

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE CASCA DE OVO E  
CHAMOTE NA PRODUÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO  
PARA ISOLAÇÃO TÉRMICA**

**FLAVIANE HELENA GUEDES**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE- UENF  
CAMPOS DOS GOYTACAZES- RJ**

**FEVEREIRO 2014**

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE CASCA DE OVO E  
CHAMOTE NA PRODUÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO  
PARA ISOLAÇÃO TÉRMICA

**FLAVIANE HELENA GUEDES**

“Dissertação apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências dos Materiais”.

Orientador: Prof. José Nilson França de Holanda

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

FEVEREIRO 2014

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE CASCA DE OVO E  
CHAMOTE NA PRODUÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO  
PARA ISOLAÇÃO TÉRMICA

**FLAVIANE HELENA GUEDES**

“Dissertação de mestrado apresentado ao Centro de  
Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do  
Norte Fluminense, como parte das exigências para a  
obtenção do título de Mestre em Engenharia e  
Ciências dos Materiais”.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2014.

Comissão Examinadora:

---

Antonio José de Souza (D.Sc., Engenharia de Materiais)

---

Prof. Márcia Giardinieri de Azevedo (D.Sc., Engenharia Química) - UENF

---

Prof. Elaine Cristina Pereira (D.Sc., Engenharia de Materiais) - UENF

---

Prof. José Nilson França de Holanda (D. Sc., Engenharia de Materiais) - UENF

Orientador

Dedico este trabalho aos meus pais  
Maria Helena e José Maria  
e ao meu professor José Nilson

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por todas as oportunidades que me proporciona e por estar sempre presente na minha vida, tornando cada obstáculo mais fácil de ser superado.

Aos meus pais por toda a dedicação, confiança e carinho de sempre, serei eternamente grata!

Ao meu noivo Maurício pelo companheirismo de sempre, pelas palavras de incentivo, por todo o apoio, paciência e dedicação.

Aos meus irmãos Fabiana, Fábio e Fernando pelo apoio e incentivo.

Ao professor José Nilson pela oportunidade, conhecimento e confiança para realizar este trabalho.

Ao professor Roberto Trindade por toda a sua atenção e conhecimento.

Ao meu amigo Thiago pela paciência, ajuda, companheirismo, apoio e dedicação para a realização deste trabalho.

A todos os professores do LAMAV que passaram pela minha formação acrescentando com seus ensinamentos.

As minhas amigas de república Mariane e Michele Babisk pela companhia, ensinamentos, alegria, amizade e apoio de sempre!

Aos meus familiares e amigos de Muriaé por todo o carinho e confiança.

Aos meus amigos do LAMAV: Aline Moraes, Lara, Melina, Simone, Camila Amaral, Kátia Faria, Darlan e Juliana, que de alguma forma estiveram presente, sempre me ajudando .

A Zulmira por toda a sua dedicação, paciência, disponibilidade e atenção.

Aos técnicos do LAMAV e LECIV: Michel, Elaine, Milton e Vanúsia pela ajuda na realização da parte experimental.

A FAPERJ pelo apoio financeiro.

A todos aqueles que não foram citados, mas contribuíram para minha formação e desenvolvimento desde trabalho.

Muito Obrigada!

## SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
ÍNDICE DE TABELAS.....	VII
RESUMO .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Aspectos gerais.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3- Justificativas.....	4
<b>CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Materiais cerâmicos.....	5
2.1.1- Setor cerâmico.....	6
2.2 – Isolante térmico.....	8
2.2.1- Propriedades dos isolantes térmicos.....	8
2.2.1.1-Capacidade térmica.....	9
2.2.1.2- condutividade térmica.....	10
2.2.1.3- Difusividade.....	11
2.2.1.4- Efusividade.....	12
2.3- Materiais de construção isolante térmico.....	12
2.3.1- Benefícios do material de construção isolante térmico .....	15
2.4- Silicato de Cálcio.....	16
2.4.1- Fontes de matéria-prima na produção de silicato de cálcio para isolamentos térmicos.....	16
2.4.2- Aplicações na indústria.....	20
2.5- Resíduos .....	21
2.5.1- Classificação dos resíduos.....	22
2.5.2- Reaproveitamento de resíduos na indústria .....	23
2.7- Chamote.....	24
2.7.1- Características do resíduo de chamote .....	25
2.8- Casca de ovo.....	28
2.8.1- Características do resíduo de casca de ovo .....	30
2.9- Considerações ambientais.....	32

---

<b>CAPÍTULO 3- MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	34
3.1- Materiais .....	35
3.2- Métodos.....	36
3.2.1- Beneficiamento das matérias primas .....	35
3.2.2- Caracterização das matérias primas.....	37
3.2.2.1- Caracterização mineralógica.....	38
3.2.2.1.1- Difração de raios-X.....	38
3.2.2.1.2- Análises térmicas (ATD/ ATG/).....	38
3.2.2.2- Caracterização química.....	38
3.2.2.3- Caracterização física.....	39
3.2.2.3.1- Distribuição de tamanho de partículas e massa específica real.....	39
3.2.2.3.2- Morfologia.....	39
3.2.3- Formulação e preparação do material de silicato de cálcio.....	39
3.2.4- Preparação dos corpos de prova.....	39
3.2.5- Ensaio físicos e mecânicos.....	40
3.2.5.1- Absorção de água.....	40
3.2.5.2 – Sucção de água .....	40
3.2.5.3- Massa específica aparente .....	41
3.2.5.4- Porosidade aparente.....	41
3.2.5.5- Resistência à tração pelo método de compressão diametral.....	42
3.2.6- Caracterização térmica.....	42
3.2.6.1- Condutividade térmica e Efusividade térmica.....	42
3.2.6.2- Capacidade térmica.....	43
3.2.6.3 - Difusividade térmica.....	44
3.2.7- Análise microestrutural e de fase.....	45
3.2.7.1- Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	45
3.2.7.2- Difração de raios-X (DRX).....	45
<b>CAPÍTULO 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	46
4.1- Caracterização das matérias-primas .....	46
4.1.1- Caracterização mineralógica.....	46
4.1.1.1- Difração de raios-X.....	46
4.1.1.2- Análises térmicas (ATD/ ATG/).....	48
4.1.2- Caracterização química.....	49

4.1.3- Caracterização física.....	51
4.1..3.1- Distribuição de tamanho de partículas e massa específica real.....	51
4.1.3.2- Morfologia.....	52
4.2- Formulação e preparação do material de silicato de cálcio.....	55
4.3- Caracterização do pó de silicato cálcio .....	57
4.3.1- Difração de raios-X (DRX).....	57
4.3.2- Densidade real dos grãos.....	64
4.3.3- Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	64
4.4- Preparação dos corpos de prova.....	66
4.5- Ensaio físicos e mecânicos.....	66
4.6- Caracterização térmica.....	70
4.7- Análise microestrutural .....	71



---

---

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1- Materiais isolantes para construção.....	15
Figura 2.2- Diagrama de fase pro sistema CaO-SiO <sub>2</sub> .....	16
Figura 2.3- Propriedades típicas da cal ligadas a cinza de casca de arroz .....	17
Figura 2.4 - Difração de raio-X do silicato obtido utilizando como matéria- prima resíduo de Chamote e casca de mexilhão.....	19
Figura 2.5- Material de silicato de cálcio, isolante térmico, ideal para tubulações .....	20
Figura 2.6- Caracterização e classificação de resíduos.....	23
Figura 2.7- Resíduos de tijolos (chamote) gerados por uma indústria de Campos dos Goytacazes, Brasil.....	25
Figura 2.8- Difratoograma de raios-X do resíduo de chamote.....	26
Figura 2.9- Distribuição de tamanho de partículas do resíduo de chamote.....	27
Figura 2.10- Micrografias obtidas por MEV das partículas de chamote.....	27
Figura 2.11- Produção de ovos por estado em 2011(%).....	28
Figura 2.12- Difratoograma de raios X da amostra de resíduos de casca de ovo.....	30
Figura 2.13- Visão geral da amostra de resíduo de casca de ovo.....	31
Figura 2.12- Aspectos e impactos no processo de produção de blocos cerâmicos.....	33
Figura 3.1 - Fluxograma das etapas envolvidas nesse projeto.....	34
Figura 3.2 - Resíduo de chamote gerado na indústria de cerâmica vermelha da região de Campos dos Goytacazes-RJ.....	35
Figura 3.3 - Resíduo de casca de ovo gerados no setor produtivo da região de Campos dos Goytacazes-RJ.....	35
Figura 3.4- Equipamentos utilizados no beneficiamento das matérias-primas. a) Moinho de bolas Gardelin; e b) Peneira de 150 mesh (106 µm).....	36
Figura 3.5 - Chamote (150 mesh) .....	37
Figura 3.6 - Casca de ovo galináceo sem calcinar e calcinada (150 mesh).....	37
Figura 3.7 - Arranjo experimental para as medidas de capacidade térmica específica .....	43

---

Figura 3.8 - Arranjo experimental para as medidas de difusividade térmica.....	44
Figura 4.1-Difratograma de raios-X do resíduo de chamote.....	46
Figura 4.2- Análise de difração de raios X do resíduo de casca do ovo sem calcinar.....	47
Figura 4.3- Análise de difração de raios X do resíduo de casca do ovo calcinada.....	47
Figura 4.4- Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica para o resíduo de chamote.....	48
Figura 4.5- Análise térmica (ATD e TG) do resíduo de casca de ovo sem calcinar.....	49
Figura 4.6- Análise térmica (ATD e TG) do resíduo de casca de ovo calcinada	49
Figura 4.7- Curva de distribuição de tamanho de partículas do resíduo de chamote.....	51
Figura 4.8- Distribuição do tamanho de partículas do resíduo da casca de ovo sem calcinar.....	52
Figura 4.9- Análise morfológica do pó de resíduo de chamote a) 216X; b) 430X	52
Figura 4.10- Micrografias de MEV do pó de chamote com mapeamento de EDS. Aumento de (a) 500 X e (b) 1000 X.....	
Figura 4.11- Análise morfológica do pó de resíduo da casca de ovo sem calcinar a) 216 X;b) 430 X.....	53
Figura 4.12: Micrografias de MEV do pó da casca de ovo sem calcinar com mapeamento de EDS. Aumento de (a) 200 X e (b) 500 X (c)1000 X.....	54
Figura 4.13- Material de silicato de cálcio obtido por sinterização de chamote e casca de ovo sem calcinar.....	55
Figura 4.14- Material de silicato de cálcio obtido por sinterização de chamote e casca de ovo calcinada.....	57
Figura 4.15- Silicato de cálcio obtido a partir de chamote e casca de ovo sem calcinar a) 1000°C,b) 1050 °C,c) 1100 °C ,d) 1150 °C,e) 1200 °C.....	57
Figura 4.16- Silicato de cálcio obtido a partir de chamote e casca de ovo calcinada a) 1000°C,b) 1050 °C, c) 1100 °C, d) 1150 °C ,e) 1200 °C.....	59
Figura 4.17- Micrografias de MEV do pó de silicato de cálcio sintetizado a 1100°C, obtido com a mistura de chamote e casca de ovo sem calcinar , com mapeamento de EDS. Aumento de (a) 200 X e (b) 500 X (c) 1000 X.....	62

---

---

Figura 4.18- Micrografias de MEV do pó de silicato de cálcio sintetizado a 1100°C, obtido com a mistura de chamote e casca de ovo calcinada, com mapeamento de EDS. Aumento de (a) 200 X e (b) 500 X (c) 1000 X.....	65
Figura 4.19- Peças de silicato de cálcio após a cura . (a) chamote e casca de ovo sem calcinar (b) chamote e casca de ovo calcinada.....	66
Figura 4.20- Porosidade aberta das peças de silicato de cálcio sem calcinar e calcinada.....	67
Figura 4.21- Absorção de água das peças de silicato de cálcio sem calcinar e calcinada.....	68
Figura 4.22- Sucção da peça de silicato de cálcio.....	68
Figura 4.23- Densidade aparente das peças de silicato de cálcio sem calcinar e calcinada.....	69
Figura 4.24- Tensão à tração pelo método de compressão diametral da peça de silicato de cálcio.....	70
Figura 4.25- Corpos de prova de silicato de cálcio com espessura entre 350 $\mu$ a 400 $\mu$ .....	71
Figura 4.28- Análise morfológica para o silicato de cálcio sintetizado com chamote e pó de casca de ovo sem calcinar, com aumento de 430 X nas temperaturas de a)1000°C b)1050 °C e c)1100 °C.....	72
Figura 4.29- Análise morfológica para o silicato de cálcio sintetizado com chamote e pó de casca de ovo calcinada, com aumento de 430 X nas temperaturas de a)1000°C b)1050 °C e c)1100 °C.....	73
Figura 4.30- Micrografias de MEV da superfície de fratura do material de silicato de cálcio sintetizado a partir de chamote e pó de casca de ovo sem calcinar, com mapeamento de EDS, nas temperaturas de a)1000 °C, b) 1050 °C e c)1100 °C.....	75
Figura 4.31- Micrografias de MEV da superfície de fratura do material de silicato de cálcio sintetizado a partir de chamote e pó de casca de ovo calcinada, com mapeamento de EDS, nas temperaturas de a)1000 °C, b)1050 °C e c)1100 °C .....	77

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Principais setores cerâmicos, matérias-primas, áreas utilizadas e características do processo de fabricação.....	7
Tabela 2.2- A densidade aparente, densidade absoluta e condutividade térmica das amostras preparadas por mistura e sinterização a 1100 °C usando diferentes resíduos CaO-SiO <sub>2</sub> , razão molar de 1:1.....	19
Tabela 2.3- composição química do chamote estudada por diversos autores..	25
Tabela 2.4- Composição química da casca de ovo.....	30
Tabela 2.5- Análise térmica da casca de ovo.....	31
Tabela 4.1: Composição química do resíduo de chamote, casca de ovo sem calcinar e casca de ovo calcinada (% em peso).....	49
Tabela 4.2- Densidade real dos grãos de silicato de cálcio com casca de ovo sem calcinar.....	60
4.3- Densidade real dos grãos de silicato de cálcio com a casca de ovo calcinada.....	60

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a formulação do silicato de cálcio a partir dos resíduos de casca de ovo e chamote, para preparação de materiais cerâmicos para isolamento térmico de baixa temperatura. As matérias-primas utilizadas foram: chamote e a casca de ovo, proveniente da região de Campos dos Goytacazes-RJ. O chamote e a casca de ovo foram utilizados como fontes de sílica e cal, respectivamente, na razão molar 1:1. Foram feitas duas misturas distintas, uma de chamote e casca de ovo sem calcinar e outra de chamote com casca de ovo calcinada, obedecendo à mesma razão molar descrita. O material obtido a partir das duas misturas foram sinterizados em cinco temperaturas diferentes, variando de 1000°C a 1200°C, com um intervalo de 50°C para cada sinterização. As matérias primas foram inicialmente submetidas a ensaios de caracterização mineralógica, química, física e morfológica. A caracterização química e mineralógica foi realizada por meio da utilização das técnicas de fluorescência de raios-X (FRX), difração de raios X (DRX) e análise térmica (ATD/TG/DTG). A caracterização morfológica foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A microestrutura das cerâmicas foi avaliada por microscopia ótica (MO). Os corpos cerâmicos foram confeccionados por prensagem uniaxial numa prensa hidráulica a 4,1 MPa e com teor de umidade de 15 %, e em seguida passaram por um processo de cura por imersão em água de 5 minutos, durante uma semana. Os corpos cerâmicos curados foram submetidos a ensaios tecnológicos, tais como: massa específica aparente, absorção de água, sucção de água, resistência de tração por compressão diametral, porosidade aparente, difusividade, condutividade térmica, efusividade, MEV e DRX.

Os resultados indicaram que foi possível sintetizar o material de silicato de cálcio a partir das matérias-primas utilizadas, sendo que a mistura do chamote com o pó da casca de ovo sem calcinar foram melhores, no geral, apresentando melhor porosidade aparente, absorção de água, densidade aparente, sucção e resistência à flexão.

Palavras-chaves: Chamote, casca de ovo, silicato de cálcio, isolante térmico.

## **ABSTRACT**

This work aims at the formulation of calcium silicate from waste eggshell and grog for the preparation of ceramic materials for thermal insulation in cold temperatures. The raw materials used were: grog and eggshell, from the region of Goytacazes - RJ. The grog and the eggshell were used as sources of silica and lime, respectively, in the molar ratio 1:1. Two different mixtures, one of grog and eggshell without calcining and one of grog with egg shell calcined, obeying the same molar ratio described were made. The material obtained from the two mixtures were sintered at five different temperatures ranging from 1000 ° C to 1200 ° C, with a range from 50 ° C to each sintering. The raw materials were initially tested for mineralogical, chemical, physical and morphological. The chemical and mineralogical characterization was performed by using the techniques of X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD) and thermal analysis (DTA / TGA / DTG). Morphological characterization was performed by scanning (SEM) electron microscopy. The microstructure of the ceramics was studied by optical microscopy (OM). The ceramic samples were prepared by uniaxial pressing in a hydraulic to 4.1 MPa and with a moisture content of 15 % press, and then went through a process of healing by immersion in water for 5 minutes, for a week. The cured ceramic bodies underwent testing technology, such as bulk density, water absorption, water suction, tensile strength by diametral compression, porosity, diffusivity, thermal conductivity, effusivity, SEM and XRD.

The results indicated that it was possible to synthesize the material of calcium silicate from the raw materials used, and the mixture of grog with the dust of the eggshell without calcining were best overall, showing better apparent porosity, water absorption, apparent density, suction and flexural strength.

Keywords : Brick powder, eggshell, calcium silicate thermal insulator

---

---

# Capítulo 1– Introdução

## 1.1 - Aspectos Gerais

A crescente necessidade de preservação ambiental, tendência de escassez dos recursos naturais e a utilização de novos produtos cerâmicos dotados de propriedades funcionais cada vez melhores, tem de maneira especial estimulado a pesquisa em direção à aplicação de materiais de baixo custo (*Casagrande et al., 2008*). Sendo assim, o setor de cerâmica se revela como uma alternativa na busca da valorização e aproveitamento de grande quantidade de materiais descartados, de diversos tipos e origens, quando comparado aos métodos tradicionais.

As principais razões que tornam o setor cerâmico atrativo para a valorização e aproveitamento de resíduos sólidos são (*Dondi et al., 1997*; *Menezes et al., 2002*):

- Disponibilidade da indústria cerâmica, particularmente o setor voltado para materiais para construção civil, devido à utilização de grandes quantidades de matérias-primas naturais;
- Possibilita menor consumo de matérias-primas naturais;
- Não causa grandes modificações no processo produtivo;
- Larga variabilidade da composição química e mineralógica; e
- Possibilidade de inertização do resíduo poluente na matriz cerâmica.

A indústria de cerâmica vermelha no Brasil tem grande importância no cenário da construção civil devido à expressiva produção nacional de blocos cerâmicos, telhas, manilhas e elementos vazados (*Gouveia, 2008*). O município de Campos dos Goytacazes localizado na região norte do Estado do Rio de Janeiro detém grandes reservas de argilas vermelhas predominantemente caulínicas (*Souza et al., 2002*). Na produção de produtos de cerâmica vermelha ocorre à formação de um subproduto proveniente de rejeitos de material cerâmico originado na etapa de queima, que pode eventualmente retornar ao processo, após trituração, gerando um resíduo conhecido como

---

chamote (Vieira et al., 2004). Este material de resíduo sólido é rico em  $\text{SiO}_2$  em forma de pó fino ou granulado.

O ovo galináceo é um produto de baixo custo e largamente consumido pela maioria da população brasileira. A industrialização deste produto gera vantagens econômicas, porém produz no Brasil cerca de 172.000 toneladas de resíduo em forma de casca por ano (Freire et al., 2008). Atualmente existe uma enorme dificuldade no descarte final deste resíduo, onde geralmente é jogado em aterros. Este tipo de disposição resulta em altos custos para as empresas, além de causar problemas ambientais e de saúde pública. O resíduo de casca de ovo é composto principalmente de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), sendo uma importante fonte de  $\text{CaO}$  (Freire et al., 2008).

Os materiais de silicato de cálcio são compostos do sistema  $\text{CaO-SiO}_2$ , cujas aplicações mais importantes são como materiais cerâmicos diversos tais como biocerâmicas, porcelanas dielétricas, vidro bioativo e como material de reforço (Felipe-Sesé et al., 2011). Ressalta-se que os silicatos de cálcio são também empregados como materiais cerâmicos para isolamento térmico de baixa temperatura (Felipe-Sesé, 2011), podendo então ser utilizado na fabricação de fornos e secadores (com temperaturas até  $650\text{ }^\circ\text{C}$ ); telhas e tubo para sistemas de refrigeração de ar (Al- Tayyib et al., 2009) .

O presente trabalho de dissertação de mestrado se propõe a estudar a viabilidade do desenvolvimento do silicato de cálcio para aplicação como material cerâmico para isolamento térmico de baixa temperatura utilizando resíduos sólidos, particularmente o resíduo de casca de ovo como fonte de cálcio e resíduo de chamote como fonte de sílica.



## 1.2 – Objetivos

O objetivo principal deste trabalho de dissertação de mestrado é avaliar a possibilidade de reaproveitamento de resíduo de casca de ovo e resíduo de chamote na produção de material de silicato de cálcio para isolamento térmica. Neste trabalho serão utilizados resíduo de casca de ovo e resíduo de chamote gerados no setor produtivo da região de Campos dos Goytacazes-RJ.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Caracterizações física, química e mineralógica das matérias-primas utilizadas.
- Preparação do material de silicato de cálcio.
- Preparação e cura dos corpos cerâmicos produzidos com o material de silicato de cálcio, a fim de se produzir um material cerâmico para isolamento térmica em baixa temperatura.
- Caracterização física, mecânica, térmica, microestrutural e de fases do material de isolamento térmica produzido.

---

---

### **1.3 – Justificativas**

Neste trabalho de Mestrado, será dada ênfase à formulação do silicato de cálcio, para a preparação de materiais cerâmicos para isolamento térmico de baixa temperatura.

A região de Campos dos Goytacazes, norte do Estado do Rio de Janeiro, destaca-se pela sua grande produção de resíduos sólidos, dentre eles encontram-se os resíduos de chamote e o da casca de ovo, que todo ano geram toneladas de rejeitos. A disposição destes resulta em altos custos para as empresas, devido aos danos causados ao meio ambiente. Uma maneira de contribuir para o destino final destes resíduos será o reaproveitamento deles para a obtenção do silicato de cálcio, que é um material ideal para aplicações em tubulações e equipamentos, em altas ou baixas temperaturas, por sua leveza, boa resistência mecânica, excelente desempenho térmico, insolubilidade, alta resistência estrutural, etc. Sendo assim, a utilização destes resíduos trata estes poluentes como matérias-primas alternativas para aplicações com maior valor agregado visando a sua transformação em bens úteis para a sociedade e a proteção do meio ambiente, sendo uma iniciativa importante e necessária.

---

---

## Capítulo 2- Revisão Bibliográfica

### 2.1- Materiais cerâmicos

A maioria dos materiais cerâmicos consiste em compostos que são formados entre elementos metálicos e não metálicos, para os quais as ligações interatômicas, são totalmente iônicas ou predominantes iônicas com alguma natureza covalente. O termo cerâmica vem da palavra grega “keramicos”, que significa matéria-prima queimada, indicando que as propriedades desses materiais são normalmente atingidas através de um processamento térmico ou ignição (Calister, 2002).

Segundo a associação brasileira de cerâmica (ABC), “material cerâmico é todo o material inorgânico, não metálico, obtido geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas”.

Para a Associação americana de cerâmica, cerâmica são materiais inorgânicos, materiais não metálicos. Eles são tipicamente de natureza cristalina (têm uma estrutura ordenada) e são compostos formados entre os elementos metálicos e não metálicos tais como: o óxido alumínio (alumina,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e nitreto de silício ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ).

Materiais cerâmicos, em geral, apresentam elevada resistência ao calor, considerável resistência à oxidação e ao ataque químico, elevada resistência à deformação plástica e requerem resistência a esforços mecânicos, além de normalmente serem bons isolantes térmicos e elétricos. Estes materiais possuem, em geral, baixa resistência ao impacto, e grande variação da resistência à fratura (Silva, 2000).

Segundo Padilha (1997) materiais cerâmicos é normalmente combinações de metais com elementos não metálicos. Os principais tipos são: óxido, nitretos e carbonetos. A esse grupo de materiais também pertencem as argilo minerais, o cimento e os vidros. Podem apresentar ligações predominantemente iônicas ou covalentes. Podem atuar como isolantes térmicos e elétricos. São mais resistentes à elevadas temperaturas e a ambientes corrosivos que os metais e polímeros. Eles são mais duros, porém mais frágeis.

---

As primeiras cerâmicas de que se tem notícia são da pré-história: vasos de barro, sem asa, que tinham cor de argila natural ou eram escurecidas por óxidos de ferro. A cerâmica para a construção e a cerâmica artística com características industriais só surgiram na Antiguidade em grandes centros comerciais (ANFACER).

No Brasil, a cerâmica tem seus primórdios na Ilha de Marajó. A cerâmica marajoara aponta à avançada cultura indígena que floresceu na ilha. Estudos arqueológicos, contudo, indicam a presença de uma cerâmica mais simples, que indica ter sido criada na região amazônica por volta de cinco mil anos atrás. A cerâmica marajoara era altamente elaborada e de uma especialização artesanal que compreendia várias técnicas: raspagem, incisão, excisão e pintura. A modelagem é tipicamente antropomorfa, embora haja exemplares de cobras e lagartos em relevo. De outros objetos de cerâmica, destacavam-se bancos, estatuetas, rodela de fuso, tangas, colheres, adornos auriculares e labiais, apitos e vasos miniatura. Mesmo desconhecendo o torno e operando com instrumentos rudimentares, os indígenas criaram uma cerâmica de valor, que dá a impressão de superação dos estágios primitivos da Idade da Pedra e do Bronze (ANFACER).

