



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCA IRLEIDE LIMA PAZ

**ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CHAMOTE CERÂMICO NA FABRICAÇÃO
DE TIJOLOS MACIÇOS NO MUNICÍPIO DE RUSSAS-CE**

MOSSORÓ-RN

2017

FRANCISCA IRLEIDE LIMA PAZ

**ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CHAMOTE CERÂMICO NA FABRICAÇÃO
DE TIJOLOS MACIÇOS NO MUNICÍPIO DE RUSSAS-CE**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como requisito para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Marília Pereira de Oliveira, Prof^ª.
D. Sc.

MOSSORÓ-RN

2017

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P348a Paz, Francisca Irleide Lima.
Análise da incorporação de Chamote Cerâmico na
fabricação de tijolos maciços no Município de Russas-
CE / Francisca Irleide Lima Paz. - 2017.
57 f. : il.

Orientadora: Marília Pereira de Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2017.

1. Materiais Cerâmicos. 2. Argila. 3.
Resistência Mecânica. 4. Chamote. I. Oliveira,
Marília Pereira de, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

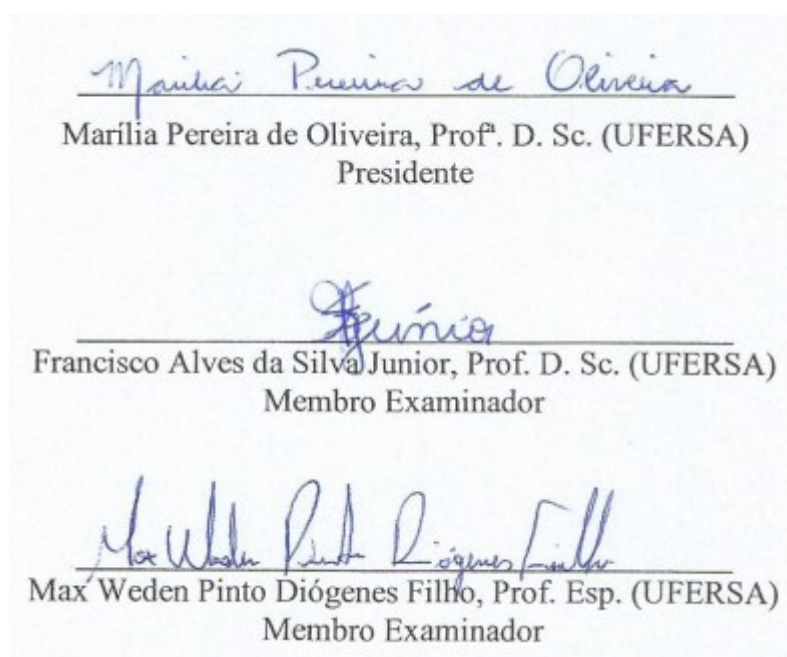
FRANCISCA IRLEIDE LIMA PAZ

**ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CHAMOTE CERÂMICO NA FABRICAÇÃO
DE TIJOLOS MACIÇOS EM RUSSAS-CE**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como requisito para obtenção do título de Engenheira Civil.

Defendida em: 16 / 10 / 2017.

BANCA EXAMINADORA



AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a graça de viver e ter me dado meios de me transformar na mulher que sou hoje, pela oportunidade de ter chegado à minha segunda graduação, vencendo os obstáculos encontrados ao longo do caminho.

Aos meus pais, Francisco José Paz e Ailany Ferreira Lima Paz, que sempre me deram atenção, carinho e educação para que eu me tornasse uma cidadã de bem, acreditando em mim e investindo nos meus estudos e metas.

A meu namorado, Antoniel Jadson, por estar ao meu lado, me incentivando, por acreditar no meu potencial e por ter sido solícito sempre que eu precisei.

A minha orientadora, Marília Pereira de Oliveira, por ter me dado a oportunidade de tê-la como orientadora, por ter aceitado o tema ao qual eu escolhi pesquisar, pela paciência e respeito para comigo, pelo conhecimento compartilhado para a elaboração dessa monografia.

Os professores da banca, Francisco Alves da Silva Junior e Max Weden Pinto Diógenes Filho, pela disponibilidade e pelas sugestões para a melhoria deste trabalho.

A todos meus familiares e amigos, em especial a minha tia paterna, Mundinha, por suas orações, conselhos e por todos os pedidos feitos à Deus para que abençoasse meu caminho, minhas viagens, minhas escolhas e meus estudos.

A Ronaldo Paz e José Almir, por toda a ajuda prestada na obtenção dos materiais e na queima dos tijolos.

A UFERSA e aos professores que fizeram parte da minha vida estudantil, desde os que me ensinaram a ler e escrever, a construir minhas próprias opiniões, pelos incentivos, por todo o conhecimento compartilhado, essencial para minha formação acadêmica, profissional e humana.

A meus colegas da universidade, pela troca de conhecimentos, em especial a minha amiga Isabelle Gondim, por sua irmandade, carinho, atenção e paciência, conquistando, juntas, o título de engenheiras civis.

A Francilene Gondim e Glauber Moura, pelo acolhimento, pelo carinho e por todo o apoio ofertado.

"...Um mesmo objeto ou fenômeno pode ser matéria de observação tanto para um cientista como para um homem comum. O que os difere é a forma de observação."

Lakatos e Marconi

RESUMO

O descarte de resíduos de modo geral, atualmente, é um dos principais problemas enfrentados pelo setor industrial, onde, muitas vezes, ou por redução de custos com o transporte ou por falta de um local adequado que suporte um grande volume, esses resíduos acabam sendo descartados de maneira inadequada, desencadeando uma série de problemas ao meio ambiente. Assim, este trabalho vem analisar o aproveitamento de chamote cerâmico obtido a partir de telhas novas descartadas como incorporação na fabricação de tijolos maciços, utilizando a argila e a linha de produção deste tipo de material, do município de Russas-CE, sendo umas das principais fontes de renda é o setor ceramista. O objetivo foi mostrar o comportamento físico e mecânico de nove configurações diferentes de tijolos com substituição parcial de 20%, 25% e 30% de argila por esse chamote, bem como se o mesmo atendia aos padrões mínimos de utilização. Chamote cerâmico pode ser entendido como subproduto resultante do descarte de peças cerâmicas já queimadas, que são fragmentadas para algum fim. Apesar de sua característica não plástica, sua utilização não dificultou na moldagem dos tijolos. A substituição nas porcentagem analisadas provocaram um aumento quanto a absorção de água, porém resultaram, também, em um ganho de resistência. Concluiu-se que a incorporação chamote na mistura de tijolos maciços é satisfatória, com substituições de até 30%, visto apresentar uma alternativa de redução da disposição de resíduos sólidos no meio ambiente, das taxas de desperdício e de prejuízo de produção, bem como de diminuir a demanda da matéria prima, argila e da água, sem deixar de atender a resistência, o teor de absorção de água e a retração limite.

Palavras-chave: Materiais Cerâmicos. Argila. Resistência Mecânica. Chamote.

ABSTRACT

Disposal of waste is, in general, one of the main problems faced by the industrial sector, where, often, or because of the reduction of transport costs or because of the lack of an adequate discarded improperly, triggering a series of environmental problems. Therefore, this work examines the use of ceramic waste 'chamote', obtained from as new roof tiles discarded for incorporation in the manufacturing of solid bricks, using the clay and the production line of this type of material, from the municipality of Russas, in the state of Ceará, Brazil, whose one of the main sources of income is the ceramist sector. The objective was to show the physical and mechanical behavior of nine different configurations of bricks with partial replacement of 20%, 25% and 30% of clay by this ceramic waste, as well as if it met the minimum standards of use. 'Chamote' can be defined as a by-product resulting from the disposal of already burnt ceramic pieces, which are fragmented for some purpose. Despite its non-plastic characteristics, its use did not make it difficult to mold the bricks. The substitution in the analyzed percentages caused an increase in the water absorption, but they also resulted, in a resistance gain. It was concluded that 'chamote' incorporation in the solid brick is satisfactory, with substitutions up to 30%, since it presents an alternative to reduce the disposal of solid residues in the environment, waste rates and production losses, as well as to reduce the demand for raw materials, clay, and water, while still meeting resistance, water absorption and retraction limit.

Keywords: Ceramic Materials. Clay. Mechanical Resistance. Ceramic Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura simbólica de uma camada de caulinita.....	21
Figura 2 – Estruturas simbólicas de uma camada de esmectita (a) e illita (b).....	21
Figura 3 – Localização do município de Russas no mapa.....	32
Figura 4 – Disposição dos resíduos no ambiente.....	33
Figura 5 – Jazida (a) e pilha alimentadora (b) de onde foi recolhida a argila utilizada para confecção dos tijolos.....	35
Figura 6 – Moinho usado na fragmentação do chamote – Equipamento de abrasão Los Angeles.....	35
Figura 7 – Fluxograma: Obtenção e aplicação do Chamote.....	36
Figura 8 – Mistura (a), forma (b) e areia fina (c) utilizados na moldagem dos tijolos.....	37
Figura 9 – Tijolos moldados e carimbados com suas respectivas indicações.....	37
Figura 10 – Forno de meda utilizado no cozimentos dos tijolos.....	38
Figura 11 – Amostras dos materiais – Argila (a) e Chamote (b).	38
Figura 12 – Ensaio de Limites de Liquidez – Argila (a) e Chamote (b).....	39
Figura 13 – Frações retiradas da amostra de argila.....	40
Figura 14 – Ensaio de massa específica dos grãos – Argila (a) e Chamote (b).....	41
Figura 15 – Imersão dos tijolos na água.....	42
Figura 16 – Preparação dos corpos de prova.....	43
Figura 17 – Amostra de um ensaio de resistência à compressão.....	43
Figura 18 – Comportamento observado no ensaio de LL do chamote – Amostra umedecida (a) e preenchimento da ranhura com a água da película (b).....	45
Figura 19 – Valor do Limite de Liquidez da argila.....	46
Figura 20 – Tijolos cozidos.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do tijolo base e das substituições.....	37
Tabela 2 – Resultados obtidos para os teores de umidade dos materiais.....	44
Tabela 3 – Resultados encontrados para o cálculo do Limite de Liquidez da argila.....	46
Tabela 4 – Resultados encontrados para o cálculo do Limite de Plasticidade da argila.....	47
Tabela 5 – Classificação dos materiais utilizados de acordo com sua plasticidade.....	48
Tabela 6 – Resultados obtidos para as massas específicas dos grãos dos materiais.....	49
Tabela 7 – Resultados obtidos para cada etapa de produção dos tijolos.....	49
Tabela 8 – Resultados obtidos quanto o teor de absorção de água dos tijolos maciços com substituição parcial de chamote e sua variação em relação a um tijolo maciço comum.....	51
Tabela 9 – Resultados obtidos quanto a resistência mecânica à compressão de cada tijolo maciço produzido.....	52

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Teor de umidade de um material (h).....	44
Equação 2 – Índices de Plasticidade (IP).	47
Equação 3 – Massa específica dos grãos do solo (δ).	48
Equação 4 – Teor de absorção de água (a).	50

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

a.C.	Antes de Cristo
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento, Louças Sanitárias e Congêneres
CE	Ceará
cm	Centímetro
P16-20	Chamote Passante na peneira nº16, substituição de 20%
P16-25	Chamote Passante na peneira nº16, substituição de 25%
P16-30	Chamote Passante na peneira nº16, substituição de 30%
P100-20	Chamote Passante na peneira nº100, substituição de 20%
P100-25	Chamote Passante na peneira nº100, substituição de 25%
P100-30	Chamote Passante na peneira nº100, substituição de 30%
P16/R100-20	Chamote Passante na peneira nº16 e Retido na nº100, substituição de 20%
P16/R100-25	Chamote Passante na peneira nº16 e Retido na nº100, substituição de 25%
P16/R100-30	Chamote Passante na peneira nº16 e Retido na nº100, substituição de 30%
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
XIX	Dezenove
SiO ₂	Dióxido de Silício
FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
g	Grama
°C	Graus Celsius
Al(OH) ₃	Hidróxido de Alumínio
h	Hora
IC	Índice de Consistência
IP	Índice de Plasticidade
O ²⁻	Íons de oxigênio negativo
O ²⁺	Íons de oxigênio negativo
IFRN	Instituto Federal do Rio Grande do Norte

LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
>	Maior que
δ	Massa específica dos grãos
MPa	Mega Pascal
<	Menor que
m	Metro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
NBR	Norma Brasileira
n°	Número
%	Porcentagem
Km	Quilômetro
RN	Rio Grande do Norte
CE-356	Rodovia Estadual do Ceará (356)
RN-015	Rodovia Estadual do Rio Grande do Norte (015)
BR-116	Rodovia Federal (116)
S	Sensitividade
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas
T	Temperatura
a	Teor de absorção de água
h	Teor de umidade
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	ARGILAS	18
3.1.1	Classificação	19
3.1.1.1	Quanto a formação geológica.....	19
3.1.1.2	Quanto a presença de coloides e plasticidade	19
3.1.1.3	Quanto à consistência.....	20
3.1.1.4	Quanto ao teor de umidade relativa.....	20
3.1.1.5	Quanto a composição química e sua estrutura	20
3.1.1.6	Quanto à sensibilidade.....	21
3.2	MATERIAIS CERÂMICOS	22
3.2.1	Propriedades	23
3.2.2	Processo de fabricação de cerâmicas vermelhas.....	24
3.2.2.1	Extração, estocagem e preparo da matéria-prima	24
3.2.2.2	Conformação	25
3.2.2.3	Secagem.....	26
3.2.2.4	Cozimento	27
3.2.2.5	Testes e inspeções finais.....	28
3.2.2.6	Tijolo maciço de argila cozida	28
3.3	CHAMOTE CERÂMICO	29
3.4	CARACTERÍSTICAS DO SETOR CERAMISTA NO MUNICÍPIO DE RUSSAS-CE	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1	MATERIAIS UTILIZADOS	34
4.1.1	Argila e Chamote cerâmico.....	34
4.2	MÉTODO PARA ANÁLISES	35
4.2.1	Caracterização da argila e do chamote.....	38
4.2.1.1	Teores de umidades	38
4.2.1.2	Determinação dos Limites de Liquidez – NBR 6459/1984	39
4.2.1.3	Determinação dos Limites de Plasticidade – NBR 7180/1984	39
4.2.1.4	Massa específica dos grãos – NBR 6508/1984	40

4.2.2	Caracterização dos corpos de prova	41
4.2.2.1	Absorção de água	41
4.2.2.2	Resistência mecânica à compressão – NBR 6460/1983	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA E DO CHAMOTE	44
5.1.1	Teores de umidades	44
5.1.2	Determinação dos Limites de Liquidez – LL	45
5.1.3	Determinação dos Limites de Plasticidades – LP	46
5.1.4	Determinação dos Índices de Plasticidade – IP.....	47
5.1.5	Massa específica dos grãos	48
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	49
5.2.1	Absorção de água	50
5.2.2	Resistência mecânica à compressão	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A fabricação de objetos cerâmicos é uma atividade bastante antiga, visto sua facilidade e abundância da matéria prima, basicamente a argila, popularmente, também, conhecida como barro. Com o passar dos anos, esse processo de fabricação foi se modificando, resultando em cerâmicas com dimensões exatas, com mais qualidade e mais resistência. Seu uso é empregado principalmente para fabricação de materiais voltados a construção civil, como tijolos, blocos, telha, placas e louças.

O grande potencial dos solos argilosos é seu comportamento plástico, que possibilita que o mesmo sofra deformações e possa ser moldado. As argilas, também, são impermeáveis, podem ser expansivas, possuem alto índice de vazios, ajudando na retenção de água. Devido a pequena granulometria de suas partículas, possuem uma alta superfície específica.

No Brasil, especialmente, apesar de toda a evolução já conquistada pelo setor ceramista, ainda se percebem características típicas de uma indústria conservadora quanto a produção de cerâmicas vermelhas para revestimento, de modo que, se faz necessário buscar uma evolução ainda maior, capaz de acompanhar o desenvolvimento da construção civil, prezando por qualidade e ao mesmo tempo o uso racional, seja das matérias primas ou do processo de produção (BAUER, 2008).

Durante muito tempo a extração da argila se dava de maneira irregular, fazendo com que muitas áreas fossem abandonadas após a exploração de suas jazidas, gerando passivos ambientais devido as depressões serem deixadas abertas e sem nenhuma proteção, conhecidas como “cavas abandonadas” (ZACCARON, 2013). Geralmente, essa extração é feita em terrenos próximos de rios, com o auxílio de retroescavadeiras, que abrem valas com cerca de 2m de profundidade e 5m ou mais de comprimento (MACCARI, 2005). Hoje, apesar de haver a legalização por parte da Secretaria de Meio Ambiente do local, muitas vezes, algumas empresas acabam extraído de forma ilegal e nem mesmo respeitando as margens exigidas entre a extração e a vegetação do terreno, quebrando o controle de utilização que o órgão tem.

Com o crescimento populacional e o aumento do poder aquisitivo, demandou-se uma maior produção de materiais, diminuindo a abundância e restringindo o acesso à matéria-prima, de modo que, o máximo aproveitamento dos recursos naturais resulta em diversos fatores positivos ao ambiente, e de certa forma contribui, também, na vertente econômica.

O descarte de resíduos de modo geral, atualmente, é um dos principais problemas enfrentados pelo setor industrial, onde, muitas vezes, ou por redução de custos com o transporte

ou por falta de um local adequado que suporte um grande volume, esses resíduos acabam sendo descartados de maneira inadequada, desencadeando uma série de problemas ao meio ambiente. Para minimizar esses problemas, uma das soluções é a reutilização de resíduos no processo de fabricação de outros materiais, que vem sendo bastante estudada.

Em 2009 já se estimava uma perda de 3% da produção total de cerâmicas, composta por peças quebradas ou que apresentaram deformações após a queima, segundo uma pesquisa desenvolvida pela Universidade de Brasília (VASCONCELOS, 2009 *apud* ZACCARON, 2013). Este percentual que pode até parecer pequeno, quando detalhado representa um grande volume de resíduo e um grande volume de matéria-prima e de lenha desperdiçado.

A perda de matéria-prima sempre estará presentes nas olarias, independentemente da sua linha de produção. Essas perdas podem ser do próprio material, como a partir da formação de chamote e podem ocorrerem devido ações naturais, acidentes de percurso, mal cuidado quanto o armazenamento, a carga ou a descarga, ou até mesmo por falta de manutenção nas máquinas. Porém, prevenir essas perdas ou dar utilização para as mesmas é importante, visto impactarem na economia e nos investimentos da própria empresa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Analisar o efeito da substituição parcial da argila por chamote cerâmico provenientes de telhas, na fabricação de tijolos maciços.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização da argila encontrada no município de Russas-CE, bem como, do chamote cerâmico;
- Confeccionar amostras de tijolos maciços com a argila;
- Confeccionar amostras de tijolos maciços com substituição parcial de parte da argila por chamote cerâmico de telha;
- Analisar propriedades físicas e mecânicas dos tijolos produzidos, a partir de ensaios de absorção de água e resistência à compressão;
- Verificar se os tijolos produzidos atentem a NBR 7170/1983.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ARGILAS

Dentre as diversas definições que podem ser dadas e encontradas, argilas são materiais naturais caracterizados por sua alta plasticidade e coesão, compostas por partículas coloidais com granulometria inferior a 0,002mm (NBR 6502, 1995). Devido essas suas características, quando se aglutinam na presença de água, são facilmente moldáveis, mas, quando encontram-se secas ao secar, formam torrões dificilmente desagregáveis sobre somente a pressão dos dedos, por exemplo (NBR 7250, 1982).

Por muito tempo, as argilas eram consideradas substâncias originárias da caulinita contendo impurezas amorfas, porém, hoje, sabe-se que as mesmas são constituídas de estruturas cristalinas extremamente pequenas, a partir de uma quantidade restrita de substâncias (BAUER, 2008). Em outras palavras, são materiais formados por um agregado de argilominerais resultantes da degradação do feldspato das rochas ígneas, outros minerais e substâncias, como quartzo, mica, carbono, sulfetos, sais solúveis, óxidos, hidróxidos e silicatos diversos (BACELLI JÚNIOR, 2010). O ambiente em que a argila encontra-se depositada, bem como os intemperes que podem estar agindo sobre a mesma e a quantidade de matéria orgânica presentes no solo são os principais fatores que influenciam na sua composição química. A argila de uma região pode ter características similares, mas dificilmente serão iguais, podendo haver diferenças até mesmo dentro de uma mesma jazida. Assim, quando se caracteriza a qualidade do material encontrado em uma região, isso não significa que em algum momento o material não apresente modificações quanto sua qualidade. Em uma mesma escavação pode ser que se obtenha uma argila mais forte e uma argila mais fraca.

Suas partículas sólidas constituem grãos predominantemente lamelares, que acabam lhe concedendo algumas propriedades, como compressibilidade e plasticidade, sendo esta, de maior importância (PINTO, 2000).

A coloração das argilas, como matéria bruta ou após a queima, será definida principalmente pelo teor de ferro presente em sua composição. Tons avermelhados indicam um maior grau de óxido de ferro e tons mais claros indicam um grau menor (ROSSI, 1999 apud ZACCARON, 2013).

A resistência das argilas depende basicamente da sua composição granulométrica. A melhor resistência à compressão pode ser obtida em composições que contenham, pelo menos,

60% de argilominerais e os outros 40% distribuídos, igualmente, por silte, areia fina e areia média (PETRUCCI, 1998).

Algumas características das argilas serão obtidas estando as mesmas no seu estado natural (granulometria, formato das partículas, composição química), outras no seu estado plástico (plasticidade) e outras no seu estado seco (tensão de ruptura, retração linear, porosidade).

3.1.1 Classificação

3.1.1.1 Quanto a formação geológica

A formação geológica dos solos, de modo geral, é definida a partir do local de origem da rocha mãe.

Assim, as argilas podem ser classificadas como residuais, quando são encontradas no seu local de origem, onde a rocha mãe sofreu decomposição ou como sedimentares (transportadas), quando sofreram a ação de agentes transportadores e foram levadas à outro local, através do vento, da água ou pela ação da gravidade. O local de depósito natural da argila é conhecido popularmente como barreiro.

3.1.1.2 Quanto a presença de coloides e plasticidade

A quantidade de coloides (micropartículas) presentes na composição das argilas irá influenciar na resistência e na porosidade do produto final. Dependendo da consistência dos argilominerais, a plasticidade, também, pode ser influenciada.

Uma argila é dita gorda (ou forte) quando é muito plástica e devido a concentração de alumina, faz com que as peças cerâmicas se deformem bastante na fase de cozimento. Caso contrário, é dita magra (ou fraca) e devido ao excesso de sílica, as peças cerâmicas apresentaram mais porosidade e, conseqüentemente, serão mais frágeis (BAUER, 2008).

Plasticidade é a capacidade de material se deformar sob a aplicação de uma carga e permanecer deformado após a retirada da carga. Pode ser expressa através do Índice de Plasticidade (IP), que é a diferença entre o Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP).

Segundo a NBR 6459/1984, o Limite de Liquidez é encontrado a partir do teor de umidade necessário para fechar uma ranhura no solo com, aproximadamente, 25 golpes. Para isso, é realizado um ensaio utilizando o aparelho de Casagrande. Já o Limite de Plasticidade, segundo a NBR 7180/1984, é encontrado a partir da média de três teores de umidade necessário

para se conseguir moldar, com o solo, um cilindro com 10cm de comprimento e 3mm de diâmetro, sem que o mesmo se rompa.

Um solo pode possuir plasticidade alta ($IP > 15\%$), média ($7\% < IP < 15\%$) ou baixa ($1\% < IP < 7\%$) (CAPUTO, 1988).

3.1.1.3 Quanto à consistência

A consistência é uma propriedade típica de solos sedimentares e é definido a partir do índice de consistência, proposto por Terzaghi, que relaciona a umidade do solo e seu limites (LL e LP) para mudar de estado, de modo que, à medida que o teor de umidade de solo aumenta, o índice de consistência diminui (PINTO, 2000). Assim, a consistência pode ser dura ($IC > 1$), rijá ($0,75 < IC < 1$), média ($0,5 < IC < 0,75$) ou mole ($IC < 0,5$) (PINTO, 2000).

3.1.1.4 Quanto ao teor de umidade relativa

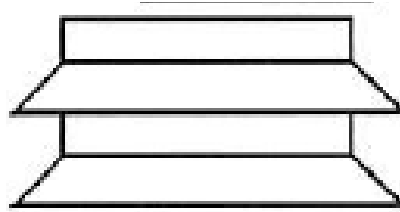
As argilas quando encontradas na sua forma *in natura*, podem apresentar diferentes teores de umidade relativa (h). Assim, as argilas podem ser secas ($h \leq 6\%$), semissecas ($7\% \leq h \leq 10\%$), semiúmidas ($11\% \leq h \leq 18\%$) ou úmidas ($h > 18\%$) (RODRIGUES, 2013).

3.1.1.5 Quanto a composição química e sua estrutura

As argilas podem apresentar dois tipos de estruturas: tetraédrica justapostas num plano, formada por átomos de silício ligados a 4 átomos de oxigênio [SiO_2] ou octaédricas, com átomos de alumínio rodeados por átomos de oxigênio ou hidroxilas [$Al(OH)_3$] (PINTO, 2000).

