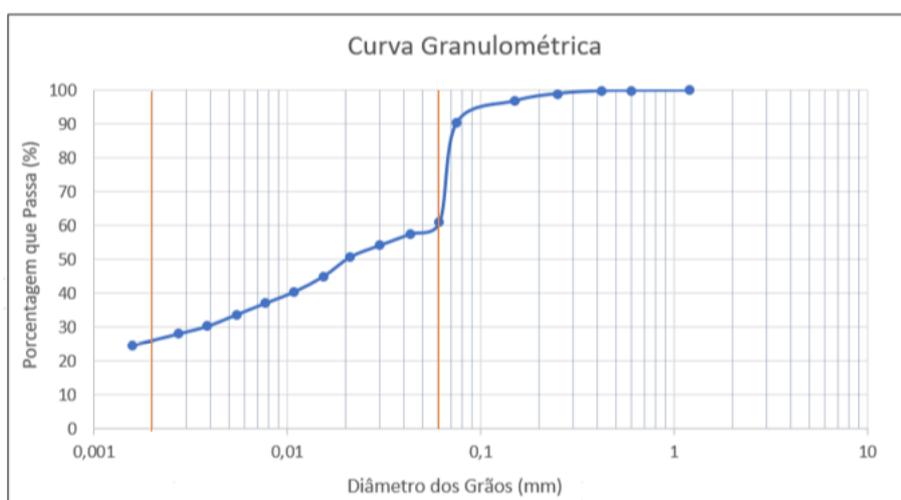
Analisando a temperatura na Análise Térmica Diferencial (DTA), representada no Gráfico 2, observa-se a existência de picos térmicos significativos. Verifica-se um pico endotérmico entre 25°C e 120°C, característico da presença de água livre. Uma banda exotérmica ocorre entre 150°C e 350°C, que está possivelmente associado à oxidação da matéria orgânica. Um segundo pico endotérmico ocorre entre 350°C e 520°C, associado à perda de água de constituição. (MAIA, 2012).

### 4.1.3 Caracterização Física

#### 4.1.3.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica é representada pelo Gráfico 3, que apresenta a curva granulométrica da matéria-prima. Por meio deste gráfico podemos caracterizar a amostra de acordo com o diâmetro dos grãos, conforme a ABNT NBR 6.502. (ABNT, 1995).

Gráfico 3 - Distribuição granulométrica da matéria-prima



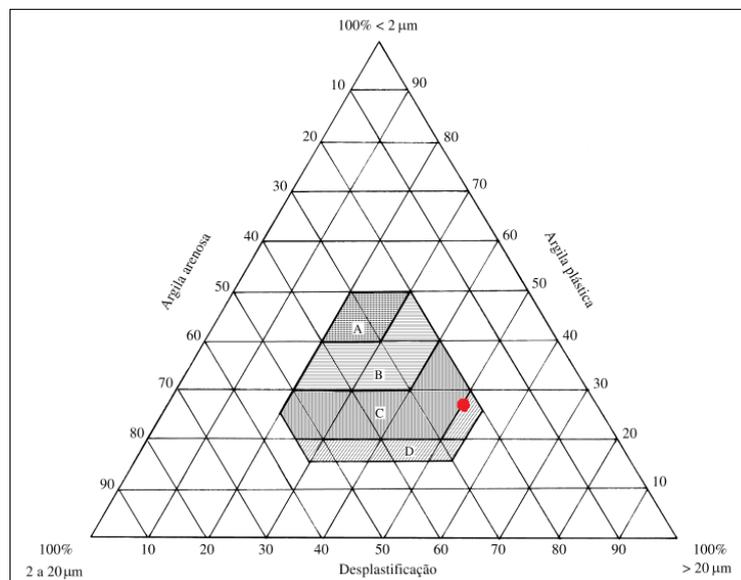
Fonte: Autor.

De acordo com o gráfico, tem-se um teor de argilomineral ou fração de argila de 26% na composição da massa. Este resultado representa partículas menores que  $2\mu\text{m}$ , que conferem a massa cerâmica plasticidade em mistura com água. A massa cerâmica também apresenta na sua composição um teor de silte de 34,76%, seguida de 39,24% de areia.

#### 4.1.3.2 Diagrama de Winkler

A Figura 30 apresenta a localização da matéria-prima dentro do Diagrama de Winkler. Este diagrama é baseado na composição granulométrica da amostra com a finalidade de delimitar as regiões apropriadas para a fabricação de determinados produtos. A região A representa matéria-prima para a fabricação de produtos de qualidade com dificuldade de produção e na região B é considerada adequada para a fabricação de telhas. Já produtos como tijolos furados é mais adequado que se encontre na região C e tijolos maciços na região D. (PRACIDELI e MELCHIADES, 1997).

Figura 30 - Diagrama de Winkler com a localização da amostra



Fonte: Adaptado de Pracideli e Melchiades (1997, p. 02).

Tabela 3 - Resultados da composição granulométrica

Regiões	Composição granulométrica (%)		
	2 $\mu\text{m}$	2 a 20 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$
Tipos de produto			
A. Materiais de qualidade com dificuldade de produção	40 a 50	20 a 40	20 a 30
B. Telhas, capas	30 a 40	20 a 50	20 a 40
C. Tijolos furados	20 a 30	20 a 55	20 a 50
D. Tijolos maciços	15 a 20	20 a 55	25 a 55

Fonte: Autor.

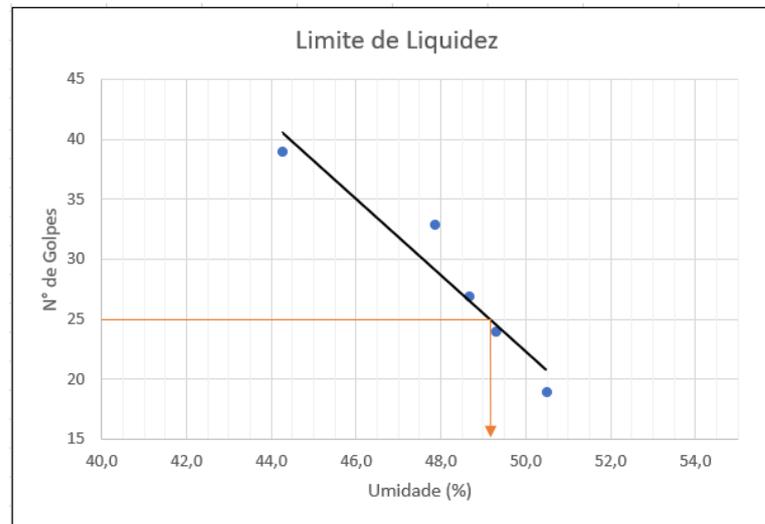
A amostra apresenta 26% para grãos  $<2\mu\text{m}$ , para grãos entre 2 e  $20\mu\text{m}$  o valor é de 23,71% e grãos  $>20\mu\text{m}$  a amostra apresentou 50,29%. Logo, a argila investigada localiza-se junto as extremidades das regiões C e D, apropriadas para a fabricação de tijolos furados e maciços. O seu teor de argila representa valor entre 20 e 30% para partículas  $<2\mu\text{m}$ , tornando a amostra mais adequada para a fabricação de tijolos furados. O teor de silte ficou entre 20 e 55%, sendo uma composição ideal para tijolos maciços e furados. E a composição de areia excedeu o limite de 50% e caracterizou a amostra como mais adequada para tijolos maciços.

