



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

CAIO ESTEVES MANZONI

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE GARIMPO DE QUARTZO COMO
ADITIVO EM CERÂMICA ESTRUTURAL: CARACTERIZAÇÃO DAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS

Palmas, TO

2015

CAIO ESTEVES MANZONI

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE GARIMPO DE QUARTZO COMO
ADITIVO EM CERÂMICA ESTRUTURAL: CARACTERIZAÇÃO DAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS

Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II)
apresentado ao curso de bacharel em Engenharia
de Minas pelo Centro Universitário Luterano de
Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. MSc. Joaquim José de Carvalho

Co-Orientador: Prof. MSc. Fernando Antônio da
Silva Fernandes

Palmas, TO

2015

CAIO ESTEVES MANZONI

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE GARIMPO DE QUARTZO COMO
ADITIVO EM CERÂMICA ESTRUTURAL: CARACTERIZAÇÃO DAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS

Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II)
apresentado ao curso de bacharel em Engenharia
de Minas pelo Centro Universitário Luterano de
Palmas (CEULP/ULBRA).

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Joaquim José de Carvalho
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. MSc. Daniel dos Santos Costa
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Esp. Valério de Sousa Lima
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas – TO

2015

Dedico esta, bem como as minhas demais conquistas, a Deus pelas bênçãos concedidas e minha família por todo amor, carinho e dedicação.

AGRADECIMENTOS

A Deus por permitir que tudo isso tenha acontecido, não somente nesses anos como universitário, mas ao longo de toda a minha vida, onde me concedeu força para superar todas as dificuldades no caminho;

Agradeço aos meus pais, que foram as pessoas em que me espelhei durante todo o decorrer de minha vida, e sem medir esforços, fizeram de tudo para me ajudar, principalmente nesses anos dedicados a graduação.

A toda minha família, que nos momentos de minha ausência dedicadas aos estudos, sempre me apoiaram e fizeram entender que o futuro exige disciplina e dedicação.

Agradeço a todos meus amigos pelo apoio e presença em todos momentos de alegria e tristeza. Agradeço principalmente meus amigos Marcos Lima e Fábio da Cunha que, desde o início da graduação tem participado de momentos únicos em minha vida, e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Agradeço também aos meus amigos Walter Abreu, Rodrigo Ermínio e João Vicente Fais pela dedicação e empenho a este trabalho, onde seus auxílios foram essenciais para o desenvolvimento do mesmo.

Meus agradecimentos a todos os professores do corpo docente do curso de Engenharia de Minas do CEULP/ULBRA pelos ensinamentos, paciência e profissionalismo. Agradeço os professores Rodrigo Meireles, Ângela Sakamoto, José Cleuton, Daniel Setti, Erwin Tochtrop e Valério Lima pela disposição para orientar durante o curso, não somente em assuntos da universidade, mas também o futuro profissional.

Agradeço a minha namorada Amanda Vieira, pelo carinho, amor, paciência e por me proporcionar momentos únicos repletos de felicidade.

Meus agradecimentos ao professor Fernando Fernandes, pela disposição, pelos auxílios, pelas orientações e principalmente pela amizade que com certeza irá permanecer presente.

Ao meu orientador Joaquim José de Carvalho pela paciência e profissionalismo em suas orientações.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

MANZONI, C.E. **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE GARIMPO DE QUARTZO COMO ADITIVO EM CERÂMICA ESTRUTURAL: CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**. 2015, 55 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Minas). Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, Palmas, TO.

O aproveitamento de resíduos industriais na incorporação em cerâmica estrutural vem sendo uma prática muito estudada, onde buscam melhorias nas propriedades tecnológicas dos produtos cerâmicos e ao mesmo tempo, alternativas para aproveitar materiais sem utilização. O presente trabalho busca aproveitar rejeitos na indústria extrativa de quartzo, onde visa aplicar quartzos de baixa qualidade para gemas e destinar a incorporação em cerâmica estrutural. A metodologia baseia-se na preparação e caracterização das matérias primas por meio de análises físicas, químicas e mineralógicas. Bem como formulação de massas cerâmicas, conformação dos corpos de provas, secagem e submetidas a tratamento térmico a uma temperatura de 900°C aplicado industrialmente nas cerâmicas. Os corpos de provas cerâmicos obtidos foram submetidos a ensaios mecânicos de retração linear, absorção de água e resistência à flexão em três pontos. Com os resultados obtidos, pode se afirmar que inicialmente a incorporação torna-se inviável pois compromete propriedades importantes como resistência, porém são necessários estudos mais intensificados aumentando o número de variáveis significativas para análise criteriosa.

Palavras-chave: Rejeito de quartzo, Incorporação em cerâmica, Caracterização mecânica.

ABSTRACT

MANZONI, C.E. **QUARTZ GARIMPO WASTE OF USE AS ADDITIVE IN STRUCTURAL CERAMICS: CHARACTERIZATION OF MECHANICAL PROPERTIES.** 2015, 55p. Work Completion of course (Bachelor of Mining Engineering). Lutheran University Center of Palmas - CEULP / ULBRA, Palmas, TO.

The utilization of industrial waste in the incorporation of structural ceramics has been studied very practical, which seek improvement in technological properties of ceramic products and at the same time, no alternative for material use. This paper seeks to harness waste in mining quartz industry, which aims to apply low-quality quartz gems and intended for incorporation into structural ceramics. The methodology relies on the preparation and characterization of the raw materials by a physical, chemical and mineralogical analyzes. As well as formulation ceramic masses, forming the bodies of tests, drying and heat treated at a temperature of 900 °C industrially applied in the ceramics. The ceramic body of evidence obtained were subjected to mechanical tests linear shrinkage, water absorption and flexural strength at three points. With the results obtained, it can be stated that initially the merger becomes unfeasible because undertakes important properties such as strength, it still needs further studies intensified by increasing the number of significant variables for detailed analysis.

Key words: Quartz waste, ceramic merger, mechanical characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (a) Tetraedros de Sílica (SiO_4) ;(b) Folha em arranjo hexagonal de tetraedros; (c) Octaedros de Gipsita $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ e; (d) Folha em arranjo hexagonal de octaedros.....	20
Figura 2. Constituintes de argilas.....	21
Figura 3. Microestrutura do argilomineral Caulinita.....	21
Figura 4. Microestrutura do argilomineral Ilita.. ..	22
Figura 5. Microestrutura do argilomineral Esmectita.....	23
Figura 6. Escalas granulométricas adotadas pelas normas regulamentadoras	28
Figura 7. Curva de análise térmica diferencial.....	33
Figura 8. Fluxograma da metodologia de estudo.....	34
Figura 9. Ensaio: lado esquerdo Limite de Liquidez e; lado direito Limite de Plasticidade.....	37
Figura 10. Corpo de prova cerâmico.....	38
Figura 11. Corpos de Prova confeccionados, a esquerda pré-queima e a direita pós-queima.....	39
Figura 12. Medição do comprimento do C.P. para cálculo de Retração Linear.....	40
Figura 13. C.P. imerso para determinação da absorção de água	41
Figura 14. Corpo de prova submetido a ensaio de Flexão em três pontos.....	42
Figura 15. Ensaio de flexão em três pontos	42
Figura 16. Retração linear dos corpos de prova.....	47
Figura 17. Absorção de água dos corpos de prova.....	48
Figura 18. Tensão à ruptura de flexão em três pontos dos corpos de prova.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais transformações nos materiais cerâmicos.....	26
Tabela 2. Intervalos de Plasticidade para Classificação do Solo.	29
Tabela 3. Proporção de massa usadas na formulação dos Corpos de Prova.....	44
Tabela 4. Análise de composição granulométrica da argila industrial.	45
Tabela 5. Resultado dos limites de Attenberg.	45
Tabela 6. Resultado médio dos ensaios de caracterização mecânica.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de água
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CEULP/ULBRA	Centro Universitário Luterano de Palmas / Universidade Luterana do Brasil
CP	Corpo de prova
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de Plasticidade
NBR	Norma Brasileira
RL	Retração Linear
TRF	Tensão de ruptura à flexão
AA	Absorção de água
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>

LISTA DE SIMBOLOS

%	Porcentagem
µm	Micrometro
cm	Centímetros
cm³	Centímetros cúbicos
g	Gramas
g/cm³	Gramas por centímetro cúbico
h	Espessura do corpo de prova
Kg	Quilograma
kgf/cm²	Quilograma-força por centímetro quadrado
L	Distância entre os apoios do corpo de prova
Lf	Comprimento final
Li	Comprimento inicial
ml	Mililitro
mm	Milímetros
MOR	Modulus of rupture (Módulo de ruptura)
MPa	Mega Pascal
ms	Massa seca
mu	Massa úmida
N	Newton
O	Octaédricas
°C	Grau Celsius
°C/min	Grau Celsius por minuto
P	Carga máxima no momento da ruptura
T	Tetraédricas
%	Porcentagem
µm	Micrometro
cm	Centímetros
cm³	Centímetros cúbicos
g	Gramas
g/cm³	Gramas por centímetro cúbico
h	Espessura do corpo de prova

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Cerâmica	16
2.2	Classificação Cerâmicos	16
2.2.1	Cerâmica Estrutural.....	17
2.3	Cenário da Indústria Cerâmica Vermelha.....	17
2.4	Matérias-primas empregadas nas fabricações cerâmicas	18
2.4.1	Argila	18
2.5	Processo de Obtenção da Cerâmica Estrutural.....	24
2.5.1	Preparação da Matéria-prima e Massa Cerâmica	24
2.5.2	Formação das peças	24
2.5.3	Tratamento térmico – Secagem e Sinterização.....	25
2.6	Caracterização das Argilas para Cerâmica Estrutural	27
2.6.1	Granulometria.....	28
2.6.2	Plasticidade	29
2.6.3	Análise Química	29
2.6.4	Análise Mineralógica	30
2.6.5	Análise Mecânica	30
2.6.5.1	<i>Retração Linear.....</i>	<i>31</i>
2.6.5.2	<i>Absorção de Água.....</i>	<i>31</i>
2.6.5.3	<i>Resistência à flexão</i>	<i>32</i>
2.7	Quartzo.....	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	Preparação preliminar das amostras.....	35
3.2	Caracterização das matérias-primas	35
3.2.1	Densidade das matérias-primas.....	35
3.2.2	Análise de composição granulométrica	36
3.2.3	Plasticidade	36
3.3	Preparação das amostras para tratamento térmico	38
3.3.1	Formulação das massas cerâmicas	38
3.3.2	Confecção dos corpos de prova.....	38
3.4	Tratamento térmico dos corpos de prova.....	39

3.5	Caracterização Mecânica das Cerâmicas	40
3.5.1	Retração linear (RL)	40
3.5.2	Absorção de água (AA)	41
3.5.3	Tensão de ruptura à flexão (TRF)	42
3.6	Análise Estatística	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1.	Caracterização das matérias-primas	44
4.1.1	Densidade	44
4.1.2	Composição Granulométrica	44
4.1.3	Plasticidade	45
4.2	Caracterização das Propriedades Mecânica	46
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A cerâmica é uma atividade de base para diversos ramos da indústria e dentre as várias divisões da cerâmica temos a cerâmica vermelha, ou estrutural, que compreende os materiais com coloração avermelhada empregada na construção civil, utensílios de uso doméstico e de adorno. Para a obtenção da cerâmica vermelha é realizado diversos procedimentos utilizando a matéria-prima argila e realizando tratamento térmico com queima de combustíveis permitindo elevar a gradiente de temperatura cerca de 900 °C.

Em Cristalândia – TO, a lavra de quartzo é realizada em regime de garimpo onde usam técnicas rudimentares e desprovidos de recursos tecnológicos que acabam não aproveitando a potencialidade do produto. O material lavrado é destinado a indústria de gemas, e os materiais de baixa qualidade são rejeitados, se acumulando em grandes pilhas que ocasionam riscos físicos e ambientais.