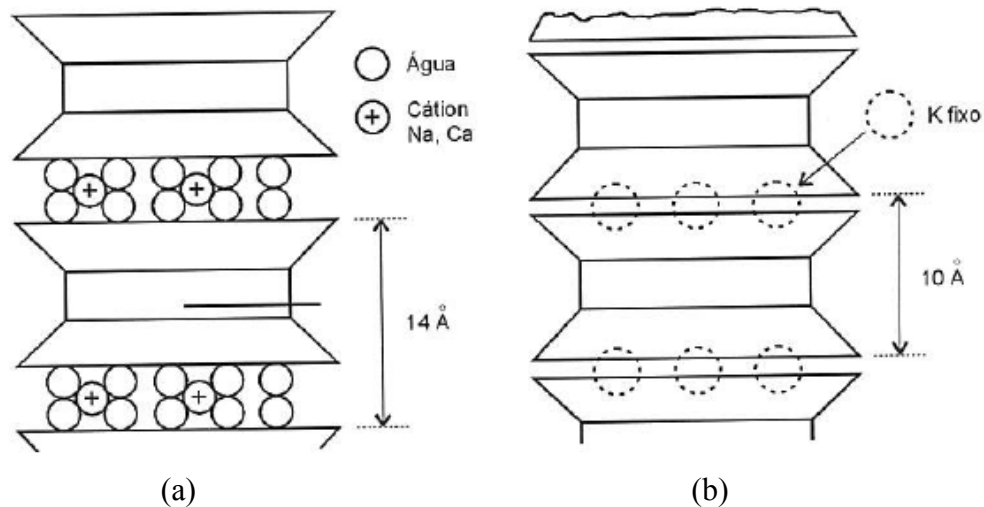
Alguns minerais-argila são formados por estruturas de camada 1:1 (Figura 1), com uma camada tetraédrica para uma camada octaédrica e ligação feita pelas partículas de hidrogênio, típica da caulinita, já outros são formados por estruturas 2:1 (Figura 2), com uma camada octaédrica para cada duas camadas tetraédricas, ligadas por íons de O^{2-} e O^{2+} , típico da esmectita e da illita. Argilas formadas por caulinita apresentam maior resistência que argilas formadas por esmectita e illita. Em contra partida, argilas formadas por esmectita e illita apresentam uma maior superfície específica, característica importante que interfere no comportamento das partículas coloidais (PINTO, 2000).

Figura 1 – Estrutura simbólica de uma camada de caulinita.



Fonte: PINTO (2000).

Figura 2 – Estruturas simbólicas de uma camada de esmectita (a) e ilita (b).



Fonte: PINTO (2000).

3.1.1.6 Quanto à sensibilidade

Sensibilidade (S) é uma propriedade típica das argilas e pode ser obtida pela relação entre a resistência de uma amostra no estado natural e a resistência de uma amostra no estado amolgado. É, por tanto, a capacidade de recuperar resistência após uma deformação.

Quando um solo argiloso sofre ruptura, sua resistência, logo após, se torna bem menor. Porém, com o tempo, esse solo volta a adquirir resistência devido a interação química entre as partículas, apesar de não atingir novamente a resistência inicial.

Essa sensibilidade pode ser classificada, de acordo com sua intensidade, como muito sensível ($S > 8$), sensível ($4 < S < 8$), média sensibilidade ($2 < S < 4$), baixa sensibilidade ($1 < S < 2$), e em alguns casos, a argila não consegue se regenerar, e assim, é classificada como insensíveis ($S \leq 1$) (NBR 6502, 1995).

3.2 MATERIAIS CERÂMICOS

Os materiais cerâmicos são materiais artificiais obtidos através da moldagem, secagem e cozimento de argilas ou de composições contendo argila, que possuem arranjos internos semelhantes a de um vidro devido a ação do calor de cocção ao qual os mesmos são submetidos no processo de cozimento (BAUER, 2008). Tudo indica que a primeira civilização a utilizar os materiais cerâmicos como conhecemos hoje, foi a romana. Pesquisas históricas mostram que os materiais cerâmicos são utilizados desde 4.000 anos a.C., devido a abundância de sua matéria-prima antigamente e a durabilidade que as peças apresentavam (OLIVEIRA, 2011).

No Brasil, quanto, especificamente, a utilização de cerâmicas vermelha, as escassas informações referem-se ao uso de tijolos na época colonial para a construção de escolas e conventos, tijolos estes que eram produzidos a partir de técnicas bem rudimentares introduzidas pelos jesuítas (SEBRAE, 2008). Anos depois, com concentração nas últimas décadas do século XIX, em São Paulo, a produção das peças cerâmicas se dava em pequenas olarias, em processos manuais, obtendo-se como produto final tijolos, telhas, tubos, manilhas, vasos, potes e moringas, que eram comercializadas localmente (SEBRAE, 2008).

Por ser fabricado com uma matéria-prima considerada de baixo valor unitário, busca-se evitar seu transporte a grandes distâncias, fazendo com que a instalação das unidades industriais cerâmicas, também conhecidas como olarias, aconteça, geralmente, próximas às jazidas (ANFACER, 2012 *apud* FEAM, 2013).

Como citado anteriormente por Bauer (2008), apesar de a matéria-prima principal dos materiais cerâmicos ser a argila, outros materiais podem ser incorporados à mistura com o intuito de alterar propriedades. Com tudo, é importante oferecer ao mercado, sempre, produtos que atendam às exigências mínimas de utilização, padronizadas e especificados por normas técnicas criadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O acréscimo de areia (sílica livre), por exemplo, apesar de diminuir a resistência mecânica, ajuda a reduzir um pouco a plasticidade e o trincamento devido a retração, além de facilitar na fase de secagem e proporcionar um melhor vidrado.

Fatores intrínsecos à qualidade da argila, também poderão influenciar. O óxido de ferro, além da cor, influencia, também, nas propriedades refratárias. Quanto maior sua quantidade, menor a refração; já o ponto de fusão pode ser controlado a partir da quantidade de alumina livre e de álcalis; o cálcio age como um fundente e torna a peça mais clara; sais solúveis trazem efeitos negativos, visto provocarem eflorescência de mau aspecto; e, a matéria orgânica torna a mistura mais plástica e aumenta a porosidade.

A água utilizada na mistura, agirá de três formas diferentes: parte será absorvida (água de constituição) e ficará na estrutura da molécula; parte ficará aderida às partículas coloidais (água de plasticidade); e outra parte preencherá os poros e os vazios (água de capilaridade). Cada parte terá seu respectivo valor em todas as fases da produção. Porém, é preciso manter sempre um controle quanto a quantidade de água adicionada em cada mistura de acordo com a característica da argila que se está utilizando: no início da adição, a mistura se desagrega facilmente, indicando que é necessário uma quantidade maior de água, mas caso seja adicionada uma quantidade muito elevada, ao fim do amassamento, a mistura estará trabalhável demais. Assim, a quantidade ideal de água é obtida entre as duas situações descritas a cima e é definida a partir do ponto de maior plasticidade, em que a mistura não se desagrega, mas, também, não se torna pegajosa, e, geralmente, varia entre 10% (para argilas mais gordas) e 50% (para argilas mais magras) do total da mistura (BAUER, 2008).

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM), os materiais cerâmicos podem ser divididos em setores de produção, de acordo com a matéria-prima, as propriedades dos mesmos e sua utilização: as cerâmicas vermelhas são materiais de coloração avermelhada, como tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, dentre outros, bem como utensílios domésticos; os materiais de revestimentos são materiais na forma de placas, como azulejo, pastilha, porcelanato, grês, etc.; as cerâmica branca, compreendem os materiais constituídos por um corpo de massa branca, em geral recobertos por uma camada vítrea transparente, necessária por razões estéticas e/ou técnicas, como as louças sanitárias, por exemplo; os materiais refratários são aqueles que suportam temperaturas elevadas nas condições específicas de processo e de operação dos equipamentos industriais, que em geral envolvem esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outras solicitações; os materiais cerâmicos isolantes térmicos, como os refratários isolantes, isolantes não refratários formados por argila expandida, por exemplo (ABCERAM, 2016).

3.2.1 Propriedades

Dentre as propriedades que um material cerâmico pode apresentar, sua resistência, durabilidade, absorção e seu peso, são as mais importantes e que definem a qualidade do produto: a resistência de uma peça cerâmica é função da quantidade de água utilizada em uma mistura e do vidrado formado devido o cozimento; a durabilidade dependerá da resistência e de quão exposta à intemperes estará a peça; a absorção irá depender do controle de produção, principalmente na fase de moldagem, durante a compactação; o peso influenciará no

carregamento e no contraventamento, por exemplo, de modo que uma peça muito pesada aumentaria a carga atuante sobre uma estrutura e uma peça muito leve pode não atender à ação do vento.

O peso específico aparente, deve ser obtido através da relação entre o peso da peça seca e seu volume aparente, que é definido como o volume de água deslocada por uma peça saturada após 24h de imersão. Essa mesma peça saturada, pode ser pesada e quando comparada com o peso da peça seca, indicará sua porosidade aparente.

A resistência é obtida através de ensaios destrutivos realizados em laboratório que deverão seguir a NBR específica para cada tipo de produto. Geralmente, é levado em consideração somente a resistência que a peça suporta funcionando em compressão, visto a resistência correspondente à tração apresentar valores muito baixos, quando comparado à compressão.

Após passarem pelo processo de cozimento, os materiais cerâmicos perdem suas propriedades plásticas e ganham sensibilidade ao impacto, não sendo possível obter-se deformações plásticas, quando já encontrados em temperatura ambiente, sem que haja sua quebra.

As principais fontes de falha dos materiais cerâmicos são fissuras ou até mesmo fendas geradas devido a secagem, bem como a porosidade que os mesmos apresentam devido a forma de moldagem. Essa porosidade pode ser observada mais facilmente quando relacionada ao teor de absorção de água da peça.

3.2.2 Processo de fabricação de cerâmicas vermelhas

As peças de cerâmica vermelha passam aproximadamente por cinco fases de fabricação: extração de matéria prima (argila) e sua estocagem; extrusão; secagem e cozimento (MARCOS; GALVÃO, 2011). Em linhas de produção mais simples, a extrusão pode ser substituída pela moldagem manual.

Cada produto irá requerer um tipo diferente de argila, de modo que, por exemplo, o tipo utilizado na fabricação de telhas e blocos não seria o mais indicado para a fabricação de tijolos maciços e vice-versa.

3.2.2.1 Extração, estocagem e preparo da matéria-prima

Com a autorização emitida pela Secretaria de Meio Ambiente responsável, a extração pode ser iniciada, respeitando as margens pré-estabelecidas entre a escavação e a vegetação do local.

Ainda na própria jazida podem ser feitos testes para selecionar lotes de argila com qualidades parecidas (cor, dureza, composição), para um maior controle da qualidade do produto final. Após a escavação, a argila deve ser levada para depósitos, onde deve estar descoberta e ser revirada periodicamente, passando por um tempo de até aproximadamente seis meses logo depois, a fim de equilibrar o efeito da pressão atmosférica sobre a mesma e aumentar a sua plasticidade. Esse processo leva o nome de apodrecimento da argila, também conhecido como sazonalamento.

A argila deve ser destorroada até que a mesma adquira granulometria uniforme. Se necessário, realizar as adições previstas para que a mistura esteja nas condições ideais para sua determinada utilização e para passar pra a etapa de moldagem.

É importante controlar a estocagem para que em períodos chuvosos haja material suficiente para se trabalhar, visto, na maioria das vezes, as estradas usadas para o transporte da argila, se tornam pouco transitáveis.

3.2.2.2 Conformação

A conformação é a fase em que a mistura ganhará forma. De acordo com a peça que se deseja fabricar, essa conformação pode se dar por extrusão, moldagem manual ou prensagem.

A extrusão ou a moldagem manual iniciam-se com o amassamento da mistura, que de acordo com o tipo de moldagem utilizará água ou não. A moldagem pode ser feita a seco, a semi-seco (4% a 10% de água), com pasta plástica consistente (20% a 35% de água), com pasta plástica mole (25% a 40% de água) ou com pasta plástica fluida (30% a 50% de água). A moldagem com pasta plástica mole é o método de moldagem mais antigo (BAUER, 2008).

A escolha entre um método ou outro deve ser feita de acordo com o maquinário disponível e do tipo de forno a ser usado para o cozimento das peças. Geralmente, é comum utilizar a moldagem com pasta plástica consistente para a extrusão de blocos furados e telhas, devido a estrutura da máquina extrusora, chamada, também de “maromba”. A mistura é forçada para dentro da extrusora através de um pistão, compactando-a e dando a forma desejada ao produto. Ao ser atingido o tamanho, a peça é cortada com auxílio de um laminador que pode ser manual ou automático.

Já para a moldagem de tijolos maciços, é comum a utilização da moldagem com pasta plástica mais mole, visto na maioria das olarias que ainda produzem esse tipo de tijolo, a produção ser por preparo e moldagem manual. A pasta preparada é colocada sobre formas de madeira recobertas com areia fina, preenchendo-as completamente. Finaliza-se a moldagem com a retirada dos excessos da pasta e a desforma da mesma. Devido a esse método, geralmente

os tijolos ficam com as faces ásperas e com a face superior pouco curva, devido ao movimento da desforma.

Caso a produção seja de telha, a mesma deve passar pela fase de prensagem, sendo a extrusão, uma fase intermediária (SILVA, 2009). Para placas cerâmicas, a moldagem se dá na própria prensagem.