Atualmente com a abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais, fizeram que as indústrias cerâmicas brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada (ABC).

### **2.1.1- Setor Cerâmico**

As indústrias brasileiras evoluíram rapidamente e vários produtos dos mais diversos segmentos cerâmicos atingiram um elevado nível de exportação e de qualidade mundial, devido à abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais. As regiões sul e sudeste, em razão da maior densidade demográfica, maior atividade industrial e agropecuária, melhor infraestrutura, melhor distribuição de renda, associado ainda às facilidades de matérias-primas, energia, centros de pesquisa, universidades e escolas

técnicas, foram as que mais se desenvolveram no setor cerâmico. Portanto, são nelas onde se tem uma grande concentração de indústrias de todos os segmentos cerâmicos. Outra região do país que tem apresentado certo grau de desenvolvimento é o Nordeste, onde tem aumentado à demanda de materiais cerâmicos, principalmente nos segmentos ligados a construção civil, o que tem levado a implantação de novas fábricas cerâmicas nessa região (ABC). A Indústria cerâmica tem um papel importante para a economia do país, com participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimado em 1%, correspondendo a cerca de 6 bilhões de dólares (ETENE, 2010).

A partir da matéria prima utilizada, identificam-se as cerâmicas tradicionais (ou silicáticas) de base argilosa e outras, como mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Principais setores cerâmicos, matérias-primas, áreas utilizadas e características do processo de fabricação (Motta, et al.,2001).

CLASSIFICAÇÃO		PRODUTO	Matéria-prima							Moagem via úmida	Moagem via seca	Processo de conformação				Temperatura de Queima (°C)					
Tipo de cerâmica*	GRUPO**/ SETOR		Plástica			Não-plástica						Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	>1.200
			Argila comum	Argila plástica	Caulim	Feldspato (****)	Filito	Talco	Calcário												
Cerâmica de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica	Blocos, lajes	P								P									
		Vermelha	Telha	P			O					P	P								
			Agregado leve	P						O		P									
	2		Grês sanitário		P S	P	O	S	O	P											
		Cerâmica	Porcelana Mesa		P	P				P	P	S	S	O							
		Branca	Porcelana Eletr.		P	P				P	P	S	S	O							
			Faiança		P O	S S	S P	S		P				P							
			Pisos rústicos	P	O					O		P									
			Pisos via seca	P							P		P								
		3	Revesti-mentos	Azulejo		P P		O S	S	P			P								
		Piso gresificado	O	P S	S P	O		S	P	O	P										
		Grês porcelânico		P S	P	O	S	O	P		P										
Outras	4	Refratários			O			O	P												
	5	Isolantes			O			O	P												
	6	Especiais						O	P												
	7	Cimento	S					P S	O	P											
	8	Vidro			S		S	P	P												
P	Processo ou composição principal (> 20%)		S	Processo ou composição secundária (< 10%)					O	Processo ou composição ocasional											

---

No Brasil todos estes segmentos estão representados, com maior ou menor grau de desenvolvimento e capacidade de produção, entre eles encontram-se os isolantes.

## **2.2 – Isolante térmico**

De acordo com autor Al-Homoud, (2005) a capacidade do material em retardar o fluxo de calor entre dois meios é o principal parâmetro que caracterizará como um material isolante térmico. Porém, para que o mesmo seja classificado como isolante, faz-se necessário, um estudo mais detalhado de suas principais propriedades mecânicas e térmicas.

Com ampla aplicação na engenharia, os isolantes térmicos são selecionados em função de aspectos que variam de econômicos até funcionais e inclusive de segurança. A função primária de um isolante térmico é reduzir a taxa de transferência de calor entre um sistema e o meio, de modo que a energia possa ser conservada. Para isso, partes dos sistemas térmicos devem ser revestidas com material que possua propriedades e espessura tais que a temperatura se mantenha dentro de um determinado intervalo (Torreira, 1980).

O isolamento é usado na construção, visando proporcionar estabilidade dos elementos estruturais e economia ao reduzir o tamanho de equipamentos e ainda diminuição do consumo de energia. (Cunha, 1997). Assim, oferece conforto, economia, segurança e estabilização estrutural.

Não se pode afirmar que exista um isolante térmico ideal, mas é possível em um mesmo processo de isolamento atingir-se mais de um desses objetivos, levando em consideração que a análise da fonte de calor e da sua forma de transferência é que determina a escolha dos materiais a serem aplicados, os quais são determinados em função de suas propriedades (Torreira, 1980).

### **2.2.1- Propriedades dos isolantes térmicos**

Muitos parâmetros devem ser considerados para se obter um bom isolante térmico, os materiais devem apresentar as seguintes características: durabilidade; resistência à compressão; baixa absorção de vapor de água; resistência à combustão; baixa condutividade térmica; baixa massa específica; baixa difusividade térmica; alto calor específico; baixo coeficiente de expansão térmica; estabilidades química e física; resistência ao ambiente de utilização;

facilidade de aplicação; resistência ao ataque de roedores, insetos e fungos; ausência de odor e baixo custo (Torreira, 1980).

No entanto, obter um material com todas as características descritas acima seria praticamente impossível, o que deve ser feito é procurar por algum que satisfaça o maior número de qualidades desejadas (Torreira, 1980). A capacidade térmica, a condutividade térmica, a difusividade térmica e a efusividade são as propriedades físicas mais importantes de um material do ponto de vista de cálculos térmicos. Essas propriedades são observadas quando calor é adicionado ou removido do material, e se tornam importantes em qualquer projeto que precise funcionar em qualquer ambiente térmico (Santos, 2005). Por tanto neste trabalho será dado ênfase somente a elas.

### 2.2.1.1- Capacidade térmica

Segundo Santos, (2005) o calor específico é definido como a quantidade de calor que um grama de uma substância recebe ou cede para que sua temperatura se altere de 1°C, é uma propriedade decisiva de um material, quando usado em aplicações em altas temperaturas. O calor específico, quando se trata de uma amostra pequena, pode ser medido com relativa facilidade. Entretanto, para certos tipos de materiais, onde deve ser medido o calor específico do corpo como um todo, incluindo as diversas fases, e já não é mais possível à preparação de uma amostra pequena e que seja representativa, tornando-se a medida dessa propriedade bastante problemática.

O calor específico do material pode ser obtido a partir da equação 2.1, segundo (van Wylen e Sonntag, 1976):

$$C_p = \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad (2.1)$$

Onde:

$C_p$ - Calor específico à pressão constante (J/Kg.K);

h-entalpia específica (J/Kg) ;

T- temperatura (K).

A capacidade calorífica do material (C) é definida como o produto da massa (m) pelo calor específico ( $c_p$ ). Se, por outro lado, a massa é escrita como o produto da massa específica ( $\rho$ ) pelo volume do material (V), pode-se definir a capacidade calorífica em função do volume, de acordo com o seguinte desenvolvimento da equação 2.2 :

$$C = m \cdot c_p \rightarrow m = \rho \cdot V \rightarrow C = \rho \cdot V \cdot c_p \quad (2.2)$$

Onde C é a capacidade calorífica em função do volume, medida em J/ m<sup>3</sup>. K, valor adotado nas análises dos resultados em função de ser a forma como a grandeza é apresentada no medidor de propriedades térmicas.

### 2.2.1.2- Condutividade térmica

A condutividade térmica é uma das propriedades físicas mais importantes de um material. A sua determinação experimental apresenta algumas dificuldades e requer alta precisão na determinação dos fatores necessários para o seu cálculo (Santos, 2005). É definido como a capacidade dos materiais ou elementos de permitir o fluxo de calor. Cada material possui um coeficiente de condutividade que depende da sua estrutura molecular (densidade) e as temperaturas de funcionamento, o que é expresso em W / mK ou Kcal / hm ° C (Al-Homoud, 2005).

Baixos valores de condutividade térmica são exigidos, quando se pretende minimizar as perdas de calor. Dados confiáveis de condutividade térmica são essenciais na seleção de um material, para que o mesmo possa ter o melhor desempenho possível em uma dada aplicação (Santos , 2005). A forma e estrutura física variam com o material base e com o tipo de processo de fabricação (Kreith, 2008).

A maior parte dos materiais isolantes é de natureza porosa, consistindo de combinações de matéria sólida e pequenos vazios. Nestes vazios ficam confinados gases de baixa condutividade térmica induzindo um menor valor na condutividade térmica isolante (Kreith, 2008).



A temperatura e a umidade podem influenciar no desempenho de materiais isolantes térmicos. Materiais de isolamento sujeitos a alta temperatura têm maior condutividade térmica e quanto maior o teor de umidade do material, maior será a condutividade térmica (Al-Homoud, 2005), outro fator que também afeta a condutividade térmica do material é a densidade do material. Para cada tipo de isolante, existe um valor mínimo de condutividade para uma densidade particular a partir da qual a condutividade aumenta se a densidade for aumentada ou diminuída (Kreith, 2008).

De acordo com (van Wylen e Sonntag, 1976) a condutividade é expressa a partir da equação 2.3 de Fourier-Biot.

$$q_k = -k.A.\frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

Onde:

$q_k$ - Fluxo de calor (W);

K- condutividade térmica (W/m.K)

A – Área da seção transversal, normal à direção do fluxo de calor (m<sup>2</sup>)

$dT/dx$  – gradiente de temperatura na seção (K/m)

### 2.2.1.3- Difusividade

Segundo Santos, (2005) a difusividade térmica é uma propriedade em particular, que avalia o comportamento de propagação de calor dentro da amostra, é muito sensível à estrutura, bem como a preparação de materiais e as condições de sinterização. Fisicamente falando é a medida da rapidez com a qual o calor se propaga através de um material. Ela pode ser medida mais facilmente e com maior precisão do que a condutividade térmica. Por essa razão, muitos pesquisadores preferem medir a difusividade, e a partir dela calcular a condutividade térmica do material. A partir da seguinte equação 2.4 (Incropera e DeWitt, 1998).

$$\alpha = \frac{k}{\rho.C_p} \quad (2.4)$$

onde:

- $\alpha$  - difusividade térmica ( $m^2/s$ );  
k- condutividade térmica ( $W/mK$ );  
 $\rho$ - densidade ( $kg/m^3$ ) e  
 $c_p$ - calor específico a pressão constante ( $J/kgK$ ).

Um material com  $\alpha$  grande responde rapidamente às mudanças nas condições térmicas a ele impostas, enquanto que um material com  $\alpha$  pequeno responde mais lentamente, levando mais tempo para atingir uma nova condição de equilíbrio (Incropera e DeWitt, 1998 ).

#### 2.2.1.4- Efusividade

A efusividade térmica é, essencialmente, a impedância térmica da amostra, ou seja, a habilidade que a amostra tem de trocar calor com o meio ambiente . Para a determinação dessa medida, pode-se utilizar uma célula fotoacústica de incidência traseira, uma configuração conhecida como célula fotoacústica aberta (OPC) (Marciano et al, 2004).

A efusividade térmica ( $\varepsilon$ ) expressa a capacidade de um material para absorver ou restituir um fluxo de calor. Esta propriedade caracteriza como facilmente o calor pode ser absorvido pela superfície do material e é determinada pela equação 2.5 (Corbella e Yannas, 2003):

$$\varepsilon = \sqrt{K \cdot \rho \cdot C_p} \quad (2.5)$$

Onde:

- $\varepsilon$  - Efusividade térmica do material ( $W/m^2.K$ )<sup>1/2</sup>;  
k - condutividade térmica do material ( $W/m.K$ )  
 $\rho$  - densidade do material ( $kg/m^3$ )  
 $c_p$  - calor específico do material ( $J/kg.K$ )

#### 2.3- Materiais de construção isolante térmico

De acordo com Insulation and refractories, (2013) há vários tipos de materiais sólidos que podem ser bons isolantes, isso depende da utilidade dada, a temperatura de trabalho, ao local de instalação, entre outros. O

---

isolamento pode ser classificado em três grupos de acordo com as gamas de temperatura para a qual são utilizados.

- Isolamentos de baixas temperatura (até 90 °C) - Esta gama abrangem materiais isolantes para frigoríficos, sistemas de água fria e quente, tanques de armazenamento entre outros. Os materiais mais usados são cortiça, madeira, 85% de magnésio, fibras minerais, poliuretano e poliestireno expandido, etc.
- Isolamentos de médias temperatura (90 °C – 325 °C) - Os Isolantes neste intervalo são usados em baixa temperatura de aquecimento e de vapor, inclui equipamentos para aquecimento, máquinas a vapor e outros. Os tipos de materiais utilizados nesta faixa de temperaturas incluem amianto, silicato de cálcio e fibras minerais, etc.
- Isolamentos de alta temperatura (325 °C - acima) - O uso típico de tais materiais são: sistema de vapor super aquecido, secador de forno e fornos. Os materiais mais usados extensivamente nesta gama são amianto, silicato de cálcio e fibra mineral, Mica e Vermiculita para isolamento, argilas refratárias ou à base de sílica também para isolamento e fibra cerâmica.

Os materiais de isolamento também podem ser classificados quanto ao tipo: orgânicos e inorgânicos.

➤ Isolamentos orgânicos são aqueles que utilizam materiais à base de polímeros (hidrocarbonetos), que podem ser expandidos para se obter estruturas de vácuo elevado. Exemplo:

- Poliestireno expandido - Isopor: Polímero mais utilizado como isolante térmico, é um produto termoplástico de origem sintética com grande quantidade de bolhas de ar em seu interior (possui estrutura de células fechadas e é obtido pela expansão do estireno polimerizado por intermédio de um gás que se dilata quando aquecido). Estes são usados principalmente como isolantes frios, para tubulação e construção de armazenamento a frio, são produzidos nas formas de placas de várias espessuras, blocos maciços ou vazados, meia cana, segmentos, perfis, recipientes granulados, etc. Aplicado em pisos flutuantes, sanduíches em painéis para paredes divisórias, decoração, forros, isolamento

---

acústico e isolamento térmico e como formas de estruturas nervuradas (Pazini et al, 2013).

- Borracha de nitrilo expandido: Este é um material flexível, que forma uma célula fechada com uma barreira de vapor integrada. Originalmente desenvolvido para o controle de condensação na tubulação de refrigeração e linhas de água gelada, hoje em dia, também é usada para isolamento de condutas de ar condicionado (Insulation and refractories).

➤ Isolamento inorgânico baseia-se em materiais siliciosos/aluminosos/cálcio em formas fibrosas, granulares ou em pó. Exemplos:

- Lã mineral de Rocha: Este material é composto de fibras originadas de basalto aglomerado com resina sintética. A lã de rocha pode ser aplicada em forros, divisórias, em dutos de ar condicionados, em tubulações com baixas, médias e altas temperaturas de 50°C a 750°C. Está disponível numa gama de formas de baixo peso laminados para placas rígidas pesados, incluindo seções de tubo pré-formadas. Além de boas propriedades de isolamento térmico, pode também proporcionar um isolamento sonoro e é retardador de chama (Isar, 2013).
- Lã mineral de vidro: Material mundialmente reconhecida como um dos melhores isolantes térmicos. É um componente formado a partir de sílica e sódio aglomerados por resinas sintéticas em alto forno. Estes materiais estão disponíveis em formas flexíveis, placas rígidas e seções de trabalho pré-formados de tubos. Também podem ser utilizados para isolamento acústico (Isar, 2013)
- Silicato de cálcio: É o material ideal para aplicações em tubulações e equipamentos (Fig. 2.1), em altas temperaturas, por sua leveza, resistência mecânica, mínima perda de calor, insolubilidade e alta resistência estrutural. É obtido através da sílica diatomácea, óxido de cálcio e fibras (Isar, 2013).



Silicato de Cálcio

Lã mineral de vidro

Figura 2.1- Materiais isolantes para construção (INSULATION AND REFRACTORIES, 2013)

### 2.3.1- Benefícios do material de construção isolante térmico

Segundo AL-HOMOUD, (2005) há muitas vantagens para a utilização de materiais de construção para isolamento térmico, segue abaixo as principais:

1. Uma questão de princípio: reduz a dependência / mecânica de sistemas elétrico, portanto, conserva a energia que está associada recursos naturais.

2. Benefícios econômicos: Se tratando de um isolante para construção civil, esse tem um custo de apenas 5% da obra, que resultará em poupança de energia que irá levar a:

- Disponibilizando energia para os outros.
- Diminuiu os custos do cliente.
- Menos interrupções de serviços de energia (melhor serviço).
- Redução do custo de instalação de novas usinas geradoras de energia necessárias para responder à procura crescente de energia elétrica.
- Uma extensão da vida dos recursos energéticos finitos.
- Conservação dos recursos para as gerações futuras.

3. Benefícios ambientais: reduz os poluentes emitidos, que estão associados à dependência de meios mecânicos.

4. Proteção contra incêndio: Se o material de isolamento adequado é selecionado e instalado corretamente, pode ajudar a retardar o calor e evitar a imigração de chama para a construção em caso de incêndio.

## 2.4 - Silicato de Cálcio

Silicatos de cálcio são compostos do sistema  $\text{CaO-SiO}_2$ , incluindo wollastonita, que é gerado na natureza a partir da mistura de calcário e sílica, principalmente por processos de sedimentos hidrotermais.

Podem ser obtidos através da reação no estado sólido, a partir de diferentes resíduos gerados nas atividades de diferentes setores. Desde que se tenham materiais que sejam fontes de cálcio e sílica (Felipe-Sesé et al., 2011). A Figura 2.2 mostra um digrama de fase obtido por fontes puras de sílica e cal.

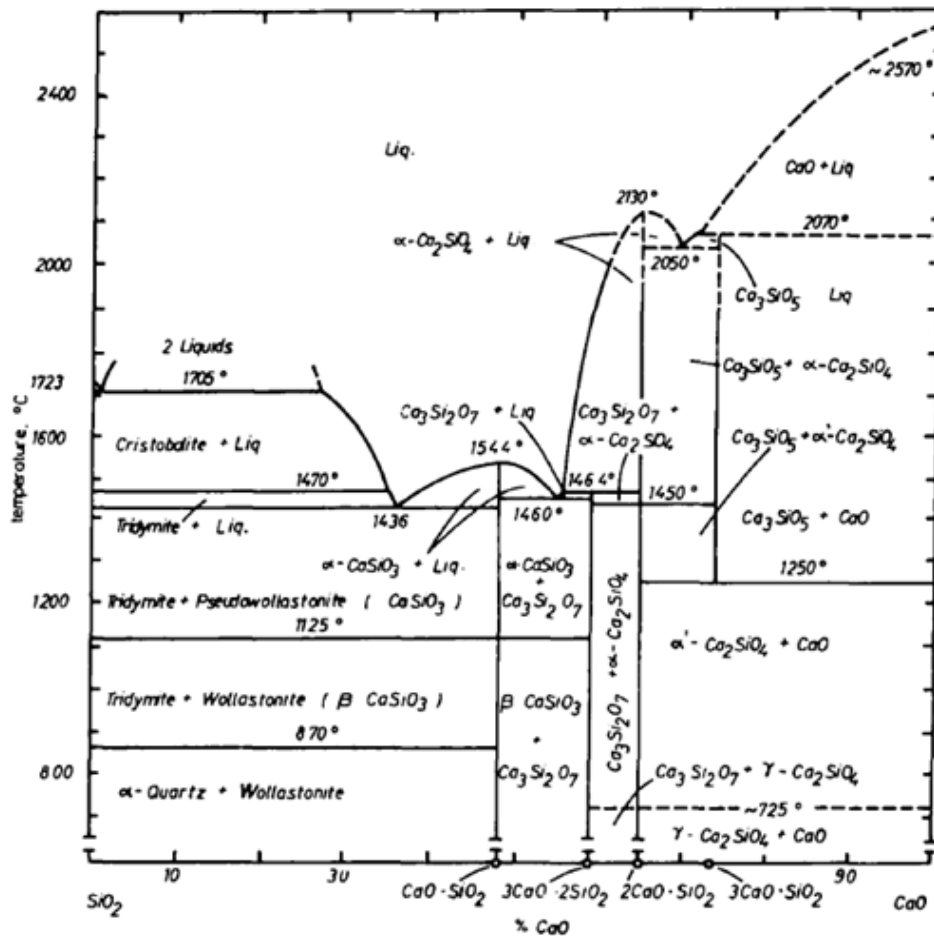


Figura 2.2- Diagrama de fase pro sistema  $\text{CaO-SiO}_2$  (KOTSIS & BALOGH, 1989).

### 2.4.1- Fontes de matéria-prima na produção de silicato de cálcio para isolamentos térmicos.

Segundo KAPUR, (1980) a cinza de casca de arroz, é um material de resíduos agrícolas, que está disponível em grandes quantidades nos países

produtores de arroz. Esta cinza é altamente porosa, tem como constituinte principal a sílica e possui propriedades de isolamento térmico e refratário. É, portanto, um material de partida atrativo e de baixo custo, podendo ser utilizado como isolantes térmicos para secadoras, fornos, lareiras e fornos. O vínculo mais comum empregado para este material é o óxido de cálcio (cal) de 2 a 4%, juntamente com melaço ou sulfito de soda cáustica (KAPUR,1980). A Figura 2.3, mostra as propriedades típicas da cal ligadas a cinza de casca de arroz.

Bulk density, g/cm <sup>3</sup>	0.72	—	0.76
Apparent porosity, %	66	—	68
Compressive strength, kg/cm <sup>2</sup>	14	—	16
Refractoriness, °C	1550	—	1600
Thermal conductivity at 800°C, kcal/m/hr/°C	0.21	—	0.25
Maximum working temper. °C	1250	—	1350

Figura 2.3: Propriedades típicas da cal ligadas a cinza de casca de arroz (KAPUR, 1980).

Um estudo realizado por Al- Tayyib (1990) teve como objetivo avaliar a adequação da matéria-prima disponível localmente a partir de materiais de construção, em particular areia, para a produção de silicato de cálcio como isolante térmico. Um total de seis amostras de areia foi recolhido de diferentes áreas do Oriente, como fonte de sílica. E como fonte de óxido de cálcio Al-Tayyib (1990) utilizou uma cal hidratada de grau comercial e como reforço foi utilizado fibra de amianto.

Al-Tayyib, (1990) a partir dos seus resultados chegou as seguintes conclusões : A densidade mínima de massa e força de flexão máxima é obtido quando as partículas de areia é inferior a 10 µm e 55 % em peso, a 2 moles de CaO – SiO<sub>2</sub> , esta proporção está na gama de 0,9-1,2. O SiO<sub>2</sub> conteúdo da areia não parece afetar a densidade da CSTI (silicato de cálcio isolante térmico) significativamente, mas interfere no fato de dobrar a força flexão. A resistência à flexão da CSTI aumenta com o aumento teor de sílica. A exigência de força na ASTM C-656 para esse material só foi atendida por areia S-6 com 98,2 % em peso de SiO<sub>2</sub>. A adição de 10,7 % em peso de fibra de

---

amianto melhora a dobragem força de 15 a 30%, mas produz um produto mais pesado. O aumento densidade foi encontrado para estar na gama de 5 a 25%.

Felipe-Sesé (2011) realizou um estudo com diferentes fontes de sílica e de óxido de cálcio, para uma possível obtenção de silicato de cálcio para isolamento térmico. Em seu primeiro experimento ele utilizou pó de mármore – material constituído essencialmente por carbonato de cálcio, que alta temperatura libera  $\text{CO}_2$ , tornando-se uma excelente fonte de  $\text{CaO}$  – e cinzas de biomassa rica em óxidos, principalmente sílica ( $\text{SiO}_2$ ).

No segundo experimento Felipe-Sesé (2011) utilizou chamote – apresentam alto teor sílica em sua composição – e casca de mexilhão, rica em carbonato de cálcio.

Em seu terceiro experimento Felipe-Sesé (2011) foi estudada a reação entre as cinzas de biomassa já utilizadas no experimento anterior (fonte de sílica) com óxido de cálcio comercial em solução aquosa.

A partir dos resultados obtidos nas análises feitas por Felipe-Sesé (2011), ele pôde concluir que é possível obter silicatos de cálcio, com materiais de diferentes resíduos, para a sua utilização como isolante térmico. Sendo a utilização desses resíduos uma interessante e rentável alternativa. As principais fases obtidas foram gehlenita, larnita e volastonita, embora a proporção de cada um destes dependesse sobre os reagentes utilizados como matérias-primas. Em seu experimento envolvendo casca de mexilhão e chamote, Felipe-Sesé (2011) concluiu que o silicato de cálcio sintetizado também apresentou quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e pequenas quantidades de ferrobustamita  $[(\text{Ca},\text{Fe},\text{Mn})_3\text{Si}_3\text{O}_9]$  devido a utilização do chamote, Figura 2.4 (Felipe-sesé, 2011). Além das fases principais já descritas acima, os silicatos sintetizado e formado para uso como material de construção apresentou valores de densidade entre 1700 e 2100  $\text{kg/m}^3$ , como mostra a Tabela 2.2. As amostras sintetizadas utilizando cinza de biomassa e de cálcio comercial hidróxido como reagentes tinham menor densidade e os valores mais baixos para a condutividade térmica, e proporcionou um melhor isolamento térmico, mas a sua resistência à compressão era inferior. A partir dos resultados obtidos, conclui que o valor de condutividade dependerá tanto no tipo de porosidade e o tamanho dos poros. As amostras sintetizadas utilizando cinza de biomassa e hidróxido de cálcio comercial mostrou um valor maior de porosidade aberta e



porosidade interligada. Estas amostras também tinham um tamanho de poro menor. Todos os materiais sintetizados ficaram dentro da norma UNE para uso como material de construção para isolamento térmico de baixa temperatura, o que poderá contribuir para a poupança de energia consideráveis nos edifícios construídos a partir destes materiais.