Após esta análise é possível definir que a composição granulométrica da amostra pode ser aplicada para fabricação de tijolos maciços e de tijolos furados de vedação.

#### 4.1.3.3 Limites de Atterberg

O limite de plasticidade (LP) da amostra encontrado foi de 30,16% que indica a quantidade mínima de água que a massa cerâmica deve conter para o seu processo de conformação. Já o limite de liquidez (LL) encontrado está representado no Gráfico 4, correspondendo a 49,07% que representa a quantidade máxima de água que a massa pode conter. O índice de plasticidade (IP) calculado para a amostra foi de 18,91%, classificando-a como altamente plástica ( $\text{IP} > 15\%$ ).

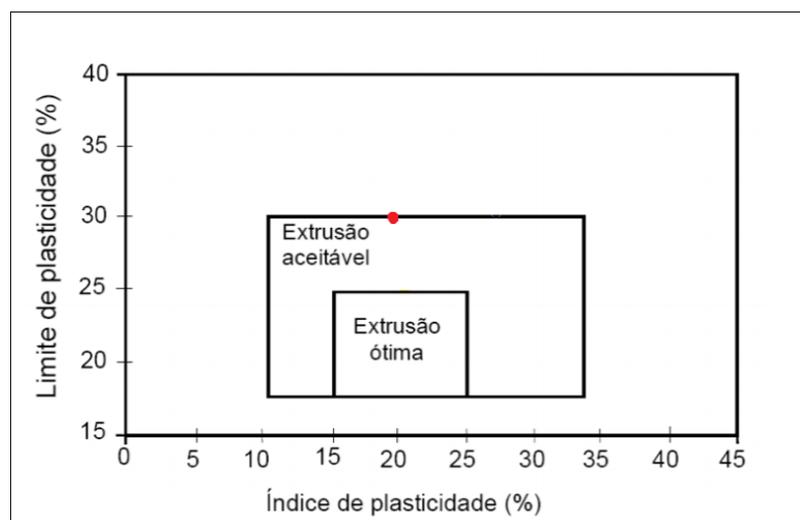
Gráfico 4 - Limite de Liquidez



Fonte: Autor.

A Figura 31 apresenta a localização da amostra em um gráfico elaborado a partir dos limites de Atterberg, que indicam regiões para extrusão aceitável e ótima. A partir dos valores do limite de plasticidade e do índice de plasticidade encontrados, a amostra se encontra na extremidade da região de extrusão aceitável.

Figura 31 - Extrusão a partir dos limites de Atterberg



Fonte: Adaptado Ribeiro *et. al.* (2012, p. 6).

## 4.2 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS APÓS PROCESSO DE QUEIMA

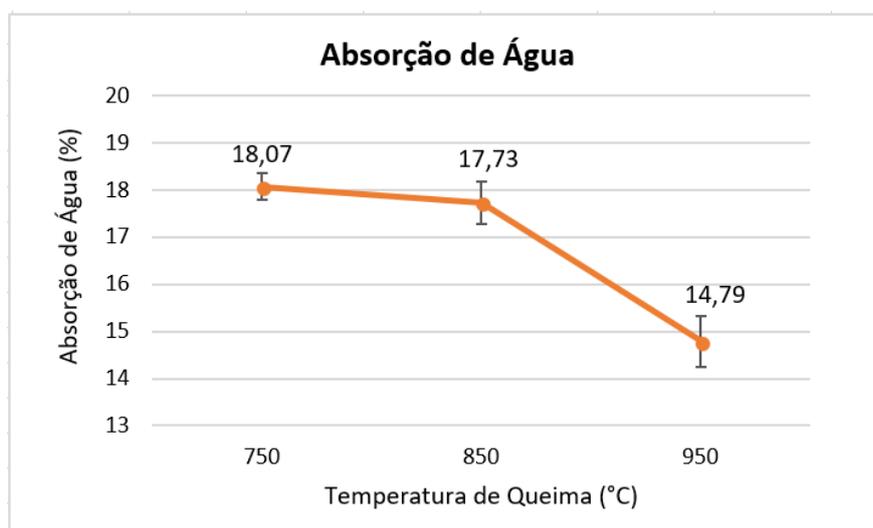
Após a realização do processo de queima dos corpos de prova em três temperaturas diferentes, determinou-se as propriedades tecnológicas de Absorção de Água (AA), Índice de Absorção Inicial (AAI), Retração Linear de Queima (RLq), Massa Específica Aparente (MEA) e Resistência Mecânica à Flexão.

### 4.2.1 Absorção de Água

Após ensaios de Absorção de Água (AA) nos corpos cerâmicos estudados, encontrou-se valores que atendem a ABNT NBR 15.270-1. (ABNT, 2017). A norma estabelece valores que devem atender a uma faixa compreendida entre 8% e 25%. A absorção de água nos ensaios realizados após a queima, mostram que os valores diminuem conforme o acréscimo de temperatura.

O Gráfico 5 nos mostra este decréscimo nos valores de absorção de água em função das temperaturas utilizadas.

Gráfico 5 - Gráfico de Absorção de Água (AA)



Fonte: Autor.

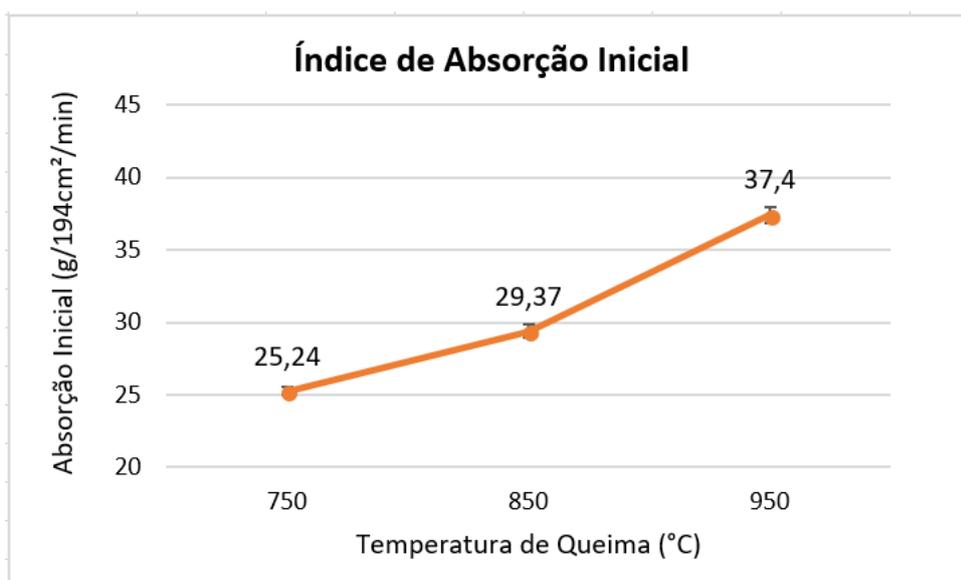
Os corpos de prova queimados a uma temperatura de 750°C, apresentaram uma absorção de água de 18,07(±0,14)%. A uma temperatura de 850°C, apresentaram pouca variação na absorção, tendo como um valor de 17,73(±0,04)%. Com a margem de erro podemos considerar uma absorção praticamente igual

nessas duas temperaturas. Uma diferença significativa na absorção se obteve nas peças queimadas a uma temperatura de 950°C, que obtiveram um valor médio de 14,79(±0,12)%. Esta diminuição nos valores de absorção, provavelmente estão relacionados à porosidade do material, que tende a diminuir em elevadas temperaturas.