É nessa etapa, também, que as peças receberão o carimbo com as informações que precisam ficar impressas, em alto ou em baixo relevo (BACCELLI JUNIOR, 2010).

As peças que apresentarem algum defeito após a conformação, devem ser desfeitas e enviadas, novamente, à fase de preparação.

3.2.2.3 Secagem

A secagem tem a finalidade de retirar a umidade da argila antes da peça ser cozida. A mesma se dá pela difusão das moléculas de água para a superfície, onde ocorre a sua evaporação (CALLISTER, 2013). A evaporação da água na secagem, diminui o surgimento de tensão internas e, conseqüentemente, evita o fendilhamento da peça. Quando a secagem não é uniforme, pode-se haver a deformação da peça cerâmica.

A umidade de uma peça cerâmica extrudada geralmente varia de 20% a 30%, porém, após a fase de secagem, deve-se restar apenas uma umidade residual menor que 5% (NORTON, 1973).

Assim como a moldagem, a secagem, também, possui métodos diferentes de ser realizada: secagem natural e a secagem artificial, por ar quente-úmido; por radiação infravermelha ou utilizando secadores de túneis. O método mais comum é a secagem natural, porém requer mais tempo e um espaço maior. Nela, as peças são dispostas sobre grelhas e deixado sob a ação do sol e do vento, tentando-se manter um controle quanto a essa exposição. Já em linhas de produção mais automatizadas e modernas, a secagem se dá por secadores de túnel que aplicam gradativamente calor. As peças são levadas por vagonetas sobre trilhos, que percorrem todo o túnel no sentido da menor temperatura para a maior.

No método por ar quente-úmido, as peças recebem jateamento de ar quente com alto teor de umidade e em seguida, somente o ar quente, evaporando a água absorvida e a água de capilaridade. O método por radiação infravermelha é raramente utilizado, devido seu custo e por só ser aplicável para peças delgadas, ou seja, para peças muito finas e delicadas (BAUER, 2008).

Após a secagem as peças ficam sensíveis à choques, então, é necessário evitar que as mesmas passem por trepidações ou que sofram excesso de carga (FEAM; FIEMG, 2013). Caso

decorra muito tempo entre a secagem e o cozimento, a argila pode absorver umidade novamente e deixar as peças menos resistentes.

3.2.2.4 Cozimento

É na fase de cozimento que ocorrem as reações químicas que determinarão as propriedades (resistência, porosidade, dentre outras) do produto final. Cada reação irá demandar um cenário diferente, assim, é necessário encontrar a temperatura ideal a ser alcançada, a velocidade ideal de aquecimento e resfriamento, o tipo de forno mais adequado e o combustível a ser utilizado.

Dentre os diversos tipos de funcionamento dos fornos, de modo abrangente, os fornos podem ser contínuos ou intermitentes: os fornos contínuos possuem trilhos, de modo que, a carga ou a aplicação do fogo seja móvel; os fornos intermitentes possuem propagação de calor ascendente ou descendente, com cozimento de um lote de peças por cada vez.

Para peças de melhor qualidade, o ideal é que o mesmo passe pela fase de cozimento duas vezes: na primeira, para que ocorra a formação do chamado “biscoito” e na segunda para que haja a fixação do vidrado (BAUER, 2008). Nesses casos, o mais indicado seria utilização de fornos sobrepostos, chamados de forno combinado, onde uma câmara está propícia para a formação do biscoito e a outra para a fixação do vidrado.

Os fornos intermitentes comuns são compartimentos de alvenaria, onde nas suas bases são instaladas fornhalhas, no seu topo as chaminés e suas portas são lacradas com uma parede de tijolos fixados com pasta de argila, acomodando de 25 até 100 milheiros de peças em um único cozimento. Os fornos intermitentes, também, podem ser de chama invertida, onde sua fornhalha é instalada acima do compartimento e os gases são recolhidos através de grelhas de condução ligadas às chaminés. O cozimento e o resfriamento duram em torno de duas semanas. A única diferença entre um forno intermitente comum e o chamado forno de cuba é o tamanho. Ambos possuem o mesmo funcionamento.

Fornos semicontínuos são grupos de geralmente 4 fornos intermitentes que ficam justapostos de modo que, cada um, se encontra em uma atividade diferente: um forno está em queima, outro está sendo carregado ou descarregado, outro está resfriando, enquanto outro está secando.

Os fornos de Hoffman de galeria longitudinal ou transversal, são fornos contínuos com funcionamento parecido com o do forno semicontínuo, porém, como mais de 4 unidades interligadas. Neles é utilizado ar quente para realizar um pré-aquecimento nas peças. Sua

configuração permite uma boa produtividade com baixo consumo de energia (RODRIGUES, 2013).

No forno de meda, a estrutura do forno é a própria pilha de tijolos a serem cozidos. Em meio às colunas de tijolos são deixados espaços para se colocar a lenha a ser queimada. A área disponível para a montagem do forno é que irá determinar a quantidade de milheiros que poderão ser cozidos de uma única vez. O cozimento e o resfriamento, também, duram em torno de duas semanas e, as vezes, um pouco mais. Por ser um método bem rudimentar e sem controle, muitas peças ficam mal cozidas e outras cozinham demais.

No forno de mufla a chama circula por dentro de um compartimento interno, ao redor do forno, não entrando em contato direto com as peças.

Independentemente do forno utilizado, o cozimento se dividirá em três momentos diferente: o aumento da temperatura; a temperatura mantida constante e a diminuição da temperatura. Da temperatura almejada até o resfriamento (temperaturas abaixo de 200°C), podem se passar algumas horas, ou até mesmo dias. O que irá definir é o tipo de produto e o quão sofisticada é a linha de produção.

3.2.2.5 Testes e inspeções finais

Concluída a produção, as peças são submetidas a inspeção visual, para que sejam descartadas peças defeituosas contendo trincas ou excesso de queima. Dentre os lotes, devem ser separadas amostras para realização de ensaios de resistência e para conferência das dimensões. As peças que estiverem de acordo com os padrões exigidos por suas respectivas normatizações, devem ser armazenadas corretamente em galpões para aguardar sua comercialização. Sua comercialização é dada com base em 1000 unidades, chamada de milheiro.

3.2.2.6 Tijolo maciço de argila cozida

Popularmente conhecido como tijolo batido ou tijolo comum, o tijolo maciço, geralmente é utilizado como alvenaria de vedação e possui baixo custo de fabricação por requerer uma linha de produção mais simples. Cerca de 85% do seu volume total corresponde à argila cozida (RODRIGUES, 2013).

Pode ser usado, também, como elemento estrutural, porém, demandando uma resistência maior do que a resistência de um tijolo comum ou em alvenarias com aparelho aparente. Nestes casos, os processos de fabricações devem apresentar melhor qualidade, para que, ao final, sejam obtidas peças visivelmente atraentes, planas, com arestas firmes e vivas.

Devido sua grande massa, na sua fase de cozimento, geralmente, utilizam-se fornos intermitentes comuns, porém, algumas olarias, ainda, utilizam forno de meda. Independentemente do tipo de forno escolhido, é ideal que, na queima, obtenha-se uma temperatura variando em torno de 900°C e 1000°C.

Apesar de na NBR 7170/1983 as dimensões nominais recomendadas para esse tipo de tijolo seja de 19cm de comprimento, 9cm de largura e 5,7cm ou 9cm de altura, com tolerância de ± 3 mm, comercialmente, no geral, são vendidos com 26cm de comprimento, 12,5cm de largura e 4,5cm de altura, podendo ser classificados como tijolos especiais.

A resistência à compressão dos tijolos maciços deve estar entre 1,5MPa e 4MPa, obedecendo as categorias definidas, também, pela NBR 7170/1983. Para sua verificação, deve-se seguir o ensaio padronizado pela NBR 6460/1983.

3.3 CHAMOTE CERÂMICO

Utilizar resíduos na fabricação de novos produtos, desenvolvendo materiais alternativos cujo objetivo é propor soluções para a reduzir o volume e dar uma destinação adequada a esses resíduos, está, cada vez mais, sendo alvo das pesquisas científicas, embora, muitas vezes, essas soluções sejam mais ligadas à vertentes ambientais e de marketing do que econômicas.

Desde 1992 algumas pesquisas já vem sendo desenvolvidas quanto a reciclagem e a incorporação de resíduos não-plásticos no processo de fabricação de peças cerâmicas, e assim, minimizar custos com a compra de material argiloso e diminuir a disposição desordenada desses resíduos no meio ambiente. Entre esses resíduos está o chamote cerâmico, cuja incorporação é testada a partir de vários percentuais de substituição aplicados novamente na mistura de blocos e telhas. Porém, comparado à prática da utilização de resíduos em outros diversos materiais, o aproveitamento desse chamote ainda é pouco difundido no Brasil. As pesquisas que contemplam seu uso estão mais concentradas na região sul do país e de modo geral, são poucas as pessoas que tem conhecimento quanto o desenvolvimento dessas pesquisas.

Chamote cerâmico pode ser definido como um material não plástico, subproduto resultante do descartes de peças cerâmicas fragmentadas após a queima (VIEIRA *et al.*, 2004). Para realizar essa fragmentação podem ser usados moinhos de martelos ou até mesmo moinhos de esferas. Sua granulometria, geralmente mais grosseira que a da argila bruta, poderá ser controlada através do uso de peneiras em que se tenha conhecimento da malha.

Ripoli Filho (1997) analisou o fator de qualidade quanto a utilização do chamote na fabricação de elementos cerâmicos, realizando as substituições em 5 diferentes proporções volumétricas variando de 1/2 à 1/5, obtendo que o uso do chamote misturado à argila é viável, em técnica dosada e controlada, além de ser uma alternativa econômica.

Vieira *et. al.* (2004) analisando um chamote resultante de blocos de vedação queimados a aproximadamente 600°C, observaram que sua composição química apresenta teores relativamente elevados de óxido de alumínio (Al_2O_3) e baixa quantidade de óxidos alcalinos, como o óxido de potássio (K_2O) e o óxido de sódio (Na_2O), típico das argilas cauliníticas. Observaram, ainda, que o chamote é uma espécie de agregado poroso, com partículas de morfologia pseudo-hexagonal, associadas ao argilomineral caulinita.

Gouveia (2008) ensaiou um chamote obtido pelo descarte de blocos queimados a 800°C, triturados por moinho de bolas e peneirado em peneira com malha de 0,85mm, caracterizou-o, produziu corpos de provas e concluiu que com 10% de substituição, as características de alta plasticidade da argila que ele estava trabalhando, pode ser atenuada e que caso tivesse sido usado uma granulometria mais fina, a mesma poderia ter influenciado no grau de empacotamento da composição.

Zacarron (2013) utilizou um chamote resultante de produtos cozidos a uma temperatura de até 900°C, triturado com um laminador e peneirado em uma peneira de malha 1,45mm e realizou ensaios de caracterização física, química e mineralógica desse chamote, a fim de classificá-lo e depois confeccionou corpos de prova com 5%, 10%, 15% e 20% de substituição. O mesmo concluiu que torna-se satisfatório utilizar 20% do chamote nas misturas.

Porém, nenhum dos autores citados acima realizaram os testes com amostras no tamanho padrão solicitado pela NBR 7170/1983 para o tijolo maciço.

Assim, espera-se que o uso do chamote cerâmico pode melhorar o grau de empacotamento da mistura e devido a morfologia de suas partículas, contribui significativamente no processo de secagem do produto, agindo como material inerte durante a queima, desde que se encontre em temperaturas não superior a do seu processamento anterior, caso contrário desenvolverá reações de sinterização (VIEIRA *et al.*, 2004). Outros estudos, também, mostram que quando adicionado em proporções adequadas, o chamote contribui potencialmente no controle da retração, além de resultar em produtos com qualidades aceitáveis quanto à resistência (tensão de ruptura) e a absorção de água (RIPOLI FILHO, 1997). Segundo Campelo *et al.* (2006), quanto maior a quantidade de resíduo queimado (chamote) adicionado à misturas de massas cerâmicas, maior será a temperatura ideal para a gresificação das peças resultantes.