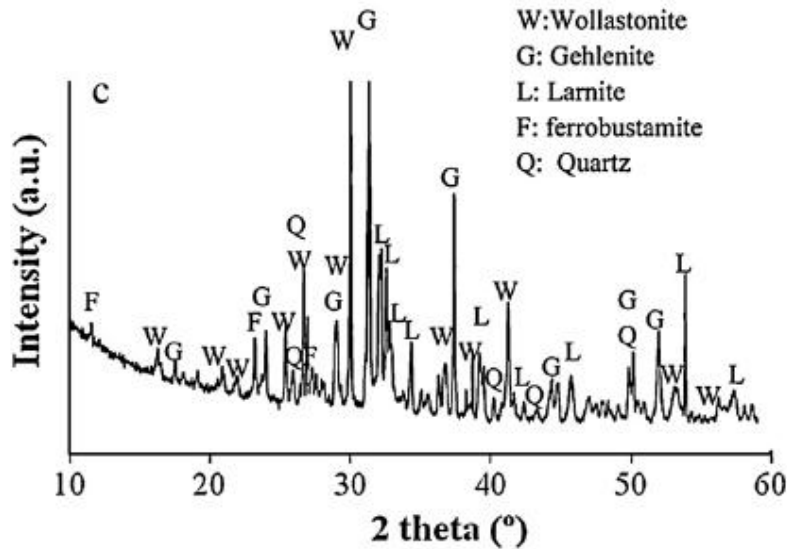


Figura 2.4- Difração de raio-X do silicato obtido utilizando como matéria-prima resíduo de Chamote e casca de mexilhão (Felipe- Sesé, 2011).

Tabela 2.2- A densidade aparente, densidade absoluta e condutividade térmica das amostras preparadas por mistura e sinterização a 1100 °C usando diferentes resíduos CaO-SiO<sub>2</sub>, razão molar de 1:1 (Felipe- Sesé, 2011).

Amostra	Cinzas – Mármore	Cinzas- CaO	Chamote- Casca de mexilhão
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2.05± 0.04	1.70 ± 0.01	1.95 ± 0.02
Densidade absoluta (Kg/m <sup>3</sup> )	2120± 51	1970 ± 32	2030 ± 71
Condutividade térmica (W/mK)	0.18	0.10	0.12

### 2.4.2 - Aplicações do silicato de cálcio na indústria

De acordo com Thompson e colaboradores, (2012) o silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ), tem muitos e variados usos industriais, incluindo a substituição do amianto, plásticos, cerâmica, metalurgia, pintura, papel e produtos de fricção.

Segundo Felipe-Sesé et al., 2011 o silicato de cálcio é de grande interesse, pois tem múltiplas aplicações, as quais se incluem:

- produção de cerâmica para isolamentos térmicos - Figura 2.5;
- aditivos na fabricação de polímeros, como resinas e plásticos (poliéster, nylon, polivinilo ou polipropileno) ;
- melhora as propriedades de resistência e durabilidade na indústria de cimento;
- fabricação de porcelanas dielétricas;
- nos esmaltes reduzem os pontos de fusão e deixa com maior brilho;
- na indústria siderúrgica como fluxo de revestimento;
- na composição de materiais cerâmicos bioativos, como biovidros ;
- em tintas;
- como um material de reforço para melhorar as propriedades físicas, químicas e elétricas do produto acabado ;
- substituição óssea.



Figura 2.5- Material de silicato de cálcio, isolante térmico, ideal para tubulações (Isar –Isolamentos térmicos e acústicos).

---

Segundo a Neotérmica, (2012) o silicato de cálcio é um excelente material para aplicações em tubulações e equipamentos, em altas temperaturas, por sua leveza, resistência mecânica, mínima perda de calor, insolubilidade e alta resistência estrutural, tendo como principais características e vantagens:

- Altas propriedades mecânicas – bastante rígido.
- Excelente desempenho térmico - reduz os custos de operação devido à substancial economia de energia, além de proporcionar melhor controle das temperaturas de processo.
- Totalmente isento de amianto- está em conformidade com as exigências de segurança internacionais.
- Inércia Química - não ataca o aço inoxidável nem acelera sua corrosão.
- Resistência ao fogo- é incombustível, provendo elevada segurança ao aplicador e a indústria.
- Instalação Simples- é fornecido em uma grande variedade de formas e dimensões, podendo ser cortado facilmente, aumentando sua velocidade de instalação.

Como já vimos o silicato de cálcio é um dos materiais adequados para isolamento térmico. Segundo Al-Tayyib et al. (2009) o silicato de cálcio isolante térmico (CSTI) tem várias aplicações industriais tal como na fabricação de fornos e secadores para temperaturas até 650 °C, e em aplicações à prova de fogo. Também pode ser utilizado na fabricação de telhas e tubo para sistemas de refrigeração de ar.

## **2.5- Resíduos**

O homem, ao longo de sua existência, sempre utilizou os recursos naturais do planeta e gerou resíduos com pouca ou nenhuma preocupação, já que os recursos eram abundantes e a natureza aceitava passivamente os despejos realizado (Casagrande et al., 2008).

A demanda contínua por maiores índices de produtividade na economia mundial levou ao rápido decréscimo dos recursos naturais e ao mesmo tempo, à geração de grandes quantidades de resíduos e sub-produtos, a maioria deles

---

não reciclados diretamente. Nos últimos anos diferentes setores industriais têm sido mencionados como fonte de contaminação e poluição do meio ambiente, devido às enormes quantidades de resíduos produzidos (Menezes et al., 2007).

No Brasil com as novas leis de proteção ao ambiente, e a crescente e progressiva implantação de novas e exigentes diretrizes na gestão de resíduos para indústrias, faz-se necessário com que estas desenvolvam métodos alternativos e eficazes em substituição ao simples descarte desses em aterros sanitários (MOREIRA et al., 2001).

### 2.5.1- Classificação dos resíduos

Segundo a norma NBR 10004 (ABNT, 2004) os resíduos sólidos podem ser definidos como resíduos nos estados sólido ou semi-sólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Os resíduos sólidos podem ser classificados quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, como mostra a Figura 2.6. Dessa forma são classificados em:

- **Resíduos classe I** – resíduos perigosos: aqueles que, em função das suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente ou apresentem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- **Resíduos classe II A** – resíduos não inertes: são aqueles que não apresentam periculosidade, mas apresentam características tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
- **Resíduos classe II B** – resíduos inertes: são aqueles que, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, executando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

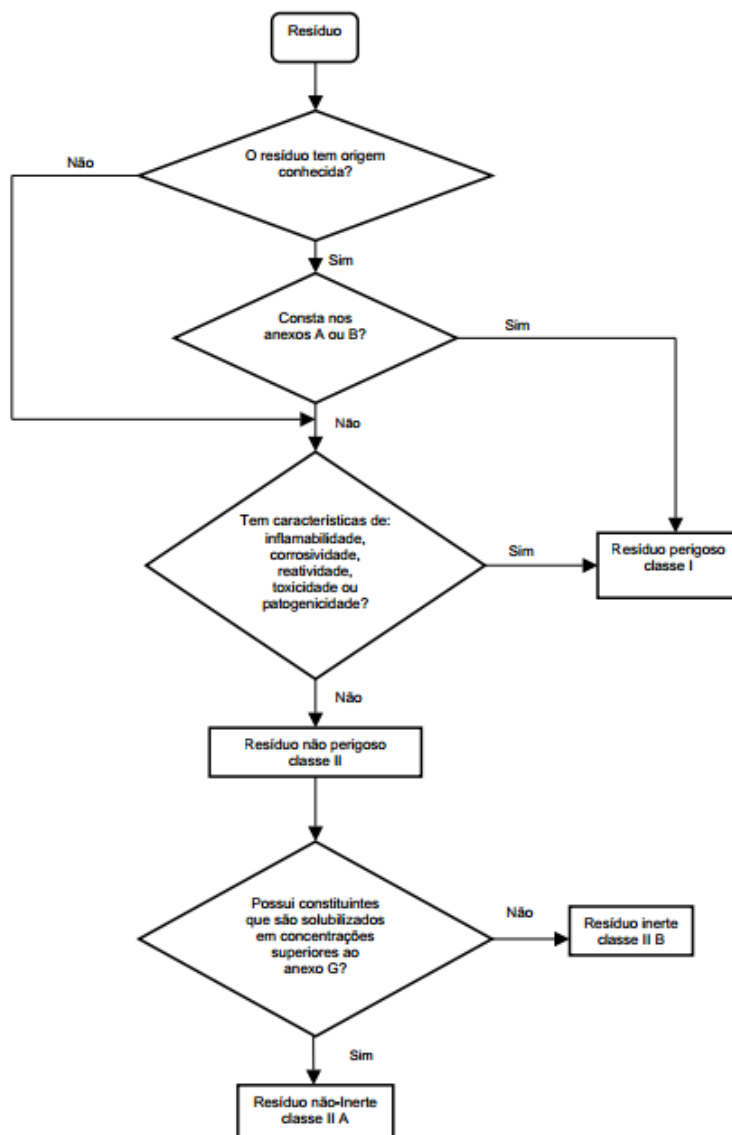


Figura 2.6 – Caracterização e classificação de resíduos (Gaia ambiental, 2014).

### 2.5.2- Reaproveitamento de resíduos na indústria

Com o crescente aumento da concorrência e das preocupações com a melhoria da qualidade do meio ambiente, as indústrias vêm buscando alternativas de diminuir os custos visando à redução dos impactos ambientais e o aumento da credibilidade perante o mercado consumidor (Fernandes et al., 2003). Alternativas de reciclagem e/ou reutilização devem ser investigadas e, sempre que possível, implementadas. A abordagem ambiental mais recente objetiva obter o desenvolvimento sustentável, minimizando o descarte de materiais, estimulando o reaproveitamento dos resíduos gerados nos diversos setores da economia (Menezes et al., 2007).

---

As empresas estão se conscientizando de que a geração de resíduos está associada a custos, já que requer seu tratamento e/ou disposição adequados. A tendência é atuar preventivamente, alterando o processo produtivo e usando tecnologias mais limpas (Fernandes et al., 2003).

A utilização dos resíduos pelas indústrias cerâmicas pode ser viável pela substituição de uma ou mais matérias-primas da composição original por resíduo, mantendo-se o processo de produção igual ao convencionalmente utilizado, a fim de que as propriedades do produto sejam reproduzidas (Casagrande et al., 2008). Sendo essa uma iniciativa importante e necessária, que poderá contribuir para a diversificação de produtos, diminuição dos custos de produção, conservação de recursos não renováveis, economia de energia e, principalmente, melhoria da saúde da população, (Menezes et al., 2007).

## **2.7- Chamote**

O município de Campos dos Goytacazes, localizado na região norte do Estado do Rio de Janeiro, apresenta uma grande reserva de argilas, que motivou o desenvolvimento de um pólo de cerâmica vermelha, que produz cerca de 90 mil toneladas / mês de peças, sendo responsável por aproximadamente 40% da produção fluminense, com cerca de 70 milhões de unidades / mês de tijolo perfurado (Vieira et al., 2007).

Os tijolos são normalmente queimados em temperaturas por volta de 600°C em um forno do tipo Hoffmann, usando lenha como combustível. Peças defeituosas provenientes dessa etapa de queima da cerâmica vermelha podem eventualmente retornar ao processo, após trituração em moinhos de martelo ou de bolas, gerando um resíduo cerâmico conhecido como chamote (Vieira et al., 2009). Cerca de 900 toneladas de resíduos de tijolos são geradas a cada mês pelas indústrias local (Vieira et al., 2007). A Fig. 2.7 mostra os resíduos de tijolos de uma indústria típica em Campos dos Goytacazes.



Figura 2.7- Resíduos de tijolos (chamote) gerados por uma indústria de Campos dos Goytacazes, Brasil (Vieira et al., 2007).

### 2.7.1- Características do resíduo de chamote

A composição química do chamote depende da argila que o originou. Chamote oriundo de argila caulinítica, por exemplo, apresenta geralmente teores relativamente elevados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e baixos teores de óxidos fundentes (Vieira et al., 2004). Como pode ser mostrado na Tabela 2.3, o chamote é rico em sílica ( $\text{SiO}_2$ ), um importante componente para a obtenção do silicato de cálcio.

Tabela 2.3- composição química do chamote estudada por diversos autores.

Trabalhos Científicos	Composição (% em peso)								
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	Outros
Vieira et al., 2004	55,98	25,36	9,57	1,32	2,24	0,64	0,37	0,97	3,55
Melo et al., 2006	52,79	26,57	7,55	0,51	3,65	3,00	1,70	2,94	1,29
Casagrande et al., 2008	69,4	17,1	3,5	0,7	3,3	0,8	0,9	2,7	1,6

Gouveia, 2008	64,06	17,62	10,89	1,67	1,23	0,17	0,61	0,77	2,98
------------------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------

Segundo Vieira e Monteiro, 2007 o difratograma mostrado na Fig. 2.8, pôde confirmar a presença de sílica no resíduo de chamote, esta que aparece em forma de quartzo.

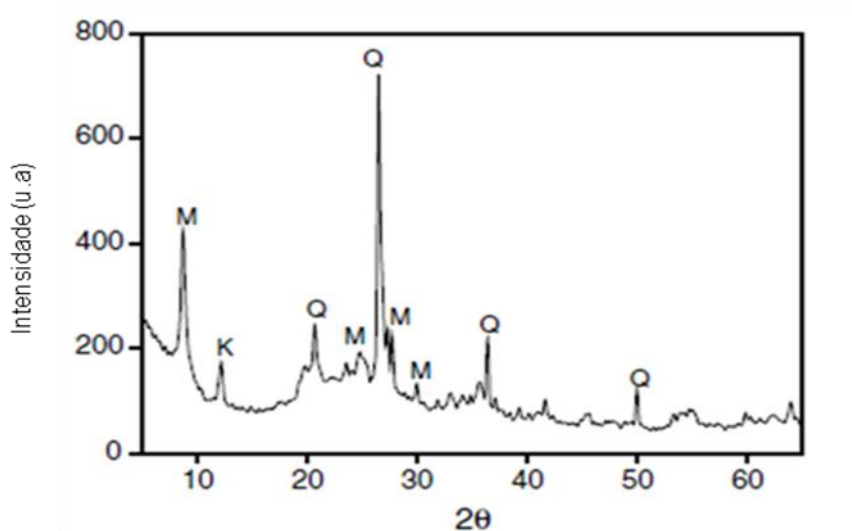


Figura 2.8- Difratograma de raios-X do resíduo de chamote. K- Caulinita; Q- Quartzo; M –mica muscovita (Vieira e Monteiro, 2007).

A distribuição do tamanho de partículas do resíduo de chamote é apresentada na Figura 2.9. Os resultados indicam que a amostra de resíduo de chamote é constituída por 64 % de partículas na fração areia ( $\text{SiO}_2$ ). Portanto, destaca-se mais uma vez a presença de sílica em sua composição (Vieira et al, 2007).

Vieira e colaboradores, (2004) em sua pesquisa com o resíduo de chamote originado de uma argila caulinítica, pode observar na micrografia por um microscópio eletrônico de varredura, um agregado poroso de partículas, além de pequenas partículas de morfologia pseudo-hexagonal, como mostra figura 2.10.



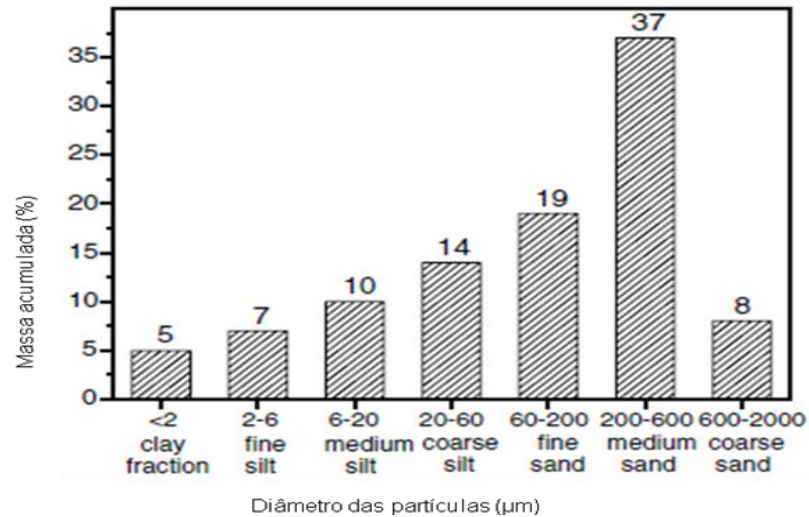


Figura 2.9- Distribuição de tamanho de partículas do resíduo de chamote (Vieira et al, 2007).

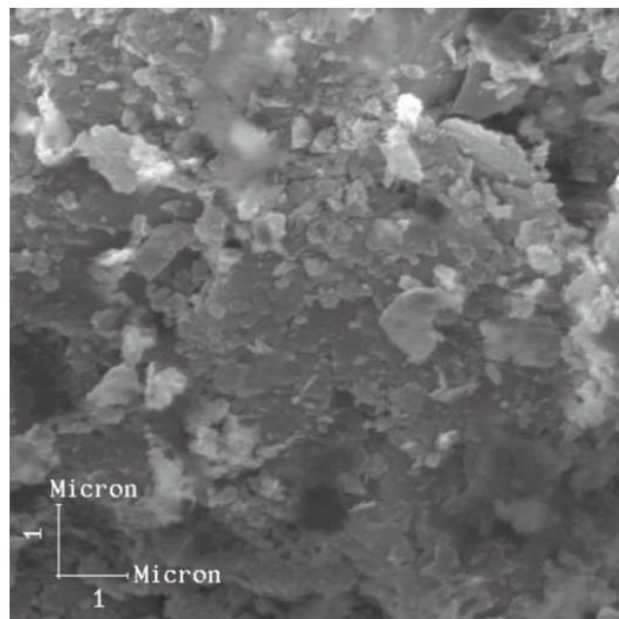


Figura 2.10- Micrografias obtidas por MEV das partículas de chamote (Vieira et al, 2004)

Considerando-se que a disposição de resíduos como o chamote em aterros, lixões ou diretamente nas vias causa um impacto ambiental negativo, seu reaproveitamento é bastante adequado, pois minimiza este impacto; além disto, há economia de matéria prima, com a geração de um processo mais sustentável na indústria cerâmica (Gouveia e Sposto, 2009).

## 2.8- Casca de ovo

O ovo é muito consumido no mundo inteiro, por ser um alimento altamente nutritivo, de fácil preparo e relativamente barato (Oliveira et al., 2009). Segundo Olivera et al (2009) a produção mundial é 59,2 milhões de toneladas por ano, como a casca pesa 10 % do peso total do ovo, podemos concluir que são gerados aproximadamente 5,92 milhões de toneladas de resíduos por ano em todo o mundo. Os principais produtores deste resíduo são os países subdesenvolvidos, sendo o maior produtor a China .

Segundo Freire et al., 2006 no Brasil são geradas aproximadamente 120.000 toneladas por ano de casca de ovo. Sendo o estado de São Paulo o maior produtor de ovos, com quase 36% da produção nacional - Figura 2.11 (UBA). Geralmente todo esse resíduo é descartado no meio ambiente, sem a menor preocupação, causando problemas ambientais e de saúde pública.

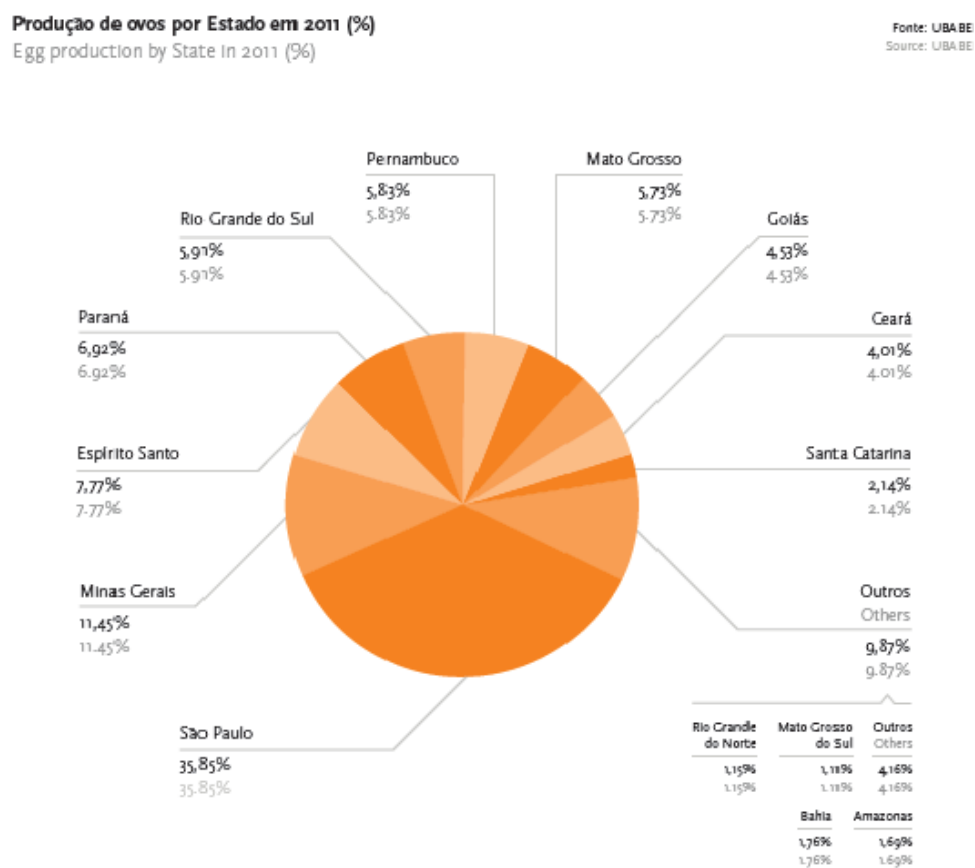


Figura 2.11- Produção de ovos por estado em 2011 (%) (UBA- União Brasileira de avicultura).

---

A casca de ovo ainda é um resíduo pouco valorizado, mas que representa um valor econômico expressivo, porém alguns aspectos ambientais devem ser considerados na valorização da mesma por conter um teor considerável de proteínas, sais minerais e pelo seu uso servir como fonte alternativa de  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de cálcio) podendo diminuir o impacto sobre as reservas naturais de rocha calcária, uma fonte natural não-renovável, além de diminuir o problema de poluição, que conseqüentemente minimiza problemas de saúde pública, quando estas são descartadas de maneira indevida no meio ambiente (Oliveira & Pardo, 2007). Reduzindo também o volume de lixo e a necessidade de locais para sua deposição, uma vez que a maioria das cidades brasileiras dispõe seus resíduos em “lixões” (Freire et al., 2008).

A casca de ovo vem sendo utilizada como base para desenvolvimento de produtos na indústria cosmética, suplementos alimentares, bases biocerâmicas, fertilizantes, implantes ósseos e dentários e como agente antitártaro em cremes dentais (Murakami, 2007).

A casca de ovo ainda é um resíduo pouco valorizado, mas que representa um valor econômico expressivo, porém alguns aspectos ambientais devem ser considerados na valorização da mesma por conter um teor considerável de proteínas, sais minerais e pelo seu uso servir como fonte alternativa de  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de cálcio) podendo diminuir o impacto sobre as reservas naturais de rocha calcária, uma fonte natural não-renovável, além de diminuir o problema de poluição, que conseqüentemente minimiza problemas de saúde pública, quando estas são descartadas de maneira indevida no meio ambiente. (Oliveira & Pardo, 2007). Reduzindo também o volume de lixo e a necessidade de locais para sua deposição, uma vez que a maioria das cidades brasileiras dispõe seus resíduos em “lixões” (Freire et al., 2008).

A casca de ovo vem sendo utilizada como base para desenvolvimento de produtos na indústria cosmética, suplementos alimentares, bases biocerâmicas, fertilizantes, implantes ósseos e dentários e como agente antitártaro em cremes dentais (Murakami, 2007).

### 2.8.1- Características do resíduo de casca de ovo

Segundo os autores descritos na Tabela 2.4, a casca do ovo é composta basicamente por:

Tabela 2.4- Composição química da casca de ovo.

Autor	carbonato de cálcio	carbonato de magnésio	fosfato de cálcio	substâncias orgânicas
Neves, 1998	96%	1%	1%	—
Brostow et al, 1999	94%	1%	1%	4%
Freire et al., 2008	95%	—	—	5%

Freire et al., (2006) ao realizar um estudo sobre a casca de ovo notou através da Figura 2.12, que este resíduo é predominantemente constituído de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), componente essencial na formulação do silicato de cálcio.

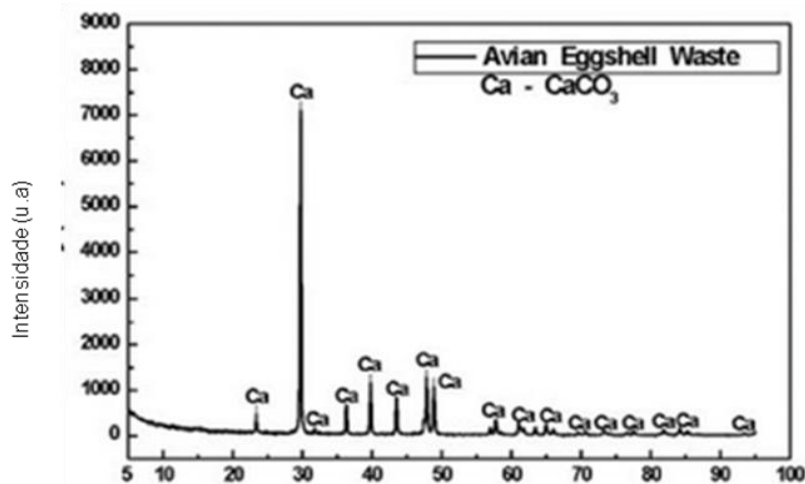


Figura 2.12- Difratograma de raios X da amostra de resíduos de casca de ovo (Freire et al., 2006).