#### 4.2.2 Índice de Absorção Inicial

O ensaio de Índice de Absorção Inicial realizado de acordo com a ABNT NBR 15.270-2. (ABNT, 2017), embora não seja obrigatório para blocos e tijolos cerâmicos, é um ensaio muito importante. Os blocos cerâmicos na etapa de assentamento, entram em contato com a argamassa, que no seu estado plástico, possui água necessária para garantir a hidratação do cimento. O bloco irá absorver parte dessa água que pode prejudicar o processo de hidratação. Este índice nos mostra a quantidade de água que é absorvida pelo bloco por capilaridade no seu contato com a argamassa. O Gráfico 6 nos mostra os índices de AAI, característicos de cada temperatura.

Gráfico 6 - Gráfico do Índice de Absorção Inicial (AAI)



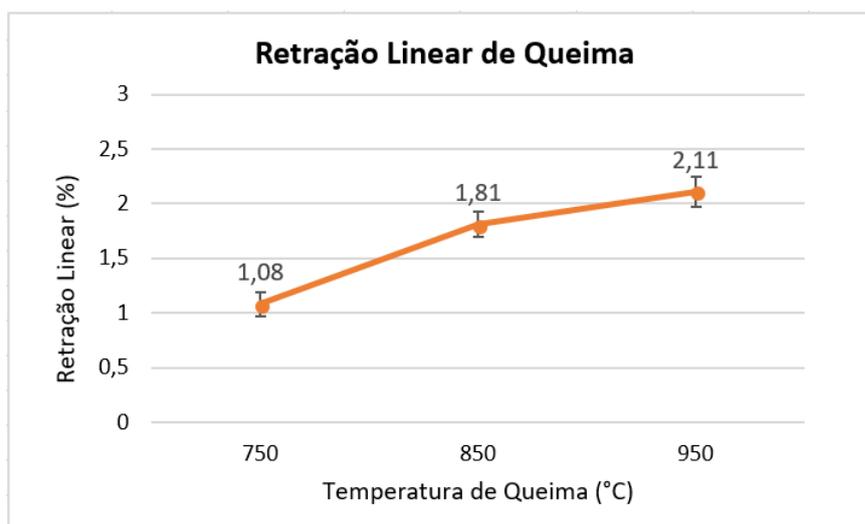
Fonte: Autor.

Após os ensaios, a absorção inicial do corpo cerâmico queimado com 750°C, foi de 25,24(±0,28) g/194cm<sup>2</sup>/min. A uma temperatura de 850°C o AAI atingiu um valor de 29,37(±0,45) g/194cm<sup>2</sup>/min e com 950°C o índice foi de 37,4(±0,55) g/194cm<sup>2</sup>/min.

#### 4.2.3 Retração Linear de Queima

No Gráfico 7 são apresentados os resultados da Retração Linear de Queima (RLq) das peças cerâmicas estudadas. A retração linear é um parâmetro tecnológico de extrema importância para o setor cerâmico, a fim de determinar as dimensões finais das peças.

Gráfico 7 - Gráfico da Retração Linear após a Queima (RLq)



Fonte: Autor.

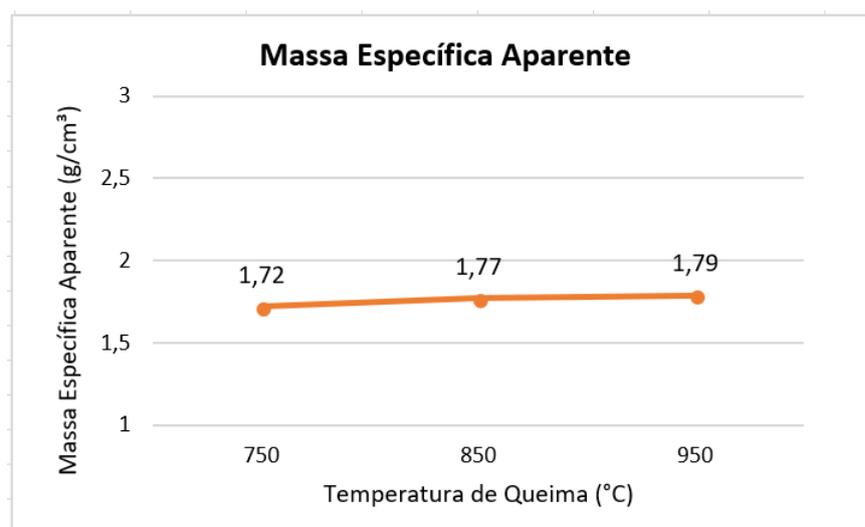
Os resultados nos mostram que os valores tiveram um acréscimo conforme o aumento de temperatura. Encontrou-se um índice médio de retração de 1,08(±0,11)% para a temperatura de 750°C e 1,81(±0,12)% para 850°C. Um índice maior de retração ocorreu na faixa de temperatura de 950°C, alcançando um valor médio de 2,11(±0,14)%.

É desejado que estes valores de retração linear após queima, fiquem dentro desta faixa estreita para garantir uma constância de produtos conformes, atendendo as normas vigentes.

#### 4.2.4 Massa Específica Aparente

Os resultados da Massa Específica Aparente (MEA) em função das respectivas temperaturas, estão expressas em g/cm<sup>3</sup> no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Gráfico da Massa Específica Aparente (MeA)



Fonte: Autor.

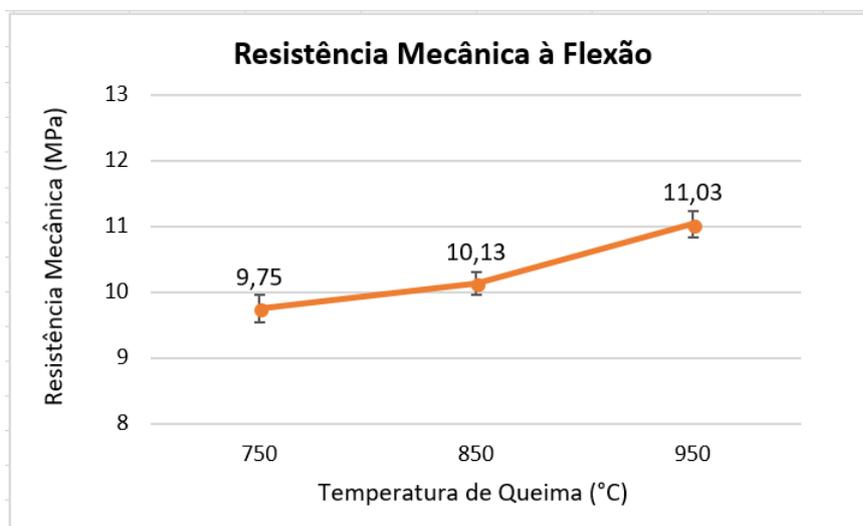
Os valores encontrados mostram um pequeno aumento da densificação das peças cerâmicas, de acordo com o acréscimo de temperatura. Nota-se um menor valor de massa específica a 750°C, apontando 1,72(±0,02) g/cm<sup>3</sup>. Com o aumento de temperatura para 850°C, o valor médio é de 1,77(±0,01) g/cm<sup>3</sup> e 1,79(±0,01) g/cm<sup>3</sup> para a temperatura de 950°C.