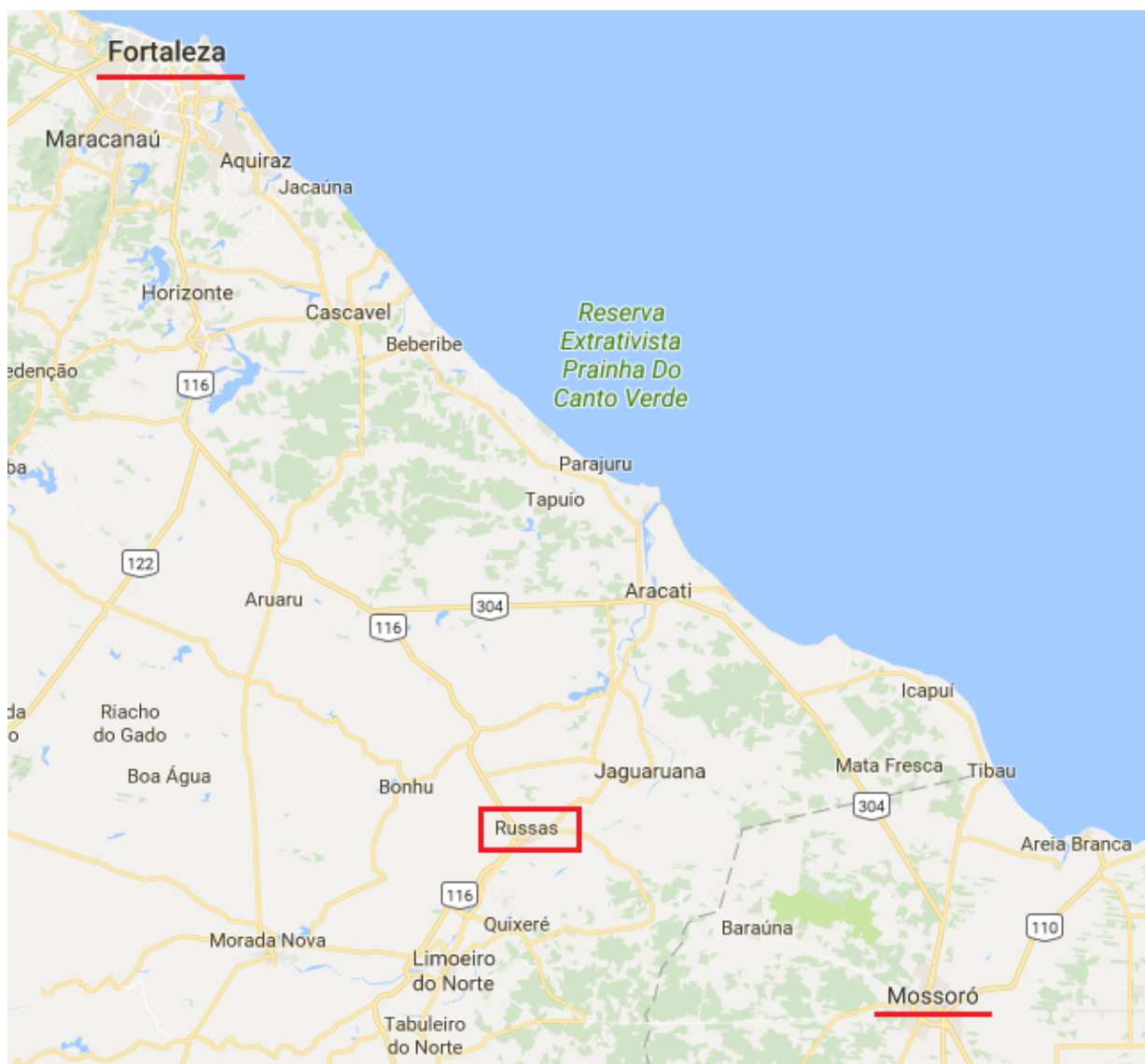
3.4 CARACTERÍSTICAS DO SETOR CERAMISTA NO MUNICÍPIO DE RUSSAS-CE

Russas-CE, localizada na região do Baixo Jaguaribe, situa-se à 165km da capital do estado, Fortaleza, tendo como principal acesso a BR-116 e a 90km de Mossoró, tendo como principal acesso a CE-356 ligado a RN-015, (Figura 3), destacando-se economicamente a partir da indústria calçadista e do setor ceramista. Situado na bacia sedimentar formada pelo Rio Jaguaribe, seu solo é rico em material argiloso, estimulando a população local quanto à fabricação e à comercialização de produtos cerâmicos, tornando-o o maior polo ceramista da região.

Em 2013, o município contava com 96 olarias cadastradas, gerando aproximadamente 2713 vagas de empregos diretos, dominando cerca de 70% da produção total da Região do Vale Jaguaribe (DNPM, 2013). Hoje, apesar da divergência de informações, podem ser consideradas cerca de 110 empresas ativas, representando uma geração de emprego e renda ainda maior. Apesar desses pontos positivos, essas olarias, além da emissão de fumaças, acabam desperdiçando muita matéria prima e, conseqüentemente, erodem mais terrenos, tornando a argila, cada vez mais, de difícil acesso. A pesquisa mais recente, realizada por Ramalho (2016), observa que em 2014 já se contabilizavam 56 jazidas para extração de argila no município.

Tendo em vista, em muitos casos, uma tecnologia limitada quanto ao processo produtivo das peças cerâmicas e uma mão-de-obra não qualificada, acaba-se, também, tendo desperdício de produção, encarecendo o produto final para cobrir os custos, principalmente com a demanda de mais de matéria-prima e de lenha, sendo necessário enfrentar os aspectos legais com que as empresas locais se deparam, hoje, para consegui-los.

Figura 3 – Localização do município de Russas no mapa.



Fonte: Google Maps (2017).

Há um quantitativo de perdas enorme principalmente com telhas, devido, muitas vezes, a falta de controle na produção, na movimentação interna das mesmas e no transporte após a venda. Algumas cerâmicas já tiveram de perder toda a produção de telhas ou de blocos por falta de manutenção no maquinário, gerando peças irregulares e sendo necessário o descarte. Por falta de um local apropriada para esse descarte, as peças são quebradas e jogadas no ambiente, ao longo das estradas vicinais, nas bordas de cercas ou muros e até mesmo provocando o aterro de algumas lagoas (Figura 4).

Figura 4 – Disposição dos resíduos no ambiente.



Fonte: Autoria própria (2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Na busca de minimizar os impactos causados ao meio ambiente devido a forma com que os resíduos cerâmicos estão sendo descartados e reduzir às perdas de argila e das demais matérias-primas necessárias para a produção de peças cerâmicas, propôs-se o desenvolvimento de uma pesquisa que avaliasse a incorporação desses resíduos (chamotes) na produção, a partir da substituição parcial da argila pelo mesmo, na fabricação de tijolos maciços, ainda bastante utilizados no município de Russas-CE. Assim, produziu-se amostras de tijolos com matéria-prima padrão e comparou-as com amostras de tijolos com diferentes proporções e granulometrias de substituição, através do ensaio de resistência, indicado pela norma NBR 6460/1983 e de absorção, utilizando o procedimento da norma NBR 8492/1984.

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

4.1.1 Argila e Chamote cerâmico

Para a realização desta pesquisa utilizou-se argila já selecionada para fabricação de tijolos maciços e chamote cerâmico proveniente de telhas novas descartadas, ambos coletados no município de Russas-CE. A argila coletada foi retirada da pilha alimentadora da própria olaria (Figura 5) que realizou, também, a queima dos tijolos. Os resíduos de telhas foram fornecidos por uma empresa vizinha que havia tido uma perda no entorno de 5 milheiros de telha, devido um erro na forma das mesmas, erro este percebido somente após a queima, que por isso as mesmas tiveram que ser descartadas.

Para a fragmentação do chamote foi utilizado o equipamento de abrasão Los Angeles (Figura 6) disponível no laboratório de solos da UFERSA campus Mossoró-RN, onde foram realizados, também, o peneiramento desse chamote e os ensaios de plasticidade, umidade, de massa específica dos grãos e de absorção de água dos tijolos.

Figura 5 – Jazida (a) e pilha alimentadora (b) de onde foi recolhida a argila utilizada para confecção dos tijolos.



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 6 – Moinho usado na fragmentação do chamote – Equipamento de abrasão Los Angeles.



Fonte: Autoria própria (2017).

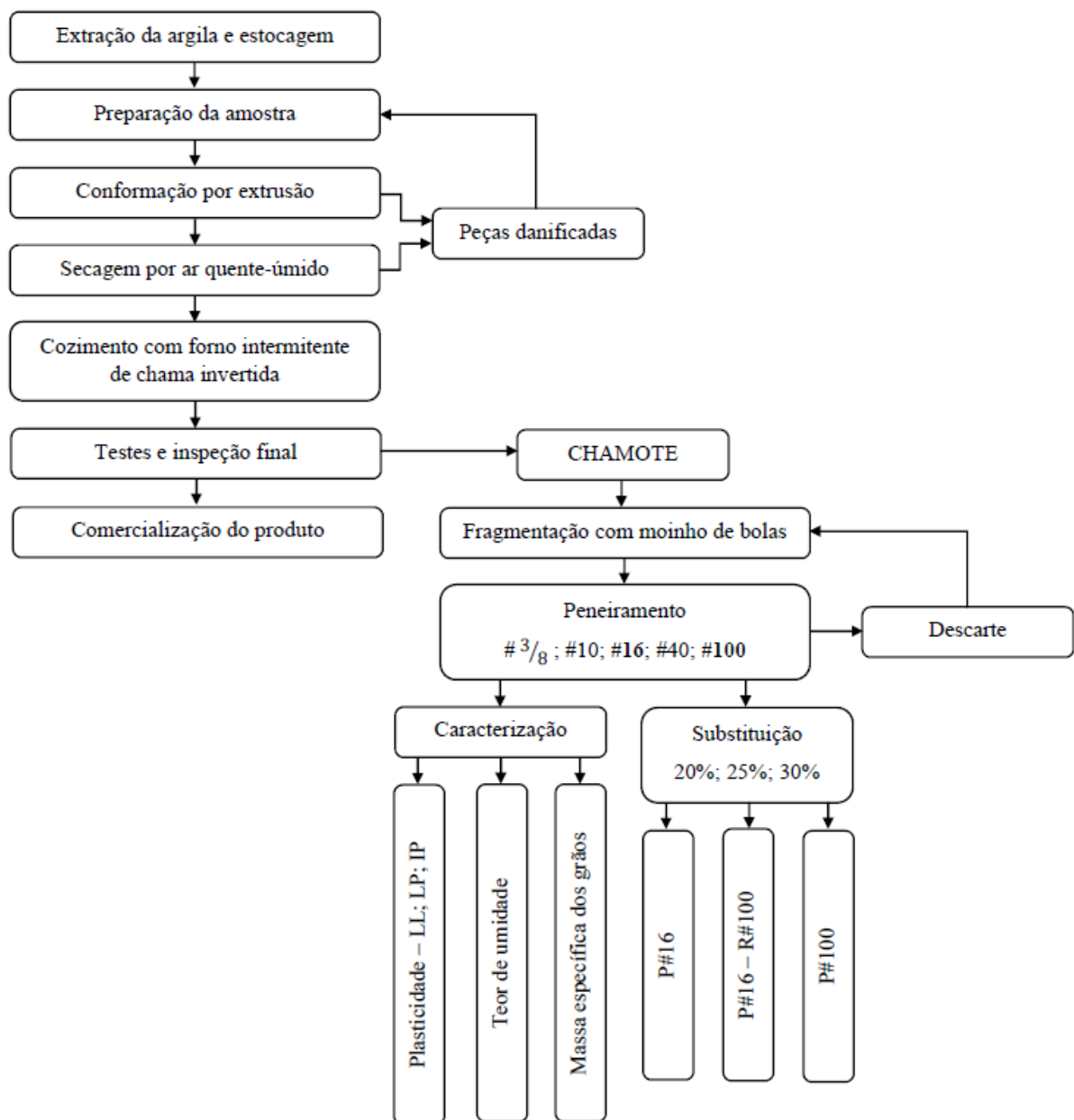
4.2 MÉTODO PARA ANÁLISES

Tendo-se a argila e o chamote preparados (Figura 8a), foram confeccionados manualmente, com o auxílio de uma forma de madeira (Figura 8b), tijolos maciços de 19cm x 9cm x 5,7cm (Figura 9), obedecendo as dimensões padrões previstas na NBR 7170/1983, com substituições de chamotes nas proporções de 20%, 25% e 30% referentes ao peso de argila utilizado para se confeccionar um tijolo maciço comum com as mesmas dimensões. Foram

utilizadas, também, três granulometrias de chamotes: a primeira granulometria utilizada passante na peneira nº 16 (1,18mm); a segunda granulometria passante na peneira nº 16, ficando retida na peneira nº 100 (0,15mm); e por fim, a terceira granulometria passante na peneira nº 100. Para facilitar a desforma do tijolo, a forma foi molhada e coberta com areia fina, denominada poagem (Figura 8c).

O fluxograma abaixo (Figura 7) descreve, de forma mais detalhada, a origem do chamote e o processo pelo qual o mesmo foi submetido.

Figura 7 – Fluxograma: Obtenção e aplicação do Chamote



Fonte: Autoria própria (2017).