Diversas indústrias vêm buscando um destino ou até mesmo um aproveitamento de subprodutos industriais de forma ecologicamente correto. A incorporação de resíduos na indústria cerâmica, substituindo componentes naturais no processo de fabricação de tijolos e telhas, está associado a busca de melhorias em propriedades tecnológicas das peças cerâmicas. Muitos estudos buscam melhorar com adição de resíduos industriais, e muitas vezes procuram também inertizar resíduos que ocasionam riscos graves ao meio ambiente.

Conforme o exposto, em busca de destinar resíduos oriundos da lavra garimpeira de quartzo, e tendo em vista que a incorporação de resíduos em cerâmica estrutural é uma prática muito utilizada pois, absorve diversos resíduos industriais, e também uma prática ambiental conveniente, este estudo visa obter um material cerâmico com incorporação do resíduo de quartzo caracterizando as propriedades mecânicas, e avaliando o potencial de aplicação do quartzo em cerâmica estrutural, buscando destinar parcelas de pilhas de rejeito que encontra atualmente no garimpo de quartzo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cerâmica

A terminologia “cerâmica” vem do grego “kerameikos¹”. Cerâmica compreende todo material inorgânico não metálico obtido após tratamento térmico em altas temperaturas. Os produtos cerâmicos entendem-se os materiais à base de argila com os quais são confeccionados objetos de forma e de emprego muito diversificado (MENDA, 2011).

ANFACER (s.n.t.) relata que a cerâmica é muito antiga, sendo que peças de argila cozida foram encontradas em diversos sítios arqueológicos. As peças de cerâmicas mais antigas conhecidas por arqueólogos foram encontradas no Japão, estima-se que as peças possuem cerca de oito mil anos. No Brasil, a cerâmica tem seus primórdios na Ilha de Marajó onde aponta à avançada cultura indígena que floresceu na ilha. Estudos arqueológicos indicam a presença de uma cerâmica mais simples criada na região amazônica por volta de cinco mil anos atrás.

A primeira grande fábrica de cerâmicas do Brasil foi fundada em São Paulo, em 1893, por quatro irmãos franceses, naturais de Marselha, batizado de Estabelecimentos “Sacoman *Frères*” (irmãos Sacoman), depois alterado para Cerâmica Sacoman S.A., encerrando suas atividades em 1956 (ABCERAM, 1979 apud SEBRAE, 2008).

2.2 Classificação Cerâmicos

Segundo ABCERAM (2011a), o setor cerâmico é amplo e heterogêneo o que induz a dividi-lo por segmentos em função de diversos fatores como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. São classificadas em cerâmica estrutural (ou cerâmica vermelha); materiais de revestimentos (placas cerâmicas); cerâmica branca; materiais refratários; isolantes térmicos; fritas e corantes; abrasivos; vidro, cimento e cal; e cerâmica avançada.

¹ Kerameikos: palavra derivada do grego, que significa “feito de terra” ou “terroso”.

2.2.1 Cerâmica Estrutural

Também conhecida como cerâmica vermelha, corresponde à indústria destinada à fabricação de materiais empregados nas construções civis que apresentam geralmente coloração avermelhada como blocos de vedação, blocos estruturais, tubos, ladrilhos, tijolos maciços e também fabricação de utensílios de uso doméstico e de adorno empregando matérias primas naturais ou sintéticas (ABCERAM 2011a; CABRAL JUNIOR *et al.*, 2008).

Cabral Junior *et al.*, (2008), descreve que o setor de cerâmica vermelha aplica a massa monocomponente, que basicamente é composta apenas por argilas, não envolvendo outras substâncias minerais na massa, como caulim, filito, rochas feldspáticas, rochas calcárias e talco, como é aplicado em outras vertentes da indústria cerâmica como fabricação de louças de mesa e sanitários.

2.3 Cenário da Indústria Cerâmica Vermelha

O Brasil tem diversas indústrias cerâmicas instaladas, representando um importância significativa para a economia do país, com participação no PIB por volta de 1,0%, e apresente algumas características de capilaridade relacionado à economia nacional que diferencia de todos os outros setores, envolvendo diversas empresas, desde a microempresa até as grandes empresas em diversos estados, fabricando produtos através de matérias-primas minerais não-metálica destinadas a construção civil como materiais estruturais e revestimento, louças, decoração e sanitárias (INT, 2012).

Cerâmica vermelha ou cerâmica estrutural agrega o setor dos minerais não metálicos da Indústria Mineral, fornecendo produtos essenciais para a cadeia produtiva do setor da Construção Civil. Para obtenção dos produtos da cerâmica estrutural, grande maioria utiliza argila comum como matéria-prima, onde no Brasil, a argila ocupa o 3ª lugar entre os maiores na produção mineral, com posição abaixo de agregados (2ª maior) e minério de ferro (1ª maior). A produção de peças cerâmicas em 2011 foi estimada em 88 bilhões de peças utilizando aproximadamente 180 milhões de toneladas de argila, em média, a produção mensal por empresa é de 700 a 750 milheiros (COSTA JÚNIOR, 2012; INT, 2012).

No estado do Tocantins, possui 60 empresas em operação de cerâmica vermelha, e 40 olarias que tem sua produção cerca de 40.000 milheiros/mês que chega em média de 667 milheiros por empresa/mês onde 80% da produção estadual se concentra em três municípios: Palmas (20 empresas produzindo 15.000 milheiros/mês), Araguaína (10 empresas produzindo em média 10.000 milheiros/mês) e Gurupi (com 8 empresas produzindo em média 8.000 milheiros/mês). Em síntese, os três grupos possuem 38 empresas e uma produção estimada de 33.000 milheiros/mês chegando aproximadamente 82,5% de todo o estado. Os produtos finais se dividem em 75% de blocos, 20% de telhas e 5% de lajotas e outros e é comercializada nos estados de Tocantins, Maranhão e Piauí (INT, 2012).

2.4 Matérias-primas empregadas nas fabricações cerâmicas

As matérias-primas utilizadas na fabricação de produtos cerâmicos são classificadas em naturais e sintéticas. As matérias-primas naturais são extraídas da natureza ou tratadas fisicamente para eliminação de impurezas indesejáveis sem alterar a composição química e mineralógica dos componentes principais. As sintéticas são aquelas que individualmente ou em mistura foram submetidas a um tratamento térmico, que pode ser calcinação, sinterização e fusão/ redução e as produzidas por processos químicos (PONTE; ANDRADE; GODOI, 2010).

Grande parte das matérias-primas naturais utilizadas na indústria cerâmica tradicional é natural, encontrando-se em vários depósitos naturais, onde a argila constitui maior parte na composição das massas (MENDA, 2011; EMILIANO; LOYOLA, 2007)

2.4.1 Argila

A argila é a principal matéria-prima natural utilizada em cerâmicas estruturais. O termo “argila” é empregada como termo tanto petrográfico para e referir a uma determinada rocha, como um termo usado para descrever uma faixa de dimensões de partículas na análise de mecânica de rochas sedimentares e solos. Argila é formado por partículas de dimensões muito pequenas abaixo de quatro micrômetros

de diâmetro formado por apenas um mineral argiloso, ou formados por uma mistura de argilominerais com predomínio de um (SANTOS, 1989; BRANCO, 2014).

As argilas aplicadas na cerâmica vermelha são também conhecidas como argilas comuns (em inglês “*common clays*”), basicamente, são sedimentos pelíticos consolidados e inconsolidados, assim como argilas aluvionares quaternárias, argilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, que quando queimadas apresentam coloração avermelhadas em temperaturas entre 800 e 1.250°C. Possuem uma granulometria composta de partículas finas acompanhado de matéria orgânica, e, na presença de água, as argilas apresentam diferentes graus de plasticidade, além da trabalhabilidade e resistência a verde, a seco e após o processo de queima, que são aspectos importantes e relevantes para fabricação de uma gama de diversidades em produtos cerâmicos (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2008).

A argila é constituída basicamente de argilominerais, acompanhadas ou não de outros minerais como quartzo, mica, pirita, hematita entre outros que não são classificados como argilominerais, também por matéria orgânica e outras impurezas. Eles são os minerais que classificam a argila perante sua utilização, onde, na presença de água, as argilas desenvolvem diversas propriedades como plasticidade, resistência mecânica a úmido, retração linear de secagem, compactação, tixotropia e viscosidade de suspensões aquosas que explicam sua grande variedade de aproveitamento industrial e aplicações tecnológicas (ABCERAM, 2011d).

Cabral Junior *et al.* (2008) relata os tipos mais comuns de estrutura dos argilominerais são formados de folhas tetraédricas (T) formadas por um átomo de silício equidistante de quatro de oxigênio, e octaédricas (O) com um átomo de alumínio no centro envolvido por seis de oxigênios. Podem estar acompanhadas de outros elementos como ferro, potássio, lítio e outros. Constituem unidades estruturadas na proporção 1:1 (TO) ou 2:1 (TOT). A seguir são mostradas as camadas tetraédricas e octaédricas acompanhado com o arranjo em folha de cada uma delas.

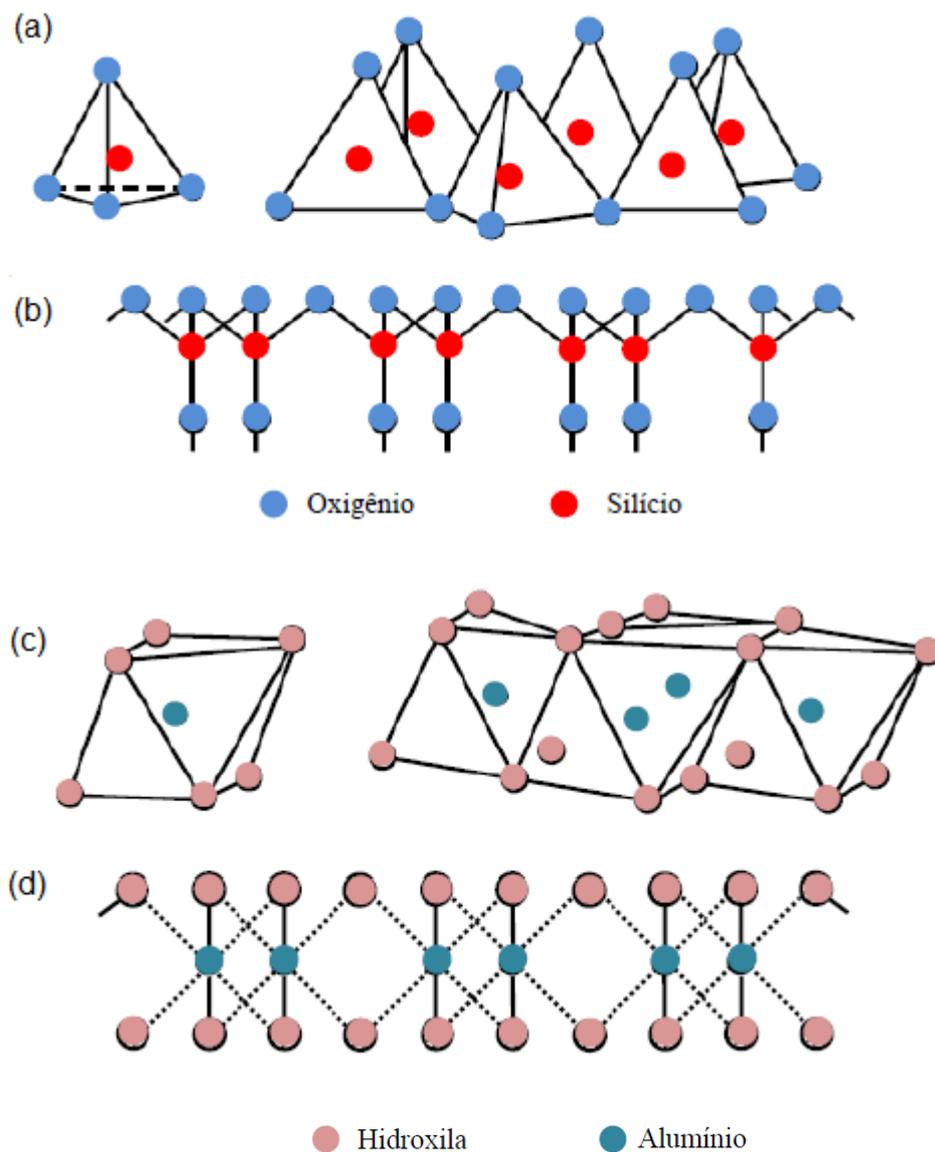


Figura 1. (a) Tetraedros de Sílica (SiO_4) ;(b) Folha em arranjo hexagonal de tetraedros; (c) Octaedros de Gibsita $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ e; (d) Folha em arranjo hexagonal de octaedros (Fonte: PINTO, 2010).