#### 4.2.5 Resistência Mecânica à Flexão

O ensaio de Resistência Mecânica à Flexão, nos mostra a capacidade que um corpo de prova tem de suportar esforços exercidos por cargas, que podem levar a rupturas ou esmagamentos. Por meio dos ensaios de resistência a flexão por quatro pontos, realizados com a aplicação de uma carga máxima, obteve-se resultados que apontam um crescimento na resistência das peças conforme a elevação da temperatura.

Para uma melhor visualização dos resultados, os valores são mostrados no Gráfico 9, de acordo com suas respectivas temperaturas.

Gráfico 9 - Gráfico da Resistência Mecânica à Flexão



Fonte: Autor.

As massas cerâmicas apresentaram uma resistência à flexão de 9,75( $\pm$ 0,22) MPa quando queimadas a uma temperatura de 750°C. Ao elevar a temperatura para 850°C, o valor médio da resistência atingiu 10,13( $\pm$ 0,17) MPa e se obteve um acréscimo aos 950°C ao suportar uma carga equivalente a 11,03( $\pm$ 0,20) MPa.

Segundo Kazmierczak (2017), após a queima os valores de resistência mecânica à flexão específicos para argila utilizada na fabricação de blocos cerâmicos devem ser  $\geq$ 5,5MPa. Os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados nos mostram que os corpos de prova já atingem a especificação da literatura a partir de 750°C.

#### 4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS APÓS A QUEIMA

Para uma melhor visualização, a Tabela 4 apresenta, de forma resumida, os resultados dos ensaios obtidos após o processo de queima. Durante a queima, os componentes presentes na massa cerâmica sofrem alterações na sua estrutura e se reorganizam, propiciando diferentes características as peças cerâmicas.

Tabela 4 - Resultados tecnológicos após processo de queima

Variáveis	Temperatura 750°C	Temperatura 850°C	Temperatura 950°C
Absorção de Água (%)	18,07	17,73	14,79
Índice de Absorção Inicial (g/194cm <sup>2</sup> /min)	25,24	29,37	37,40
Retração Linear de Queima (%)	1,08	1,81	2,11
Massa Específica Aparente (%)	1,72	1,77	1,79
Resistência Mecânica à Flexão (MPa)	9,75	10,14	11,03

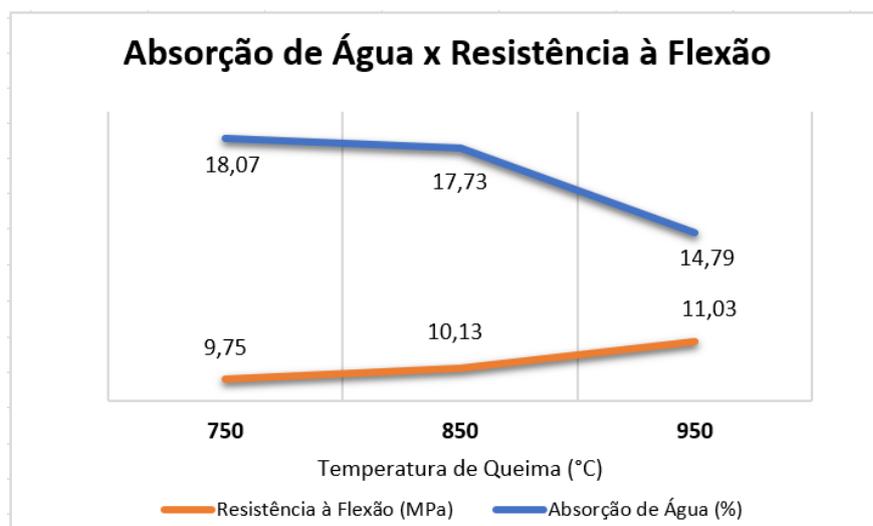
Fonte: Autor.

A absorção de água é uma propriedade muito importante dos materiais cerâmicos, que deve atender as exigências normativas. Paredes executadas com blocos cerâmicos que possuem alta absorção de água, com valores acima de 25%, podem apresentar problemas de trabalhabilidade, além de possíveis manifestações patológicas. Isto se deve ao fato do bloco absorver parte da água presente na composição da argamassa, necessária para a hidratação do cimento. Por outro lado, se absorção for menor que 8%, poderá haver comprometimento na aderência da argamassa. (POSSES, 2013).

Blocos não conformes com elevada absorção de água podem causar uma série de manifestações patológicas causando aumento de umidade na edificação, formação de bolores, proliferação de fungos, aparecimento de manchas e degradação da tinta alterando as condições de habitabilidade e conforto do usuário. (MASSON *et. al.*, 2016). Uma excessiva absorção também poderá afetar o atendimento a norma ABNT NBR 15.575-4: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas, na questão da estanqueidade.

Os resultados nos mostram índices de absorção de água satisfatórios em relação a norma vigente. Podemos ver que os valores encontrados compreendem entre 14% e 18%. Outro aspecto importante que podemos ressaltar é a resistência mecânica, que está diretamente relacionada a essa propriedade. Como podemos ver no Gráfico 10, quanto menor a absorção, maior a sua resistência.

Gráfico 10 - Absorção de Água x Resistência Mecânica à Flexão



Fonte: Autor.

A resistência mecânica da massa cerâmica está associada diretamente a matéria-prima utilizada no processo de fabricação, assim como no processo de queima. Por meio desta importante propriedade é possível determiná-la como um indicador de qualidade. Peças que atingem resistência superior a 1,5MPa são consideradas satisfatórias, de acordo com a norma vigente. Mas a nível estrutural, esse valor deve atingir um mínimo de 4MPa.

Com os resultados ficou evidente a importância do fator temperatura de queima nas propriedades da cerâmica vermelha. A medida que a temperatura aumentou, maiores valores de resistência foram obtidos. De acordo com Pinto, Souza e Holanda (2005), esse aumento característico de acordo com a temperatura está ligado a formação de fases cristalinas de silicatos e aluminossilicatos de cálcio e/ou magnésio e pela formação de uma fase líquida com baixa viscosidade que preenche os poros abertos à medida que se aumenta a temperatura.

Ensaio como índice de absorção inicial e massa específica aparente são determinados pela norma como caráter informativo. Logo, não são obrigatórios sua aplicação em blocos cerâmicos. Entretanto, são índices importantes que podem ser realizados a critério do fabricante ou do consumidor, a fim de se obter informações complementares das propriedades do bloco ou tijolo.