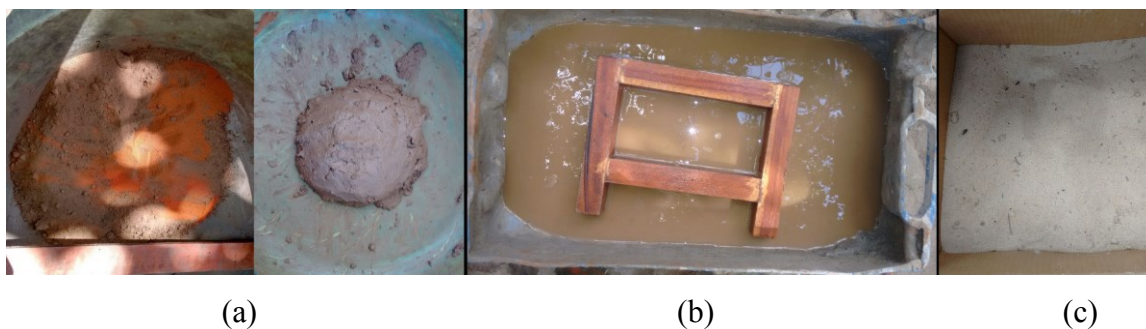
Os dados obtidos na produção dos tijolos sem substituição estão expostos na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Dados do tijolo base e das substituições.

TIJOLO BASE			SUBSTITUIÇÕES		
FASE	PESO (g)	ÁGUA (ml)	PESO BASE (g)		
Mistura	1827	525	1827		
Secagem	1470	357	20% (g)	25% (g)	30% (g)
Cozimento	1385	85	365	457	548

Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 8 – Mistura (a), forma (b) e areia fina (c) utilizados na moldagem dos tijolos.



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 9 – Tijolos moldados e carimbados com suas respectivas indicações.



Fonte: Autoria própria (2017).

Depois de moldados e secados naturalmente, os tijolos foram cozidos em uma olaria através de um forno de meda, utilizando-se lenha como combustível (Figura 10).

Figura 10 – Forno de meda utilizado no cozimentos dos tijolos.



Fonte: Autoria própria (2017).

4.2.1 Caracterização da argila e do chamote

4.2.1.1 Teores de umidades

Os teores de umidade dos materiais foram obtidos através de ensaios laboratoriais anexados na NBR 6457/1986.

Ambos os materiais possuíam grãos com dimensões entre 2mm e 20mm (Figura 11). Foram separadas 3 amostras de cada material. Essas amostras, após pesadas, foram levadas à estufa por 16h a uma temperatura de 105°C e quando retiradas, foram novamente pesadas para que se calculasse o teor de umidade de cada material e suas respectivas umidades higroscópicas.

Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente e não houve secagem prévia das amostras ao ar.

Figura 11 – Amostras dos materiais – Argila (a) e Chamote (b).



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2017).

4.2.1.2 Determinação dos Limites de Liquidez – NBR 6459/1984

Estando preparadas as amostras dos materiais de acordo com o solicitado pelo item 5.1.3 da NBR 6457/1986, foi colocada 100g dessas amostras em recipientes e adicionado água destilada, homogeneizando-as até que se obtivessem consistências tais que fossem necessários proceder, pelo menos, 35 golpes para fechar ranhuras padrões feitas nos materiais no Aparelho de Casagrande (Figura 12). As mesmas amostras de argila utilizadas no procedimento acima foram devolvidas aos seus recipientes para que recebessem pequenos incrementos de água e se obtivessem mais 4 consistências tais que fossem necessários proceder entre, no máximo, 35 golpes e, no mínimo, próximo a 15 golpes, decrescentemente.

Para cada incremento foi retirada uma fração, e todas foram levada à estufa por 16h a uma temperatura de 105°C e então calculado as umidades dos materiais.

Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente e não houve secagem prévia das amostras ao ar.

Figura 12 – Ensaios de Limites de Liquidez – Argila (a) e Chamote (b).



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria (2017).

4.2.1.3 Determinação dos Limites de Plasticidade – NBR 7180/1984

Estando preparada a amostra de argila com o solicitado pelo item 5.1.3 da NBR 6457/1986, foi colocada as 100g, restantes dessa amostra, em um recipiente e adicionado água destilada, homogeneizando-a até que se obtivesse consistência plástica. Em seguida, iniciou-se as moldagens dos cilindros de acordo com as dimensões previstas no ensaio. Foram moldados 5 cilindros, com pequenos incrementos de água de uma moldagem para outra. De cada cilindro

foi retirada uma pequena fração (Figura 13), e todas foram levadas à estufa por 16h a uma temperatura de 105°C e então calculado a umidade da argila.

Este ensaio não foi preciso ser realizado para a caracterização do chamote. O ensaio foi realizado em temperatura ambiente e não houve secagem prévia da argila ao ar.

Figura 13 – Frações retiradas da amostra de argila.



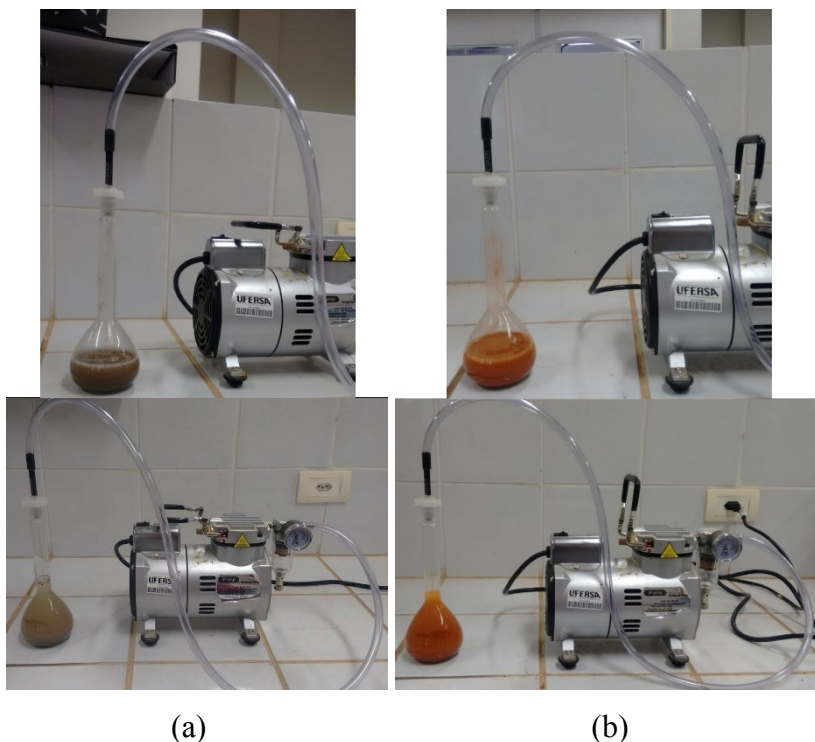
Fonte: Autoria própria (2017).

4.2.1.4 Massa específica dos grãos – NBR 6508/1984

Com as amostras dos materiais preparadas de acordo com o solicitado pelo item 5.1.4 da NBR 6457/1986, foram retiradas duas frações de 25g de cada material para realizar o ensaio com um picnômetro de 250ml. Preencheu-se o picnômetro até a marca de referência com água destilada, pesou-se e retirou-se a temperatura da mesma. Em seguida foi deixado apenas, aproximadamente, 1/3 da água, adicionado uma fração do material, agitado e submetido a mistura ao vácuo. Passados 15 minutos, adicionou-se mais água destilada e sem agitar, a mistura foi colocada, novamente no vácuo. Passados mais 15 minutos, completou-se o picnômetro com água destilada até o menisco e ainda sem agitar, a mistura voltou ao vácuo por mais 15 minutos (Figura 14).

Terminado estes procedimentos, o picnômetro foi pesado novamente. O mesmo foi feito para as outras 3 frações restantes.

Figura 14 – Ensaios de massa específica dos grãos – Argila (a) e Chamote (b).



Fonte: Autoria própria (2017).

4.2.2 Caracterização dos corpos de prova

Após concluída a etapa de cozimento, os tijolos foram submetidos a ensaios de caracterização no intuito de analisar sua porosidade e sua resistência. O ensaio de resistência foi realizado com o auxílio da prensa mecânica do IFRN, campus Mossoró-RN.

4.2.2.1 Absorção de água

Tendo-se o peso de cada tijolo após a etapa de cozimento, os mesmos foram colocados em um recipiente contendo água e permaneceram submersos durante 24h (Figura 15). Passado este período, foram retirados da água, enxugados superficialmente com auxílio de um pano úmido e pesados novamente, obtendo-se, assim, a massa saturada dos tijolos.

Figura 15 – Imersão dos tijolos na água.



Fonte: Autoria própria (2017).

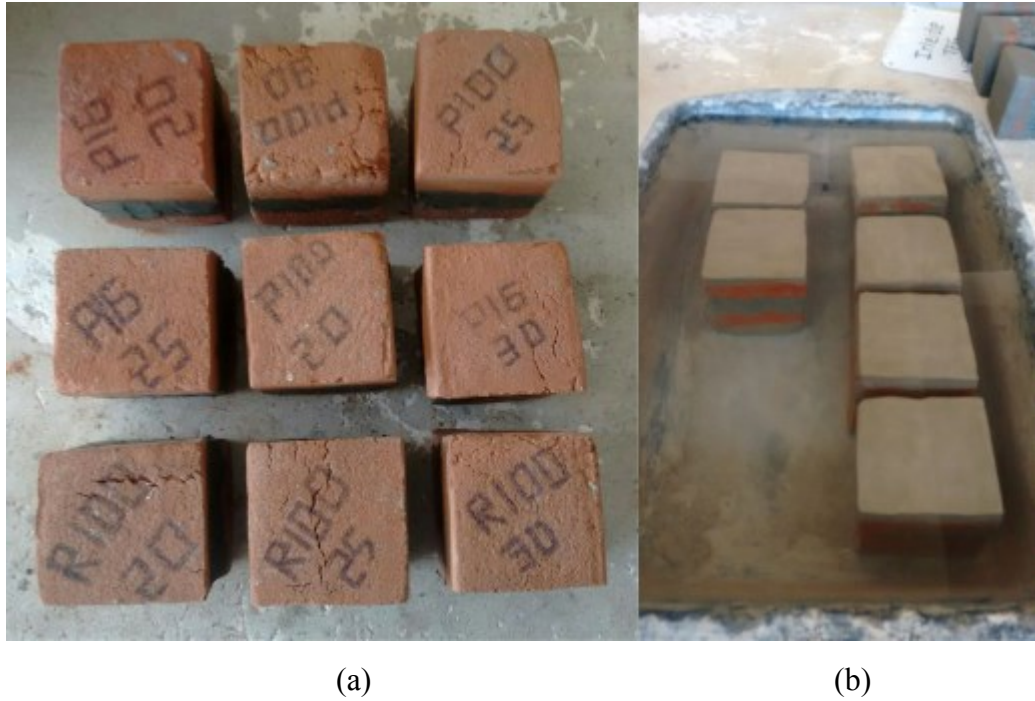
4.2.2.2 Resistência mecânica à compressão – NBR 6460/1983

Para a preparação dos corpos de prova do ensaio, todos os tijolos foram cortados ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão e tiveram suas metades sobrepostas e coladas utilizando uma pasta fina de cimento, com relação água:cimento de 0,55, de maneira que as faces cortadas ficaram invertidas (Figura 16a).

Esses corpos de prova foram deixados em repouso por cerca de 24 horas, para o total endurecimento da pasta de cimento e em seguida foram colocados sobre uma placa de vidro recoberta, também, com pasta de cimento com o mesmo fator de 0,55, para realizar um capeamento de aproximadamente 3mm de espessura. Logo que o capeamento endureceu, foram retiradas as rebarbas laterais e realizado o capeamento da face oposta à anterior, obtendo-se, assim, corpos de prova com duas faces de trabalho regularizadas e, tanto quanto foi possível, paralelas. Em seguida, os corpos de prova foram identificados com a granulometria e a taxa de substituição e imersos em água por 24h (Figura 16b). Pouco antes de partir para o ensaio propriamente dito, os mesmos foram retirados da água e enxugados superficialmente.

No ensaio, a carga aplicada aos corpos de prova foi elevada, progressivamente, até que essa carga começasse a decrescer, indicando que já havia ocorrido a ruptura dos mesmos (Figura 17).

Figura 16 – Preparação dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 17 – Amostra de um ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autoria própria (2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA E DO CHAMOTE

5.1.1 Teores de umidades

O teor de umidade de um material é determinado relacionando seus pesos úmido e seco como colocado na equação 1:

Equação 1 – Teor de umidade de um material (h).

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100$$

Onde,

M_1 = massa do solo úmido + tara do recipiente;

M_2 = massa do solo seco + tara do recipiente;

M_3 = tara do recipiente.

Fonte: NBR 6457 (1986).

Os resultados foram obtidos fazendo-se a média entre os teores das 3 amostras ensaiadas para cada material. Assim, a argila apresentou um teor de umidade igual a 4,14% e o chamote 0,23% (Tabela 2). Já era esperada a obtenção de um teor de umidade próximo de 0 para o chamote, visto o mesmo ser composto por material cozido submetido a elevadas temperaturas, justamente para a retirada de umidade.