A diferença dos argilominerais é primeiramente o tipo de estrutura e as possíveis substituições na estrutura, do alumínio por magnésio ou ferro, e do silício por alumínio ou ferro, neutralizando as cargas geradas pela desigualdade de cargas elétricas dos íons por alguns cátions. Estas substituições que implicam nas diferenças das principais propriedades e permitindo as diversas aplicações tecnológicas (ABCERAM, 2011d).

Dente os grupos de argilominerais, os principais e mais comum são a caulinita, montmorilonita e a illita (GRUN, 2007; ABCERAM, 2011d), conforme representação a seguir.

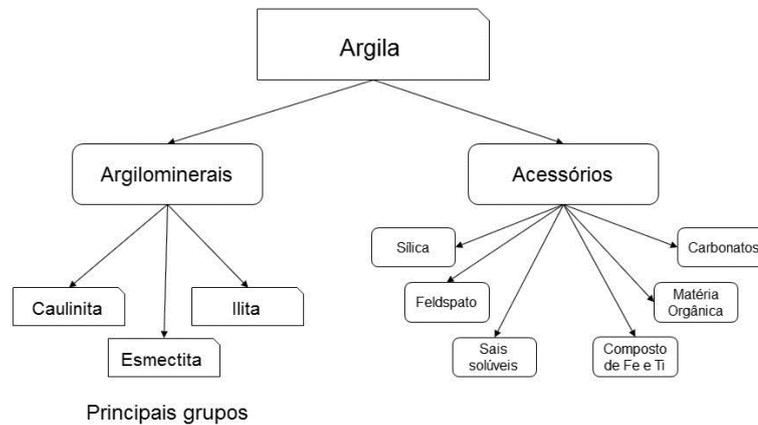


Figura 2. Constituintes de argilas (Fonte: Adaptado de PINTO, 2010).

A caulinita possui uma estrutura básica de $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e, as argilas constituídas por esse argilomineral, denominadas argilas caulínicas, tendem a ser mais refratárias devido praticamente não ocorrer substituição em sua estrutura pois são constituídas de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), enquanto outros argilominerais tem a presença de ferro, potássio e outros elementos que interferem na propriedade refratária, reduzindo-a sua refratariedade (GRUN, 2007; ABCERAM, 2011d).

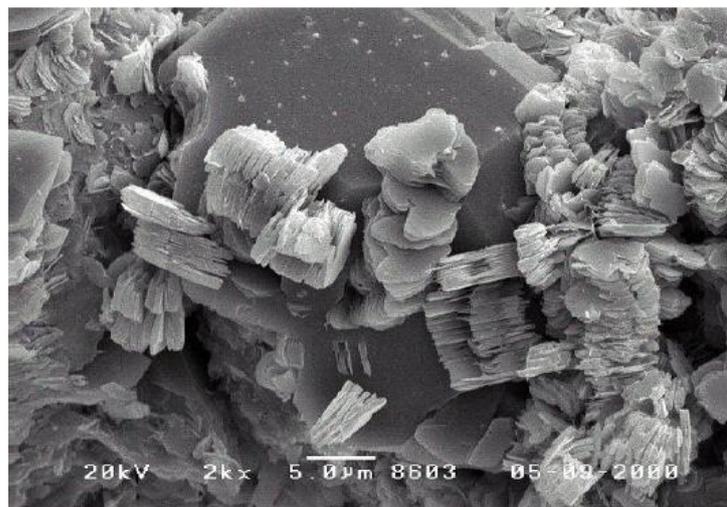


Figura 3. Microestrutura do argilomineral Caulinita. (Fonte: ARGILOMINERAIS, 2011).

A partícula da caulinita tem o tamanho de 1 milésimo de milímetro, sendo o maior que os argilominerais de outras classes. Devido a isso, as argilas caulínicas apresentam baixa plasticidade e tendem a apresentar uma porosidade maior, porém permitem secagem rápida e fácil (LICCARDO, s.n.t.).

O argilomineral illita é o de maior frequência nas argilas, sua fórmula química é expressa por $(OH)_4K_y(Si_{8-y}Al_y)(Al_4Fe_4Mg_4Mg_6)O_{20}$ (onde y é geralmente igual a 1,5). Sua estrutura apresenta cristais de minerais com forma lamelar alongada com bordas irregulares com a partícula variando entre 0,1 e 2 milésimos de milímetros (LICCARDO, s.n.t.; CAPUTO, 1988).

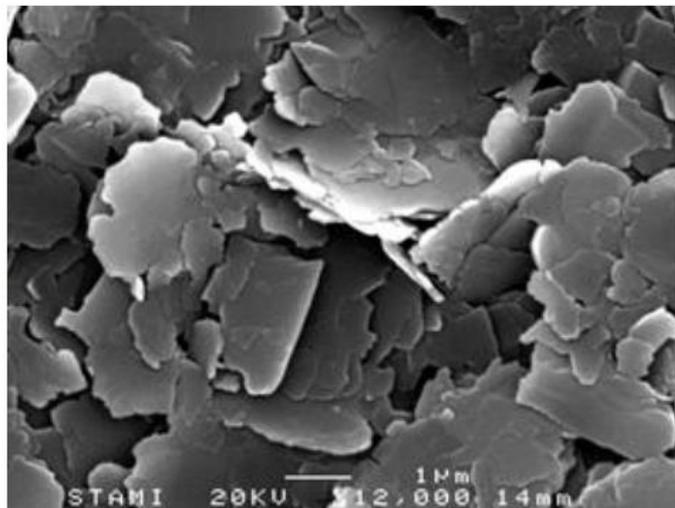


Figura 4. Microestrutura do argilomineral illita. (Fonte: ARGILOMINERAIS, 2011).

Comparadas às argilas caulínicas, as argilas ílíticas apresentam plasticidade elevadas, secam com mais facilidade e apresentam uma resistência a seco maior (LICCARDO, s.n.t.).

A montmorilonita tem uma peculiaridade, é constituindo partículas extremamente finas e sua estrutura básica é de $(OH)_2(Al, Mg, Fe)_2(Si_2O_5)_2$, as argilas com esta constituição costumam ser mais plásticas devido sua capacidade de absorver moléculas de água entre as camadas, porém, tendem a apresentar uma tendência a causar trincas na secagem. Nesses argilominerais também ocorrem substituições e os cátions neutralizantes podem ser sódio, cálcio, potássio e outros (GRUN, 2007; ABCERAM, 2011d).

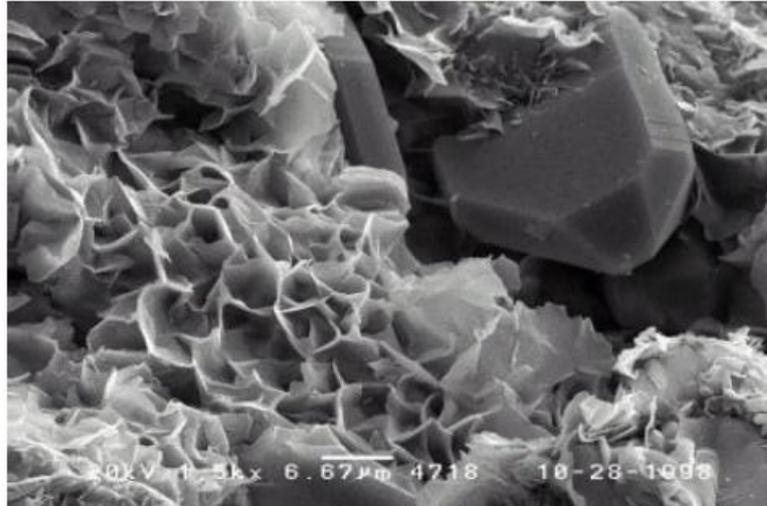


Figura 5. Microestrutura do argilomineral Esmectita (Fonte: ARGILOMINERAIS, 2011).

A montmorilonita tem sua formação em regiões com climas secos, e originadas de rochas básicas, como feldspatos, ou alteração de cinzas vulcânicas e rochas magmáticas ricas em Ca e Mg. As argilas que tem predominância deste argilomineral, denominado argilas montmoriloníticas, apresentam dificuldades na secagem, forte retração de secagem e com alta plasticidade e alta resistência (LICCARDO, s.n.t.).

ABCERAM (2011d) relata que, devido propriedades múltiplas relacionados com a composição que as argilas apresentam diversas aplicações, tanto no âmbito cerâmico como em outras várias áreas tecnológicas. Em quase todos os segmentos de cerâmica a argila está presente na composição das massas, sendo com total composição, ou compondo parcialmente.

Usualmente, as argilas que são compostas por os argilominerais illita, camadas mistas illita-montmorilonita e clorita-montmorilonita, além de caulinita, pequenos teores de montmorilonita e compostos de ferro são mais apropriadas à fabricação de cerâmica vermelha (ABCERAM, 2011d).

Para materiais refratários, as argilas devem ser essencialmente cauliníticas, com baixas quantidades de compostos alcalinos, alcalinos-terrosos e de ferro. Na cerâmica branca, a argila empregada é semelhante à utilizada na indústria de refratários, porém, algumas aplicações exigem a presença de ferro e em outras empregabilidades exige também a presença de gibbisita (ABCERAM, 2011d).

Já para materiais para revestimento, as argilas podem ser parecidas as usuais em cerâmica vermelha, e também as usadas em cerâmica branca e materiais refratários (ABCERAM, 2011d).

2.5 Processo de Obtenção da Cerâmica Estrutural

ABCERAM (2011b) descreve que de um modo geral a fabricação da cerâmica Estrutural, são submetidas pelas etapas de preparação da matéria-prima e da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento. No processo de fabricação muitos produtos são submetidos à esmaltação e decoração. O processo de fabricação da cerâmica vermelha é o processo mais simples comparado aos demais, onde as matérias-primas empregadas são processadas com equipamentos específicos que exigem uma maleabilidade do material onde é adquirida pela adição de umidade.

2.5.1 Preparação da Matéria-prima e Massa Cerâmica

O processamento da matéria-prima se realiza com o propósito de homogeneizar a composição da massa, corrigir sua granulometria e remover ou destruir materiais indesejáveis evitando que influencie a qualidade do produto cerâmico (EMILIANO; LOYOLA, 2007).

Para isso, é necessário passar por alguns equipamentos com a função de transportar e adequar para a etapa de formação das peças. O material é disposto no caixão alimentador através de caminhões ou pás carregadeiras, e distribuí em uma esteira transportando para o desintegrador cuja função é desmanchar torrões de argila no tamanho suficiente para dispor nos misturadores e homogeneizando a massa cerâmica e umidificando. O teor de água acrescentada na massa é superior ao limite de plasticidade da matéria prima, em geral, 20% de umidade (JUNIOR, 2008 *apud* PINTO, 2010; CABRAL JUNIOR *et al.*, 2008).

2.5.2 Formação das peças

A formulação das peças pode ocorrer de duas formas, por extrusão ou prensagem. Os blocos, lajotas e tubos são moldados por extrusão através de marombas (extrusoras), pressurizado a massa com um molde na extremidade da

saída do equipamento. As telhas são formuladas por prensagem, através de prensas aplicando determinada carga uniforme na superfície do material (CABRAL JUNIOR *et al.*,2008)

2.5.3 Tratamento térmico – Secagem e Sinterização

Para a obtenção dos produtos cerâmicos o processamento térmico é de fundamental importância, pois dele dependem o desenvolvimento das propriedades finais destes produtos. Esse tratamento compreende as etapas de secagem e queima (ABCERAM, 2011b).