O índice de absorção inicial é importante, pois nos mostra dados técnicos em relação à quantidade de água que é absorvida pelo bloco por capilaridade, em função do tempo de contato com a argamassa. O AAI representa influência na

resistência do revestimento superficial devido a absorção da água da argamassa pelo substrato. Esta absorção altera o transporte de água ao longo da camada da argamassa fresca, ocasionando alterações nas propriedades no seu estado endurecido. Quanto maior a absorção inicial de água pela base, maior será a resistência superficial da argamassa de revestimento. (HONÓRIO e CARASEK, 2010).

Outra propriedade importante e que constitui um grande problema para a indústria cerâmica é a retração linear, sofrida pela massa nos processos de secagem e queima. Uma massa cerâmica pode sofrer diversas retrações, que podem variar de acordo com o grau de umidade de extrusão, aumento da temperatura de queima e variação da granulometria. Quanto mais fina for a argila, maior será a sua retração, aumentando os problemas de trincas e quebras. (COSTA, 2016).

Além das características estéticas, a maior preocupação em relação a retração das massas cerâmicas é garantir as dimensões finais das peças dentro dos limites estabelecidos pela norma. Nos valores encontrados de retração, se obteve resultados que variaram de acordo com o grau da temperatura de queima. Conhecendo a temperatura de queima no processo, o fabricante associa esse valor acrescido a uma retração de secagem para se obter um valor de retração total.

Nos resultados, encontrou-se um valor médio de retração de secagem de 7,23%. Somando este valor com a retração máxima de queima encontrada de 2,11% na temperatura de 950°C, se obteve um valor de retração final de 9,34%. No estudo de Kohl, Medtler e Santos (2015), os autores citam um valor máximo de retração aceitável de 12%, o que indicaria que a retração linear da massa estudada estaria dentro dos padrões que se deseja.

## 5 CONCLUSÃO

Por meio desta pesquisa, se efetuou a caracterização da matéria-prima utilizada na Cerâmica Orlandin Ltda, juntamente com um estudo de queima para conhecer melhor as propriedades dos seus produtos. Visto a extrema importância de se obter produtos com qualidade constante o estudo mostrou resultados satisfatórios.

Na caracterização da argila utilizada, revelou-se uma composição típica de matéria-prima argilosa empregada na indústria cerâmica vermelha. Por meio da fluorescência de raio-x, a composição química constatou a presença de sílica proveniente de minerais argilosos, alumina oriunda de argilominerais e um teor de ferro indicando a coloração vermelha dos produtos.

A granulometria nos apresentou uma fração de argila de 26% na composição da massa, classificando-a como ideal para o uso da fabricação de blocos de vedação. O estudo também nos mostrou um índice de plasticidade acima de 15%, identificando a argila como altamente plástica, classificando-a como uma massa de extrusão aceitável. Os limites ainda nos mostram as quantidades mínimas e máximas de água que podem ser colocadas na massa de extrusão.

Por meio destes resultados da caracterização da argila, percebe-se a relevância do seu estudo. A composição da matéria-prima para a fabricação dos produtos cerâmicos pode variar de uma região para outra, gerando produtos diferentes. Logo, se faz necessário uma análise completa das propriedades dos materiais que serão gerados.

A pesquisa evidencia ainda a influência da temperatura de queima nas propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova. Com os resultados, ficou evidente que o aumento da temperatura interferiu nessas propriedades. Os dados da pesquisa mostram que muitas empresas do ramo desconhecem a temperatura utilizada em seus processos. O estudo mostrou o quão importante é o conhecimento do ciclo de queima e os resultados que dão, podendo reajustar as propriedades dos blocos conhecendo a temperatura utilizada.

Ao realizar os ciclos de queima dos corpos de prova, a retração linear apresentou um aumento sucessivo de acordo com a temperatura utilizada. Essa é uma propriedade importante, ao qual é preciso ter um cuidado especial por parte do ceramista, que deve sempre visar atender as normas vigentes. Ao aumentar a

temperatura, a retração aumenta, logo, este cuidado deve ser monitorado principalmente em fornos que não conseguem uma queima homogênea e apresentará peças com medidas variadas.

Outra propriedade que apresentou comportamento similar foi a resistência mecânica à flexão, que apresentou melhores resultados em temperaturas mais elevadas. Os valores encontrados foram satisfatórios, acima dos valores encontrados na literatura em todas as temperaturas.

Na temperatura mais elevada do ciclo de queima da pesquisa obtiveram-se também os valores mais elevados para massa específica aparente e índice de absorção inicial. Propriedades importantes, determinadas pela norma como não obrigatórias e com caráter informativo. Com semelhança a outras propriedades estudadas, verificou-se um aumento dos resultados de acordo com a temperatura, decorrentes de uma maior densificação dos corpos.

A absorção de água após o ciclo de queima, diferentemente dos parâmetros anteriores, diminuiu de acordo com o aumento de temperatura. Os valores de absorção de água atenderam os requisitos da norma em todas temperaturas. Como já descrito no trabalho, vale ressaltar a importância desse parâmetro que influenciará diretamente no desempenho das argamassas. Também é importante lembrar sua ligação com a resistência, na qual uma maior absorção de água indica uma menor resistência mecânica.

Por fim, a pesquisa evidencia a importância de uma análise das características físicas da matéria-prima, bem como a determinação das propriedades tecnológicas, responsáveis para a determinação da qualidade dos produtos produzidos. É importante também elaborar um bom ciclo de queima, com uma temperatura ideal que garanta aos produtos cerâmicos a qualidade desejada. Este estudo aponta dados relevantes que devem ser levados ao campo industrial, com a finalidade de se obter resultados dentro do processo produtivo, contribuindo para a diminuição de perdas de produção além de proporcionar produtos com qualidade para a construção civil.

Tem-se a certeza de que esta pesquisa contribuiu muito para a empresa, que a partir de agora conhece melhor as propriedades da argila utilizada no seu processo produtivo. A argila estudada apresentou resultados positivos, se caracterizando como matéria-prima apropriada para a produção de seus produtos. Ficou muito evidente a importância do estudo, já que a empresa sempre busca

resultados para atingir cada vez mais produtos com qualidade para atender melhor o mercado.

Entende-se que o desenvolvimento e a continuidade desta pesquisa possam contribuir também para outras empresas deste mesmo segmento que buscam do mesmo modo, uma melhoria para que tenhamos uma construção com materiais de ótima qualidade, que atendam as normas vigentes diminuindo as perdas e desperdícios de matéria-prima.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar as propriedades finais das peças cerâmicas, variando taxa de aquecimento e patamar de queima;
- Estudar a otimização de uma formulação de massas argilosas com argilas diferentes, analisando a configuração granulométrica;
- Estudar a utilização de diversos tipos de resíduos industriais na massa cerâmica como pó de madeira, areia de fundição e chamote;
- Avaliar as características da massa cerâmica no processo de secagem de acordo com a curva de Bigot;
- Ensaiar o comportamento da peça cerâmica em relação a aderência de revestimento argamassado.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Estudo Técnico Setorial da Cerâmica Vermelha**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <[http://www.abdi.com.br/Estudo/05prova\\_p%C3%A1gina%20%C3%BAnica%20-%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo/05prova_p%C3%A1gina%20%C3%BAnica%20-%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha.pdf)>. Acesso em: 07 mai. 2018.