Tabela 2 – Resultados obtidos para os teores de umidade dos materiais.

h - ARGILA				h - CHAMOTE			
M_3 (g)	M_1 (g)	M_2 (g)	h (%)	M_3 (g)	M_1 (g)	M_2 (g)	h (%)
6,44	14,48	14,26	2,81	25,332	55,332	55,267	0,22
6,25	14,26	13,76	6,66	25,135	55,135	55,059	0,25
7,98	15,98	15,75	2,96	24,162	54,162	54,093	0,23
média			4,14	média			0,23

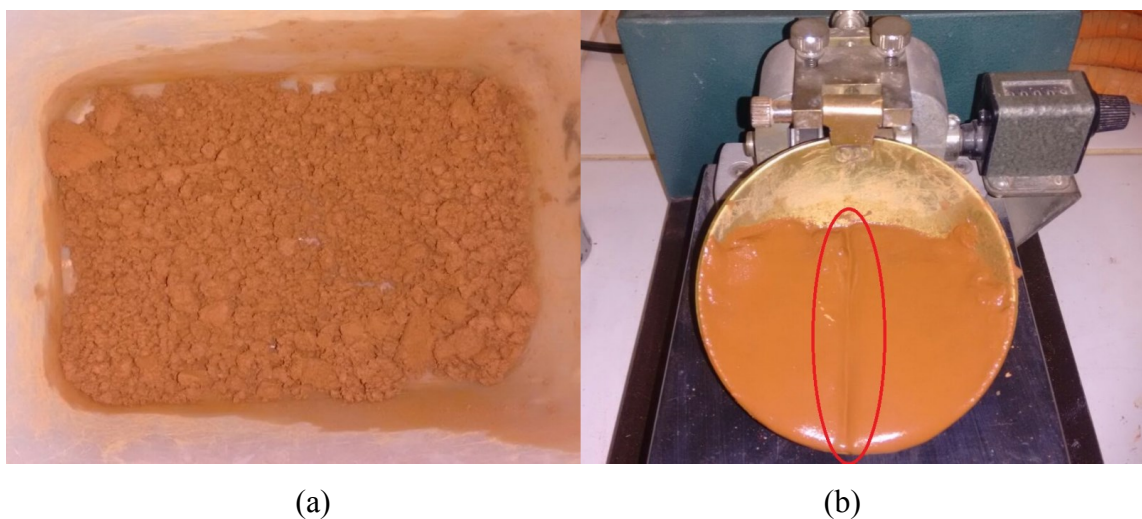
Fonte: Autoria própria (2017).

5.1.2 Determinação dos Limites de Liquidez – LL

O Limite de Liquidez é encontrado a partir de um gráfico em escala logarítmica, onde o eixo das abcissas (x) representem os números de golpes e o eixo das coordenadas (y) representem as umidades encontradas para as 5 repetições do ensaio no aparelho de Casagrande, de modo que se encontre a umidade correspondente a 25 golpes.

Com a realização dos ensaios, percebeu-se que o chamote não conseguia atingir umidades tal que atendessem as exigências da NBR 6459/1984 e que pudessem ser usadas para definir seu Limite de Liquidez. A amostra foi umedecida, aparentemente permanecia seca (Figura 18a), porém, ao ser colocada na concha do aparelho de Casagrande e iniciado os golpes, a mesma criava uma película de água sobre o solo, fechando a ranhura em menos de 6 golpes (Figura 18b).

Figura 18 – Comportamento observado no ensaio de LL do chamote – Amostra umedecida (a) e preenchimento da ranhura com a água da película (b).



Fonte: Autoria própria (2017).

Não tendo sido possível encontrar, pelo menos, a umidade correspondente a 15 golpes, o chamote foi considerado sem Limite de Liquidez.

Para a obtenção do resultado referente à argila, foi montado o gráfico e gerada uma linha de tendência para que fosse encontrada sua equação correspondente, onde “y” representa o teor de umidade e “x” representa o número de golpes que se deseja analisar. Nestes casos, $x = 25$ golpes.

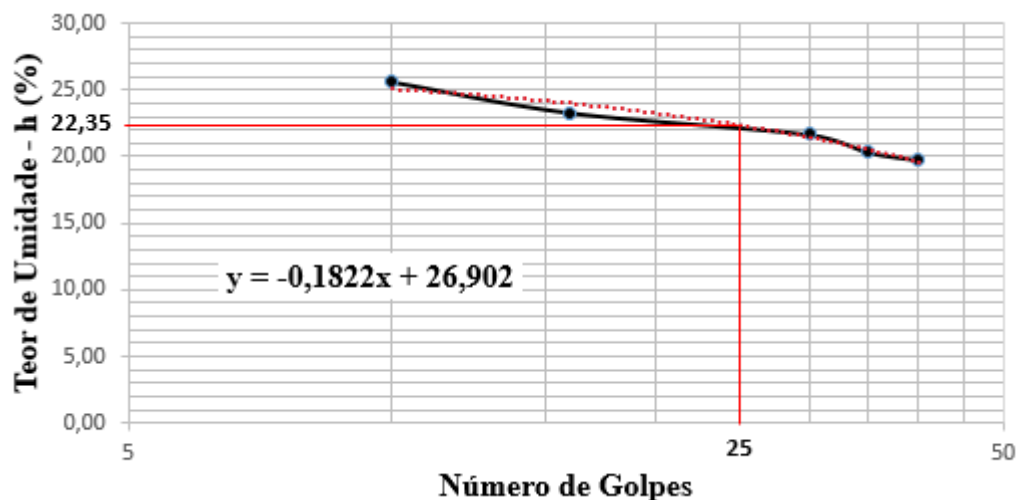
Os resultados encontrados para a argila estão indicados na tabela 3, e o valor obtido para o LL da argila foi de 22,35% (Figura 19). Para os cálculos dos teores de umidade de cada fração, foi utilizada a equação 1.

Tabela 3 – Resultados encontrados para o cálculo do Limite de Liquidez da argila.

LL - ARGILA				
M3 (g)	M1 (g)	GOLPES	M2 (g)	h (%)
6,4	9,37	40	8,88	19,76
5,06	6,48	35	6,24	20,34
5,63	7,09	30	6,83	21,67
6,09	8,79	16	8,28	23,29
6,41	8,52	10	8,09	25,60
-	-	25	-	22,35

Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 19 – Valor do Limite de Liquidez da argila.



Fonte: Autoria própria (2017).

5.1.3 Determinação dos Limites de Plasticidades – LP

O Limite de Plasticidade é obtido realizando-se a média entre as umidades das frações retiradas dos 5 cilindros moldados de um determinado material, descartando-se, sempre, aquelas que apresentem variação de 5% abaixo ou acima das médias, até que restem, pelo menos, 3 amostras.

Como recomendado na própria NBR 7180/1984, por não ter sido encontrado um Limite de Liquidez para a amostra de chamote, foi desprezada a relevância deste ensaio para a

caracterização do mesmo, visto caso fosse encontrado um valor qualquer de LP, este não influenciaria mais na classificação do chamote quanto sua plasticidade pelo Índice de Plasticidade.

Os resultados encontrados para a argila encontram-se na tabela 4 abaixo, obtendo-se, ao final dos testes, um LP = 18,8%. Para os cálculos dos teores de umidade de cada fração, foi utilizada a equação 1.

Tabela 4 – Resultados encontrados para o cálculo do Limite de Plasticidade da argila.

LP - ARGILA						
M ₃ (g)	M ₁ (g)	M ₂ (g)	Teste 1		Teste 2	
			h (%)	desvio da média	h (%)	desvio da média
6,78	8,78	8,47	18,34	0,72	18,34	0,45
5,55	7,48	7,18	18,40	0,66	18,40	0,39
5,78	8,5	8,07	18,78	0,29	18,78	0,02
5,92	8,72	8,26	19,66	0,59	19,66	0,86
5,97	7,64	7,36	20,14	1,08	-	-
média			19,07	-	18,80	-
5% da média			0,95	-	0,94	-

Fonte: Autoria própria (2017).

5.1.4 Determinação dos Índices de Plasticidade – IP

Tendo posse dos valores dos Limites de Liquidez e de Plasticidade, pode-se obter o Índice de Plasticidade de um material através da equação 2. Os valores obtidos estão dispostos na tabela 5.

O chamote pode ser classificado como Não Plástico, visto qualquer que seja o valor de LP, caso exista, o Índice de Plasticidade se tornará menor que 1. Já a argila, por ter o Índice de Plasticidade entre 1% e 7%, pode considerada de baixa plasticidade.

Equação 2 – Índices de Plasticidade (IP).

$$IP = LL - LP$$

Onde,

LL = Limite de Liquidez;

LP = Limite de Plasticidade;

Fonte: NBR 7180 (1984).

Tabela 5 – Classificação dos materiais utilizados de acordo com sua plasticidade.

IP				
MATERIAL	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CLASSIFICAÇÃO
ARGILA	22,35	18,8	3,55	Baixa plasticidade
CHAMOTE	0	-	< 1	Sem plasticidade

Fonte: Autoria própria (2017).

5.1.5 Massa específica dos grãos

A massa específica dos grãos de um material pode ser calculada a partir da média da massa específica obtida entre as duas frações dos materiais, utilizando a equação abaixo:

Equação 3 – Massa específica dos grãos do solo (δ).

$$\delta = \frac{M_1 \times (100/100 + h)}{[M_1 \times (100/100 + h)] + M_3 - M_2} \times \delta_T$$

Fonte: NBR 6508 (1984).

Onde,

M_1 = massa do solo úmido;

M_2 = massa do picnômetro + solo + água;

M_3 = massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência;

h = umidade inicial da amostra;

δ_T = massa específica da água, na temperatura T de ensaio.

Os resultados encontrados para os materiais então indicados na tabela 6. As massas específicas da água foram retiradas da tabela anexada à NBR 6508/1984, de acordo com a temperatura da água usada para cada fração do ensaio. O teor de umidade já havia sido previamente definido. Assim, a massa específica dos grãos considerada para a argila foi de 2,55 g/cm³ e a massa específica dos grãos considerada para a argila foi de 2,58 g/cm³. Os materiais apresentaram valores próximos, mostrando que ambos possuem grãos com volumes parecidos e que caso combinados, a mistura pode ser tida como uniforme.

Tabela 6 – Resultados obtidos para as massas específicas dos grãos dos materiais.

MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS							
MATERIAL	M ₁ (g)	M ₃ (g)	T (°C)	δ _T (g/cm ³)	h(%)	M ₂ (g)	δ (g/cm ³)
ARGILA	25,78	373,42	26,1	0,9968	4,14	388,66	2,59
	25,22	387,36	26,3	0,9967	4,14	401,96	2,51
	média						2,55
CHAMOTE	25,11	376,27	26,8	0,9966	0,23	391,54	2,55
	25,00	376,26	27,1	0,9965	0,23	391,70	2,62
	média						2,58

Fonte: Autoria própria (2017).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A tabela 7 descreve a quantidade de argila e água que foram misturadas à quantidade do chamote calculado para cada porcentagem de substituição (Tabela 1), bem como o peso após o processo de secagem e o peso após o cozimento, para cada configuração de tijolo.

Tabela 7 – Resultados obtidos para cada etapa de produção dos tijolos.

TIJOLOS COM SUBSTITUIÇÃO									
MEDIDAS	P16/R100			P100			P16		
	20%	25%	30%	20%	25%	30%	20%	25%	30%
ARGILA (g)	1379	1434	1500	1300	1400	1490	1300	1400	1417
ÁGUA (ml)	475	455	440	490	485	480	515	500	490
PESO SECO (g)	1465	1470	1410	1445	1430	1490	1435	1480	1400
PESO COZIDO (g)	1390	1345	1345	1360	1350	1395	1350	1395	1325

Fonte: Autoria própria (2017).

Ao se comparar a quantidade de água utilizada para a moldagem de cada tijolo com substituição, indicada anteriormente, com a quantidade de água utilizada para a moldagem do tijolo base, percebe-se que os mesmos necessitaram de uma quantidade de água menor para atingir a trabalhabilidade da mistura.

A figura 20, abaixo, mostra o resultado final dos tijolos após concluídas todas as etapas da produção. Visualmente, os mesmos já apresentaram comportamento satisfatório, quanto resistência e acabamento.

Figura 20 – Tijolos cozidos.



Fonte: Autoria própria (2017).

Apesar de não terem sido tabelados as dimensões finais dos tijolos após o cozimento, pode-se perceber a redução das dimensões dos tijolos com substituição, de até 3mm, e do tijolo base de 5mm, muito bem justificada pela possível retração linear de secagem, comumente desenvolvida nas peças cerâmicas.

5.2.1 Absorção de água

O teor de absorção de água de um tijolo é dado a partir da equação abaixo:

Equação 4 – Teor de absorção de água (a).

$$a = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

Fonte: NBR 8492 (1984).

Onde,

M_1 = massa do tijolo seco;

M_2 = massa do tijolo saturado.