Segundo Pukaszewicz (2001), no decorrer dos processamentos usuais de materiais cerâmicos certos pós de materiais cristalinos ou não, são compactados e então tratados a uma temperatura suficiente para desenvolver propriedades úteis.

No tratamento térmico, as argilas adquirem propriedades ideais para comercialização como a resistência físico-mecânica e coloração, porém, para evitar tensões e defeitos nas peças deve-se eliminar a água que foi acrescentada na preparação da massa de forma lenta e gradual através de secadores intermitentes ou contínuos, aproximadamente por 24 horas, a temperaturas de 50 °C até 150 °C antes da sinterização em temperaturas elevadas, que, para a maioria dos produtos, situa-se entre torno de 800 °C. Este procedimento é realizado em fornos contínuos ou intermitentes que operam em três fases: aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada; patamar durante certo tempo na temperatura especificada e; resfriamento até temperaturas inferiores a 200°C, o tempo de sinterização varia com o tipo de forno (ABCERAM, 2011b).

No tratamento térmico, podem ocorrer mudanças iniciais devido à decomposição e transformações de fase em algumas das fases presentes. Ao aquecer compactados de pós-finos ocorrem três grandes alterações que são: aumento no tamanho de grão, mudança no formato dos poros e mudança no tamanho e quantidade de poros, normalmente reduzem. Na maioria das cerâmicas ocorre a reação do estado sólido formando novas fases, transformações polimórficas, decomposição de compostos cristalinos formando novas fases e diversas outras mudanças de grande importância (PUKASIEWICZ, 2001).

Em geral, as principais transformações ocorridas nos materiais argilosos quando submetidos a elevadas temperaturas são:

Tabela 1. Principais transformações nos materiais cerâmicos

Temperatura (°C)	Transformações
Até 150	Eliminação da água livre
150 – 250	Eliminação da água adsorvida
350 – 650	Eliminação da água estrutural
400 – 600	Decomposição de compostos orgânicos
573	Transformações do quartzo
700 – 900	Início da fusão dos álcalis e óxidos de ferro
1000	Início da fusão dos CaO e FeO, com formação de silicatos
Até 1200	Formação da fase vítrea com a redução de tamanho de poros

Fonte: Adaptado de NAVARRO, 1998 *apud* PINTO, 2010; DUTRA, 2007.

Conforme tabela acima, o primeiro acontecimento durante a queima é a eliminação da água fisicamente ligada à argila, que gera a perda de massa sem a retração, pois a água eliminada é contida nos poros da peça. Superior a 150 °C inicia a eliminação da água adsorvida, que já começa a perder massa acompanhada com uma retração que varia do argilomineral. Nas temperaturas dos 250 aos 300°C começa a liberação de oxidrilas dos hidróxidos, e até os 500°C ao 600°C tem-se a eliminação da água estrutural, em forma de vapor. Essas reações são todas endotérmicas, onde ocorre a absorção de energia, porém, devido à combustão de matéria orgânica presentes (ou adicionadas), podem ocorrer reações exotérmicas, onde há liberação de energia (DUTRA, 2007).

Por volta de 570°C, o quartzo presente na argila ocorre uma transformação na forma cristalina, e são acompanhadas de expansão considerável ao elevar a gradiente de temperatura, na redução de temperatura ocorre à contração. Devido a este fenômeno, que o resfriamento das peças cerâmicas devem ocorrerem de forma lenta, que o quartzo fica sensível ao choque térmico, e podem vir a comprometer com fissuras no resultado final (SANTOS, 2001 *apud* DUTRA, 2007).

Em temperaturas superiores a 700°C ocorre umas das reações mais importantes, as reações químicas da sílica e da alumina com os elementos fundentes formando fases complexas sílico-aluminatos, ocasionando a estabilidade da peça cerâmica, dureza e resistência física. Em 800 °C a 900 °C obtém a maior

dilatação e inicia a retração de sinterização e as transformações mineralógicas (SANTOS, 2001 *apud* DUTRA, 2007).

É comum, após a retirada dos fornos, os produtos cerâmicos serem inspecionadas e remetidas ao consumo, mas alguns produtos requerem processamento adicional para atender a algumas características, não possíveis de ser obtido durante o processo de fabricação, este processo pós-queima recebe o nome genérico de acabamento e pode incluir polimento, corte furação, entre outros (ABCERAM, 2011b).

Alencar (2004) classifica os tipos de combustíveis usados em cerâmica em duas categorias, a de biomassa e combustíveis fósseis. Biomassa é qualquer tipo de matéria orgânica renovável como, por exemplo, lenhas, cavaco, cascas de coco, capim dentre outros. Combustíveis fósseis são por natureza finita, podem ser óleo combustível, gás liquefeito de petróleo, coque de petróleo ou gás natural.

2.6 Caracterização das Argilas para Cerâmica Estrutural

Caracterizar uma argila visando seu uso tecnológico é identificar propriedades empregando técnicas comuns como as de aferir as propriedades físico-mecânicas ou até mesmo as trabalhosas como análises químicas (SANTOS, 1989).

O produto cerâmico e as suas características dependem da natureza e da quantidade dos minerais ou compostos químicos presentes e de outros parâmetros próprios da matéria-prima como a granulometria, o comportamento térmico e o comportamento em presença de água (GRUN, 2007).

Para caracterizar uma determinada argila plástica visando o uso em cerâmica estrutural, de ser realizado ensaios experimentais padronizados feitas de forma empírica determinando propriedades significativas para identificar o uso tecnológico. Os principais ensaios na argila “in situ” são a análise granulométrica, índice de plasticidade e, através de corpos de prova moldados de forma manual, análise mecânica dos cerâmicos sinterizados (SANTOS, 1989; CABRAL JUNIOR *et al.* 2008).

2.6.1 Granulometria

A estabilidade dimensional da massa cerâmica tem interferência direta da distribuição granulométrica, onde o tamanho das partículas, formato, rugosidade e a homogeneidade dos grãos determinam o preenchimento da matriz (ou molde) de prensagem e também os pontos de contato entre as partículas, onde esses pontos ocorrem as reações de sinterização (PRADO, 2008).

Para cada produto cerâmico possui uma distribuição granulométrica da massa da matéria-prima mais adequada, e uma massa cerâmica não deve ser constituída unicamente por argilas plásticas, pois, em seu processamento, apresenta grandes dificuldades no processamento, como a conformação das peças, secagem e sinterização das peças. Para solucionar estes problemas, a composição granulométrica deve ser adequada, fazendo uma dosagem de grãos finos, médios e grossos (PRACIDELLI e MELCHIADES, 1997 *apud* GRUN, 2007).

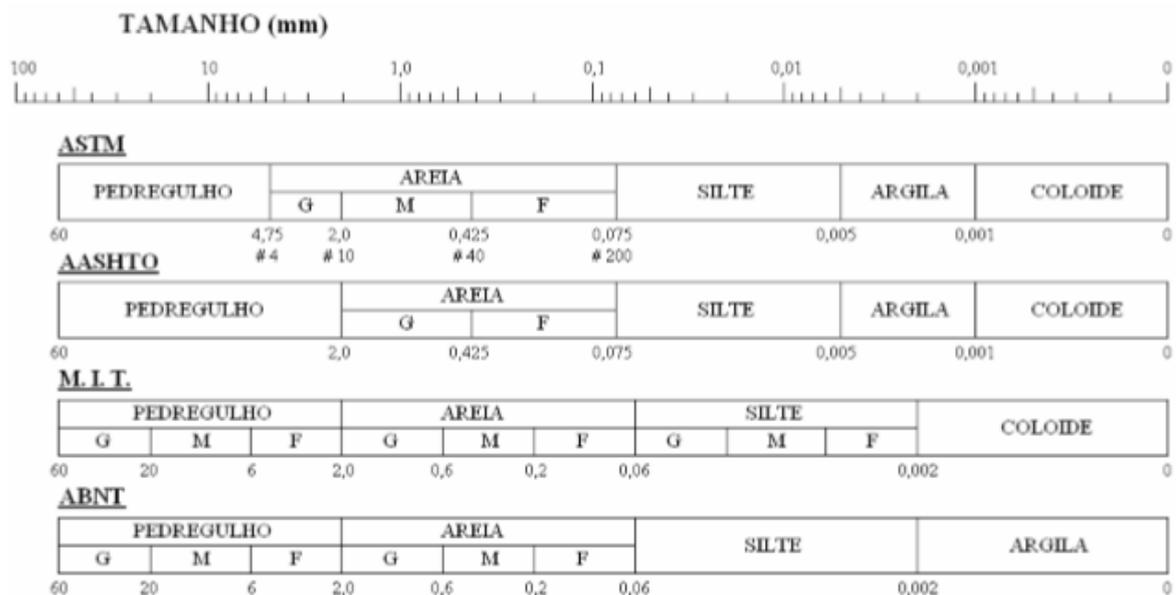


Figura 6. Escalas granulométricas adotadas pelas normas regulamentadoras (Fonte: CAPUTO, 1988)

A análise granulométrica de determinada cobertura pedológica nada mais é que a determinação de dimensões das partículas do solo e a proporção relativas a fração granulométrica. As faixas de dimensão da partícula, de acordo com a escala granulométrica brasileira são pedregulhos (entre 76 e 4,8 mm), areia (entre 4,8 e 0,05 mm), silte (entre 0,05 e 0,005 mm) e argila (inferiores a 0,005 mm). Areia é

subdivididas em fina (entre 0,25 e 0,074 mm), média (entre 0,84 e 0,25 mm) e grossa (entre 4,8 e 0,84 mm) (CAPUTO, 1988).

2.6.2 Plasticidade

Santos (1989) descreve que a plasticidade é a propriedade que o sistema possui de deformação pela aplicação de uma força e manter a deformação depois de retirada a força. Em argilas é resultante da força de atração das partículas dos argilominerais e a ação lubrificante da água entre as partículas. Essa propriedade é mensurada, no caso de análise cerâmica, antes do tratamento térmico.

Em síntese, a plasticidade se dá quando as partículas são recobertas por pequenas partículas de água promovendo assim a ação lubrificante permitindo um deslizamento das partículas sob uma tensão tangencial. Comportamento plástico de qualquer massa argilosa depende da relação água/argila, que se trata da umidade adicionada na amostra (CAPUTO,1988).

Tabela 2. Intervalos de Plasticidade para Classificação do Solo.

1 < IP < 7	Fracamente Plástico
7 < IP < 15	Medianamente Plástico
IP > 15	Altamente Plástico

Fonte: CAPUTO, 1988.

A tabela acima apresenta alguns intervalos para a classificação do solo quanto a plasticidade, quanto maior o valor do índice de plasticidade, maior a plasticidade do solo (CAPUTO, 1988).

2.6.3 Análise Química

A Análise química nada mais é que a análise destinada a determinar os elementos químicos presentes em determinada amostra. Branco (2014) cita que para a análise química quantitativa para argilas pode ser realizada pelos métodos de absorção atômica e fluorescência de raios X.

Segundo Grun (2007), esta análise de determinação e quantificação de elementos pode ser realizada através de métodos químicos ou físicos, onde os métodos químicos são geralmente através de reações de precipitação seletiva e reações de formação de complexos corantes e, os métodos físicos podem ser através de espectrofotometria ou ainda por fluorescência de raios-X.

Na fluorescência de raios X, o processo de excitação da amostra deve-se à irradiação por um feixe primário de raios X, que resulta na produção de uma radiação secundária devido à característica dos elementos químicos presentes. Conhecendo-se os ângulos de reflexão e as intensidades da radiação, é possível, não só identificar esses elementos, como também proceder à quantificação (DUTRA, e GOMES, 1984, apud CABRAL JUNIOR *et al.*, 2008).