ALBERS, A. P. F.; MELCHIADES, F. G.; MACHADO, R.; BALDO, J. B.; BOSCHI, A. O. Um Método Simples de Caracterização de Argilominerais por Difração de Raio X. **Revista Cerâmica**, São José dos Campos, SP, v. 48, n. 305, jan./fev./mar. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/ce/v48n305/a0848305.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

ALEXANDRE, Jonas; JÚNIOR, Fernando Saboya Albuquerque; XAVIER, Gustavo de Castro. Análise das Alterações das Propriedades Mecânicas de Produtos Cerâmicos em Função do Tempo de Queima. **Revista Cerâmica Industrial**, Campos dos Goytacazes, RJ, v. 11, n. 4, jul./ago. 2006. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v11n04/v11n4a03.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

ALMEIDA, Genival da Silva. **Simulação e Experimentação da Secagem de Cerâmica Vermelha em Sistemas Térmicos Industriais**. 2009. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABC). **Informações Técnicas – Definição e Classificação**. São Paulo, SP, [2018?]. Disponível em: <<http://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6457: Amostra de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-1: Componentes Cerâmicos – Parte 1: Blocos e Tijolos para alvenaria - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-2: Componentes Cerâmicos – Parte 2: Blocos e Tijolos para alvenaria – Métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 6502: Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA (ANICER). **Dados do setor**. Rio de Janeiro, RJ, [2018?]. Disponível em: <<http://anicer.com.br/setor/>>. Acesso em: 26 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA (APICER). **Manual de Alvenaria de Tijolo**. 2. ed., Coimbra, Portugal, 2009.

\_\_\_\_\_. **Utilização Racional e Energia e Energias Renováveis**. Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro – CTCV, Coimbra, Portugal, 2009.

BERTAN - Indústria e Comércio de Máquinas Ltda. **Catálogo de Produtos**. Morro da Fumaça, SC, [2018?]. Disponível em: <<http://bertanmaquinas.com.br/produtos/>>. Acesso em: 07 mai. 2018.

BOQCER – Boquilhas Boqcer. **Catálogo de Produtos**. Louveira, SP, [2018?]. Disponível em: <<https://www.boqcerboquilhas.com.br/produtos>>. Acesso em: 09 mai. 2018.

CABRAL JUNIOR, Marsis; MOTTA, José Francisco Marciano; ALMEIDA, Amilton dos Santos; TANNO, Luiz Carlos. **Argilas para cerâmica vermelha**. Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia – Rio de Janeiro, 2005.

CAMPOS, L. F. A.; MACEDO, R. S.; KIYOHARA, P. K.; FERREIRA, H. C. Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural. **Revista Cerâmica**, v. 45, 1999. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S036669131999000500006&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036669131999000500006&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 26 jun. 2018.

CASSANI, Ferdinando. Recuperando energia dos fornos, secadores e atomizadores. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 14, n. 3, mai./jun. 2009. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v14n3/v14n3a03.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

CENTRO DE TECNOLOGIAS DO GÁS E ENERGIAS RENOVÁVEIS (CTGAS-ER). **Fornos do Setor de Cerâmica Vermelha do Rio Grande do Norte**. Lagoa Nova, Natal, RN, 2014. Disponível em: <<https://www.rn.sebrae.com.br/aplicativos/pdf/ceramica.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

COELHO, José Mario. **Projeto de assistência ao setor de energia: perfil de argilas para cerâmica vermelha**. 30 f. (Relatório Técnico 32). Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2009.

COLLATTO, Décio. **Utilização de resíduo proveniente da estação de tratamento de efluentes de indústria de papel como matéria-prima na fabricação de cerâmica vermelha**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

COSTA, Vitor Salvado F. **Notas e apontamentos de um ceramista**. Copyright © 2016. Aveiro, Portugal, 2016.

DENARI, Gabriela Bueno; CAVALHEIRO, Éder Tadeu Gomes. **Princípios e Aplicações de Análise Térmica**. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <[https://uspdigital.usp.br/apolo/apoObterAtividade?cod\\_oferecimentoatv=49006](https://uspdigital.usp.br/apolo/apoObterAtividade?cod_oferecimentoatv=49006)>. Acesso em: 26 jun. 2018.

FEITOSA, Alan de Oliveira. **Influência das Variáveis de Processamentos na Cor e Propriedades Tecnológicas de Cerâmicas Estruturais**. 2015. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Avaliação Energética das Indústrias de Cerâmica Vermelha no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG, 2012. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/producao\\_sustentavel/levantamentos/avaliacao\\_energetica\\_ceramica.pdf](http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/levantamentos/avaliacao_energetica_ceramica.pdf)>. Acesso em: 14 mai. 2018.

GOMES, Celso Figueiredo. **Argilas - O que são e para que servem**. Aveiro: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.

GUIMARÃES, Carlos Alberto de Oliveira. **Avaliação do ciclo de queima nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha**. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos do Goytacazes, 2017.

HARTKE, Rafael Fernando. **Análise numérica de um secador contínuo utilizado na indústria de cerâmica vermelha**. In: BRAZILIAN CONGRESSO F THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING – BRAZILIAN SOCIETY OF MECHANICAL SCIENCES AND ENGINEERING. 10. Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

HONÓRIO, Túlio; CARASEK, Helena. Influência da absorção de água do substrato na resistência superficial de revestimentos de argamassa. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO. 3., 2010, Lisboa, Portugal. **Anais...** APFAC, 2010. v. 1. p. 1-12.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA (INT). **Panorama da Indústria de Cerâmica Vermelha no Brasil**. Rio de Janeiro, RJ, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.redladrilleras.net/assets/files/b465b4c24c285ffe2194ca3a56ea6b00.pdf>> . Acesso em: 27 mar. 2018.

JÚNIOR, Gilberto Baccelli. **Avaliação do Processo Industrial da Cerâmica Vermelha na Região do Seridó – RN**. 2010. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2010.

KAWAGUTI, Wagner Mitio. **Estudo do Comportamento Térmico de Fornos Intermitentes tipo “Paulistinha” Utilizados na Indústria de Cerâmica Vermelha.** 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

KAZMIERCZAK, Claudio de Souza. Produtos de Cerâmica Vermelha. In: ISAIA, G.C. (ed) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo, Instituto Brasileiro de Concreto, 2017, v. 3.

KOHL, Claudia Adriana; MEDTLER, Mariana Brenner; SANTOS, Vanessa Schweitzer dos. Importância do ciclo de queima nas propriedades mecânicas e físicas da cerâmica vermelha. **Revista Tempo Técnico**, 17. ed., 56 p., 2015. Disponível em: <<http://www.sindicermg.com.br/biblioteca/RevistaTempoTecnico/17-QUEIMA.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

MAIA, Fernanda dos Santos. **Avaliação das massas cerâmicas, processamento e propriedades dos produtos de cerâmica vermelha do pólo cerâmico de Campos de Goytacazes.** 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos Goytacazes, 2012.