A tabela 8 mostra os resultados obtidos para cada tijolo e sua variação quando comparado ao corpo de prova sem substituição de chamote. Pode-se perceber que todas as substituições

provocaram um aumento quanto ao teor de absorção de água. Dentre esses aumentos, o tijolo que apontou um valor mais próximo do tijolo base foi o com substituição de 20% da argila por chamote de granulometria entre 1,12mm e 0,15mm (P16/R100-20) e o que apontou um comportamento mais crítico foi o tijolo com substituição de 30% da argila por chamote de granulometria menor que 1,12mm, incluindo a presença de grãos extremamente finos, menores que 0,15mm (P16-30). Já era esperado que houvesse esse aumento do teor de absorção de água, visto esta característica já ter sido mostrada por outros autores, como Ripoli Filho (1997), Gouveia (2008) e Vieira *et all* (2004).

Tabela 8 – Resultados obtidos quanto o teor de absorção de água dos tijolos maciços com substituição parcial de chamote e sua variação em relação a um tijolo maciço comum.

TEOR DE ABSORÇÃO DE ÁGUA										
MEDIDAS	TIJOLO BASE	P16/R100			P100			P16		
		20%	25%	30%	20%	25%	30%	20%	25%	30%
M1 (g)	1385	1390	1345	1345	1360	1350	1395	1350	1395	1325
M2 (g)	1546	1571	1525	1543	1545	1555	1606	1543	1580	1539
a (%)	11,62	13,02	13,38	14,72	13,60	15,19	15,13	14,30	13,26	16,15
VARIAÇÃO (%)		1,40	1,76	3,10	1,98	3,56	3,50	2,67	1,64	4,53

Fonte: Autoria própria (2017).

5.2.2 Resistência mecânica à compressão

A resistência mecânica à compressão de um material é dado a partir da média resultante entre as razões da carga máxima aplicada antes de ocorrer a ruptura do corpo de prova e a média das áreas das faces nas quais estão sendo aplicadas a força. Essa resistência obtida deve ser convertida e apresentada em MPa.

Como se portava, apenas, de um corpo de prova de cada amostra de tijolo, a resistência deu-se pela razão da carga máxima suportada pelo mesmo e a média da área de suas faces, resultando, assim, em um valor passível de alteração, de acordo com número de corpos de prova que podem ser utilizados.

A tabela 9 mostra as cargas suportadas por cada configuração de tijolo e suas resistências máximas obtidas. Os tijolos P100-30, P16-20, P16-25 e P16-30 apresentaram resistências maiores que o do tijolo base. Entre eles, o que apresentou a maior resistência foi o tijolo com substituição de 30% de argila por chamote com granulometria inferior a 0,15mm (P100-30). A

menor resistência foi apresentada pelo tijolo com substituição de 25% de argila por chamote de granulometria entre 1,12mm e 0,15mm (P16/R100-25).

Tabela 9 – Resultados obtidos quanto a resistência mecânica à compressão de cada tijolo maciço produzido.

RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO											
MEDIDAS		TIJOLO BASE	P16/R100			P100			P16		
			20%	25%	30%	20%	25%	30%	20%	25%	30%
CARGA MÁX APLICADA (N)		19060	14900	9910	12160	17290	15880	24110	22560	19120	24110
ÁREAS (m²)	Face 1	0,0086	0,0088	0,0092	0,0081	0,0085	0,0085	0,0079	0,0086	0,0085	0,0087
	Face 2	0,0082	0,0081	0,0081	0,0088	0,0085	0,0084	0,0085	0,0080	0,0082	0,0088
	Média	0,0084	0,0084	0,0086	0,0085	0,0085	0,0084	0,0082	0,0083	0,0083	0,0088
RESISTÊNCIA CALCULADA (MPa)		2,27	1,76	1,15	1,44	2,04	1,89	2,94	2,72	2,30	2,75

Fonte: Autoria própria (2017).

Assim, os tijolos P16/R100-20, P100-20, P100-25 e P16-25 ficam classificados como tijolos de classe A e os tijolos P100-30, P16-20 e P16-30 ficam classificados como tijolos de classe B. Já os tijolos P16/R100-25 e P16/R100-30 não puderam ser classificados, visto os mesmo não terem atingido a resistência mínima a compressão de 1,5MPa, de acordo com a NBR 7170/1983.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizar o teste de umidade nas amostras, foi importante, visto a umidade do material influenciar na quantidade de água necessária para a realização de uma mistura. Ao se comparar a amostra do chamote cerâmico com a amostra da argila, pode-se dizer que o chamote não apresentou umidade considerável. A pouca umidade que o mesmo apresentou pode ser justificada pela forma de disposição que o resíduo se encontrava, visto ser um resíduo cozido e o processo de cozimento ter o papel justamente da retirada final de umidade, que pode ser recuperada de acordo com a exposição das peças aos intemperes.

Através dos ensaios de plasticidade, pode ser confirmada a classificação dada ao chamote, pela literatura, de que o mesmo se trata de um material não plástico. Porém, a não plasticidade do mesmo e as porcentagem escolhidas para as substituições de chamote (20%, 25% e 30%) não dificultaram no processo de moldagem dos tijolos.

Os materiais apresentaram resultados muito próximos quanto à massa específica dos grãos, indicando que as misturas ensaiadas eram compostas por materiais com granulometria praticamente iguais.

Quanto aos tijolos com substituições, no geral, todos apresentaram excelentes resistências, se classificando como tijolos entre as classes A (1,5MPa) e B (2,5MPa). Três tijolos apresentaram, até mesmo, uma resistência maior que o do tijolo base. Apenas duas das nove configurações ensaiadas não atingiram a resistência mínima de 1,5MPa, exigida pela NBR 7170/1983 para a execução de alvenarias de vedação, mas, mesmo assim, suas resistências acima de 1MPa foram interpretadas como um bom resultado.

As incorporações do chamote cerâmico aumentaram o percentual de absorção de água nos tijolos, causando variações de 1,4% a 4,53% acima desse percentual, em comparação com o tijolo base produzido. Como não foram encontrados, na literatura, limites quando o teor de absorção de água em tijolos cerâmicos maciços, foi considerado, na análise, o mesmo limite imposto pela NBR 7171/1992 aos blocos cerâmicos para alvenaria, com teores variando entre 8% e 25%. Assim, todos os tijolos apresentaram, no ensaio de absorção de água, resultados inclusos entre esse intervalo. Não é interessante a utilização dos tijolos que apresentaram valores de absorção de água mais elevado em ambientes que apresentam muita umidade, visto que os mesmos favoreceriam o surgimento de algumas patologias. No entanto, com a utilização de impermeabilizantes tanto na argamassa de assentamento como nas argamassas de revestimento, essas possíveis patologias podem ser evitadas ou amenizadas.

Pode-se, ainda, a partir destes ensaios, desconsiderar que houve uma relação linear quanto a porosidade (entendida a partir do ensaio de absorção de água) e a resistência apresentada por cada configuração de tijolo ensaiada.

Relacionando os resultados obtidos quanto absorção de água e resistência à compressão, podem ser aceitas substituições de até mesmo 30% de argila por chamote cerâmico, superando a porcentagem máxima da literatura de 20% (ZACARRON, 2013), desde que não se utilizem granulometrias que excluam grãos menores que 0,15mm.

Acredita-se que, caso seja testado o uso de chamote cerâmico proveniente de telhas já usadas ou de outros materiais cerâmicos, os resultados podem ser diferentes.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a incorporação de chamote cerâmico na fabricação de tijolos maciços pode ser implementada nas olarias no município de Russas-CE, como, também, pode ser testada com demais tipos de argilas encontradas em outros municípios e ser implementada nas olarias destes locais, com o intuito de reduzir a disposição de resíduos sólidos no meio ambiente, as taxas de desperdício e de prejuízo de produção, bem como diminuir a demanda da matéria prima, argila, e da água.

Outro ponto a ser destacado foi que as substituições da argila pelo chamote, reduziram a retração linear dos tijolos, após a secagem, indicando que essa prática pode ser utilizada para reduzir as perdas de peças devido ao não atendimento às dimensões normatizadas dos mesmos.

Sugere-se, que, futuramente, seja analisado a incorporação desse resíduo em outras linhas de produção de materiais cerâmicos, como blocos, telhas e placas, que sejam testadas outras porcentagem de substituição e até mesmo que seja testado possíveis materiais cerâmicos totalmente fabricados a partir do uso de chamote.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (AB CERAM). **Informações Técnicas. Definição e Classificação.** São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>>. Acesso em 08 ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6457 – Amostras de Solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Método de Ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 9p.

_____. **NBR 6459 – Solo: Determinação do Limite de Liquidez.** Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 6p.

_____. **NBR 6460 – Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Verificação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 3p.

_____. **NBR 6502 – Rochas e Solos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18p.

_____. **NBR 6508 – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm: Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 8p.

_____. **NBR 7170 – Tijolo maciço cerâmico para alvenaria.** Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 4p.

_____. **NBR 7171 – Bloco Cerâmico para alvenaria.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 8p.

_____. **NBR 7180 – Solo: Determinação do Limite de Plasticidade.** Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 3p.

_____. **NBR 7250 – Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1982. 3p.

_____. **NBR 8492 – Tijolo maciço de solo-cimento. Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água.** Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 5p.

BACCELLI G. JUNIOR. **Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó-RN.** 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010. 201p. Disponível em: <<http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/handle/123456789/15624>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** v.2. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 538p.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciências e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 817p.

CAMPELO, N. S. *et al.* Estudo da Utilização de Resíduo Cerâmico Queimado (“Chamote”) Oriundo do Polo Oleiro dos Municípios de Iranduba e Manacapuru – AM, como Aditivo na Fabricação de Telhas. **Cerâmica Industrial**. v.11. n.1, p. 44 – 46, jan./fev. 2016. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v11n01/v11n1a08.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. v.1. 6.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988. 498p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Projeto Organização e Formalização das Atividades de Extração de Argila no Baixo Jaguaribe – Ceará: relatório final da etapa 1 – diagnóstico. Fortaleza: DNPM, 2013. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/extracao-de-argila-no-baixo-jaguaribe-ceara/view>>. Acesso em: 04 out. 2017.

Fundação Estadual de Meio Ambiente. (FEAM); Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG). **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha**. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_ceramica.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2017.

GOUVEIA, F. P. **Efeito da Incorporação de Chamote (Resíduo Cerâmico Queimado) em massa cerâmicas para a Fabricação de Blocos Cerâmicos para o Distrito Federal. Um Estudo Experimental**. 2008. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Brasília, 2008. 104p. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/1169>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

MACCARI, I. M. S. **Morro da Fumaça: Passado e Presente**. Morro da fumaça – SC: Editora Soller, 2005. 58p.

MARCOS, A. R. A.; GALVÃO, M. S. Panorama da Indústria Cerâmica Focado na Sustentabilidade: Um Estudo de Caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31. 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Enegep, 2011. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STP_143_904_17735.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2017.

NORTON, F. H. **Introdução à tecnologia cerâmica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 324p.

OLIVEIRA, F. E. M. De. **Acompanhamento da produção industrial em cerâmica da microrregião do Vale do Assú: estudo de caso**. 2001. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Angicos, 2001. 64p.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. 4.ed. Porto Alegre: Globo, 1989. 435p.

PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 367p.

RAMALHO, D. C. L.; FILHO, L. C. A. L.; OLIVEIRA JÚNOR, H. S. De; COELHO, D. Da C. L.; FERREIRA, L. L. N. **Uso do geoprocessamento na avaliação da expansão da indústria ceramista no município de Russas – CE.** In: Simpósio de Manejo de Solo e Água, 1. 2016, Mossoró-RN. **Anais...** Disponível em:

<<https://even3storage.blob.core.windows.net/anais/41108.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2017.

RIPOLI FILHO, F. A Utilização do Rejeito Industrial Cerâmico - Chamote - como Fator de Qualidade na Fabricação de Elementos Cerâmicos: um Estudo Experimental. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v43n281-282/4841.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

RODRIGUES, B. N. **Estudos das propriedades mecânicas de produtos cerâmicos de microrregião do Baixo Jaguaribe-CE.** 2013. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural de Semi-Árido. Mossoró, 2013. 70p. Disponível em: <http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/270/TCC%20-%20BCT/TCC_Bruno%20Noronha%20Rodrigues.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2017.

SEBRAE; ESPM. **Cerâmica Vermelha. Estudo de mercado SEBRAE/ESPM 2008. Relatório Completo.** Série Mercado, 2008. Disponível em: <<http://www.sebraemercados.com.br/wp-content/uploads/2015/09/ESTUDO-CERAMICA-VERMELHA.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

SILVA, A. V. **Análise do processo produtivo dos tijolos cerâmicos no estado do Ceará – da extração da matéria-prima à fabricação.** 2009. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil. Fortaleza, 2009. 104p.

VIEIRA, C. M. F.; SOUZA, E. T. A. de; MONTEIRO, S. N. Efeito da incorporação de chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v.50, n.315, p. 254 – 260, jul./set. 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132004000300013>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

ZACCARON, A. **Incorporação de chamote na massa de cerâmica vermelha como valorização do resíduo.** 2013. Monografia (Engenharia ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2013. 121p. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/2415>>. Acesso em: 26 jun. 2017.