Vale lembrar que  $\text{CaCO}_3$  é uma importante fonte de óxido de cálcio, componente essencial para se obter o silicato de cálcio, pois em temperaturas

elevadas, entre 800 °C a 900 °C, as partículas de carbonato de cálcio se decompõem em óxido de cálcio (CaO) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>), segundo a reação (Melchiades et al., 2001):



A tabela 2.5 mostra que a casca de ovo teve uma perda de massa equivalente a 46,6 %, que é referente ao CO<sub>2</sub> e matéria orgânica liberados na decomposição do CaCO<sub>3</sub> (Freire et al, 2006).

Tabela 2.5- Análise térmica da casca de ovo (Freire et. al, 2006).

Evento Térmico	DTA (°C)	Perda de massa TG (%)
Endotérmico	51,0	1,2
Exotérmico	324,0	5,2
Endotérmico	765,3	40,2

A Figura 2.13, apresenta aspectos morfológicos das partículas da amostra resíduo de casca de ovo, realizadas por um microscópio eletrônico de varredura são. Observa-se que as partículas de casca de ovo têm forma irregular, o que é resultante do processo de trituração usada.

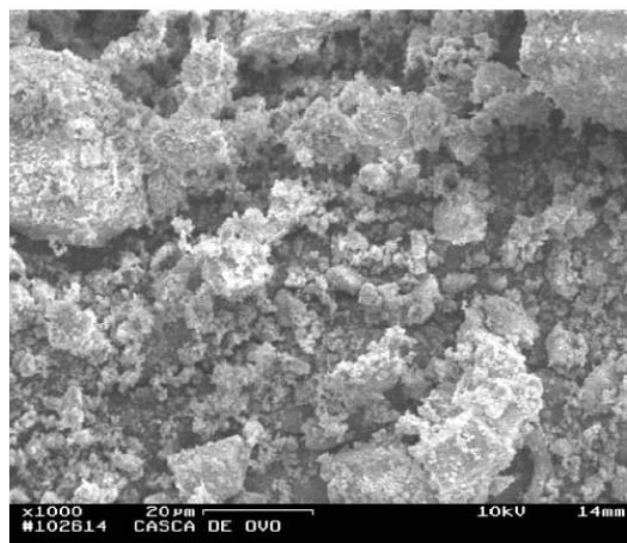


Figura 2.13- Visão geral da amostra de resíduo de casca de ovo (Freire, 2006).

Levando em consideração os resultados obtidos acima podemos considerar a casca de ovo como importante fonte de CaO e uma excelente alternativa para a reutilização de materiais e resíduos práticos de reciclagem, consequentemente minimizando os problemas de saúde pública, quando estas são descartadas de maneira indevida no meio ambiente. (Oliveira & Pardo, 2007).

### **2.9- Considerações ambientais**

Segundo Grigoletti et al., a produção de materiais de construção pode gerar impactos ambientais desde a etapa de extração de matéria-prima até a etapa final do processamento, Fig. 2.14, dentre eles destaca-se:

- degradação das áreas de extração da matéria-prima;
- excesso de consumo de energia na produção;
- emissões de gases poluentes e
- geração de resíduos sólidos.

Atividade	Aspectos	Impacto	Aplicação Significância
Extração da argila	Erosão	Perda da camada superficial do solo	Não aplicável diretamente à empresa quando a argila é fornecida por terceiros
	Emissão de particulados	Alteração da qualidade do ar	Verificar licenciamento ambiental do fornecedor
	Produção de rejeitos	Assoreamento de recursos hídricos	Aplicável em caso de exploração da própria lavra. Necessário licenciamento ambiental
		Redução da biodiversidade por retirada da vegetação	
Diminuição da vazão de nascentes			
Modificação da paisagem			
Transporte	Emissão de gases do veículo	Poluição pela alteração da qualidade do ar	Significativo e aplicável e de responsabilidade da indústria cerâmica, quando da compra da argila na lavra
Sazonamento	Emissão de particulados	Alteração da qualidade do ar	Não significativo
Retirada do sazonalamento e colocação no caixão alimentador	Emissão de particulados	Alteração da qualidade do ar	Significativo
<b>Preparo do Pré-produto</b>			
Uso de água no preparo do pré-produto	Desperdício de água		Não significativo
Retorno do pré-produto à moldagem	Desperdício de energia		Não significativo
<b>Secagem natural e artificial</b>			
Transporte		Não significativo	
<b>Queima ( pré-aquecimento, queima e resfriamento )</b>			
Pré-aquecimento e queima	Emissão gasosa	Alteração da qualidade do ar	Significativo
	Uso da lenha	Redução da biodiversidade com o uso lenha nativa	Aplicável ao comprador de lenha - verificação de documento emitido pelo órgão ambiental que autoriza retirada de madeira nativa, quando for o caso
Deposição da cinza no meio ambiente	Poluição de recursos hídricos por disposição de cinzas	Alteração da qualidade da água	Significativo dependendo da quantidade de cinza

Figura 2.14- Aspectos e impactos no processo de produção de blocos cerâmicos (Spoto, Tomé e Blumenschein, 2007, p.23)

De acordo com a resolução CONAMA 001/86 define-se impacto ambiental como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais.”

## Capítulo 3- Materiais e Métodos

A seguir serão descritos os materiais e métodos empregados nesse projeto de dissertação de mestrado, que envolve diversas etapas relacionadas tanto com as matérias-primas, quanto com o processamento e ensaios utilizados. A Figura 3.1 apresenta o fluxograma experimental a ser desenvolvido na presente dissertação.

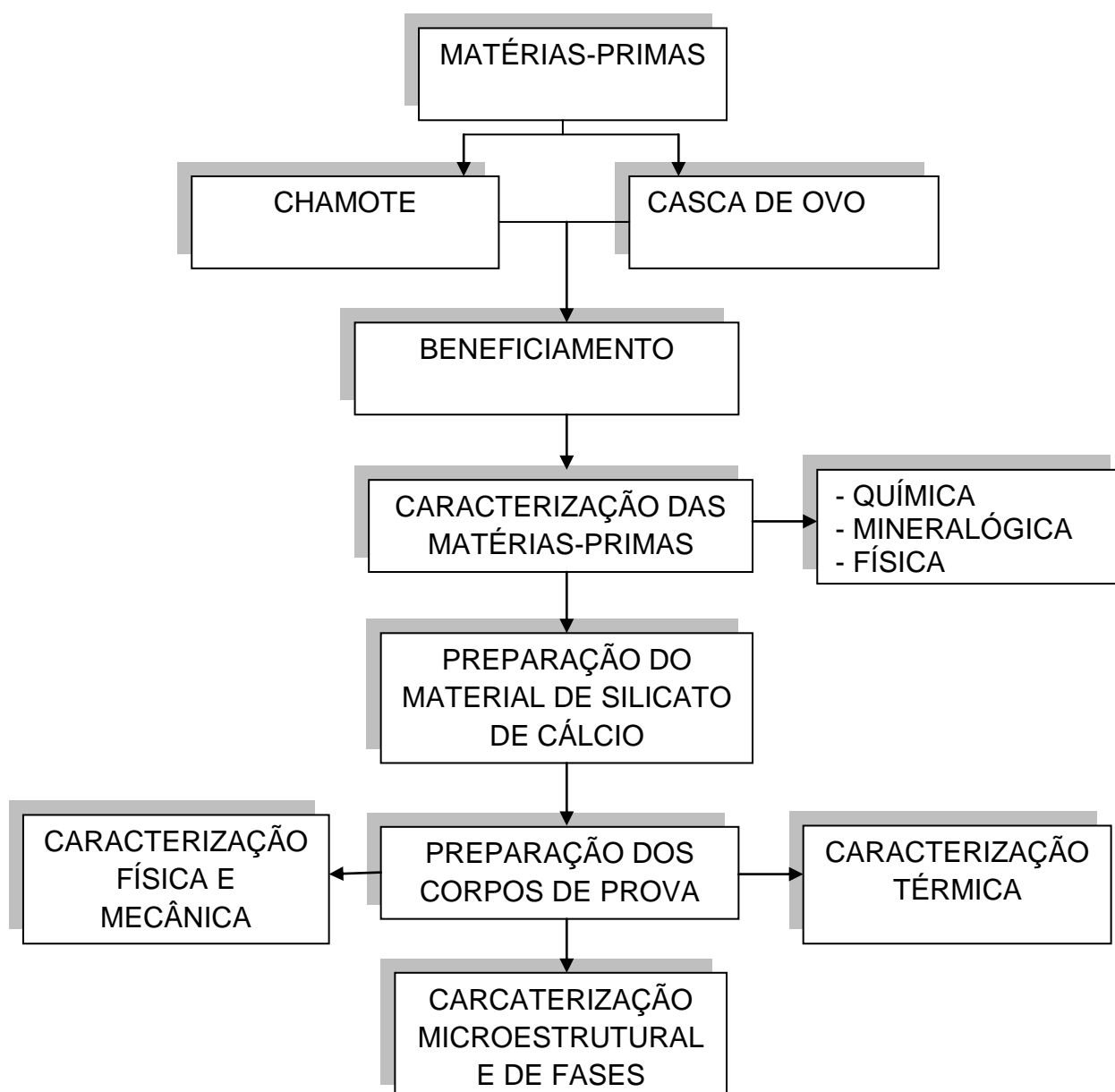


Figura 3.1 - Fluxograma das etapas envolvidas nesse projeto.



### 3.1- Materiais

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram: resíduo de cerâmica vermelha (resíduo chamote), mostrado na Figura 3.2, e resíduo de casca de ovo (Figura 3.3) gerados no setor produtivo da região de Campos dos Goytacazes-RJ.



Figura 3.2 – Resíduo de chamote gerado na indústria de cerâmica vermelha da região de Campos dos Goytacazes-RJ.



Figura 3.3 – Resíduo de casca de ovo gerados no setor produtivo da região de Campos dos Goytacazes-RJ.

## 3.2- Métodos

### 3.2.1- Beneficiamento das matérias primas

O resíduo sólido de chamote foi coletado e passou por um processo de cominuição via trituração em moinho de martelo. Em seguida, foi submetido à moagem em moinho de bolas Gardelin (Figura 3.4-a), com esferas de porcelana de diferentes diâmetros durante duas horas a fim de reduzir sua granulometria. Após o processo de cominuição, o resíduo de chamote foi secado durante 24 horas em estufa a 110 °C e depois passado na peneira de 150 mesh (106 µm ASTM), como mostra a Figura 3.4-b e Figura 3.5. A casca de ovo galináceo coletada também foi seca, moída e peneirada nas mesmas condições do resíduo de chamote. Porém parte do resíduo de casca de ovo já beneficiado passou por um processo de calcinação a 1000 °C durante 3 horas com uma taxa de aquecimento de 10 ° C por minuto (Figura 3.6). Ao final foram colocados, separadamente, ambos os resíduos em vasilhame fechado para sua posterior utilização, de modo a não absorver umidade do ar.



Figura 3.4- Equipamentos utilizados no beneficiamento das matérias-primas.

a) Moinho de bolas Gardelin; e b) Peneira de 150 mesh (106 µm).



Figura 3.5.- Chamote (150 mesh).

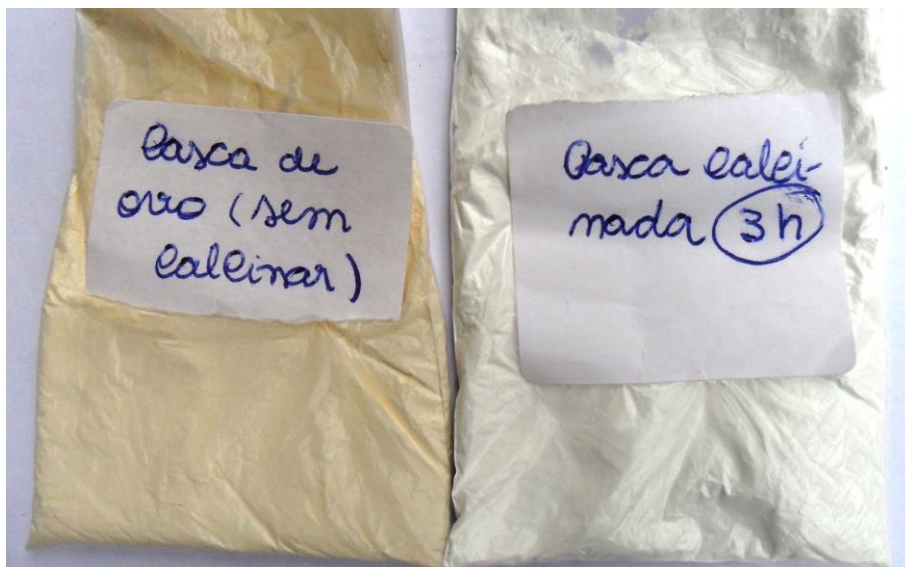


Figura 3.6 - Casca de ovo galináceo sem calcinar e calcinada (150 mesh).

### 3.2.2- Caracterização das matérias primas

As matérias-primas foram submetidas à caracterização física, química e mineralógica utilizando uma série de técnicas avançadas de caracterização de materiais como: difração de raios-X, fluorescência de raios-X, análise térmica diferencial, análise térmica gravimétrica, análise dilatométrica, análise granulométrica e análise morfológica.

### 3.2.2.1- Caracterização mineralógica

#### 3.2.2.1.1- Difração de raios-X

A análise mineralógica qualitativa dos minerais presentes, tanto no chamote quanto no resíduo de casca de ovo, foi realizada através de difração de raios-X (DRX), utilizando-se radiação monocromática de Cu-K $\alpha$  e varredura de 2 $\theta$  variando de 10° até 80°, em um difratômetro Shimadzu, modelo XRD-7000, com velocidade de 1,5°/min. As fases cristalinas foram identificadas por comparação entre as intensidades e as posições dos picos de Bragg com aqueles das fichas padrão JCPDS – Joint Comitee of Powder Diffraction Standards.

#### 3.2.2.1.2- Análises térmicas (ATD/ ATG/)

A análise térmica diferencial (ATD) e análise termogravimétrica (TG/DTG) dos resíduos foram realizadas em um analisador simultâneo ATG-ATD, marca Shimadzu, modelo DTG-60H. O ensaio foi realizado em temperatura ambiente até 1000 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min.

#### 3.2.2.2 - Caracterização química

A composição química das matérias-primas foi determinada utilizando um espectrômetro de fluorescência de raios-X, de energia dispersiva (EDX), da marca Shimadzu, modelo EDX 700, acoplado a um computador para o processamento de dados. A perda ao fogo das matérias-primas foi determinada de acordo com a expressão (3.1):

$$PF = \frac{M_s - M_c}{M_s} \times 100 \quad (3.1)$$

Onde:

PF- perda ao fogo (%);

M<sub>s</sub> - massa da amostra seca a 110 °C em estufa (g);

M<sub>c</sub> - massa da amostra calcinada a 1000 °C por 2 horas, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min em forno mufla, marca Maitec, modelo FL1300.

---

---

### 3.2.2.3- Caracterização física

#### 3.2.2.3.1 - Distribuição de tamanho de partículas e massa específica real

A análise granulométrica do resíduo foi determinada via processo combinado de peneiramento e sedimentação de acordo com procedimentos padronizados na norma NBR 7181 (ABNT, 1984). A massa específica real dos grãos foi determinada via picnometria de acordo com os procedimentos padronizados na norma NBR 6508.

#### 3.2.2.3.2 - Morfologia

A morfologia das partículas dos pós das matérias-primas utilizadas foi observada via microscopia confocal a laser (3D Measuring Laser Microscope, LEXT OLS4000).

As observações da microscopia eletrônica de varredura foram efetuadas utilizando-se um micrososcópio eletrônico de varredura marca Shimadzu, SSX-550 , após cobertura da amostra com uma fina camada de platina.

### 3.2.3 - Formulação e preparação do material de silicato de cálcio

Foram utilizados os resíduos de casca de ovo sem calcinar e calcinada, rica em óxido de cálcio (CaO) e chamote que é fonte de sílica (SiO<sub>2</sub>), ambos já beneficiados, os quais foram misturados em uma proporção molar de SiO<sub>2</sub>-CaO 1:1 (Felipe- Sesé, 2011). A etapa de mistura foi realizada a seco em um moinho de bolas durante 2 horas. Finalmente, a mistura foi sintetizada em um forno mufla, de laboratório, marca Maitec, modelo FL1300, com uma variação de 50 °C, em um intervalo de temperatura de 1000 °C - 1200 °C, durante 24 horas, com uma taxa de aquecimento de 20 °C/min, obtendo-se o silicato de cálcio através de reações de difusão no estado sólido em alta temperatura.

### 3.2.4- Preparação dos corpos de prova

Inicialmente, o material de silicato de cálcio produzido foi umedecido durante 20 minutos com 15 % de água em peso, para que tenha a plasticidade suficiente e ausência de defeitos, principalmente fissuras na fase posterior de moldagem por compressão. Em seguida foram preparados doze corpos de prova de silicato de cálcio, pra cada uma das cinco temperaturas utilizadas

neste trabalho, por prensagem uniaxial a 4,1 toneladas (Felipe-Sesé, 2011), na forma de pastilhas com diâmetro de 25 mm e altura de 10mm, em matriz de aço inoxidável com cavidade circular, em prensa hidráulica, marca Schwing Siwa, modelo PHMA. Após compactação, as peças de silicato de cálcio foram submetidas à secagem a 110 °C durante 24 horas. Finalmente, as amostras de teste foram curadas por imersão em água, a 5 minutos por dia durante 1 semana. Em seguida foram secadas em estufa a 110 °C durante 48 h.

### 3.2.5 - Ensaio físicos e mecânicos

#### 3.2.5.1 - Absorção de água

A absorção de água foi determinada de acordo com a norma NBR 10836 (ABNT, 1994). O valor de absorção de água é obtido por meio da expressão:

$$AA(\%) = \frac{(M_u - M_s)}{M_s} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Onde:

AA – absorção de água, em %;

Mu – massa do corpo cerâmico saturado em água, em gramas;

Ms – massa do corpo cerâmico seco, em gramas - Capacidade de absorção de água.

#### 3.2.5.2 – Sucção de água

Sucção de água de um material cerâmico é a quantidade de água absorvida durante a imersão parcial de curta duração. Com este teste, obtemos a capacidade inicial de inibição água capilar. Para realizar este ensaio é a UNE 67-031. As amostras foram secas em um forno a uma temperatura de 110 ° C até que o seu peso ficasse constante (Pi). Em uma bandeja foi colocada água necessária para cobrir a peça e a superfície total da amostra que vai entrar em contato com a água foi medida (A). Após um minuto, a amostra é removida, seca superficialmente com um pano e seu peso (Qi) é obtido, em gramas. Então, a sucção é obtida a partir da seguinte expressão:

$$S = \frac{Q_i - P_i}{A} \quad (3.3)$$

Pi - peso seco

Qi - peso úmido

A- Área da peça

### 3.2.5.3- Massa específica aparente

Para a determinação da densidade aparente das peças secas foi utilizado o método dimensional, de acordo com a norma ASTM C 373-72 (1997). A densidade aparente é calculada utilizando a seguinte expressão:

$$\rho_{ap} = \frac{Ms}{Mu - Mi} \times d \quad (3.4)$$

Onde :

$\rho_{ap}$  - densidade aparente da peça seca ( $\text{g/cm}^3$ );

Ms- massa (g) dos corpos cerâmicos secos;e

Mu – massa (g) dos corpos cerâmicos saturados com água;

Mi – massa (g) do corpo cerâmico imerso em água, que será medida pelo método da balança hidrostática.

d - densidade do líquido ( água:1  $\text{g/cm}^3$  )

### 3.2.5.4- Porosidade aparente

A determinação da porosidade aparente (PA) dos corpos cerâmicos foi feita de acordo com a norma C373-88 (ASTM), utilizando-se a expressão dada por:

$$PA = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \times 100 \quad (3.5)$$

Onde:

PA – porosidade aparente;

Mu – massa (g) dos corpos cerâmicos saturados com água;

Ms – massa (g) dos corpos cerâmicos secos;

Mi – massa (g) do corpo cerâmico imerso em água, que será medida pelo método da balança hidrostática.

### 3.2.5.5- Resistência à tração pelo método de compressão diametral

As pastilhas utilizadas deste trabalho foram submetidas a ensaio de compressão diametral com auxílio de uma máquina de ensaio universal, marca Instron, modelo 5582, com velocidade de carregamento de 0,5 mm. Min. A resistência à tração das pastilhas foi então obtida a partir da seguinte expressão:

$$\sigma_c = \frac{2.F}{\pi.d.h} \quad (3.6)$$

Onde:

$\sigma_c$  – tensão compressiva de ruptura (MPa)

F – carga de ruptura (N)

d – diâmetro das pastilhas (mm)

h – altura das pastilhas cilíndricas (mm)

### 3.2.6- Caracterização térmica

#### 3.2.6.1- Condutividade térmica e Efusividade térmica

Nenhum método fototérmico pode fornecer a condutividade térmica de uma amostra diretamente (Almond e Patel, 1996), uma vez que este parâmetro está sempre acoplado com a capacidade térmica. A condutividade depende do calor específico, que é afetado pelas variáveis composições microestruturais do material (impurezas, contorno de grãos), que modificam a velocidade e o livre caminho médio dos portadores de calor. Assim, a partir da determinação da difusividade térmica ( $\alpha$ ) e da capacidade térmica específica (C), podemos então determinar a condutividade térmica (K) e a efusividade térmica ( $\epsilon$ ) das peças de silicato por meio das seguintes expressões :

$$K = \alpha.p.C_p \quad \epsilon = \sqrt{k . \rho . C_p} \quad (3.8)$$

ou seja, através de metodologias relativamente de baixo custo, podemos identificar de forma precisa quatro importantes propriedades de um determinado material.



### 3.2.6.2- Capacidade térmica

Para a determinação da capacidade térmica foram confeccionadas amostras com espessuras muito menores que o diâmetro da ordem de micrometros. A peça de silicato foi pintada com uma fina camada de tinta preta com espessura desprezível, para garantir uma boa absorção superficial da radiação. Em seguida, a amostra é colocada suspensa adiabaticamente dentro de um frasco Dewar onde se realiza vácuo, Figura 3.7. Sob tais condições o principal mecanismo de troca de calor é o de radiação. O Dewar tem uma entrada óptica que possibilita o aquecimento da amostra por meio do laser de He-Ne. Um termopar, acoplado no lado oposto ao iluminado da amostra, permite o monitoramento da sua temperatura da amostra ao longo do tempo.

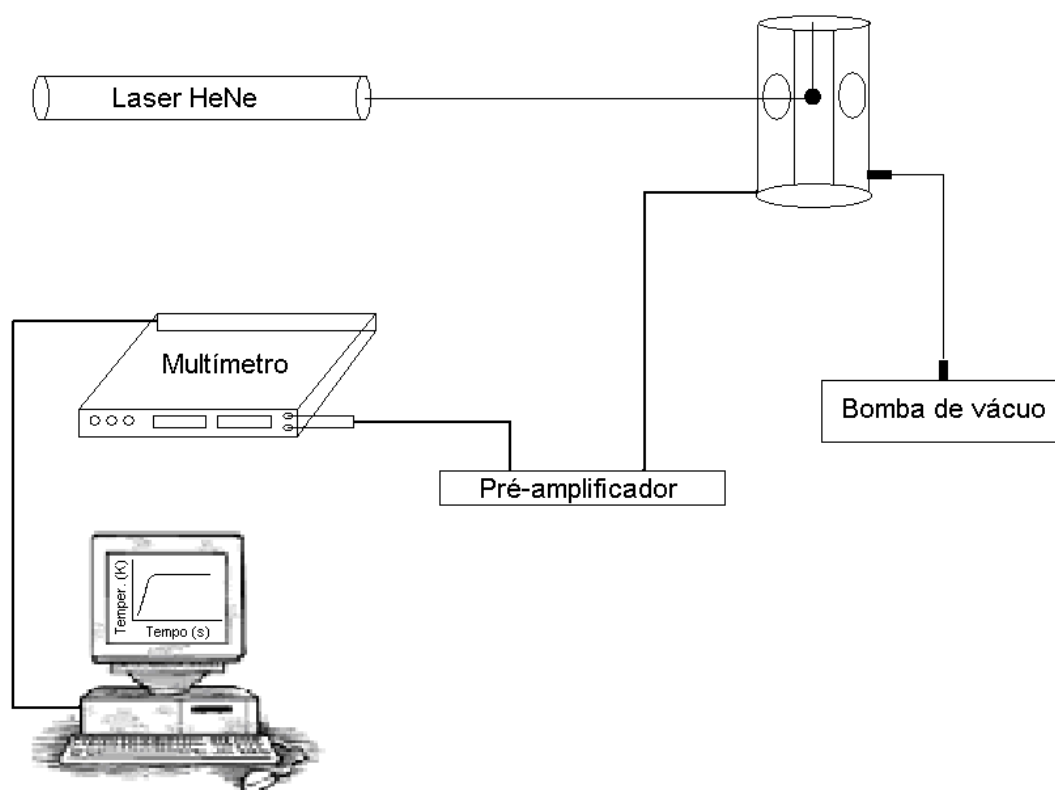


Figura 3.7 – Arranjo experimental para as medidas de capacidade térmica específica.

Os valores da temperatura em função do tempo são então monitorados e armazenados através de um microcomputador. Cuidado deve ser exercido para prevenir que o feixe de luz que aquece a amostra não incida também no

termopar. Esta condição é garantida, fazendo a radiação incidir no centro da amostra.

### 3.2.6.3 – Difusividade térmica

Segundo Mota (2008) arranjo experimental utilizado para as medidas de difusividade térmica está ilustrado na figura 3.8. A fonte de excitação adotada foi um laser de He-Ne (Unilaser modelo 0.25), dotado de apenas uma linha de emissão em torno de 632,8 nm. Antes de atingir a superfície da amostra, a radiação passa por um modulador mecânico “chopper” (EG&G Instruments modelo 651), responsável por modular a radiação incidente.