2.6.4 Análise Mineralógica

Os minerais presentes nas argilas caracterizam a composição mineralógica, assim para esta análise pode ser realizada por dois métodos: difração de Raios-X ou microscopia eletrônica de varredura (BRANCO, 2014)

O método de difração de Raios-X é basicamente um tubo emissor de Raios-X, uma câmara circular onde se situa a amostra (goniômetro) e um detector que recebe os raios difratados. A técnica de ensaio consiste em incidir um feixe de raios-X (de comprimento de onda conhecido), sobre uma camada fina de pó, que gira no centro do goniômetro, assim, o feixe se difrata e reflete com ângulos que são característicos do retículo cristalino, obtendo-se o correspondente difratograma (GRUN, 2007).

2.6.5 Análise Mecânica

As análises físicas dos corpos de provas cerâmicos, após sinterização, são submetidas a ensaios físicos como retração linear (%), tensão de ruptura à flexão (kgf/cm²), absorção de água (%), porosidade aparente (%), massa específica aparente (g/cm³) e análise da cor após tratamento térmico para assim atender as especificações que mercado exige e atenda a finalidade (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2008).

Cabral Junior *et al.* (2008) relata que é necessário que a peça cerâmica, após a sinterização, apresente baixa porosidade aparente e baixa absorção de água e não apresentando trincas e empenamentos após secagem e queima. Tendo em vista que a tradição pelo mercado brasileiro neste segmento é pelas peças com cores mais vivas, que variam de alaranjado ao vermelho, assim, a cor após a queima, dever apresentar essas condições, mas atualmente, há uma aceitação crescente principalmente no Nordeste, de telhas brancas ou claras. As argilas que contém baixo teor de ferro resultam em telhas de cores claras, com características cerâmicas também adequadas para fabricação de tijolos e telhas.

2.6.5.1 *Retração Linear*

Para determinação das dimensões do produto final, a retração linear é fundamental. A manutenção desse valor garante homogeneidade na obtenção de um produto classificado dentro de uma faixa de tamanho, o que permite reverter o custo de produção (CASAGRANDE, 2002). A Retração Linear é justamente a redução de tamanho da peça durante a queima, quanto maior a temperatura de queima menor será sua peça ao final do processo.

Segundo Macedo (2005, apud ANDRÉ, 2015) o valor para a retração linear para cerâmica vermelha é permitido em até no máximo 6%.

2.6.5.2 *Absorção de Água*

A absorção de água é definida como o ganho percentual de massa que tem a amostra, quando absorve o máximo de água (SILVA, 2005). A absorção de água de um material cerâmico queimado é o parâmetro usado para medir a porosidade aberta em função capacidade de água que a peça é capaz de absorver em um determinado tempo imerso em água (CASAGRANDE, 2002).

O limite admissível de absorção de água para cerâmica vermelha está regulamentado pelas normas NBR 15310 (ABNT, 2009) e NBR 15270-1 (ABNT, 2005), onde para telhas o valor máximo é de 20% e para blocos de vedação devem estar entre 8% a 22% de absorção.

2.6.5.3 Resistência à flexão

Padilha (1997) discorre que a resistência à flexão é definida como a tensão máxima de tração na ruptura e denominada como módulo de ruptura, na literatura em inglês como MOR (“modulus of rupture²”). Para corpos de prova de seção retangular, os ensaios podem ser classificados em três em função da maneira que é realizado.

A resistência da peça cerâmica não depende somente do módulo de ruptura, mas também da espessura da peça, por esse motivo temos o módulo de ruptura do corpo (em MPa) e uma carga de ruptura da peça (em kg). Temos a seguinte relação, quanto maior for absorção de água, menor será o módulo de ruptura do produto (CASAGRANDE, 2002).

Os limites tolerados dos valores de resistência à flexão para blocos devem ser maiores ou iguais a 5,5 MPa, para telhas maior ou igual 6,5 MPa e tijolos maior ou igual 2,0 MPa (SANTOS, 1989).

2.7 Quartzo

Quartzo é um mineral cujo a formula química é composta por SiO₂ (46,7% de Si e 53,3% de O), com dureza 7 na escala Mohrs, de ocorrência por processos metamórficos, magmáticos, diagenéticos e hidrotermais. Os silicatos representam uma enorme parcela da composição da crosta terrestre, associados em diversos minerais, principalmente com o feldspato e a muscovita (MACHADO, s.n.t.).

As maiores reservas mundiais de quartzo encontram no Brasil, mas, como a extração deste bem mineral são operadas em regime de garimpo, com técnicas muito rudimentares que acabam não agregando valor no produto final, não explorando toda potencialidade na utilização do bem mineral pois não tem base tecnológica (LOBATO, 2009).

A seleção do quartzo perante seu uso é pela sua qualidade, os cristais que apresentam melhor qualidade são empregados à indústria óptica, eletrônica e de instrumentação, e os de piores qualidades são destinados a indústria em geral como abrasivos, metalurgia e cerâmica. O óxido de silício é encontrado na natureza sob as formas polimorfos: quartzo, tridimita e cristobalita (LOBATO, 2009).

² Modulus of rupture: Módulo de ruptura.

A incorporação de quartzo na peça cerâmica atua como preenchimento dos espaços vazios, conseqüentemente reduzindo retração atuando como controle de dilatação e distorção da peça cerâmica (ALBUQUERQUE *et al.*, 2007 *appud* ARAUJO, 2008).

A variação de temperatura ocasiona transformações de fase no quartzo, e em cada fase possui uma denominação específica. Temos a fase do quartzo alfa, que é estável à temperatura ambiente, transforma-se na temperatura de 573 °C na variedade beta, em tridimita à 870 °C, em cristobalita à 1470 °C e atinge o ponto e fusão a 1713 °C (LOBATO, 2009).

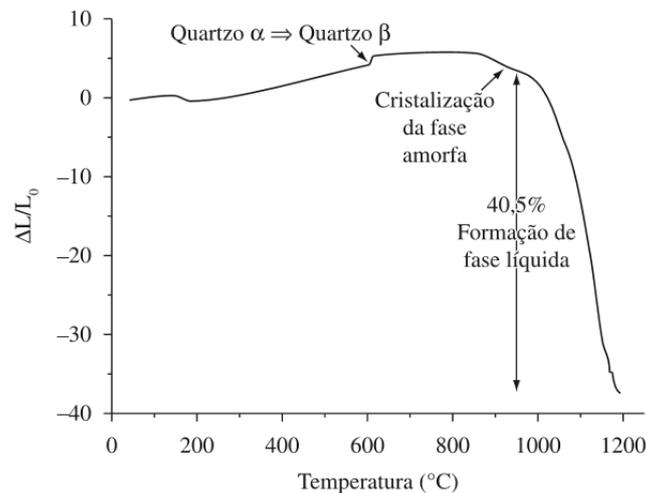


Figura 7. Curva de análise térmica diferencial (Fonte: SILVA *et al.*, 2011).

No trabalho desenvolvido por Silva *et al.* (2011), a figura acima elucida a curva dilatométrica, indicando as transformações ocorridas em um quartzo na região de Santo Antônio do Potengi – RN. Entre as temperaturas 570 e 620 °C indica uma expansão devido a transformação do quartzo alfa para beta em sua estrutura. Ocorre uma pequena retração na temperatura entre 850 e 950 °C ocasionado pela cristalização da fase amorfa e a partir de 950 °C é possível observar uma abrupta contração associado à formação de fase líquida (SILVA *et al.*, 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia experimental utilizada na caracterização das matérias primas e da avaliação das propriedades mecânica das peças cerâmicas em estudo está descrito no fluxograma na seguinte figura.

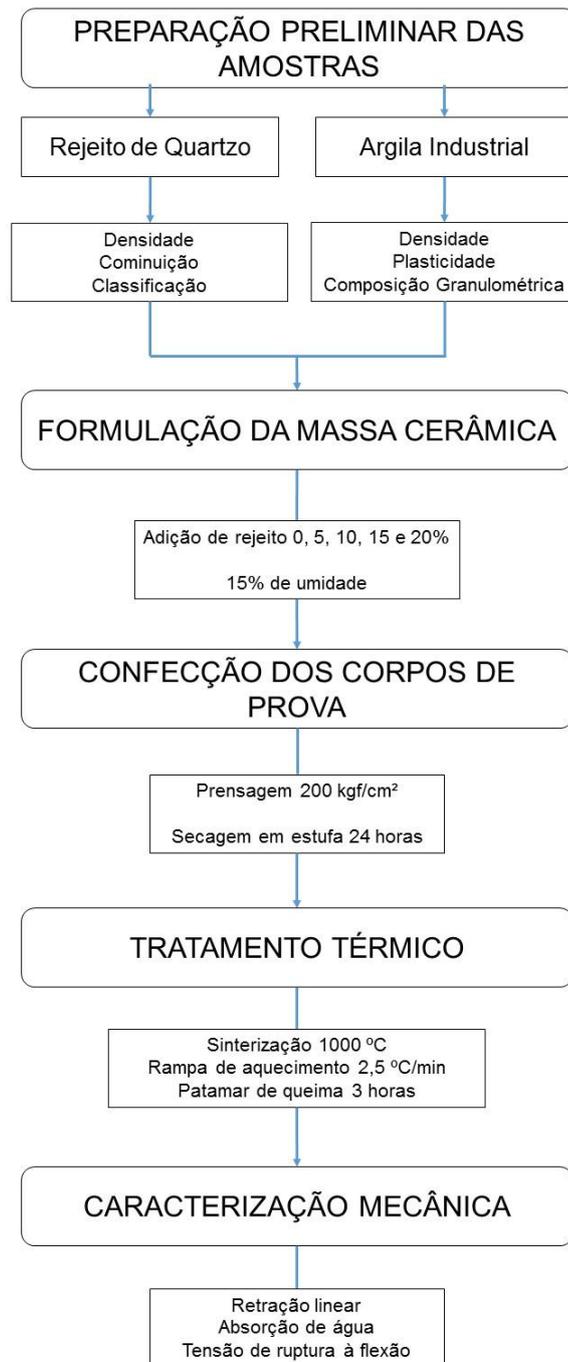


Figura 8. Fluxograma da metodologia de estudo (Fonte: Autoria própria).

Na realização dos estudos, foram utilizadas as matérias-primas argila proveniente de uma indústria cerâmica localizada no município de Araguaína – TO, cujo os produtos finais são tijolos estruturais e telhas e rejeitos do garimpo de quartzo localizado em Cristalândia – TO, cujo a lavra é destinada a produção de gemas. A coleta ocorreu de forma aleatória, nas dependências da indústria cerâmica e na mina do garimpo.

3.1 Preparação preliminar das amostras

As amostras coletadas foram preparadas no laboratório de Engenharia de Minas do CEULP/ULBRA. O resíduo de quartzo foi cominuído através de britador de mandíbulas de eixo excêntrico e moinho de bolas tipo jarro e classificado em um conjunto de peneiras com o objetivo de obter uma alíquota em pó com granulometria de 75 µm. A argila foi coletada nas mesmas condições em que é aplicado no processo industrial, passado em uma peneira de 0,3 mm para retirada dos grãos mais grosseiros, para posteriormente se classificado perante sua composição granulometria. As amostras foram dispostas em formas de alumínio e através do forno estufa foi retirada toda a umidade.

3.2 Caracterização das matérias-primas

Para esta caracterização preliminar das matérias-primas foi determinado a densidade, e somente para a argila determinou-se a composição granulométrica e a plasticidade.

3.2.1 Densidade das matérias-primas

Por meio do teste de piquinômetria, determinou a densidade das matérias-primas. Conforme Sampaio, França e Braga (2007), neste procedimento utilizou um piquinômetro de volume de 250 ml e uma balança analítica calculou-se a densidade da matéria-prima através da equação:

$$\text{Densidade} = \frac{(A2) - (A1)}{(A4 + A2) - (A1 + A3)}$$

Onde,

A1 = Peso do picnômetro vazio, previamente limpo e seco, em estufa;

A2 = Peso do picnômetro com quantia aleatória do material estudado;

A3 = Peso do picnômetro com a amostra acrescentada anteriormente com água até transbordar;

A4 = Peso do picnômetro com água.