MASSON, Alana Carolina; RENZI, Gabriela; SANTOS, Sérgio dos; FLORIANI, Ricardo. Absorção de água em tijolos. **Revista Maiêutica**, Indaial, v. 2, n. 1, p. 7-24, 2016.

MEDEIROS, Elisandra Nazaré Maia. **Sistema de Gestão da Qualidade na Indústria Cerâmica Vermelha. Estudo de caso de uma Indústria que abastece o mercado de Brasília.** 2006. 190 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

NATREB – Soluções Inteligentes para Indústria Cerâmica. **Catálogo de Produtos.** Morro da Fumaça, SC, [2018?]. Disponível em: <[http://www.natreb.com.br/portugues/categoria\\_tudo.php](http://www.natreb.com.br/portugues/categoria_tudo.php)>. Acesso em: 07 mai. 2018.

NORTON, Frederick Harwood. **Introdução à Tecnologia Cerâmica.** São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

OLIVEIRA, Amando Alves de. **Tecnologia em cerâmica.** Criciúma: Editora Nova Lara, 2011.

ORLANDIN, Letícia Carin. **Procedimentos para determinação do preço de venda com base nos custos em micro e pequenas empresas do setor cerâmico.** 2010. 78 f. Monografia (Bacharel em Ciências Contábeis) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2010.

PEREIRA, P.S.; MORAIS, A.S.C.; CALDAS, T.C.C.; RIBEIRO, M.M.; MONTEIRO, S.N.; VIEIRA, C.M.F. Caracterização de argila utilizada para fabricação de cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. 55., 2011, Porto de Galinhas. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2011. Disponível em:

<[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/47/078/47078222.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/47/078/47078222.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2018.

PINTO, M. F.; SOUSA, S. J. G.; HOLANDA, J. N. F. Efeito do ciclo de queima sobre as propriedades tecnológicas de uma massa cerâmica vermelha para revestimento poroso. **Revista Cerâmica**, v. 51, p. 225-229, 2005.

POSSES, Ivana Pereira das. **Caracterização tecnológica de blocos cerâmicos de alvenaria de vedação produzidos por empresas cerâmicas do estado do Espírito Santo**. 2013, 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2013.

PRACIDELI, Sebastião; MELCHIADES, Fábio G. Importância da Composição Granulométrica de Massas para Cerâmica Vermelha. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 02, n. 01/02, jan./abr. 1997. Disponível em: <[http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v02n12/v2n12\\_5.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v02n12/v2n12_5.pdf)>. Acesso em: 21 jun. 2018.

RAMOS, S. O.; MACEDO, R. S.; CARTAXO, J. M.; MENEZES, R. R.; NAVARRO, L. N. L.; NEVES, G. A. Caracterização de argilas usadas para cerâmica estrutural. **Revista Remap**, v. 5, n. 3, p. 65-70, 2010. Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/194/174>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

RIBEIRO, A. P.; BABISK, M. P.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. **Desenvolvimento de massa cerâmica com argilas de Campos dos Goytacazes e Itaboraí**. 2012. 12 f. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos Goytacazes, RJ, 2012. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/images/congressos/2012/CAC00450012.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

RIBEIRO, Manuel J.; FERREIRA, Antônio A.L.; LABRINCHA, João A.; Aspectos Fundamentais sobre a Extrusão de Massas de Cerâmicas Vermelhas. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 8, n. 1, jan./fev. 2003. Disponível em: <[http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v08n01/v8n1\\_6.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v08n01/v8n1_6.pdf)>. Acesso em: 08 mai. 2018.

SANTANA, Ed Weine Fernandes. **Avaliação da Secagem e Queima de Placas Cerâmicas**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

SANTOS, Gabriel Mann. **Estudo do Comportamento Térmico de um Forno Túnel Aplicado à Indústria Cerâmica Vermelha**. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SANTOS, Ivana Suely Soares dos. **Manual de cerâmica vermelha**. Porto Alegre: [s.n.], 1995.

SILVA, Poliana dos Santos; MACEDO, Reginaldo Severo de; Caracterização Tecnológica de Argilas para Produção de Telhas Cerâmicas na Paraíba. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 7., 2010, Campina Grande. **Anais eletrônicos...** Universidade Federal de Campina Grande, 2010. Disponível em: <<http://pesquisa.ufcg.edu.br/anais/2010/ece/resumos/engenharia%20e%20ciencias%20exatas/ENGENHARIA%20MATERIAIS/Poliana%20dos%20Santos%20Silva-CCT.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE OLARIA E DE CERÂMICA PARA A CONSTRUÇÃO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (SINDICER/RS). **História da Cerâmica**. Porto Alegre, [2018?] Disponível em: <<http://www.sindicermf.com.br/historia-da-ceramica.html>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

\_\_\_\_\_. **Diagnóstico da Indústria de Cerâmica Vermelha no Estado do RS**. Relatório de Pesquisa, Porto Alegre, 2008.

TELHAS POLLA. **Empresa**. Içara, SC, 2018. Disponível em: <<https://www.telhaspolla.com.br/>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

TOLEDO, Rosane. **Técnicas fototérmicas de de raios-x para o monitoramento de sólidos e gases em materiais cerâmicos**. 2003. 327 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2003.

VIEIRA, Carlos Maurício Fontes; FEITOSA, Hygina Sales; MONTEIRO, Sérgio Neves. Avaliação da secagem de cerâmica vermelha através da curva de Bigot. **Revista Cerâmica Industrial**, v.8, n. 1, jan./fev.2003. Disponível em: <[http://www.brasenic.com.br/bigot/bigot\\_3.pdf](http://www.brasenic.com.br/bigot/bigot_3.pdf)>. Acesso em: 09 mai. 2018.

WIECK, Rogério; DUALIBI, Jamil; Extrusão em Cerâmica Vermelha: Princípios Básicos, Problemas e Soluções. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 18, n. 3, mai./jun. 2013. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v18n3/v18n3a02.pdf>>. Acesso em: 8 mai. 2018.

ZANELATO, Euzébio B.; ALEXANDRE, Jonas; AZEVEDO, Afonso R.G.; MARVILA, Markssuel T.; MONTEIRO, Sérgio N.; CERQUERIA, Niander A.; XAVIER, Gustavo C. Comparação entre Blocos Cerâmicos Produzidos em Fornos Hoffmann e Caieira. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM. 72. 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2017, p.8.