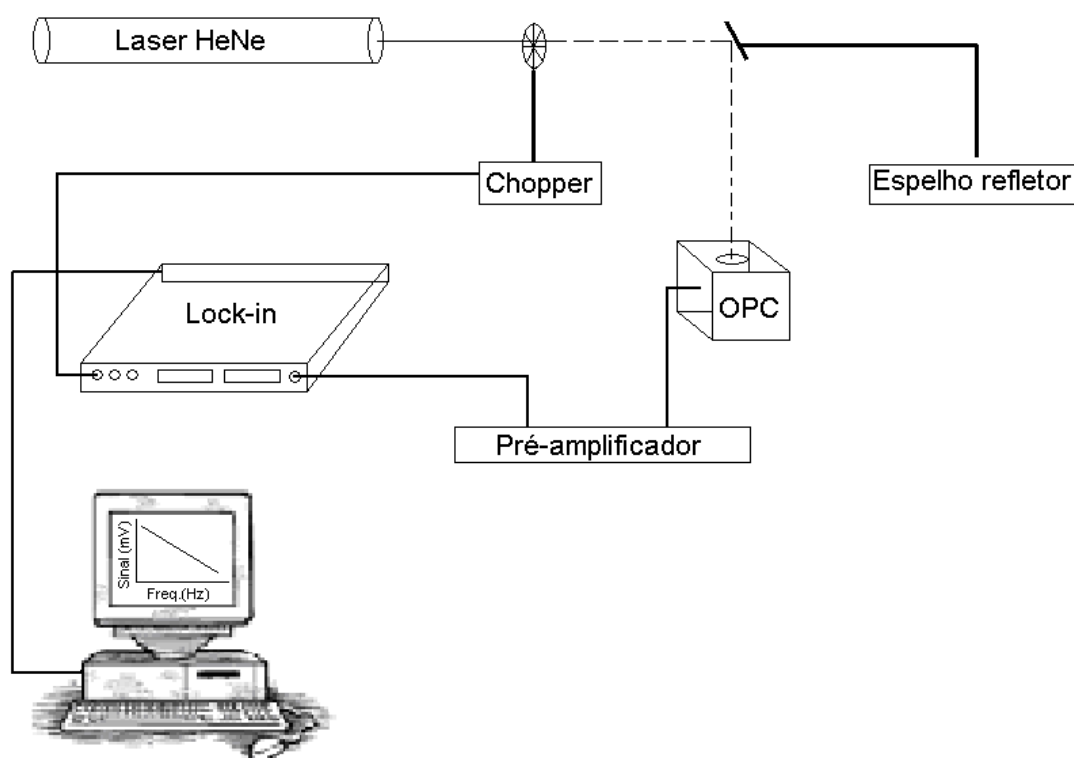


Figura 3.8 - Arranjo experimental para as medidas de difusividade térmica (Mota, 2008).

Como resultado do aquecimento da amostra pela absorção da luz modulada, a pressão dentro da célula oscila com a mesma frequência de oscilação do “chopper” e assim pode ser detectada pelo microfone de eletreto. O sinal fotoacústico resultante deste processo é alimentado por um pré-amplificador (FET) e em seguida conduzido diretamente para um amplificador “Lock-in” (Perkin Elmer Instruments modelo 5210), onde foi possível obter tanto

---

a fase quanto a amplitude do sinal fotoacústico (Silva, 1987), cujos valores são armazenados em um microcomputador através de um programa adequado.

### **3.2.7- Análise microestrutural e de fase**

#### **3.2.7.1-Microscopia eletrônica de varredura (MEV)**

A superfície de fratura do material de silicato de cálcio foi analisada via microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura marca Shimadzu, SSX-550 , após cobertura da amostra com uma fina camada de platina.

#### **3.2.7.2-Difração de raios-X (DRX)**

A análise de fases do material de silicato de cálcio produzido foi realizada por difração de raios-X. Determinou as fases cristalinas remanescentes e as novas fases que foram formadas durante o processo de obtenção do novo material de isolamento térmico.

## Capítulo 4- Resultados e discussão

### 4.1- Caracterização das matérias primas

#### 4.1.1- Caracterização mineralógica

##### 4.1.1.1- Difração de raios-X

A Figura 4.1 apresenta a difratometria de raios-x da amostra do chamote em pó. Podem-se notar picos de difração característicos das seguintes fases cristalinas: quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), illita/mica, feldspato potássico e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). As argilas usadas no pólo de cerâmica vermelha de Campos dos Goytacazes-RJ são ricas em caulinita, porém os picos de difração desse argilomineral não são vistos na Fig. 4.1 devido a sua transformação para a metacaulinita amorfa. O quartzo e a mica muscovita são fases consideradas residuais, ou seja, proveniente da matéria- prima no seu estado natural (Vieira et al.,2005).

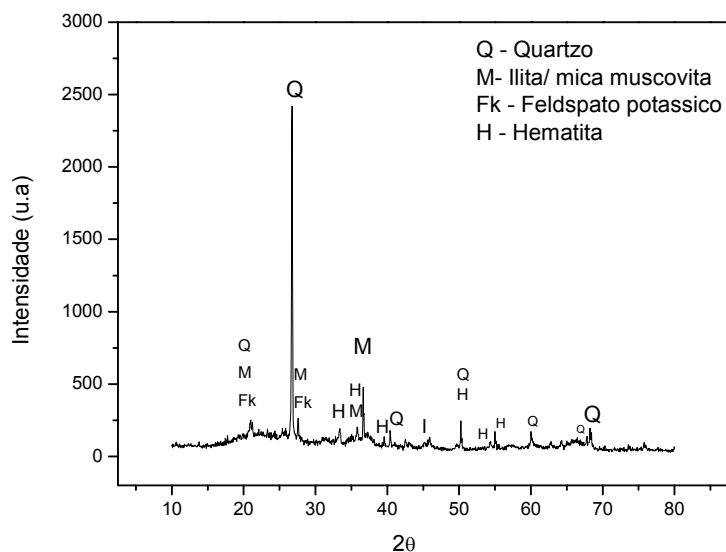


Figura 4.1: Difratograma de raios-X do chamote.

Na Figura 4.2 estão apresentados os padrões de difração de raios-X da amostra de casca do ovo galináceo, em pó. A amostra apresentou todos os picos de difração característicos da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). A calcita apresenta estrutura romboédrica, e é a forma termodinamicamente mais estável de  $\text{CaCO}_3$ , à temperatura ambiente (Freire,2006).

A análise da composição do pó da casca de ovo calcinada por difração de raios – X demonstra que a calcinação causa a decomposição do carbonato de cálcio a óxido de cálcio, que pode ser reativo com a umidade do ar, formando instantaneamente hidróxido de cálcio (Pereira, 2009), tal como mostra a Figura 4.3.

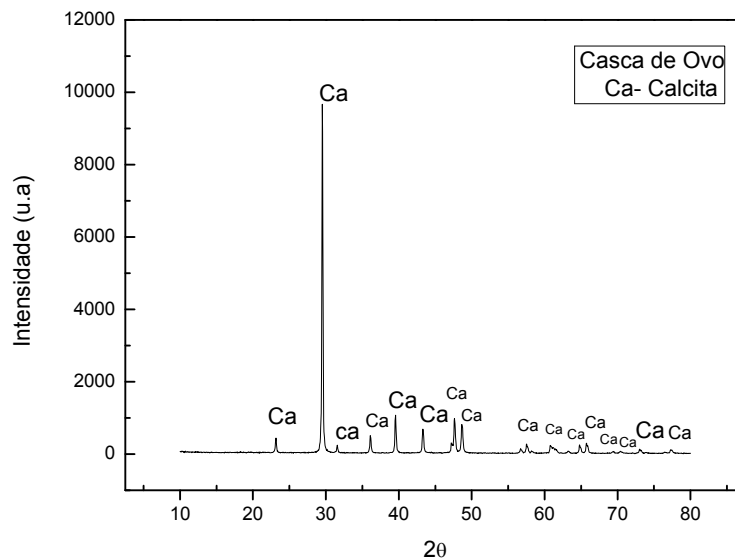
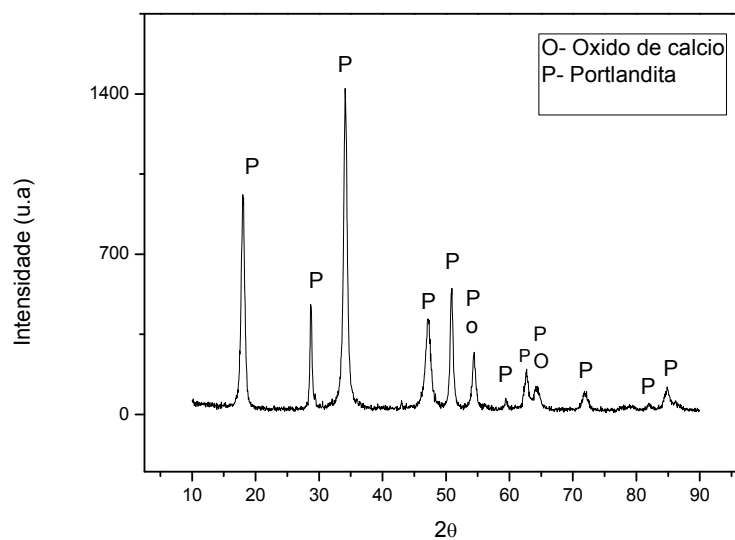


Figura 4.2: Análise de difração de raios-X do pó da casca do ovo sem calcinar.



4.3- Análise de difração de raios-X do pó da casca do ovo calcinada.

#### 4.1.1.2- Análises térmicas (ATD/ ATG/)

As análises térmicas (ATD e TG) do chamote são apresentadas na Figura 4.4, onde observamos uma baixa perda de massa, isto está relacionado ao chamote ser um produto que já passou por uma fase de queima a elevadas temperaturas, onde ocorreram diversas perdas de massa dos argilominerais. Além da perda de água associadas a eles.

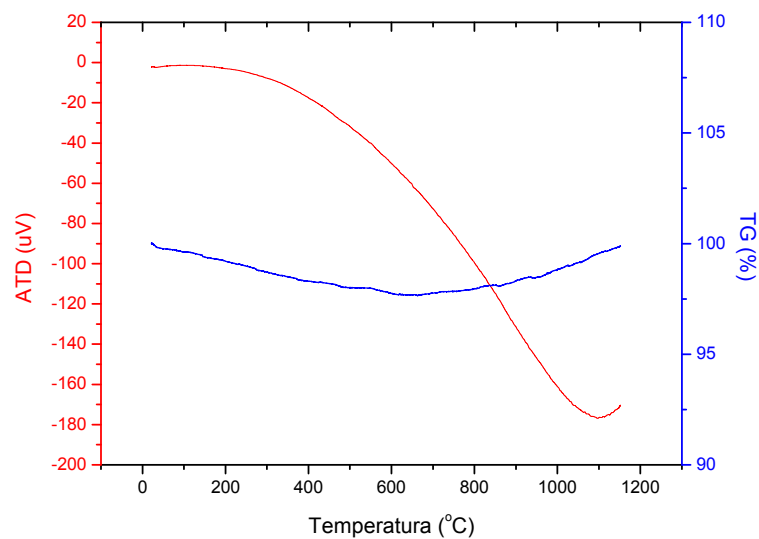


Figura 4.4: Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica do chamote.

A análise térmica (ATD e TG) do pó da casca de ovo sem calcinar é apresentada na Figura 4.5, onde observamos elevada perda de massa em três etapas distintas, na primeira etapa ocorre à remoção de água com aproximadamente 2,13 % de perda de massa, em uma faixa de temperatura entre 25°C e 226 °C. A seguir, em um intervalo de temperatura de 226-576 °C observa-se a decomposição da matéria orgânica, com perda de 12,22 %. E na última etapa ocorre à perda de massa de 34,55 % entre 576 e 760 °C, que estaria relacionada à liberação de CO<sub>2</sub> proveniente da decomposição do CaCO<sub>3</sub>. Acima de 750°C restou um resíduo de aproximadamente 51,1 %, referente às cinzas e compostos inorgânicos (Pereira, 2009).

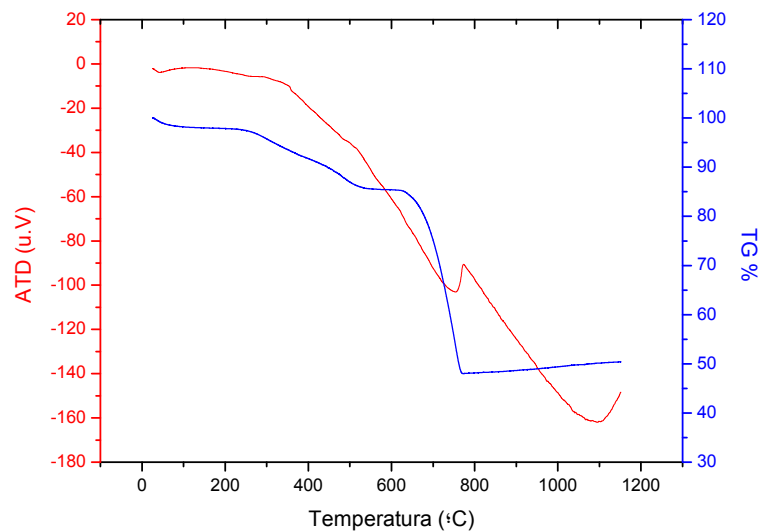


Figura 4.5: Análise térmica (ATD e TG) do pó da casca de ovo sem calcinar.

Análise térmica da casca calcinada, para provar a água da umidade reagiu com o CaO

#### 4.1.2 - Caracterização química

A Tabela 4.1 apresenta os resultados da composição química e perda ao fogo das matérias-primas utilizadas. Pode-se notar que os resultados da composição química do chamote estão de acordo com os resultados de difração de raios-X do mesmo (Fig.4.1). Verifica-se que o chamote é constituído principalmente por sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), além de quantidades menores de óxidos de potássio, titânio, cálcio e manganês. Os altos teores de sílica e alumina indicam que o resíduo é rico em metacaulinita ( $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), já que a temperatura de queima do chamote foi superior a 600 °C (Vieira, 2004). O óxido de ferro é geralmente encontrado nas argilas de Campos dos Goytacazes, bem como é responsável pela coloração avermelhada dos produtos de cerâmica vermelha. O óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) justifica as presenças de illita/mica e feldspato potássico. O baixo teor de perda ao fogo de 2,9 %, está associada à eliminação parcial de hidroxilas da gibsitita -  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e da caulinita -  $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Vieira, 2004).

Tabela 4.1: Composição química do chamote, do pó da casca de ovo sem calcinar e calcinada (% em peso).

Óxidos %	Chamote	Casca sem calcinar	Casca calcinada
SiO <sub>2</sub>	46,13	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,45	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,33	-	-
K <sub>2</sub> O	2,48	0,80	-
TiO <sub>2</sub>	1,52	-	-
SO <sub>3</sub>	1,40	0,99	0,58
CaO	0,60	52,51	98,92
MnO	0,12	-	-
SrO	-	0,10	0,11
ZrO <sub>2</sub>	-	-	0,01
Outros	0,16	-	-
P.F	2,9	45,6	0,38

De acordo com a Tabela 4.1 a composição química do pó da casca de ovo sem calcinar é basicamente constituída de óxido de cálcio (CaO). Devido fundamentalmente a presença de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) . A amostra também continha pequenas quantidades SrO, K<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>, relatando inferior a 1,9% da composição total. A partir de um ponto de vista químico de um material à base de carbonato, as amostras de resíduos da casca de ovo podem ser consideradas relativamente puras. Além disso, observou-se também que o resíduo apresenta aproximadamente uma perda ao fogo de 45,6%. Este alto valor de PF é causada pela decomposição da matéria orgânica e da calcita (CaCO<sub>3</sub>) com a formação de CaO e de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

O óxido predominante no pó da casca de ovo calcinada também é o óxido de cálcio, assim como na casca sem calcinar, com 98, 92 % da composição total, devido à presença de calcita, como mostra a Tabela 4.1. Também foram encontradas pequenas quantidade de SO<sub>3</sub>, SrO e ZrO<sub>2</sub>, que juntas somam 0,7 %. A baixa perda ao fogo de aproximadamente 0,38 % pode



estar relacionada com a formação da Portlandita, já que por ter passado por um processo de calcinação houve a perda total de  $\text{CO}_2$  e matéria orgânica.

#### 4.1.3- Caracterização física

##### 4.1.3.1 - Distribuição de tamanho de partículas e massa específica real

A distribuição do tamanho de partículas do chamote é apresentada na Figura 4.7. Os resultados indicam que a amostra de chamote contém 9% de fração argila ( $x \leq 2 \mu\text{m}$ ) e é rico em partículas na fração silte ( $2 < x \leq 63 \mu\text{m}$ ) com cerca de 69 %, areia fina ( $63 < x \leq 200 \mu\text{m}$ ) com cerca de 22 %.

O Valor da massa específica real dos grãos do chamote medido por meio de picnometria foi de  $2,79 \text{ g/cm}^3$ .

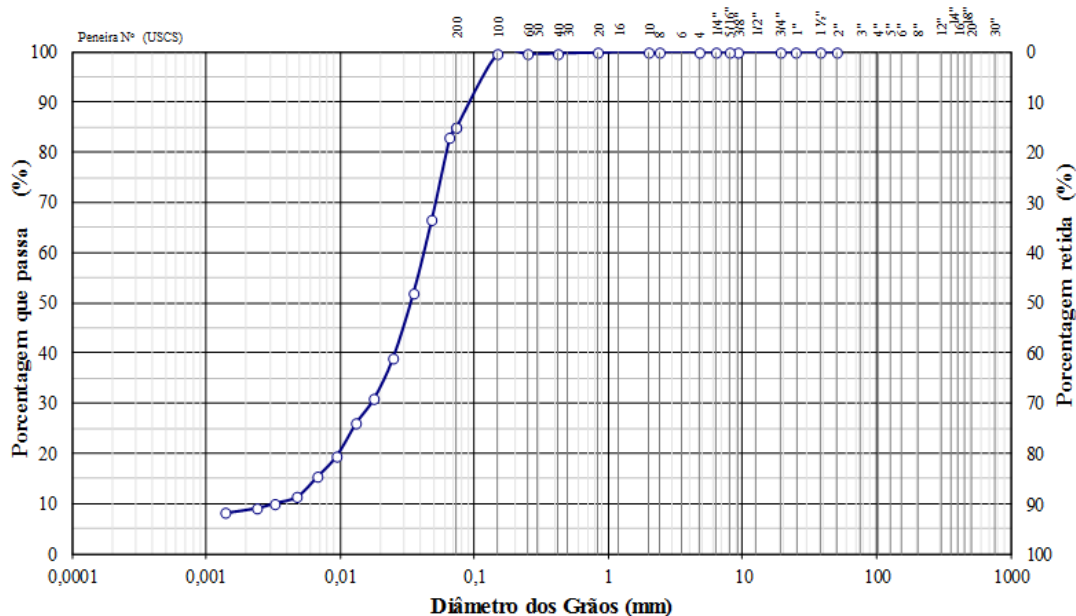


Figura 4.7: Curva de distribuição de tamanho de partículas do chamote.

O resultado da distribuição do tamanho de partículas do resíduo da casca de ovo em pó é apresentado na Figura 4.8, as amostras indicam que este resíduo contém apenas 1% de suas partículas na fração argila ( $x \leq 2 \mu\text{m}$ ), porém apresenta alto teor de partículas na fração areia fina ( $63 < x \leq 200 \mu\text{m}$ ) com cerca de 56 % e silte ( $2 < x \leq 63 \mu\text{m}$ ) com cerca de 43 % .

O Valor da massa específica real dos grãos da casca de ovo em pó medido por meio de picnometria foi de  $2,40 \text{ g/cm}^3$ .

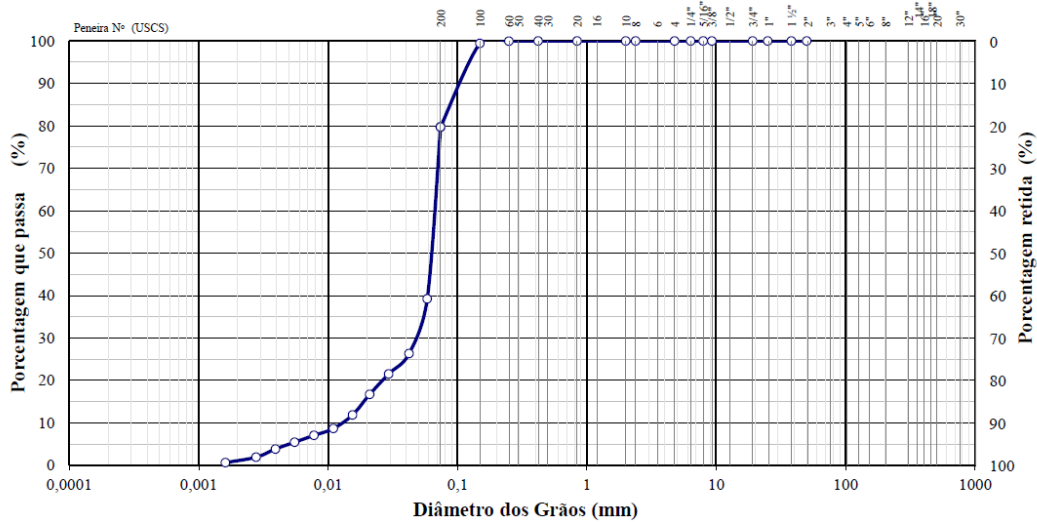


Figura 4.8: Distribuição do tamanho de partículas do resíduo da casca de ovo sem calcinar.

#### 4.1.3.2 – Morfologia

A análise morfológica por microscopia óptica apresentada na Figura 4.9, referente ao pó de chamote, revela a presença de partículas angulares provavelmente o quartzo. A presença de partículas mais escuras que podem estar associadas a minerais ferromagnesianos, indicada pela seta vermelha. Além disso, pode-se notar a presença de partículas do mineral mica muscovita indicado pela seta preta.

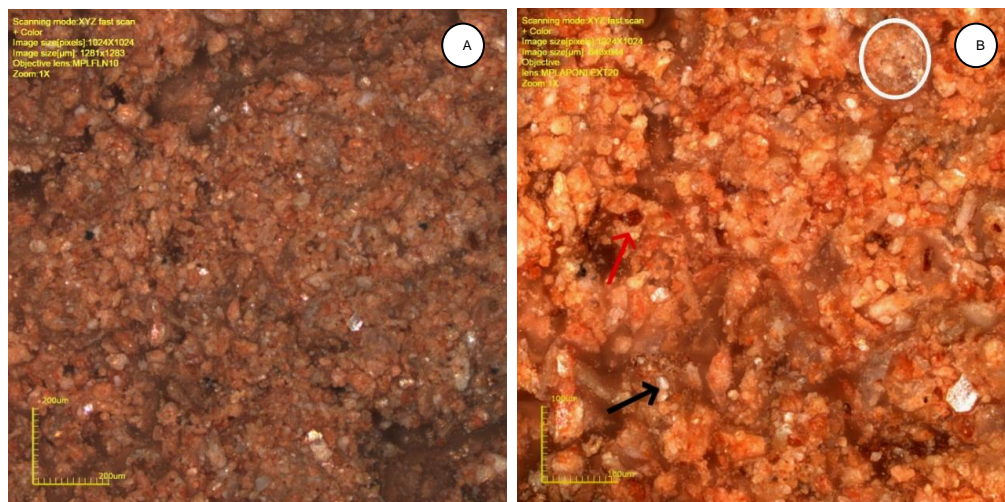


Figura 4.9: Análise morfológica do pó de chamote a) 216X; b) 430X.

A micrografia do pó de chamote obtida por MEV está apresentada na Figura 4.10. Notam-se pequenas partículas de morfologia porosa e pseudo-hexagonais que provavelmente podem estar associadas à caulinita que originou o chamote (Vieira et al, 2004). Pelo EDS podemos observar picos mais intensos de Si, O, Al e C, além de outros picos de intensidade menor que é o caso do Fe e da Pt. Todos esse elementos estão de acordo com os resultados obtidos na composição química do chamote (Figura 4.1), exceto o C e Pt, que são os elementos encontrado na fita de carbono e na metalização do material para a realização da análise.

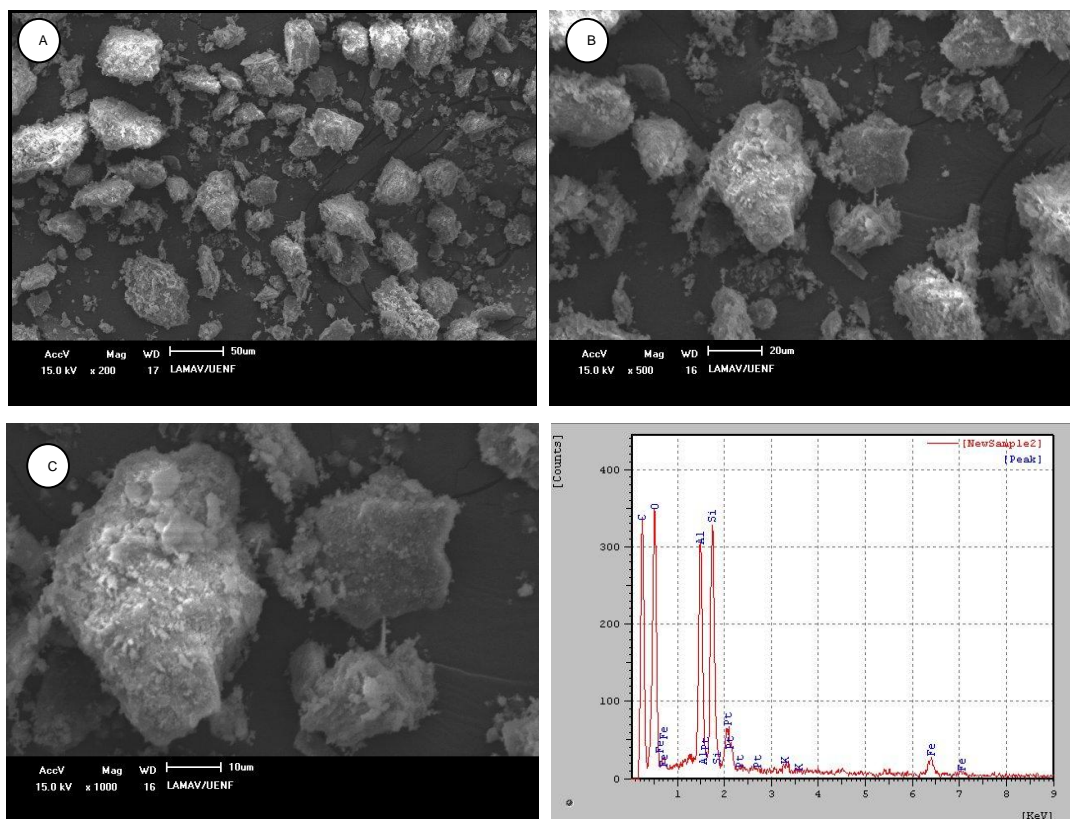


Figura 4.10: Micrografias de MEV do pó de chamote com mapeamento de EDS. Aumento de (a) 500x e (b) 1000x.