3.2.2 Análise de composição granulométrica

A análise granulométrica da argila foi realizada, por peneiramento a fino, analisando o percentual de grãos maiores que 0,075 mm, onde coletou uma quantidade da amostra representativa e seca em estufa, à temperatura em torno de 100°C, e por meio de um agitador mecânico, passado no conjunto de peneiras de 0,30; 0,15; 0,075 e; -0,075 mm. Fez-se as pesagens dos retidos numa balança de resolução de 0.01g, e feita a análise graficamente.

3.2.3 Plasticidade

A plasticidade da argila foi determinada pelo método de Atterberg conforme as normas ABNT (1984), NBR 7180:1984 e ABNT (1984), NBR 6459:1984, determinado o limite de liquidez, limite de plasticidade calculou-se o índice de plasticidade.

A execução do ensaio de limite de liquidez foi realizada incrementando pequenas quantidades de água na amostra para obter uma pasta. Em seguida, parte da mistura foi posto para a concha do aparelho Casagrande. Com auxílio do cinzel, foi aberto uma ranhura em sua parte central, logo em seguida iniciou os golpes contra a base do equipamento através da manivela do Casagrande, até que as bordas da ranhura se unam (inicialmente 35 golpes), imediatamente pegou uma alíquota dessa massa, junto às bordas que se uniram para determinação da umidade desse material. Feito uma réplica de cinco vezes, onde cada repetição acrescentou mais água para fechar em menos golpes, e com os resultados dos teores de umidade, determinou o limite de liquidez através da intersecção da linha de tendência linear gerada no gráfico dos números de golpes em função do teor de umidade, e a reta correspondente a 25 golpes é a linha de tendência é o valor procurado.

O limite de plasticidade, a amostra foi adicionada pequenos incrementos de água, amassando e revolvendo até que conseguisse uma pasta homogênea. Com cerca de 10 g de amostra preparada, formou uma pequena bola com a palma da mão, e pressionado contra uma placa de vidro até obter um cilindro, fazendo movimentos de fricção, atingindo um diâmetro de 3 mm e 100 mm, tendo como base o gabarito de comparação. Com o cilindro apresentando ranhuras, determinou a umidade e com uma tréplica no procedimento, o resultado da média é o limite de plasticidade.



Figura 9. Ensaio: lado esquerdo Limite de Liquidez e; lado direito Limite de Plasticidade (Fonte: Autoria própria).

Por fim, com os valores de ambos os testes, foi aplicado, para determinar o índice de plasticidade, a seguinte equação:

$$IP = LL - LP$$

O índice de plasticidade (IP) é expresso utilizando a fórmula da diferença entre os limites de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP). O resultado se trata do percentual de umidade para que o material apresente um comportamento plástico.

3.3 Preparação das amostras para tratamento térmico

Para avaliação do comportamento mecânico das peças cerâmicas foram confeccionados corpos de prova, passando pela etapa de formulação da massa cerâmica e confecção dos CP.

3.3.1 Formulação das massas cerâmicas

A adição de quartzo teve como variante a proporção em volume. O percentual de adição foi de 5, 10, 15 e 20% de volume, e a umidade utilizada foi de 15% (próximo ao índice de plasticidade e usual na indústria). Para comparação dos resultados, foi formulada nas mesmas condições, uma massa cerâmica sem aditivo (0%) para utilizar como referência, permitindo avaliar as alterações promovidas pela adição na peça cerâmica. Com os dados da densidade das matérias primas e por meio de uma balança semi-analítica, pesou-se a proporção, homogeneizou, adicionou a quantidade de água e homogeneizou novamente para assim realizar a confecção dos corpos de prova.

3.3.2 Confecção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados conforme Santos (1989), para análise da aplicação cerâmica. Foi projetado e produzido uma matriz metálica com dimensão interna de 60 x 20 mm para moldagem dos corpos de prova. As massas cerâmicas foi compactada de forma uniaxial com pressão de 200 kgf/cm², usual para moldagem de ladrilhos e superior a utilizada em azulejos (120 a 150 kgf/cm²) na matriz, através de uma prensa hidráulica, atingindo um corpo de prova com dimensões de 60 x 20 x 5,0 mm com volume aproximado de 6 cm³.



Figura 10. Corpo de prova cerâmico
(Fonte: Autoria própria).

Os corpos de prova confeccionados foram retirados a sua umidade através de uma estufa por 24 horas e em seguida, foram encaminhados para o tratamento térmico.

3.4 Tratamento térmico dos corpos de prova

O tratamento térmico foi realizado através do forno mufla com capacidade de 1200 °C. Foi aplicada uma temperatura de 1000 °C para o tratamento térmico dos corpos de prova, tendo como base a análise térmica diferencial de Silva *et al.* (2011), onde o quartzo, a partir de 950 °C, houve uma retração devido a formação da fase líquida. No intuito do quartzo infiltrar nos espaços vazios justamente pela fase líquida, preenchendo os poros da peça produzida, optou por este tratamento.

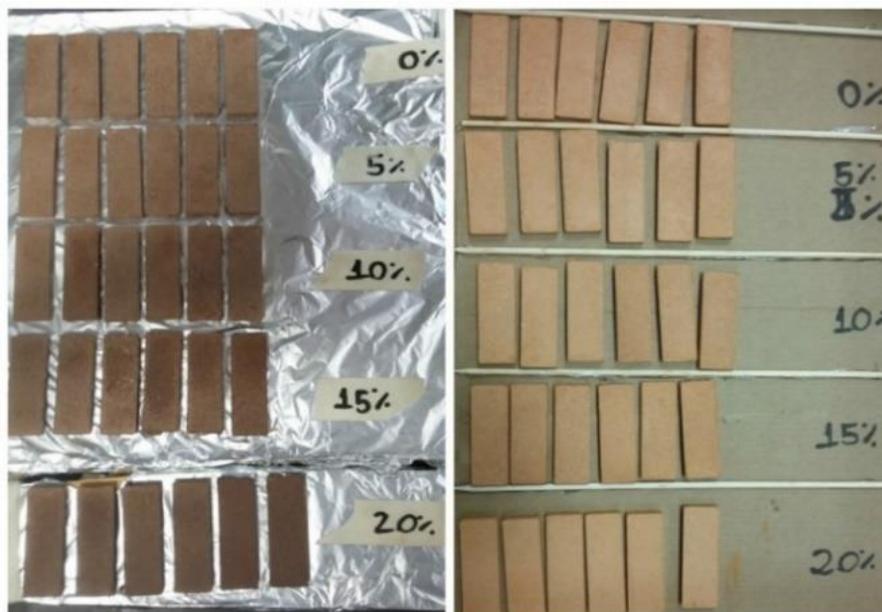


Figura 11. Corpos de Prova confeccionados, a esquerda pré-queima e a direita pós-queima (Fonte: Aatoria própria).

O ciclo de queima empregado foi de forma lenta, com taxa de aquecimento de 2,5 °C/min, permanecendo na temperatura final (tempo de patamar de queima) em 3 horas. O resfriamento ocorreu de forma natural por vinte e quatro horas com o forno ainda fechado e desligado. Foram confeccionados 30 corpos de prova, sendo 6 para cada percentual de adição para designar a caracterização mecânica das cerâmicas obtidas.

3.5 Caracterização Mecânica das Cerâmicas

Após a queima dos compósitos, resfriados a temperatura ambiente, foram caracterizados em função de suas propriedades mecânicas:

- a) Retração linear (%);
- b) Absorção de água (%);
- c) Tensão de ruptura à flexão (MPa);

3.5.1 Retração linear (RL)

Para determinar esta propriedade foi conforme norma ASTM C-210/ 95, em função da variação de comprimento antes e depois da queima, medidas com um paquímetro digital, e determinado com a seguinte equação:

$$RL = \frac{Li - Lf}{Li} \times 100$$

Sendo,

RL = Retração Linear (em %);

Li = Comprimento inicial do corpo de prova (em cm);

Lf = Comprimento final do corpo de prova (em cm).



Figura 12. Medição do comprimento do C.P. para cálculo de Retração Linear (Fonte: Autoria própria).

O número de corpos de prova utilizados na determinação da retração linear foi no total de seis reproduções, tendo em vista que é um ensaio não destrutivo e poderá submeter os corpos de prova a mais ensaios.

3.5.2 Absorção de água (AA)

O método de ensaio para a determinação do índice de absorção de água (AA) foi baseado ASTM C-373/94-88. A determinação foi feita pela imersão completa dos corpos de prova em água à temperatura ambiente durante 24 horas em béquer com capacidade que permitem comportá-los adequadamente. Foram usados 3 corpos de prova para este ensaio.

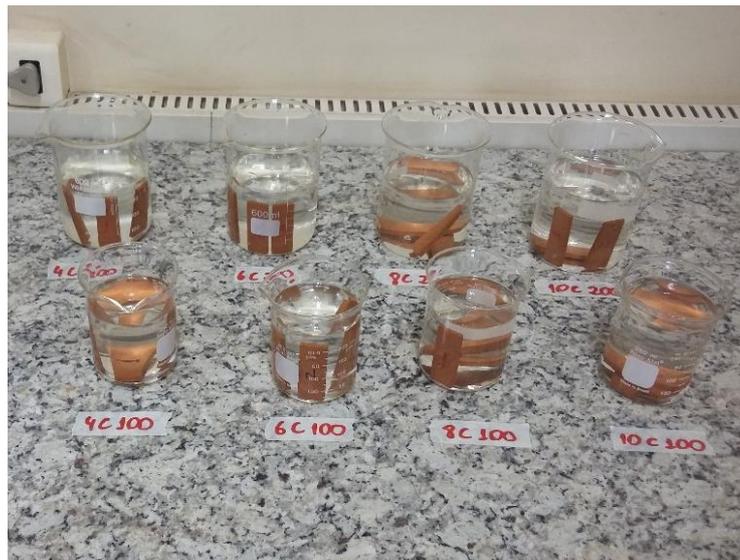


Figura 13. C.P. imerso para determinação da absorção de água (Fonte: Autoria própria).

Retirados dos recipientes e colocados em bancada para permitir o escoamento do excesso de água, e o remanescente de água removido com pano limpo e úmido, com atenção perante o tempo decorrido entre a remoção do excesso de água na superfície e o término das pesagens não ultrapassasse 15 minutos. O índice de absorção de água (AA) será determinado pela expressão:

$$AA = \frac{\mu - m_s}{m_s} \times 100$$

Sendo,

AA = Absorção de Água (em %);

μ = Massa úmida do corpo de prova (em g);

m_s = Massa seca do corpo de prova (em g).

3.5.3 Tensão de ruptura à flexão (TRF)

A avaliação da resistência mecânica dos corpos-de-prova foi conforme a norma ASTM C – 133/97. Utilizou uma máquina de ensaio universal, aplicou uma força com velocidade definida e controlada no centro do corpo de prova, conforme figura seguinte, ao romper o aparelho aferiu o valor da tensão (em N) que ocorreu a ruptura.



Figura 14. Corpo de Prova submetido a ensaio de Flexão em três pontos (Fonte: Autoria própria).

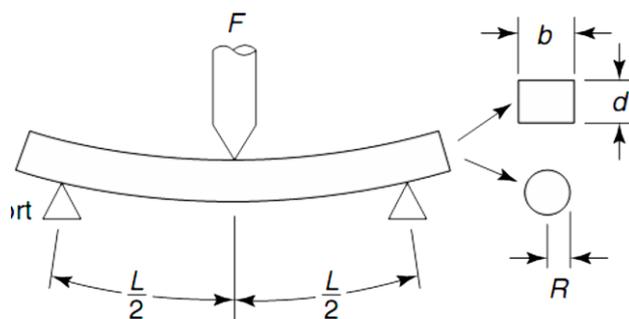


Figura 15. Ensaio de flexão em três pontos (Fonte: LIMA, 2011).

Com o resultado, foi possível determinar a tensão de ruptura à flexão em função de suas dimensões (medidas com paquímetro digital) e a tensão no momento da ruptura, em corpos de prova retangulares, pela seguinte expressão:

$$\text{TRF} = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Sendo,

TRF = tensão de ruptura à flexão (em MPa);

P = carga máxima no momento da ruptura (em N);

L = distância entre os apoios do corpo de prova (em mm);

b = largura do corpo de prova (em mm) e;

d = espessura do corpo de prova (em mm).