### APÊNDICE A - PLANILHA DA GRANULOMETRIA

<b>PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL = PENEIRAMENTO GROSSO</b>				
Peneira		Amostra Total Úmida (Wt): g	Amostra Total Seca (Ws): 250g	Mat. Seco Retido nº 10 (Wg): g
nº	mm	Material Retido (g)	Material Retido Acumulado Wi (g)	Material Passado Qg (%)
2"	50	0	0	0
1 1/2"	38	0	0	0
1"	25	0	0	0
3/4"	19	0	0	0
3/8"	9,5	0	0	0
4	4,8	0	0	0
10	2	0	0	100,00

<b>PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL = PENEIRAMENTO FINO</b>				
Peneira		Amostra Parcial Úmida (W): g	Amostra Parcial Seca (Ws): 70g	P10= %
nº	mm	Material Retido (g)	Material Retido Acumulado Wi (g)	Material Passado Qf (%)
16	1,2	0,02	0,02	100
30	0,6	0,03	0,05	99,93
40	0,42	0,08	0,13	99,81
60	0,25	0,58	0,71	98,99
100	0,15	1,5	2,21	96,84
200	0,075	4,45	6,66	90,49

## APÊNDICE B - PLANILHAS DOS LIMITES DE ATTERBERG

Dados para determinação do Limite de Liquidez (LL)					
Amostra	1	2	3	4	5
Intervalo de Golpes	15 - 20	21 - 25	26 - 30	21 - 35	36 - 40
Nº de Golpes	19	24	27	33	39
Nº da Cápsula	211	294	291	195	152
Peso da Cápsula (g)	7,36	8,04	7,73	7,64	8,3
Peso da Cápsula + Solo Úmido (g)	13,68	14,28	14,3	14,13	13,58
Peso da Cápsula + Solo Seco (g)	11,56	12,22	12,15	12,03	11,96
Peso da Água (g)	2,12	2,06	2,15	2,1	1,62
Peso do Solo Seco (g)	4,2	4,18	4,42	4,39	3,66
Umidade %	50,48	49,28	48,64	47,84	44,26

Dados para determinação do Limite de Plasticidade (LP)					
Amostra	1	2	3	4	5
Nº da Cápsula	262	344	315	36	255
Peso da Cápsula (g)	7,76	6,62	8	7,06	7,76
Peso da Cápsula + Solo Úmido (g)	9,08	8,28	9,37	8,85	9,35
Peso da Cápsula + Solo Seco (g)	8,78	7,92	9,04	8,42	8,98
Peso da Água (g)	0,3	0,36	0,33	0,43	0,37
Peso do Solo Seco (g)	1,02	1,3	1,04	1,36	1,22
Umidade %	29,41	27,69	31,73	31,62	30,33
Limite de Plasticidade (LP) %	30,16				

### APÊNDICE C - PLANILHA DE DADOS APÓS A QUEIMA COM 750°C

PLANILHA DE DADOS APÓS QUEIMA EM 750°C						
CP	Temperatura	AA %	AAI %	Retração %	MeA (g/cm <sup>3</sup> )	R. Flexão (Mpa)
1	750	18,00	23,72	1,42	1,78	10,11
2	750	18,59	28,36	0,54	1,72	9,73
3	750	17,71	26,40	0,66	1,73	9,67
4	750	17,59	25,37	0,83	1,73	10,07
5	750	17,46	24,46	1,02	1,73	9,05
6	750	17,41	23,50	1,02	1,73	11,05
7	750	17,91	24,73	1,69	1,73	11,29
8	750	18,25	25,14	0,61	1,71	10,28
9	750	18,87	23,10	0,31	1,71	8,15
10	750	18,68	26,32	1,46	1,71	8,83
11	750	19,31	25,86	0,44	1,68	10,54
12	750	19,34	25,14	0,92	1,68	9,66
13	750	17,75	26,75	0,56	1,71	7,65
14	750	17,54	25,88	0,99	1,74	8,55
15	750	18,61	25,20	1,30	1,70	9,65
16	750	18,20	25,96	0,98	1,72	9,16
17	750	17,76	24,86	1,80	1,73	10,33
18	750	17,66	24,76	1,89	1,73	9,96
19	750	17,16	23,64	1,62	1,73	10,24
20	750	17,66	25,61	1,47	1,72	11,08
<b>Total</b>		<b>18,07</b>	<b>25,24</b>	<b>1,08</b>	<b>1,72</b>	<b>9,75</b>

### APÊNDICE D - PLANILHA DE DADOS APÓS A QUEIMA COM 850°C

PLANILHA DE DADOS APÓS QUEIMA EM 850°C						
CP	Temperatura	AA %	AAI %	Retração %	MeA (g/cm <sup>3</sup> )	R. Flexão (Mpa)
21	850	17,66	28,61	1,30	1,78	9,30
22	850	17,60	29,00	2,56	1,78	10,88
23	850	17,69	27,61	1,30	1,78	9,69
24	850	17,59	27,50	2,22	1,77	10,28
25	850	17,50	27,59	1,37	1,77	9,78
26	850	17,53	29,39	2,86	1,78	10,45
27	850	17,54	26,46	1,65	1,77	11,06
28	850	17,47	25,48	1,47	1,76	10,24
29	850	17,74	27,48	2,18	1,77	9,73
30	850	17,88	28,49	1,71	1,78	10,75
31	850	17,91	30,52	1,17	1,77	8,42
32	850	17,94	31,63	1,97	1,78	9,18
33	850	17,96	31,44	1,42	1,77	9,89
34	850	17,91	30,51	1,25	1,77	9,78
35	850	17,72	30,55	1,47	1,77	9,04
36	850	17,54	29,53	1,67	1,77	11,07
37	850	17,91	29,41	1,31	1,77	11,15
38	850	17,72	32,79	2,52	1,77	10,94
39	850	17,94	32,88	2,38	1,77	10,53
40	850	17,84	30,57	2,44	1,78	10,53
<b>Total</b>		<b>17,73</b>	<b>29,37</b>	<b>1,81</b>	<b>1,77</b>	<b>10,13</b>

## APÊNDICE E - PLANILHA DE DADOS APÓS A QUEIMA COM 950°C

PLANILHA DE DADOS APÓS QUEIMA EM 950°C						
CP	Temperatura	AA %	AAI %	Retração %	MeA (g/cm <sup>3</sup> )	R. Flexão (Mpa)
41	950	14,73	40,80	3,66	1,80	13,94
42	950	14,44	36,05	1,69	1,78	12,06
43	950	14,50	34,21	1,96	1,78	10,75
44	950	14,79	36,96	2,53	1,79	11,15
45	950	14,89	38,59	2,34	1,77	11,54
46	950	14,71	36,99	2,20	1,79	11,19
47	950	15,10	38,78	3,00	1,77	10,85
48	950	14,37	37,22	1,12	1,79	10,21
49	950	14,79	36,85	2,02	1,79	10,39
50	950	14,68	37,14	1,71	1,79	10,67
51	950	14,66	36,24	1,88	1,80	10,52
52	950	14,44	36,33	2,22	1,78	11,59
53	950	14,53	35,40	1,22	1,80	11,11
54	950	14,34	37,19	2,77	1,81	10,53
55	950	14,97	39,81	2,55	1,78	10,73
56	950	14,89	37,73	1,74	1,77	11,55
57	950	14,81	35,80	1,60	1,78	11,46
58	950	14,63	34,94	1,94	1,77	10,19
59	950	16,88	45,23	2,46	1,77	10,09
60	950	14,60	35,64	1,67	1,80	10,14
<b>Total</b>		<b>14,79</b>	<b>37,40</b>	<b>2,11</b>	<b>1,79</b>	<b>11,03</b>