Aspectos da morfologia das partículas da amostra do resíduos de casca de ovo sem calcinar em pó, obtido no microscópio óptico são descritos na Figura 4.11. Pode observar que as partículas de resíduos de casca de ovo apresenta forma irregular, devido o processo de cominuição utilizado na produção do material.

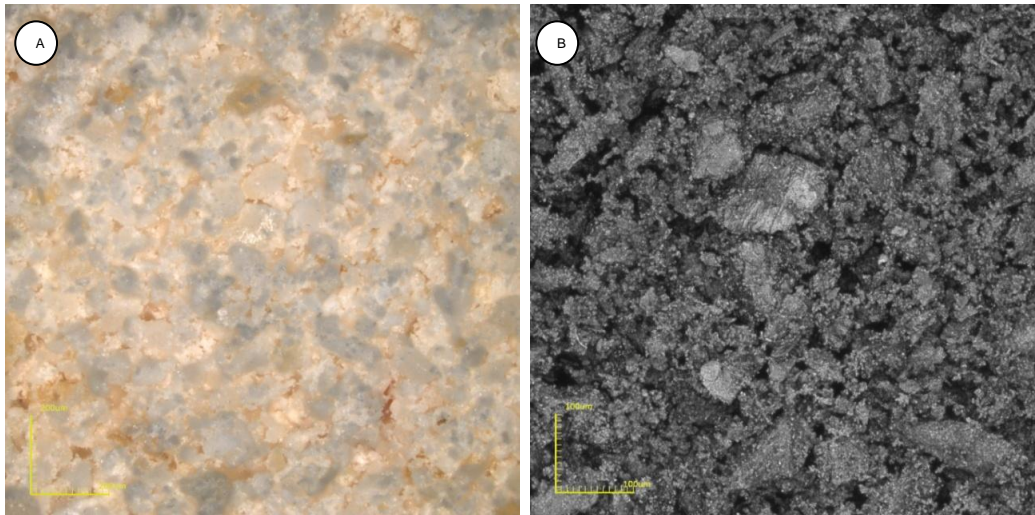
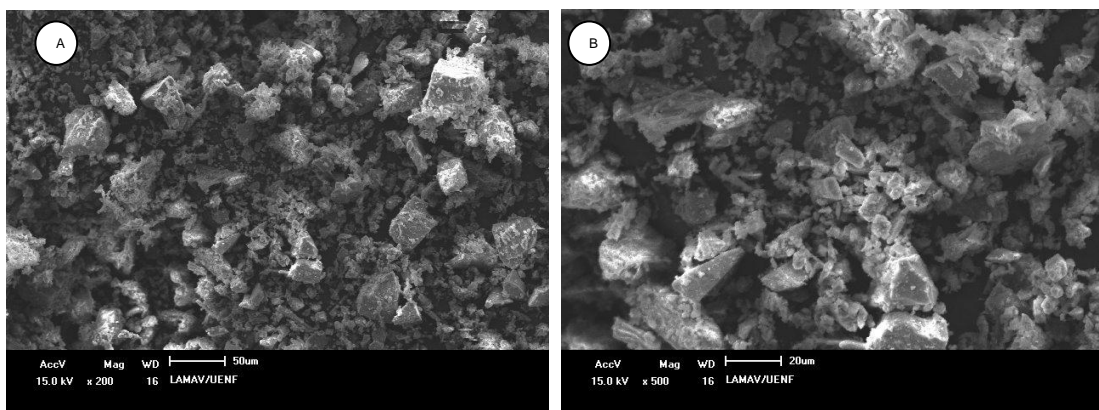


Figura 4.11: Análise morfológica do pó de resíduo da casca de ovo sem calcinar a) 216 X; b) 430 X.

A Figura 4.12 apresenta as micrografias eletrônicas de varredura do resíduo de casca de ovo em pó. Que além de apresentar partículas irregulares como já foi mostrada na Figura 4.11, podemos notar uma vasta gama de tamanhos de partículas, que corroboram os resultados obtidos na análise granulométrica (Fig. 4.8). O EDS mostra picos intensos de Ca, C e O. Grande parte do carbono e toda a platina detectada no EDS faz parte do material utilizado na preparação das amostras, já que utilizamos uma fita de carbono para fixar o resíduo de casca de ovo em uma moeda e a platina para metalização das amostras.



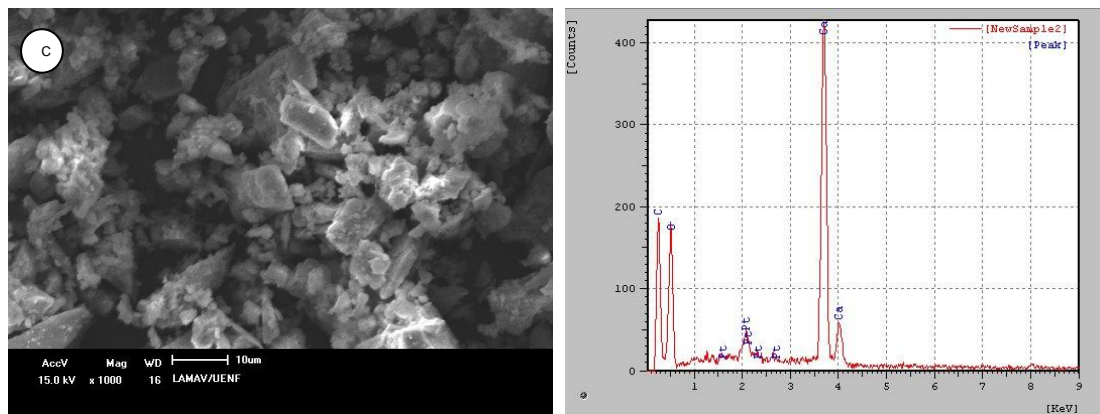


Figura 4.12: Micrografias de MEV do pó da casca de ovo sem calcinar com mapeamento de EDS. Aumento de (a) 200 X; (b) 500 X; (c)1000 X.

#### 4.2- Formulação e preparação do material de silicato de cálcio

Para a formulação do material de silicato de cálcio foram utilizadas duas misturas, uma de chamote e pó de casca de ovo sem calcinar e outra de chamote e pó de casca de ovo calcinada. Para ambas as misturas permaneceu a razão molar de 1:1 de  $\text{CaO-SiO}_2$  (Felipe-Sesé, 2011), para a primeira mistura foi utilizado 130,83 gramas de chamote e 109,74 gramas do pó de casca de ovo, na segunda mistura a quantidade de chamote não variou e foram utilizadas 56,69 gramas de casca de ovo calcinada , esses dados foram obtidos a partir das seguintes equações:

- Cálculo para quantidade de chamote:  
 100g de chamote ----- 45,92 g de sílica (composição química)  
 Xg de chamote ----- 60,08 g de sílica (1 mol)  
 $X = 130,83$  gramas de chamote
- Cálculo para quantidade de casca de ovo sem calcinar, em pó:  
 (utilizando o gráfico de perda de massa).

6,75g inicial (Casca de ovo) ----- 100 %

3,45g final (Casca de ovo ) ----- x %

$X = 51,1$  % de CaO

P.F de  $\text{CO}_2$  + matéria orgânica= 48,9 %

Logo:

100 g de casca de ovo ----- 51,1 g de (CaO)

X g de casca de ovo ----- 56,077 de CaO ( 1 mol)

X= 109,74 de casca de ovo.

- Cálculo para a quantidade de casca de ovo calcinada, em pó:

100 g de casca de ovo ----- 98,92 g de CaO (composição química da

X g de casca de ovo ----- 56,077 g de CaO ( 1 mol) casca calcinada)

X= 56,69 g de casca de ovo calcinada

Após a homogeneização da mistura (chamote + pó de casca de ovo sem calcinar) e (chamote + pó de casca de ovo calcinada), com as quantidades adequadas de cada um deles, ambos os materiais foram sintetizados em um forno durante 24 horas com uma taxa de aquecimento de 20 °C por minuto, em cinco temperaturas diferentes (1000 °C, 1050 °C, 1100 °C, 1150°C e 1200°C), como mostra a Figura 4.13 e 4.14. Para as duas últimas temperaturas não foi possível obter um material em pó adequado para a confecção das peças, tanto para o material obtido com o pó de casca de ovo sem calcinar quanto para o pó da casca de ovo calcinada, devido à grande quantidade de fase líquida que se formou durante a reação, como mostra na Figura 4.11 e a Figura 4.12. Por isso, neste trabalho foram produzidas apenas as peças do pó de silicato de cálcio nas temperaturas de 1000 °C, 1050 °C e 1100 °C.



Figura 4.13- Material de silicato de cálcio obtido por sinterização de chamote e casca de ovo sem calcinar.



Figura 4.14- Material de silicato de cálcio obtido por sinterização de chamote e casca de ovo calcinada.

### 4.3- Caracterização do pó de silicato de cálcio

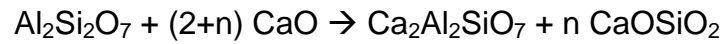
#### 4.3.1- Difração de raios-X (DRX)

Os materiais obtidos após a mistura das matérias-primas: chamote e pó de casca de ovo sem calcinar; e chamote com pó de casca de ovo calcinada, na razão molar  $\text{SiO}_2\text{-CaO}$  1:1 e sintetizados nas temperaturas de 1000 °C, 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C e 1200 °C foram caracterizadas por DRX.

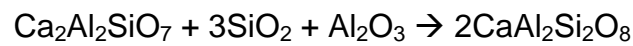
O difratograma de raios-X dos materiais obtidos após a mistura e sinterização nas temperaturas descritas, apresentou além da Wollastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ), Tridimita ( $\text{SiO}_2$ ) e Rakinita ( $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ ), tal como indicado no diagrama de fases  $\text{SiO}_2\text{-CaO}$  (página 16), outros silicatos como Ghelenita ( $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi})\text{O}_7$ ), Larnita ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), Anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), Ferrobustamita ( $[\text{Ca,Fe,Mn}]_3\text{Si}_3\text{O}_9$ ), Cristobalita ( $\text{SiO}_2$ ) ( Fig. 4.15 e 4.16) .

Para a obtenção destes silicatos ocorrem reações no estado sólido que podem ser descritas abaixo:

(a) De acordo com Traoré (2003) a formação da ghelenita ocorre a partir de uma fase metaestável da metacaulinita e do óxido cálcio, como mostra a seguinte reação:

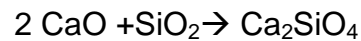


(b) Em seguida ocorre a formação da anortita a partir da ghelenita, a qual é combinada com o alumínio da metacaulinita e silício presente no quartzo, remanescente da matéria-prima.



(c) A Cristobalita, fase cristalina da sílica de maior estabilidade, pode ter sido formada a partir cristalização da sílica não cristalina proveniente da estrutura original da metacaulinita na presença de impurezas como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Spinelli et al., 2003 ; Carneiro et al., 2003).

(d) De acordo com García (1990), a formação da larnita ocorre a partir da reação da sílica em presença com o óxido de cálcio, de acordo com seguinte reação:



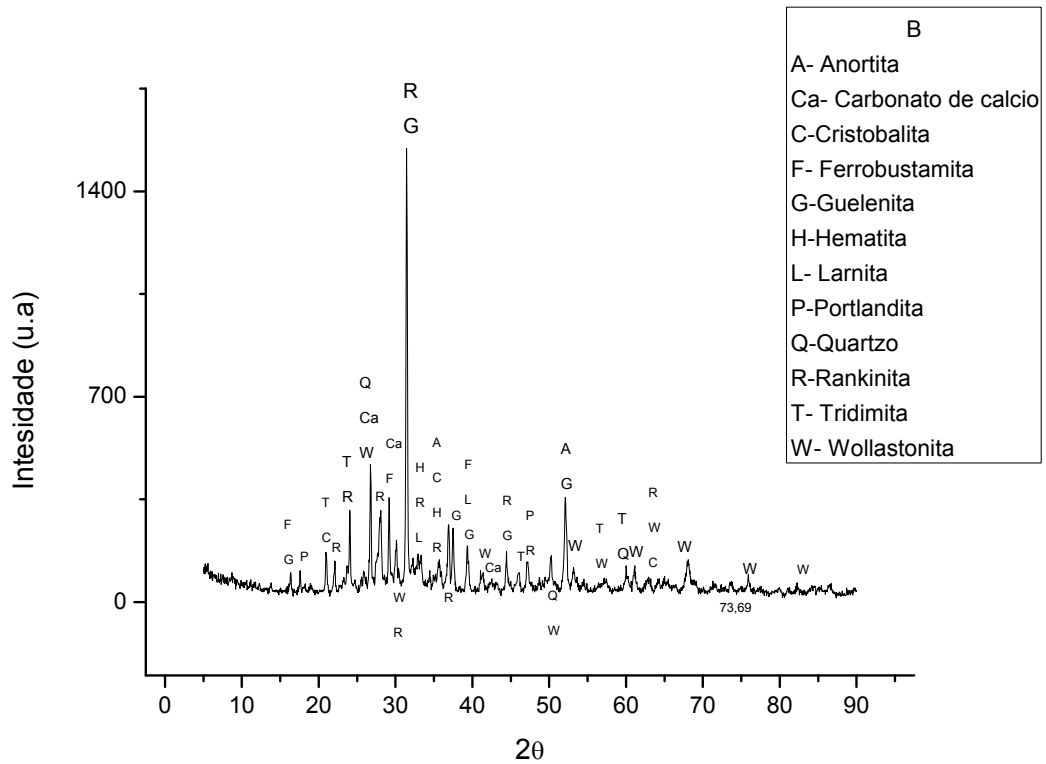
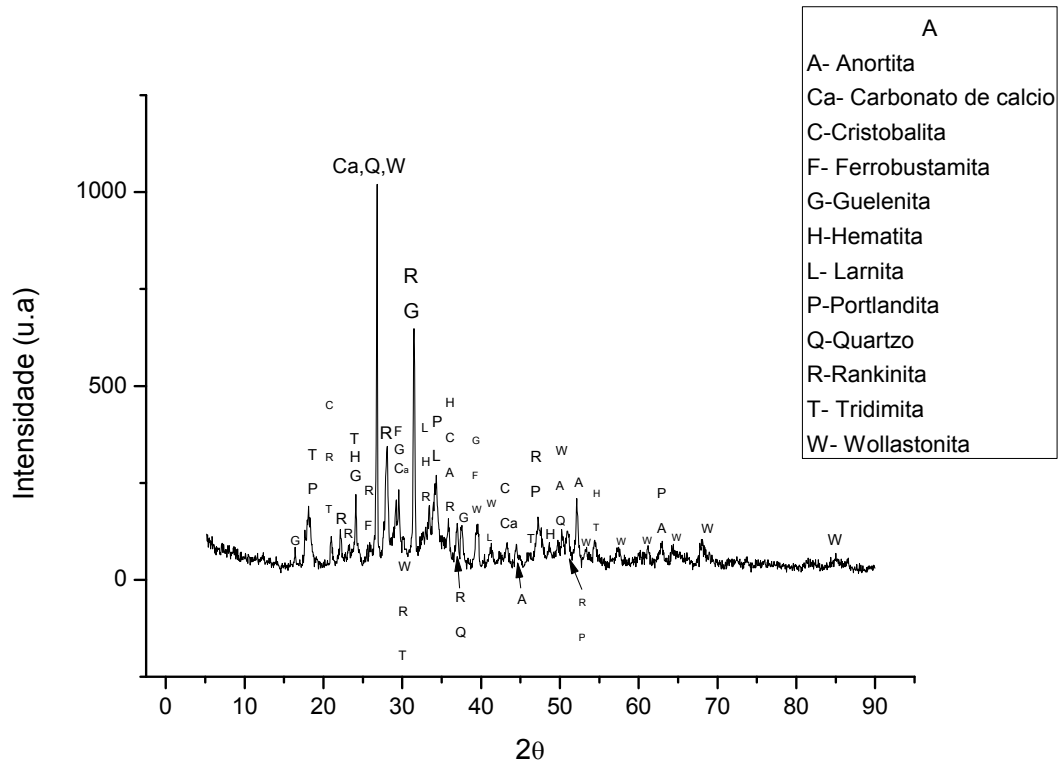
(e) Ferrobustamita

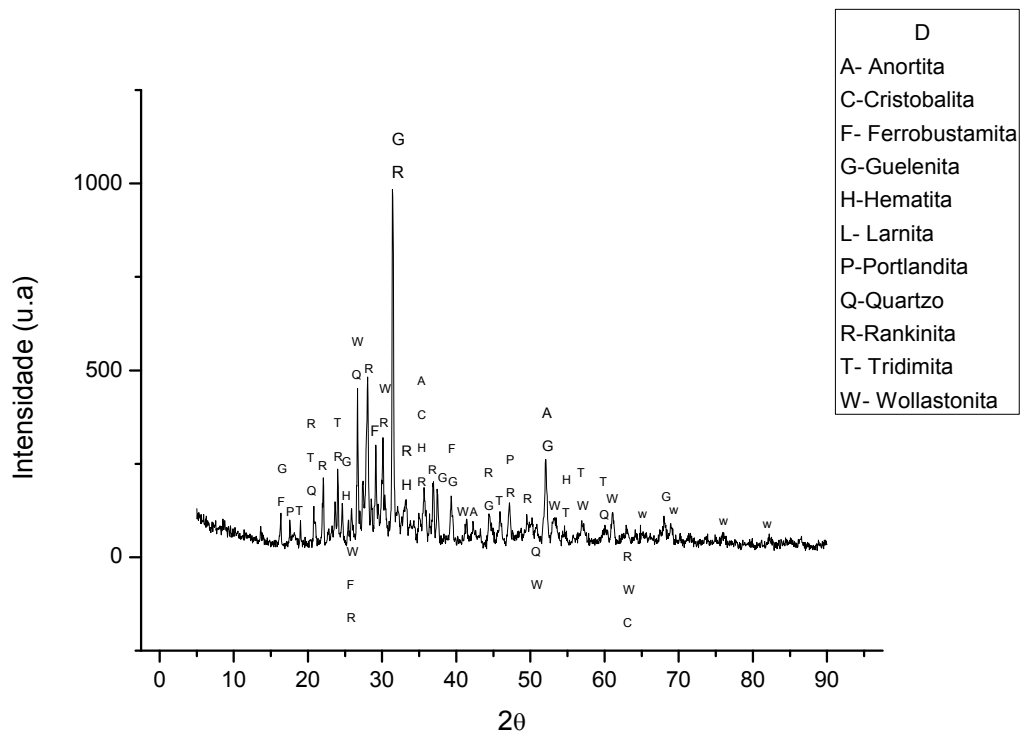
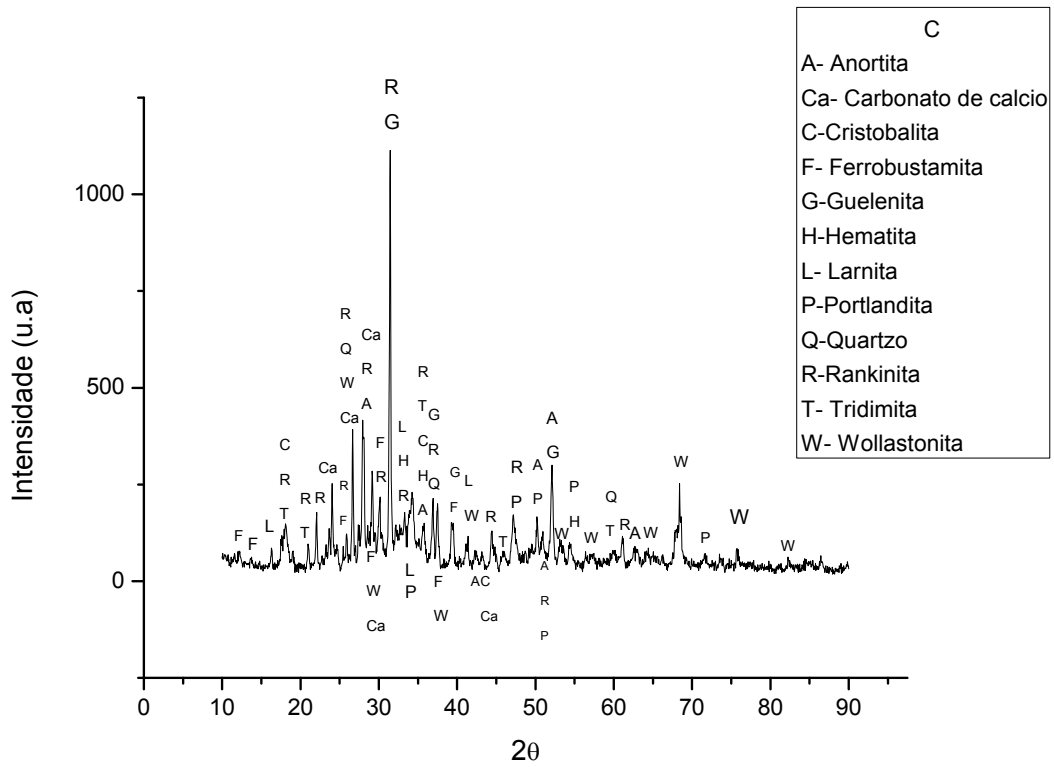
(f) A formação da anortita tende a inibir a formação de mulita (forma reestruturada da metacaulinita) (Freire, 2008).

No DRX também foram observados picos de difração que podem ser das matérias-primas que não reagiram completamente, tal como Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), Portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), Quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

A presença de impurezas na forma de óxidos alcalinos, óxidos de alumínio e óxidos ferrosos incentiva a formação de fase líquida, em temperaturas abaixo da esperada no diagrama de fases que é  $1460^\circ\text{C}$  (Felipe-Sesé, 2011).