3.6 Análise Estatística

Após a coleta dos dados e das variáveis mensuradas, a apresentação ocorreu através de tabelas e gráficos, em seguida, realizado as medidas de tendência central, de dispersão dos dados e de assimetria que permitiu desenvolver intervalos de confiança e modelos matemáticos, que possibilitaram à comparação dos tratamentos do fenômeno objeto deste trabalho, principalmente nos gráficos das caracterizações mecânicas dos compósitos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos, conforme exposto na metodologia desta pesquisa, são divididos em caracterização das matérias-primas e caracterização mecânica.

4.1. Caracterização das matérias-primas

4.1.1. Densidade

Os valores obtidos no teste de picnometria foram $2,29 \text{ g/cm}^3 (\pm 0,07)$ e $2,54 \text{ g/cm}^3 (\pm 0,01)$ para a argila industrial e o rejeito de quartzo respectivamente. Com os valores das matérias-primas foi calculada a proporção em volume para as formulações dos corpos de prova:

Tabela 3. Proporção de massa usadas na formulação dos Corpos de Prova

Volume de Resíduo (%)	Massa Rejeito de quartzo (g)	Massa Argila Industrial(g)
0	-	13,74
5	0,76	13,05
10	1,52	12,37
15	2,29	11,68
20	3,05	10,99

Fonte: Autoria própria.

A proporção de massa utilizada foi com base no volume do aditivo e do componente, no intuito de obter um corpo de prova com 6 cm^3 de volume total.

4.1.2. Composição Granulométrica

A composição granulométrica, associada à forma e ao estado de agregação das partículas de argila, exerce grande influência no comportamento das massas e nas propriedades da cerâmica vermelha, tais como a distribuição de poros, resistência mecânica e textura. A amostra em estudo apresenta a seguinte composição:

Tabela 4. Análise de composição granulométrica da argila industrial.

Amostra	Fração (ASTM)		
	Areia média 0,84 a 0,25 mm	Areia fina 0,25 a 0,074 mm	Silte e Argila Inferior 0,074 mm
Argila	39,66%	52,45%	7,90%

Fonte: Autoria própria.

Em termos de granulometria, a argila em estudo (considerando como solo) possui fração majoritária a areia fina, contendo frações em pequenas proporções de silte e argila. Em termos de massa para cerâmica, apresenta uma distribuição dosada de frações grosseira, medianas e finas, onde promove facilidade no manejo industrial, tendo influência direta no preenchimento do molde e nos pontos de encontro das partículas que ocorrem a sinterização (PRADO, 2008).

4.1.3. Plasticidade

O comportamento plástico da massa argilosa é relacionado na proporção de água e argila, que se trata da umidade adicionada na amostra. Os resultados obtidos nos ensaios foram:

Tabela 5. Resultado dos limites de Attenberg.

Limite de Liquidez	35,1
Limite de Plasticidade	18,5
Índice de Plasticidade	16,6

Fonte: Autoria própria.

Segundo a classificação dos solos perante a plasticidade, a matéria-prima de argila utilizada se enquadra em um solo altamente plástico ($IP > 15$), ou seja, em torno de 16,6% de quantidade de água adicionado no solo, passa do estado plástico ao líquido.

4.2. Caracterização das Propriedades Mecânica

A tabela seguinte apresenta os valores médios obtidos nos ensaios de retração linear, absorção de água e tensão de ruptura à flexão acompanhados o erro com 90% de nível de confiabilidade.

Tabela 6. Resultado médio dos ensaios de caracterização mecânica.

Volume de adição (%)	Retração Linear (%)	Absorção de Água (%)	Tensão de Ruptura à Flexão (MPa)
0	3,72 ± 0,05	9,40 ± 0,78	7,95 ± 0,35
5	2,70 ± 0,27	11,53 ± 1,12	6,54 ± 1,20
10	2,53 ± 0,63	11,20 ± 2,34	6,77 ± 1,08
15	2,23 ± 0,27	11,11 ± 1,27	7,02 ± 0,63
20	1,63 ± 0,62	11,74 ± 0,85	7,39 ± 0,20

Fonte: Autoria própria.

Os valores médios dos ensaios juntamente com o erro determinado, permitiu confeccionar gráficos com intervalos de erro, podendo assim, facilitar uma interpretação, onde os limites inferiores e limites superiores no gráfico podem inferir se os fenômenos influenciam estatisticamente no valor referência (0%).

A figura 16 apresenta os resultados da retração linear ocasionados pela queima em 1000 °C, representado por um gráfico de percentual de retração em função do resíduo (quartzo) incorporado na massa cerâmica.

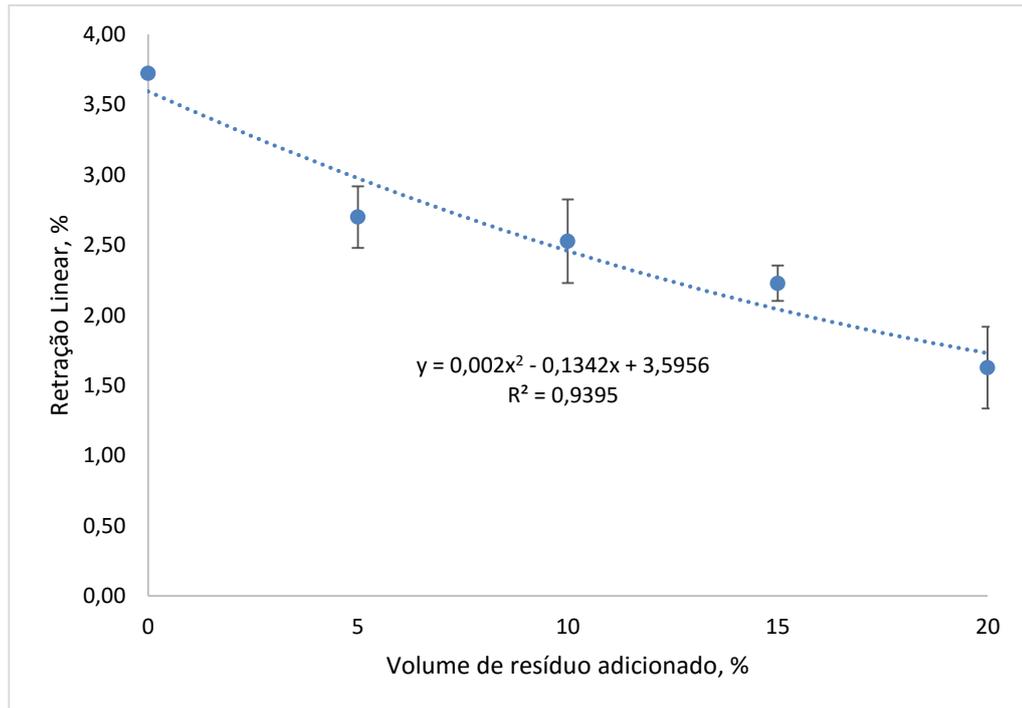


Figura 16. Retração linear dos corpos de prova (Fonte: autoria própria).

Pode-se observar que a medida que se acrescenta resíduo de quartzo a retração reduz, ou seja, a estabilidade da peça cerâmica é maior com mais percentuais de adição. Isso possivelmente ocorreu devido ao quartzo, conforme Albuquerque *et al* (2007), preencheu os espaços vazios na peça cerâmica, conseqüentemente reduziu a retração. Este preenchimento é possível devido a formação da fase líquida do quartzo, conforme Silva *et al* (2011), ocorre a partir de 950 °C. A redução de retração possivelmente pode ter ocorrido devido a transformação de fase no quartzo alfa para a variedade beta, que segundo Lobato (2009) ocorre no gradiente de temperatura em 573 °C. A redução da retração em porcentagem se deu em 27,5; 32,1; 40,2 e 56,3 % para 5, 10, 15 e 20 % de adição de resíduo respectivamente.

Estatisticamente, o fato se confirmou tendo em vista que o intervalo de erro dos valores de 5, 10, 15 e 20% tiveram influência sobre a referência. Nos intervalos de 5, 10 e 15 % não tiveram influência entre eles por estarem dentro do limite de erro um do outro.

A figura 17 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água, representado por um gráfico de percentual de absorção em função do resíduo (quartzo) incorporado na massa cerâmica.

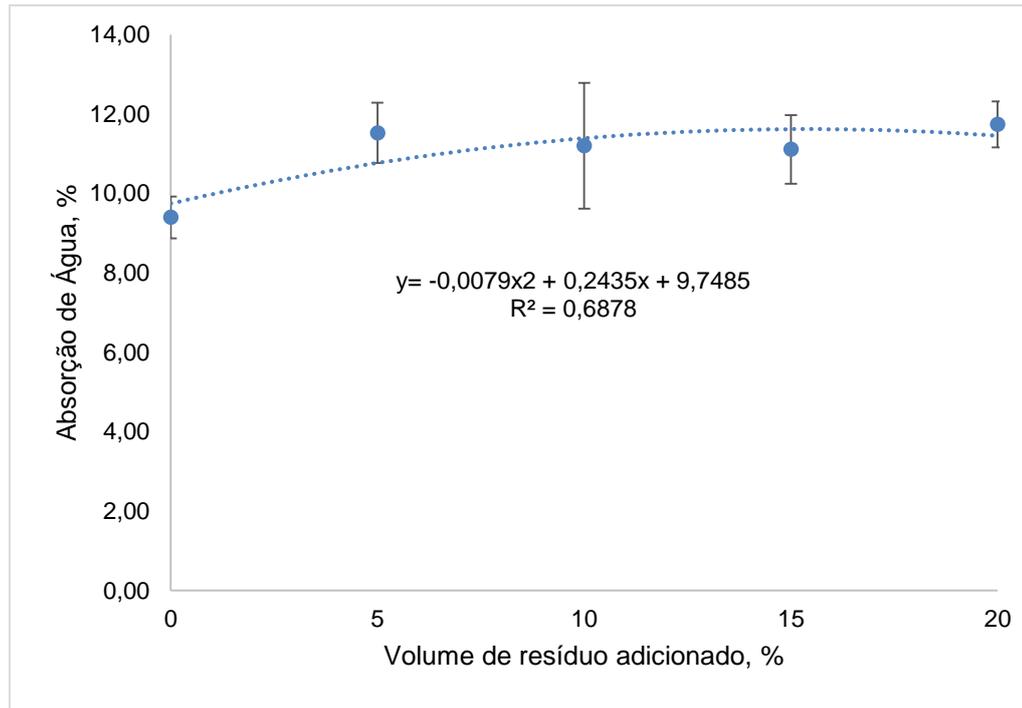


Figura 17. Absorção de Água dos corpos de prova (Fonte: autoria própria).

A absorção de água teve um acréscimo tendencial na medida que se aumenta a proporção de aditivo de resíduo. Os maiores valores 11,74 e 11,53% que corresponde respectivamente a 20 e 5%, os demais percentuais de adição não tiveram uma variação, nas médias de absorção de água, uma diferença significativa. Analisando o intervalo de erro, os valores 5, 10, 15 e 20% não tiveram influência entre si, porém, influenciaram na referência. Os corpos de prova tiveram a absorção de água dentro dos limites regulamentados pelas normas NBR 15310 (ABNT, 2009) e NBR 15270-1 (ABNT, 2005), onde para telhas o valor máximo é de 20% e para blocos de vedação devem estar entre 8% a 22% de absorção.

Teve um acréscimo de 24,9% na adição de resíduo correspondente a 20%, o que teve um menor aumento corresponde na incorporação de 15 %, onde o acréscimo em porcentagem se deu em 18,2 %.

A figura 18 apresenta os resultados de resistência mecânica no teste de tensão de ruptura à flexão em três pontos em função do volume de adição do resíduo (quartzo) na massa cerâmica.

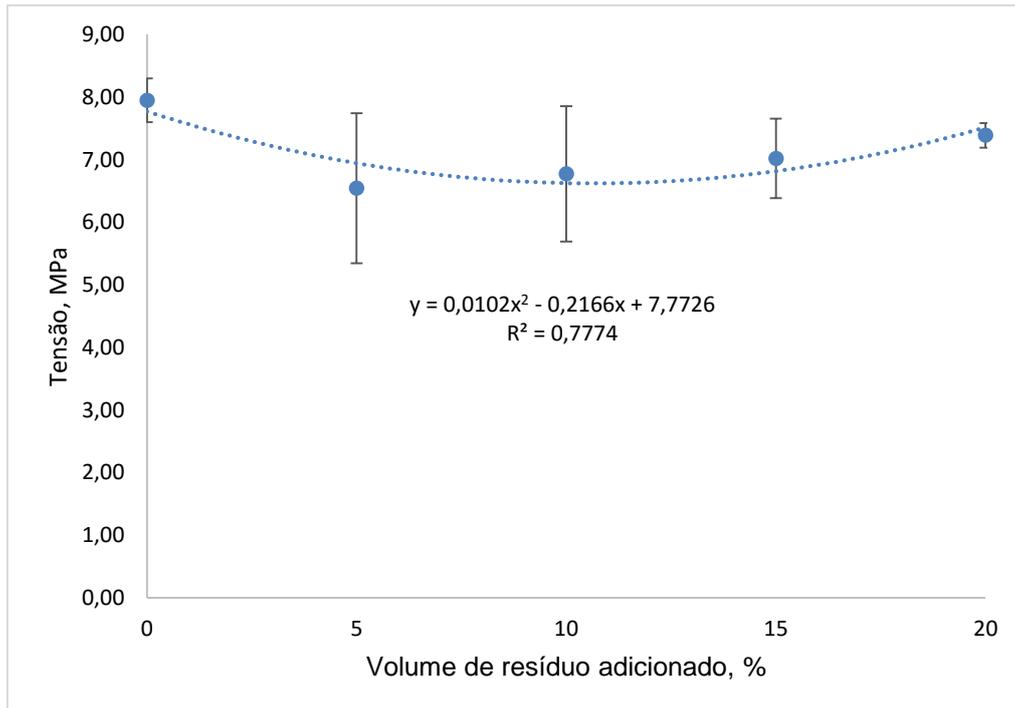


Figura 18. Tensão à ruptura de flexão em três pontos dos corpos de prova (Fonte: autoria própria).

Para os corpos de prova cerâmicos, a máxima resistência obtida no ensaio foi de 7,95 MPa correspondente a referência (0%). As adições de resíduo não influenciaram e não variaram significativamente perante a referência, os altos intervalos de erros são reflexos de poucas reproduções nos ensaios. As resistências dos corpos de prova estão nos limites tolerados, segundo Santos (1989), para blocos, telhas e tijolos que correspondem a 5,5; 6,5 e 2,0 MPa respectivamente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da obtenção dos resultados nas condições estudadas, pode-se inferir as seguintes considerações:

a) Teve a possibilidade de obter corpos cerâmicos com incorporação parcial do resíduo de garimpo (quartzo rejeitados pela baixa qualidade);

b) Os corpos de prova estão em conformidades com as normas, no que tange a absorção de água e resistência mecânica;

c) A adição do quartzo promoveu uma redução considerável na retração linear, fazendo com que as peças cerâmicas tenha mais estabilidade durante o tratamento térmico, se confirmando no tratamento estatístico dos dados;

d) Na resistência das peças cerâmicas não teve alterações significativas, houve uma mínima redução na tensão com cerca de 7 % correspondente a adição de 20%;

e) Os altos intervalos de erros no ensaio de tensão de ruptura à flexão foram reflexos de poucos corpos de prova submetidos aos ensaios, mas que foi possível uma dedução os fenômenos de estudo;

f) O volume de adição que se comportou de maneira mais interessante foi de 15% de incorporação, onde promoveu uma redução de retração de queima, teve uma redução na absorção de água e em paralelo demonstrou uma mínima redução na resistência aproximadamente 11%, provando um possível potencial de aplicação.

Em síntese, a adição de resíduo do garimpo (quartzo) em estudo na argila industrial para fabricação de peças cerâmicas estruturais influenciou mais significativamente no controle dimensional do produto gerado, reduzindo a retração linear. Vale considerar que, se uma argila tratada termicamente para produção da cerâmica estrutural, apresentar altos valores na retração, irá como consequência gerar um produto apresentando trincas devido a redução da dimensão da peça. O quartzo servirá como um possível aditivo para correção deste problema, tendo em vista o potencial demonstrado neste estudo.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com todas abordagens realizadas por este estudo, assim como o conhecimento adquirido no desenvolvimento desta monografia, pode-se sugerir os seguintes trabalhos a serem desenvolvidos:

a) Reproduzir mais corpos de prova nas mesmas condições no intuito de tratar os dados estatisticamente, tendo um intervalo de erro menor e trabalhar com maior nível de confiabilidade;

b) Empregar em mais intervalos de temperaturas no tratamento térmico nos mesmos percentuais de adição no intuito de traçar uma análise na curva de greisificação determinando um ponto ótimo de queima para cada incorporação;

c) Avaliar o potencial da adição na influência de condutividade térmica, através de termopares, dos produtos cerâmicos estruturais incorporados com quartzo;

d) Realizar análises térmicas diferenciais, análise mineralógica e química para permitir uma interpretação mais embasada;

e) Estudos em escala industrial.

REFERÊNCIAS

ABCERAM, Associação Brasileira de Cerâmica. **Informações Técnicas: Definições e Classificação.** 2011a Disponível em:

<<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=4>>. Acesso em: 13 abr. 2015.

ABCERAM, Associação Brasileira de Cerâmica. **Informações Técnicas: Processos de Fabricação.** 2011b Disponível em: <

<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=4&submenu=50>>. Acesso em: 13 abr. 2015.

ABCERAM, Associação Brasileira de Cerâmica. **Informações Técnicas: Matérias-Primas Naturais.** 2011d. Disponível em:

<<http://www.abceram.org.br/site/?area=4&submenu=47>>. Acesso em: 29 jun. 2015.

ABCERAM, Associação Brasileira de Cerâmica. **Processos de Fabricação da Cerâmica Vermelha.** 2011c Disponível em: <

<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=45>>. Acesso em: 13 abr. 2015.

ALENCAR, João Martins Cortez de. **Combustíveis alternativos para indústria de cerâmica vermelha.** Maceió, 2004. 38 slides, color.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) **ASTM C- 133/97.** Test method for cold crushing strength and modulus of rupture of refractories.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) **ASTM C- 210/95.** Test method for reheat change of Insulating firebrick.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) **ASTM C- 373/94-88.** Test method for water absorption, bulk density, apparent porosity, and apparent specific gravity of fired whiteware products.

ANDRÉ, Mauro. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DOS RESÍDUOS DE VIDRO SODO-CÁLCICO ADICIONADOS NA MASSA DE CERÂMICA VERMELHA PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO EM PALMAS - TO.** 2015. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2015.

ANFACER (São Paulo). **Relatório de Atividades.** s.n.t.. Disponível em:

<<http://www.anfacer.org.br/#!principais-resultados/c1y4y>>. Acesso em: 06 out. 2015.

ARAÚJO, Janiara Ferreira de. **A influência da adição de caulim, quartzo e feldspato potássico na formulação de massas cerâmica para telhas: Modelo Estatístico.** 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

ARGILOMINERAIS PROPRIEDADES E APLICAÇÕES: Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Civil, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.270-3:** componentes cerâmicos – blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7180:** Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6459:** Solo - Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

BRANCO, Pércio de Moraes. **Minerais Argilosos**. 2014. CPRM Serviço Geológico do Brasil. Disponível em:
<<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1255&sid=129>>
. Acesso em: 14 abr. 2015.

CABRAL JÚNIOR, Marsis et al. Argila para Cerâmica Vermelha. In: LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando A. Freitas (Ed.). **Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2008. Cap.33. p. 749-770.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e Científicos Editora, 1988.

CASAGRANDE, Marcos Cardoso. **EFEITO DA ADIÇÃO DE CHAMOTE SEMI-GRESIFICADO NO COMPORTAMENTO FÍSICO DE MASSA CERÂMICA PARA PAVIMENTO**. 2002. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002

COSTA JÚNIOR, Carlos Nogueira da. **ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR DE TRANSFORMAÇÃO DE NÃO METÁLICOS**. Brasília: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2012

DUTRA, Ricardo Peixoto Suassuna. **Efeito da velocidade de aquecimento nas propriedades de produtos da cerâmica estrutural**. 2007. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

EMILIANO, J. V.; LOYOLA, Luciano Cordeiro de. **A PREPARAÇÃO DE ARGILAS PARA A PRODUÇÃO DE TELHAS E BLOCOS CERÂMICOS**. MINEROPAR, Curitiba, 2007.

GRUN, Elayne. **CARACTERIZAÇÃO DE ARGILAS PROVENIENTES DE CANELINHA/SC E ESTUDO DE FORMULAÇÕES DE MASSAS CERÂMICAS**. 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2007.

INT - Instituto Nacional de Tecnologia. **Panorama da Indústria de Cerâmica Vermelha no Brasil**. Rio de Janeiro. 2012.

LICCARDO, Antônio. **Minerais e rochas para a indústria cerâmica**. Brasil: Geoturismo, s.n.t.. 61 slides, color. Disponível em:

<[http://www.geoturismobrasil.com/Material didatico/5 - Minerais e rochas para ceramica.pdf](http://www.geoturismobrasil.com/Material%20didatico/5%20-%20Minerais%20e%20rochas%20para%20ceramica.pdf)>. Acesso em: 07 jul. 2015.

LOBATO, Emílio. **Relatório Técnico 37: Perfil do Quartzo**. Brasília: J.mendo Consultoria, 2009.

MACHADO, Fábio Braz. **Museo DNPM**. s.n.t.. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/silicatos/tectossilicatos/quartzo.html>>. Acesso em: 05 out. 2015.

MENDA, Mari. **Cerâmicas**. 2011. Conselho Regional de Química - IV Região. Disponível em: <<http://www.crq4.org.br/ceramicasquimicaviva>>. Acesso em: 08 abr. 2015.

MENEZES, R. R. *et al.* **Aspectos fundamentais da expansão por umidade: uma revisão**: Parte I: Aspectos históricos, causas e correlações, São Paulo, 2006.

PADILHA, A. F. **Materiais de engenharia: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Hemus, 1997.

PINTO, Rogério César de Almeida. **ESTUDO DE FORMULAÇÃO DE MASSA PARA APLICAÇÃO EM PLACAS CERÂMICAS**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

PONTE, Ágata Mayara Paula; ANDRADE, Mara Adlay Resis de; GODOI, Priscila Fuscaldi. **MATÉRIAS PRIMAS SINTÉTICAS PARA CERÂMICAS**. 2010. Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Itajubá, Itabira, 2010.

PRADO, A. C. A. et al. **Influência da distribuição granulométrica na estabilidade dimensional de placas cerâmicas de base vermelha**. In: CERÂMICA, 54, 2008, São Paulo. p. 466 - 471.

PUKASIEWICZ, Anderson G. M. **Tecnologia dos Processos de Fabricação IV: Materiais Cerâmicos** Paraná Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2001.

SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida (Ed.). **TRATAMENTO DE MINÉRIOS: PRÁTICAS LABORATORIAIS**. Rio de Janeiro: Cetem/mct, 2007. 570 p.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 408 p.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Cerâmica vermelha para construção: telha, tijolos e tubos**. São Paulo: Sebrae Nacional, 2008. 94 p. Sumário Executivo.

SILVA, Achiles Dias Alves da. **Aproveitamento de rejeito de calcário do Cariri Cearense na formulação de argamassa.** 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SILVA, Angelus Giuseppe Pereira da. **Estrutura e Propriedades de Materiais Cerâmicos.** Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2005.

SILVA, Maria Adeilza Pinheiro da et al (Org.). **Estudo da Matéria-Prima do Pólo Cerâmico de Santo Antônio do Potengi (RN) Visando sua Aplicação em Cerâmica Artística.** Natal: Cerâmica Industrial, 2011.