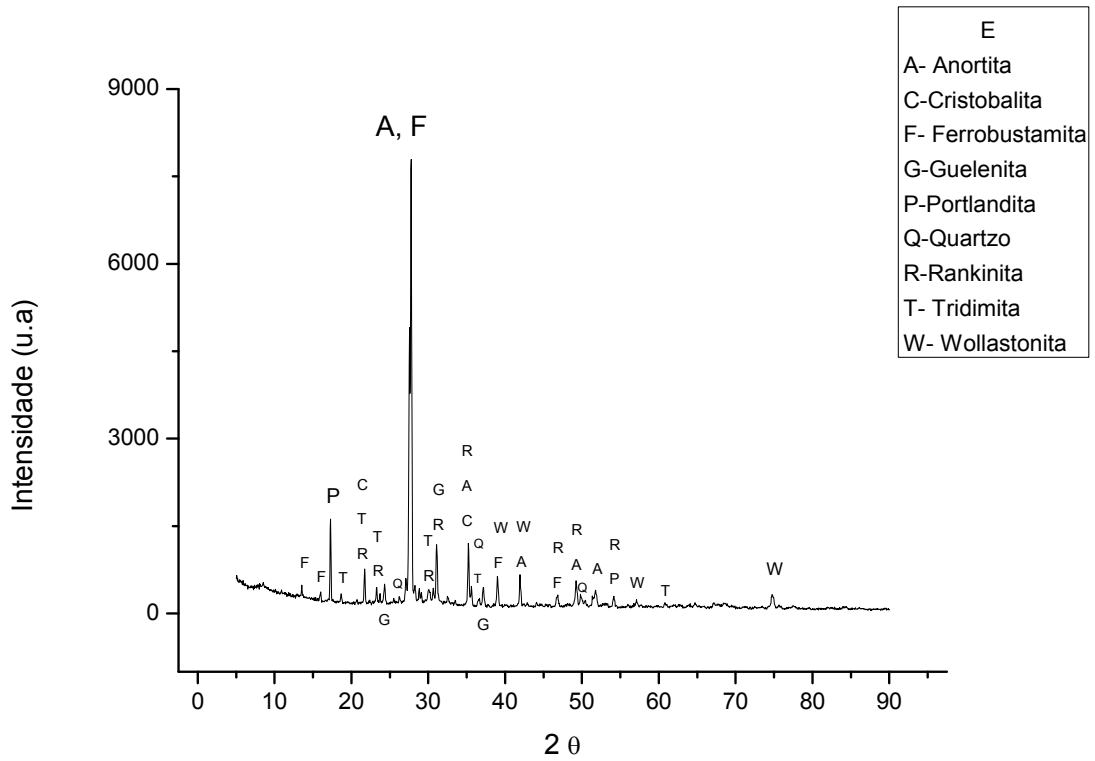
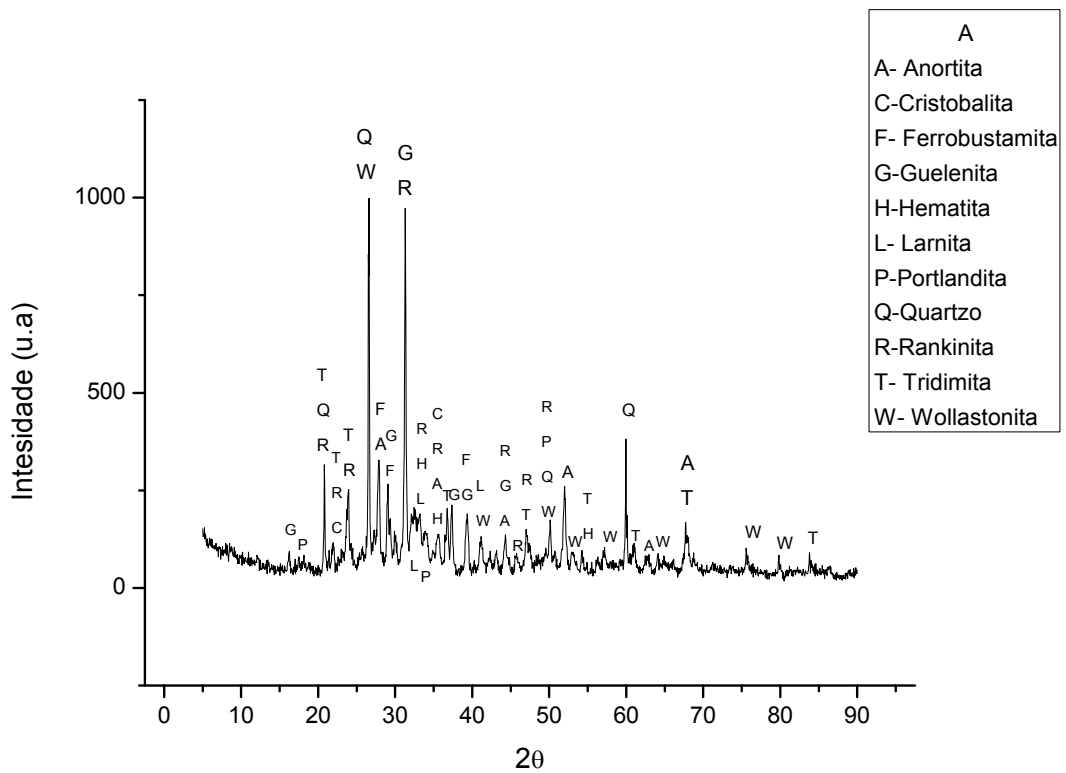
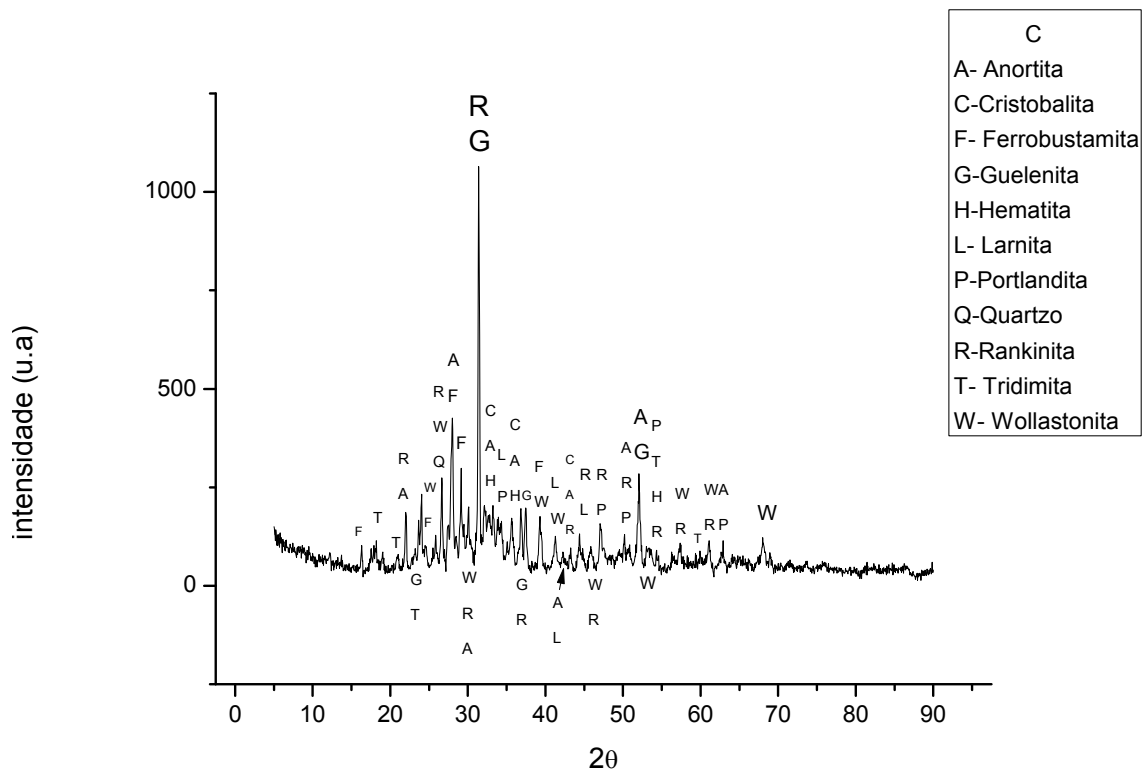
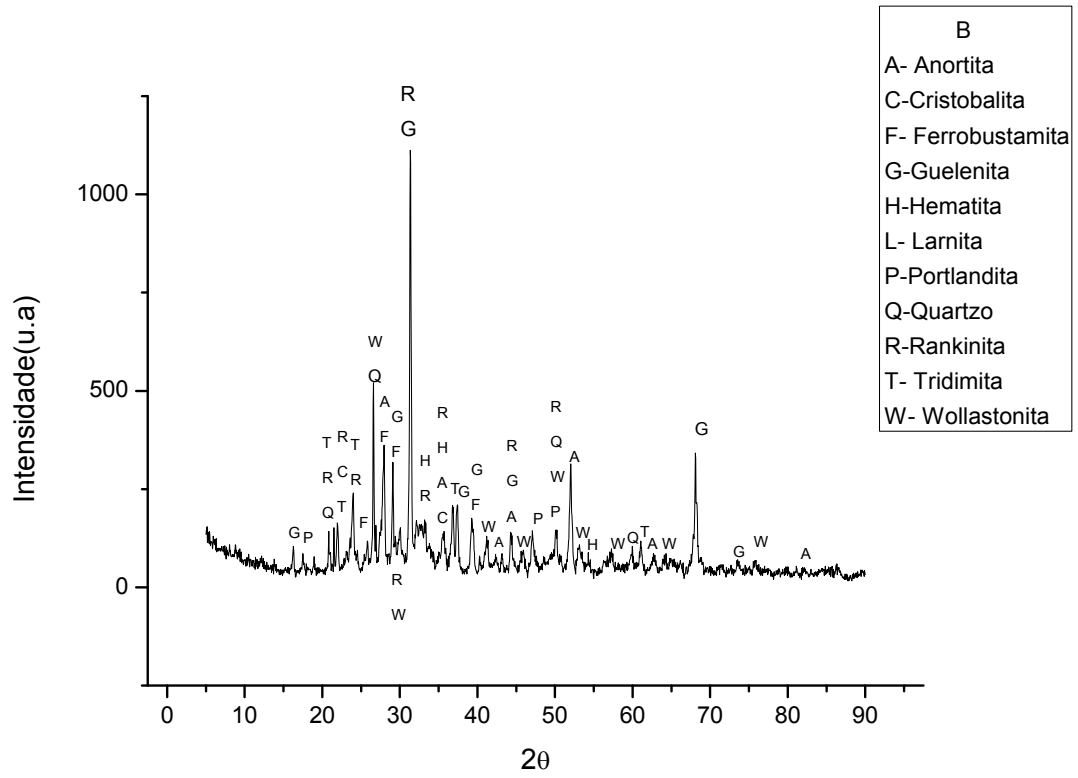


Figura 4.15- Silicato de cálcio obtido a partir de chamote e casca de ovo sem calcinar a) 1000°C b) 1050 °C c) 1100 °C d) 1150 °C e) 1200 °C.





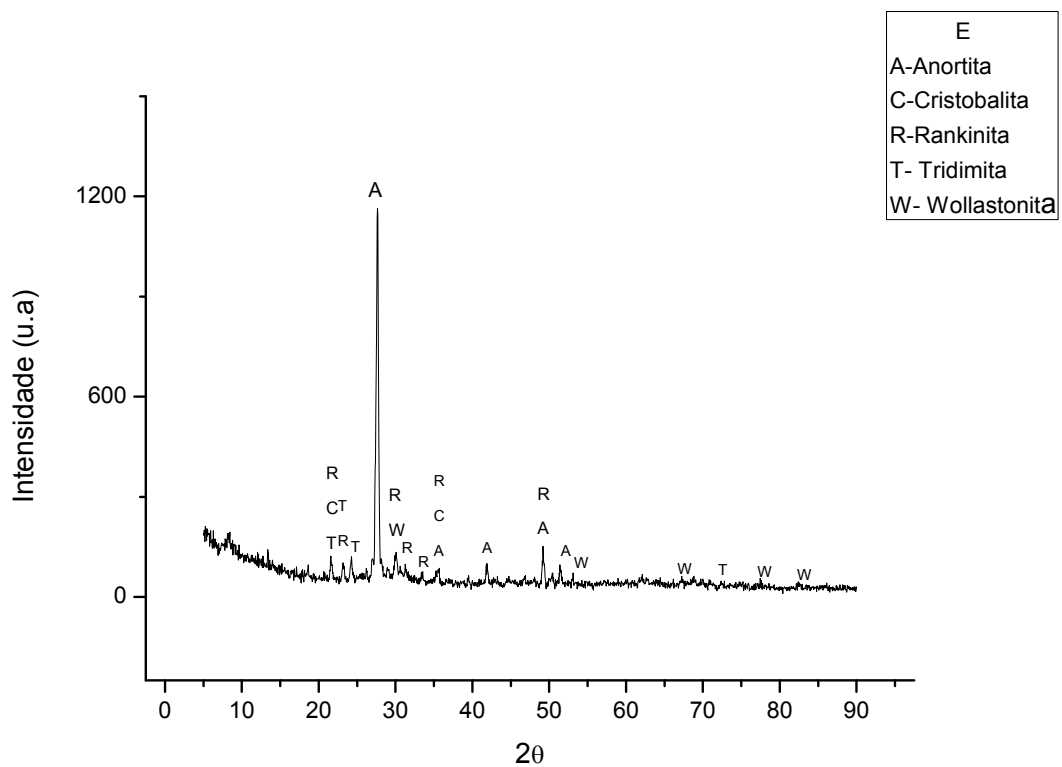
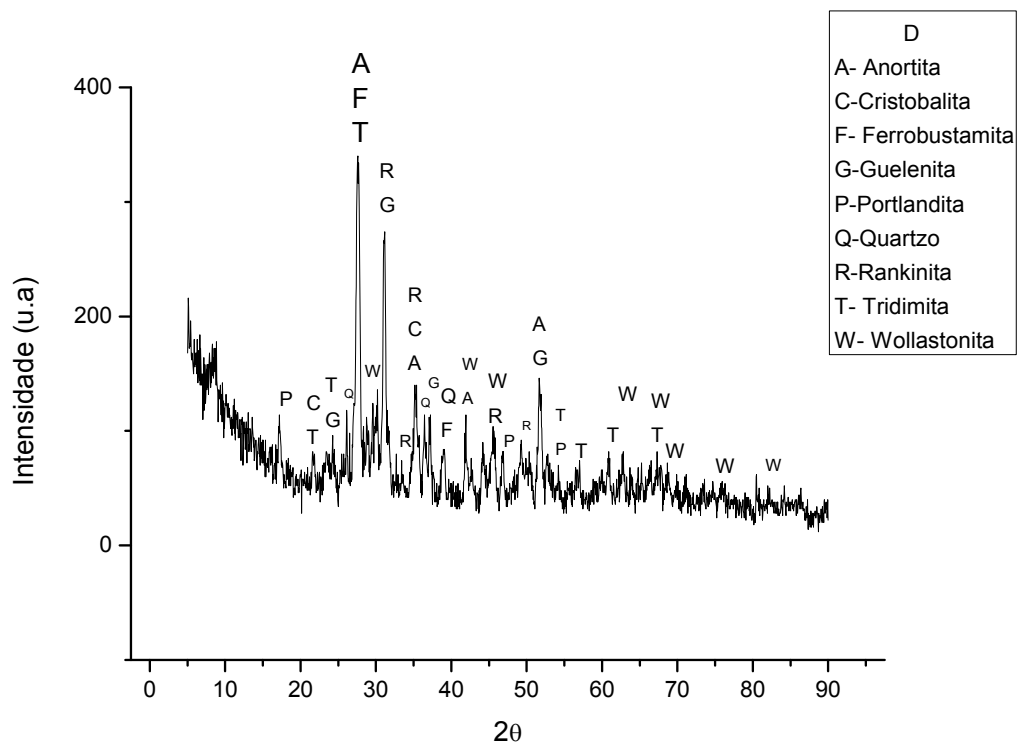


Figura 4.16- Silicato de cálcio obtido a partir de chamote e casca de ovo calcinada a) 1000°C b) 1050 °C c) 1100 °C d) 1150 °C e) 1200 °C.

### 4.3.2- Densidade real dos grãos

A Tabela 4.2 e a Tabela 4.3 apresenta os valores da densidade real dos grãos para as partículas de silicato de cálcio obtidas a partir do chamote e o pó da casca de ovo sem calcinar; e chamote e o pó de casca de ovo calcinada, respectivamente. A densidade teórica da Wollastonita é  $2,91 \text{ g/cm}^3$  (Vichaphund, 2011). Portanto, era esperado, que a densidade do material de silicato obtido aumentasse, em relação à densidade das matérias-primas, devido às reações em sólido e formação de novas fases que ocorreram durante o processo de sintetização.

Tabela 4.2- Densidade real dos grãos de silicato de cálcio com pó da casca de ovo sem calcinar.

Temperatura (°C)	1000	1050	1100
Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	2,88	2,91	2,90

Tabela 4.3- Densidade real dos grãos de silicato de cálcio com pó da casca de ovo calcinada.

Temperatura (°C)	1000	1050	1100
Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	2,88	2,81	2,85

### 4.3.3- Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As Figura 4.17 e 4.18 apresentam as micrografias de MEV do pó de silicato de cálcio sintetizado a  $1100^\circ\text{C}$ , obtido com a mistura de chamote e pó de casca de ovo sem calcinar; e chamote com pó de casca de ovo calcinada, com mapeamento de EDS. Pode-se observar que para ambos os materiais os grãos apresentam tamanho de partículas irregulares e porosos. Todos os mapeamento por EDS apresentaram composições de Si, Al, Ca, O, Fe, Pt, C, em maiores ou menores intensidades variando de uma temperatura para outra,

estes elementos são os principais constituintes das fases formadas durante a síntese desse novo material, que foi apresentada na Figura 4.15-c e 4.16-c. Toda a platina e parte do carbono detectada no EDS faz parte do material utilizado na preparação das amostras, já que utilizamos uma fita de carbono para fixar o material de silicato em uma moeda e a platina para metalização das amostras.

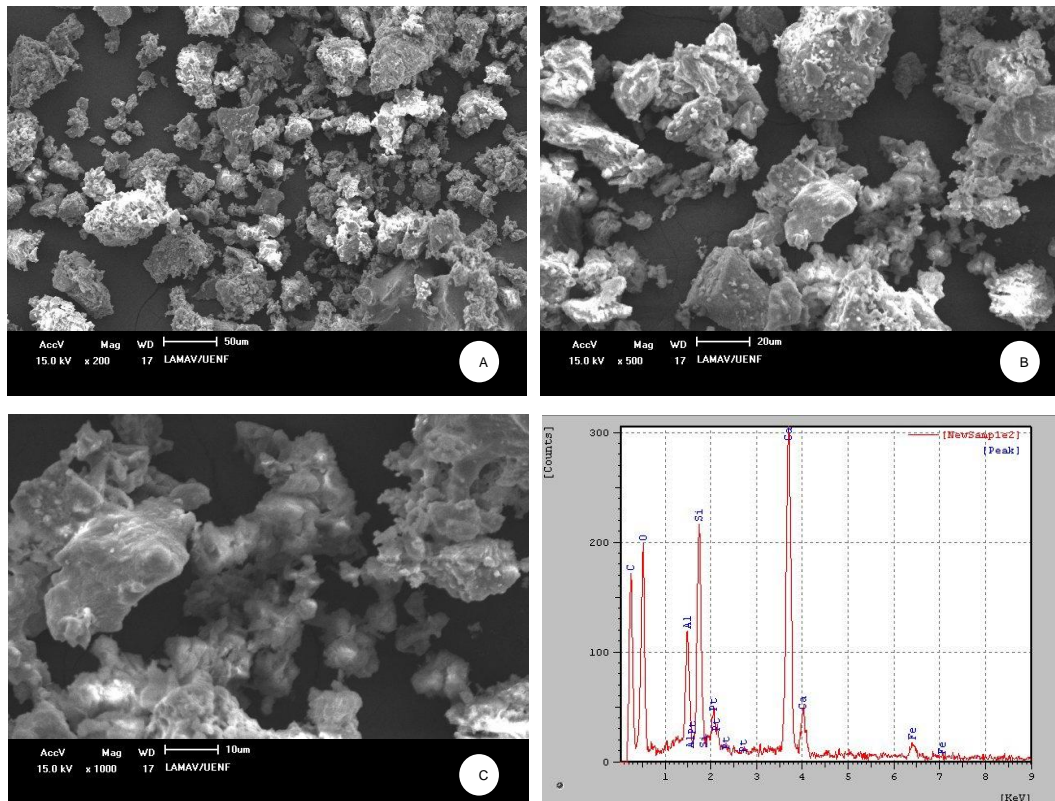
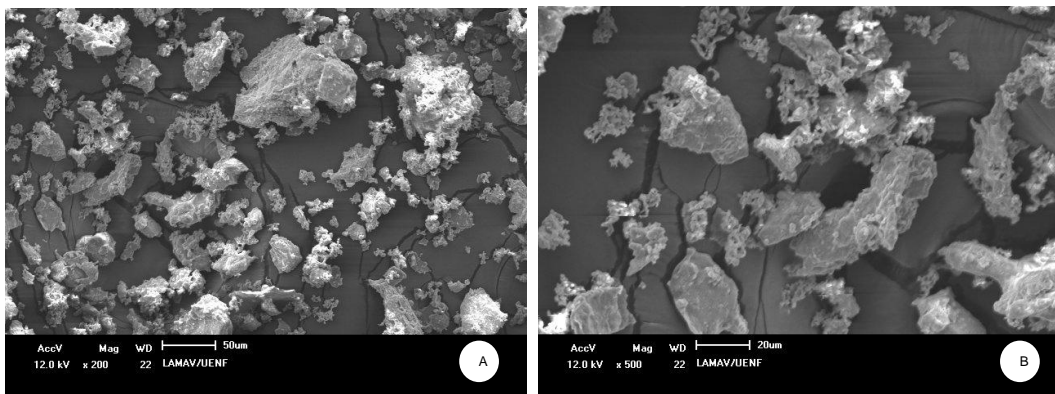


Figura 4.17- Micrografias de MEV do pó de silicato de cálcio sintetizado a 1100°C, obtido com a mistura de chamote e casca de ovo sem calcinar, com mapeamento de EDS. Aumento de (a) 200x e (b) 500x (c) 1000x.



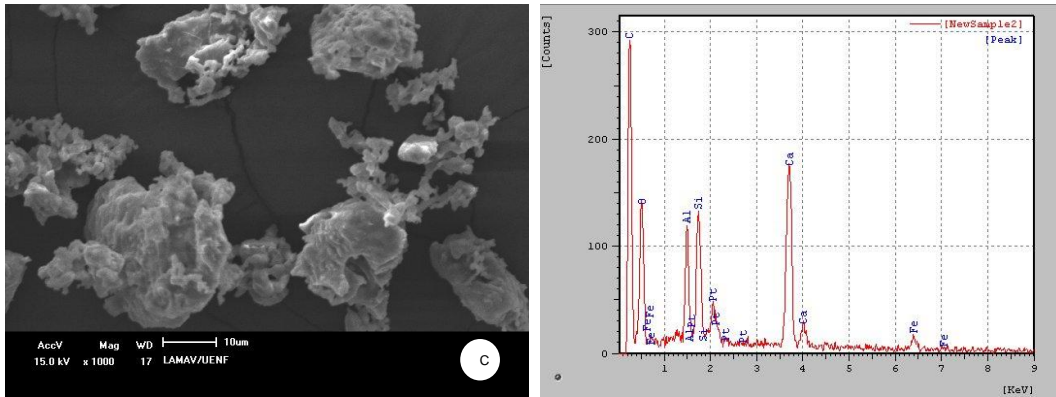


Figura 4.18- Micrografias de MEV do pó de silicato de cálcio sintetizado a 1100°C, obtido com a mistura de chamote e casca de ovo calcinada, com mapeamento de EDS. Aumento de (a) 200 X; (b) 500 X; (c) 1000 X.

#### 4.4- Preparação dos corpos de prova

Foram produzidos 12 corpos de prova para as temperaturas de 1000 °C, 1050 °C e 1100 °C. Para cada peça foi utilizado 10 gramas de material de silicato de cálcio, que foi prensado em prensa hidráulica, por prensagem uniaxial a 4,1 toneladas, na forma de pastilhas com diâmetro aproximados de 25 mm e altura de 10mm, em matriz de aço inoxidável com cavidade circular. Após a compactação as peças de silicato de cálcio foram submetidas à secagem a 110 °C durante 24 horas. Finalmente, as amostras de teste foram curadas por imersão em água, a 5 minutos por dia durante 1 semana. Em seguida foram secas em estufa a 110 °C durante 48 horas, Figura 4.19.





(a)

(b)

Figura 4.19- Peças de silicato de cálcio após a cura . (a) chamote e casca de ovo sem calcinar (b) chamote e casca de ovo calcinada.

#### 4.5- Ensaio físicos e mecânicos

Os dados de porosidade aparente e absorção de água estão apresentados nas Figuras 4.20 e 4.21, respectivamente. Pode-se notar que as peças obtidas do pó de silicato de cálcio, a partir da sintetização de chamote e casca de ovo calcinada, nas temperaturas de 1050°C e 1100°C, apresentaram valores maiores de absorção de água, isto pode estar associado à presença de CaO, que tende a reagir com os silicatos, como descrito nas reações de formação de fases, e/ou reagir com água formando a Portlandita, criando possibilidade de porosidade aberta. Enquanto nas peças da mistura sintetizada a partir de chamote e casca de ovo sem calcinar apresentou absorção e porosidade mais baixa, que pode ser explicada pela presença do CaCO<sub>3</sub> que não reagiu completamente (Felipe-Sesé, 2011), como mostra o difratograma de raio-X na Figura 4.15.

As peças produzidas do pó de silicato de cálcio sintetizado a 1000 °C apresentaram maior porosidade aparente e absorção de água para a mistura com a casca de ovo sem calcinar do que para a mistura com a casca já calcinada, isso apresenta um indicativo de que as reações que ocorreram nessa temperatura durante o processo de sintetização e cura interferiram nas propriedades das peças. Possivelmente a hidratação do óxido de cálcio em Portlandita estaria relacionada com a elevada porosidade aparente do material, devido à diminuição da densidade do CaO de 3,35 g/cm<sup>3</sup> para Ca(OH)<sub>2</sub> de 2,21 g/cm<sup>3</sup> (Euroaktion, 2014). O difratograma de raio-X na Figura 4.15, comprova que a quantidade de picos de Portlandita foi maior na temperatura de 1000°C com a casca sem calcinar.

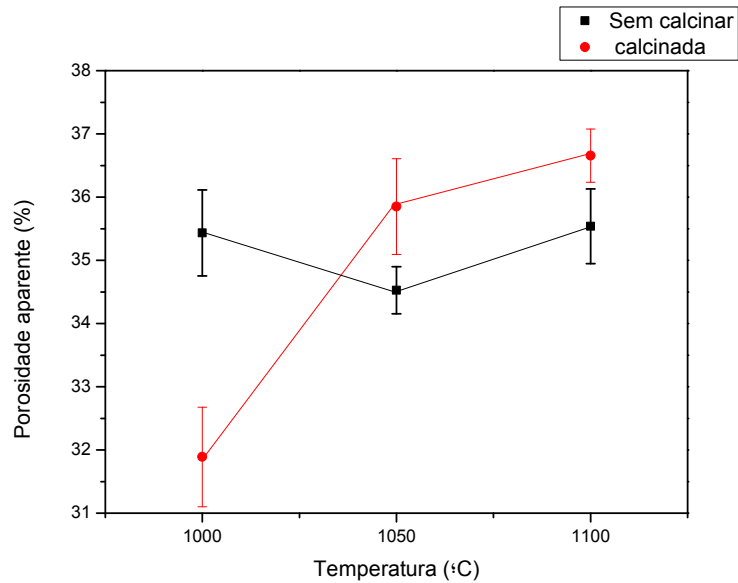


Figura 4.20- Porosidade aberta das peças de silicato de cálcio sem calcinar e calcinada.

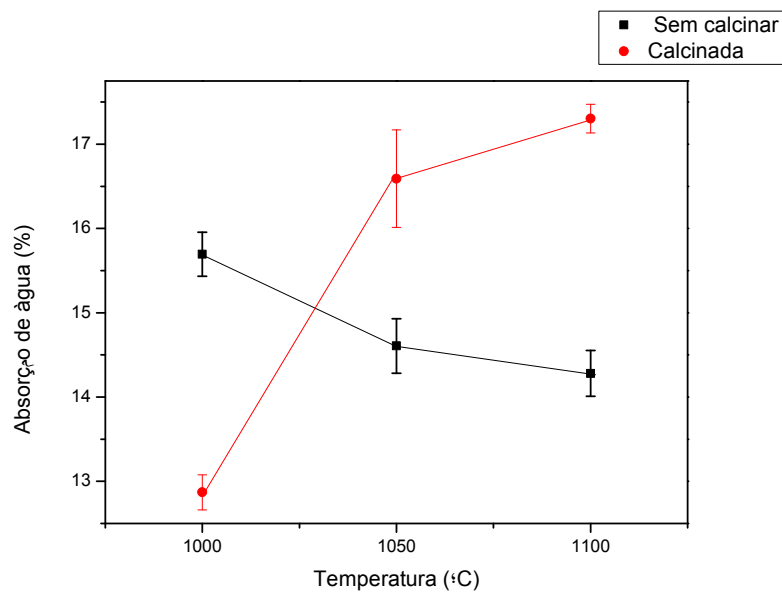


Figura 4.21- Absorção de água das peças de silicato de cálcio sem calcinar e calcinada.

A Figura 4.22 apresenta os dados de sucção da peça de silicato de cálcio, que foi maior para as peças de silicato de cálcio sintetizadas a partir da mistura com a casca de ovo em pó calcinada, pois durante as reações e formações de fases essa mistura apresentou uma porosidade maior.

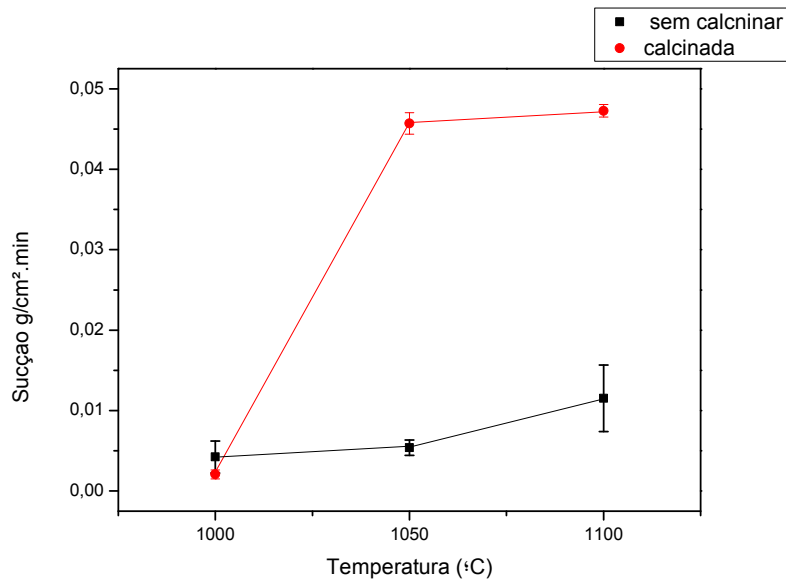


Figura 4.22- Sucção da peça de silicato de cálcio.

De acordo com a Figura 4.23 a densidade aparente das peças de silicato de cálcio, apresentou uma variação entre  $1,82 \text{ g/cm}^3$  e  $1,95 \text{ g/cm}^3$ . A densidade aparente de um material pode estar associada à quantidade de poros presente na peça, como a porosidade mostrada na Figura 4.20, foi menor para as peças de silicato de cálcio sintetizados a partir do pó da casca de ovo sem calcinar nas temperaturas de  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  já era de esperar que eles apresentassem maior densidade aparente, assim como foi obtido. Para a temperatura de  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  também houve essa inversão, a peça que apresentou menor porosidade obteve maior densidade aparente, que foi o caso da mistura com o pó da casca calcinada.

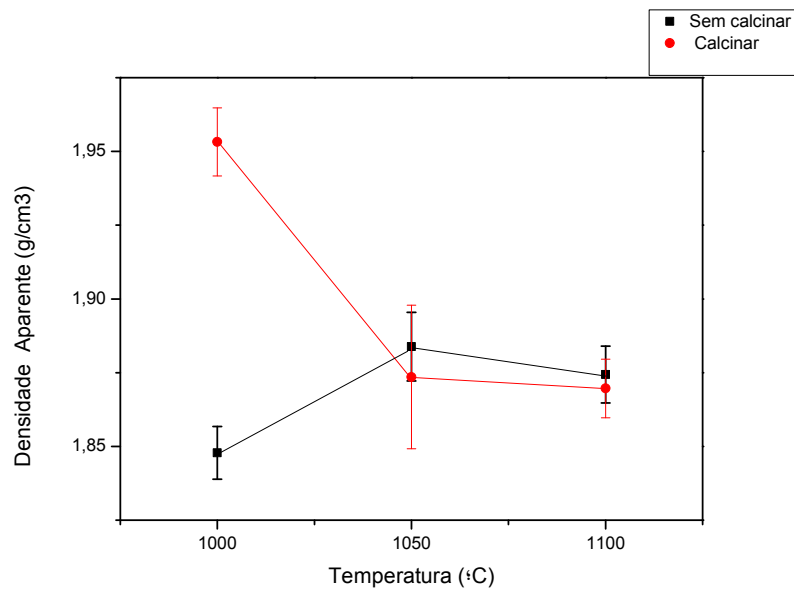


Figura 4.23- Densidade aparente das peças de silicato de cálcio sem calcinar e calcinada.

A Figura 4.24 apresenta os dados de resistência à flexão do material de silicato de cálcio sintetizados com chamote e pó de casca de ovo sem calcinar e calcinado. Em geral, existem dois fatores importantes que podem afetar a resistência mecânica dos materiais cerâmicos, são eles: porosidade e tamanho dos grãos. Quanto maior a porosidade e o tamanho dos grãos, menor será a resistência material cerâmico (Lin, 2004). Por isso que as peças de silicato de cálcio produzidas com o pó da casca de ovo sem calcinar a 1000 °C apresentou menor resistência mecânica do que na outra mistura. Pois como foi mostrada na Figura 4.20 a porosidade aparente dessas peças foi maior. Já nas temperaturas de 1050 °C e 1100 °C ocorreu o inverso, a mistura com o pó calcinado foi menos resistente, por apresentarem maior porosidade.

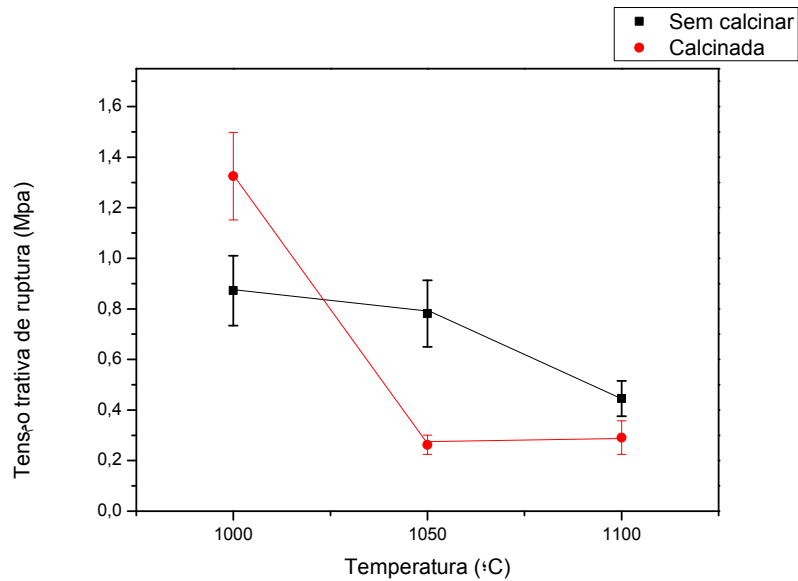


Figura 4.24- Tensão à tração pelo método de compressão diametral da peça de silicato de cálcio.

#### 4.6- Caracterização térmica

Para a realização das análises térmicas foram produzidos mais cinco corpos de prova para as temperaturas de 1000°C, 1050°C e 1100°C, com o pó de silicato de cálcio umedecido com 15 % de água, produzidos com o pó da casca de ovo sem calcinar/calcinada e chamote, com espessura que variavam entre 350  $\mu$  a 400  $\mu$ , como mostra a Figura 4.25.



---

Figura 4.25- Corpos de prova de silicato de cálcio com espessura entre 350  $\mu$  a 400  $\mu$ .

#### **4.6.1- Condutividade térmica e Efusividade térmica**

#### **4.6.2- Capacidade térmica**

#### **4.6.3 - Difusividade térmica**

### **4.7- Análise microestrutural**

#### **4.7.1- Microscopia óptica (MO)**

A Figura 4.28 e 4.29 apresenta as imagens da fratura dos corpos de prova de silicato sintetizados com chamote e pó da casca de ovo sem calcinar e chamote com pó da casca de ovo calcinada obtidas através da microscopia óptica. Pode-se observar que como aumento da temperatura os silicatos sintetizados apresentaram uma coloração mais clara com alguns pontos mais escuros, características dos minerais que contém ferro. A mistura com a casca de ovo em pó calcinada apresentou uma coloração mais avermelhada e com mais pontos escuros, pois a quantidade de chamote utilizada foi maior. Observa-se ainda uma concentração de partículas brancas, provavelmente da calcita que não reagiu (para a mistura com a casca sem calcinar) e de quartzo. Observamos também que nas temperaturas mais elevadas as partículas estavam mais aglomeradas, devido a presença de fase líquida que foi maior para essas temperaturas.

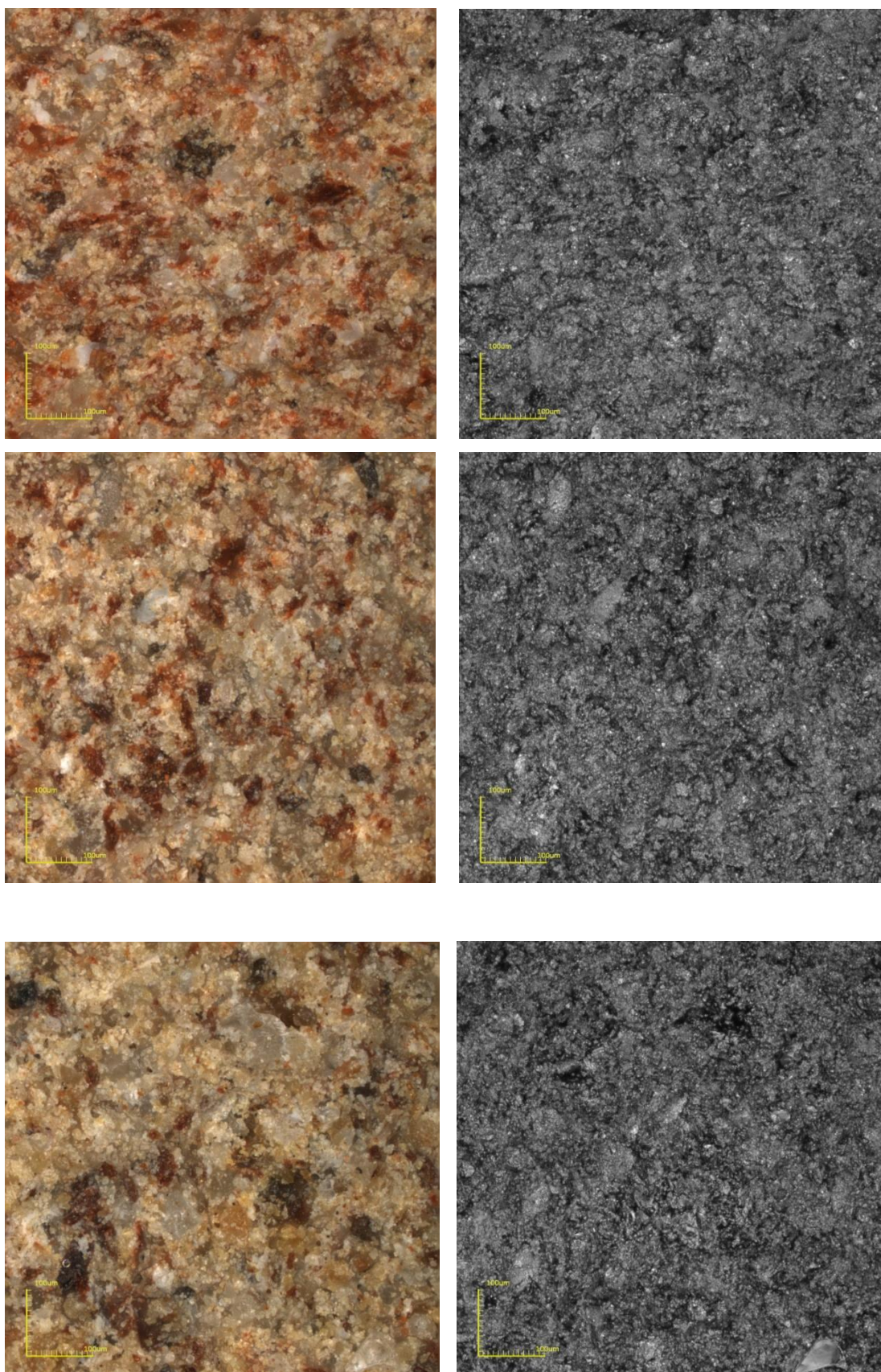


Figura 4.28- Análise morfológica para o silicato de cálcio sintetizado com chamote e pó de casca de ovo sem calcinar, com aumento de 430 X nas temperaturas de a)1000°C b)1050 °C e c)1100 °C

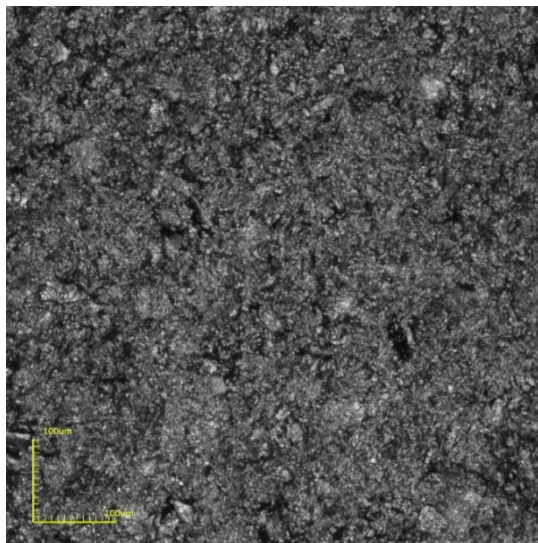
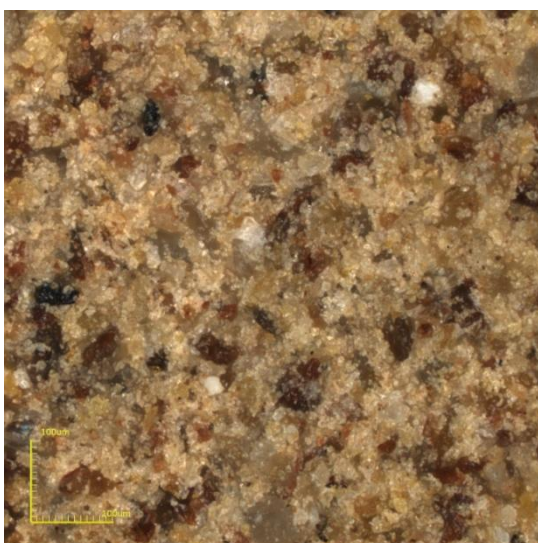
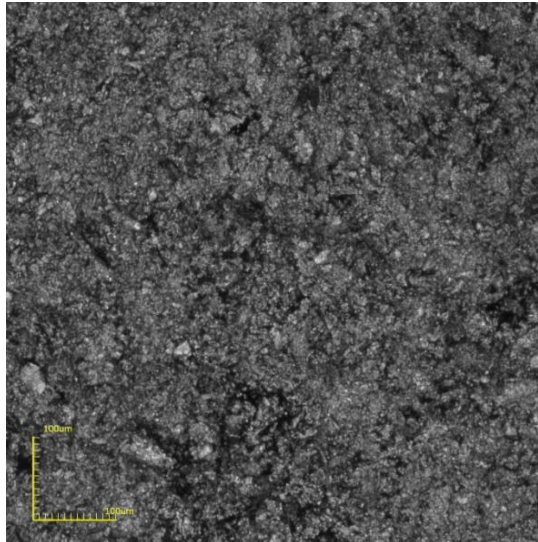
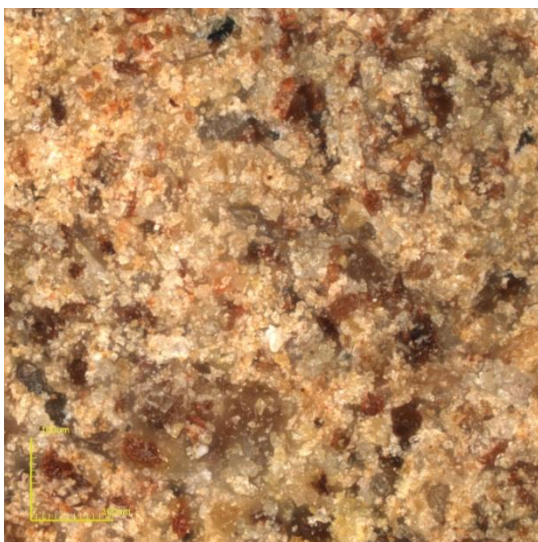
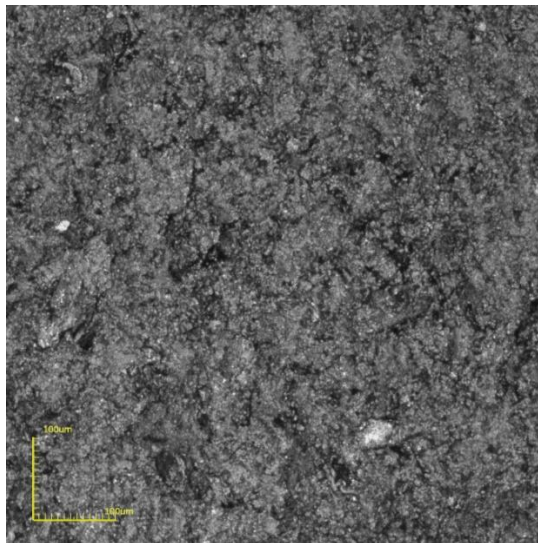
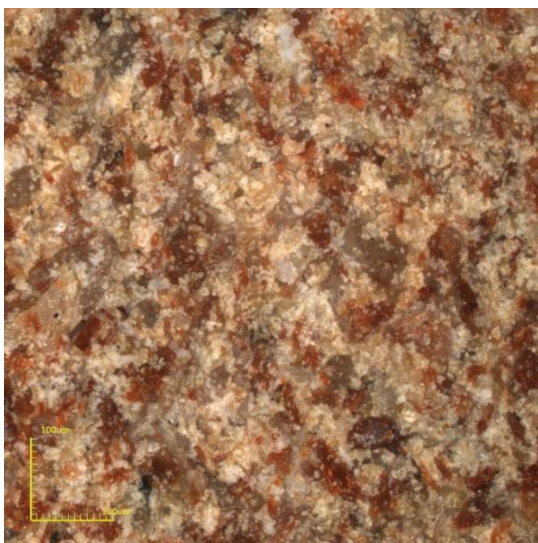


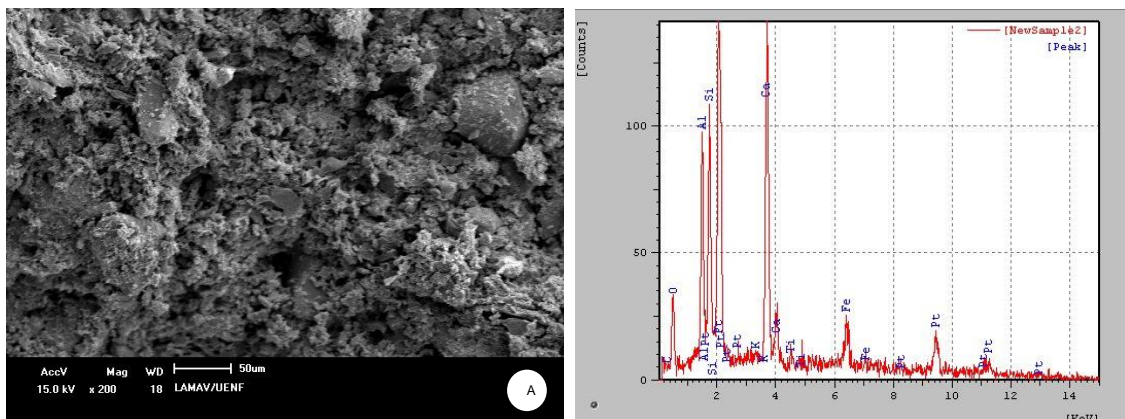


Figura 4.29- Análise morfológica para o silicato de cálcio sintetizado com chamote e pó de casca de ovo calcinada, com aumento de 430 X nas temperaturas de a)1000°C b)1050 °C e c)1100 °C

#### 4.7.2- Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

É possível notar mais presença de fases líquida nas temperaturas de 1050 e 1100

As Figuras 4.30 a, b e c apresentam as micrografias da superfície de fratura do material de silicato de cálcio, obtido a partir das misturas de chamote com o pó da casca de ovo sem calcinar sintetizadas nas temperaturas de 1000 °C, 1050 °C e 1100°C, respectivamente. Pode-se observar que o material sintetizado a 1000 °C apresentou uma superfície mais porosa em relação às outras temperaturas. Esta porosidade é resultante da etapa do processo de transformação do óxido de cálcio em portlandita, como já foi descrito no item 4.5. Nas temperaturas de 1050°C e 1100°C, é possível notar maior presença de fase líquida, apresentando menor quantidade de poros. Os resultados obtidos estão de acordo com os valores de porosidade encontrados na Figura 4.20. Todos os mapeamento por EDS apresentaram composições de Si, Al, Ca, O, Fe, Pt, C, em maiores ou menores intensidades variando de uma temperatura para outra, estes elementos são os principais constituintes das fases formadas durante a sintetização desse novo material, que foi apresentada na Figura 4.15 a; b; c. Toda a platina detectada no EDS faz parte da metalização das amostras.



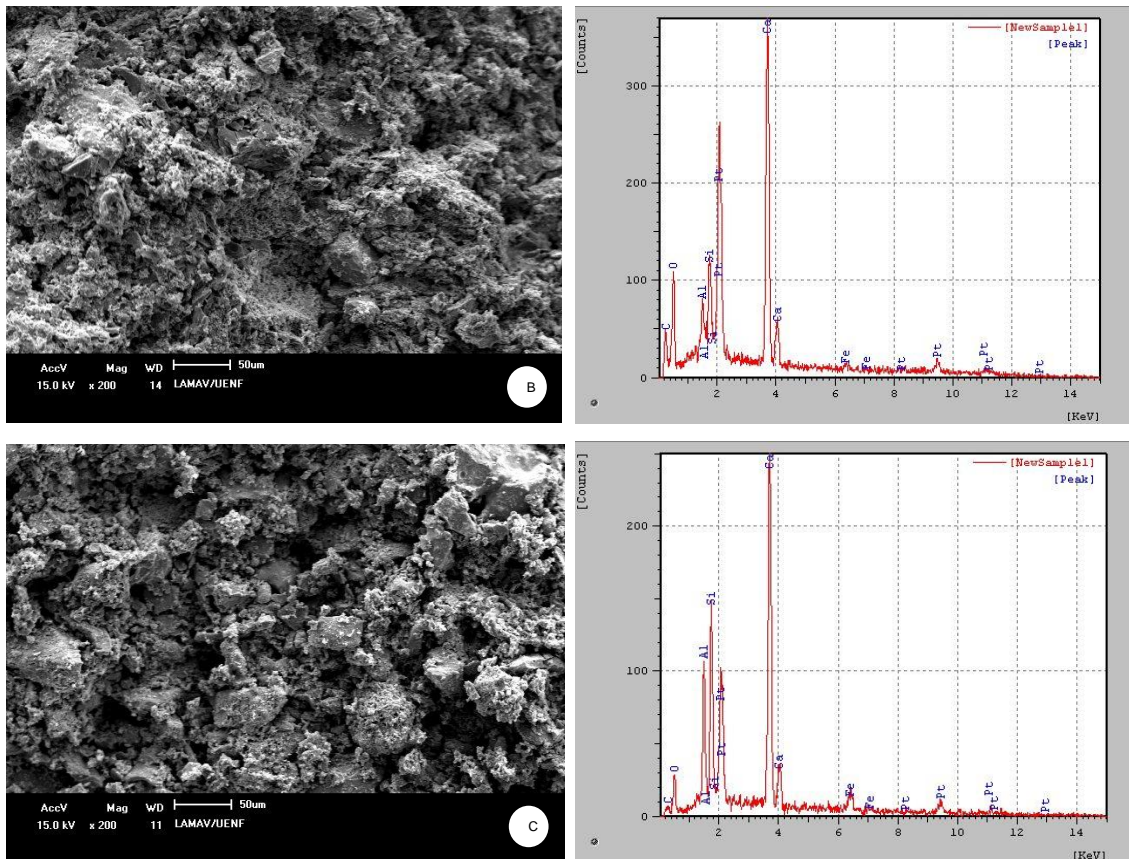


Figura 4.30- Micrografias de MEV da superfície de fratura do material de silicato de cálcio sintetizado a partir de chamote e pó de casca de ovo sem calcinar, com mapeamento de EDS, nas temperaturas de a)1000 °C, b) 1050 °C e c)1100 °C

As Figuras 4.31 a, b e c apresentam as micrografias da superfície de fratura do material de silicato de cálcio, obtido a partir das misturas de chamote com o pó da casca de ovo calcinada sintetizadas nas temperaturas de 1000 °C, 1050 °C e 1100°C, respectivamente. Pode-se observar que o material sintetizado a 1100 °C apresentou uma superfície mais porosa em relação às outras temperaturas. Esta porosidade pode estar associado à presença de CaO, que com o aumento da temperatura tende a reagir mais com os silicatos, como descrito nas reações de formação de fases, criando possibilidade de porosidade aberta. Todos os mapeamento por EDS apresentaram composições de Si, Al, Ca, O, Fe, Pt, C, em maiores ou menores intensidades variando de uma temperatura para outra, estes elementos são os principais constituintes das fases formadas durante a sintetização desse novo

material, que foi apresentada na Figura 4.16 a; b; c. Toda a platina detectada no EDS faz parte do material utilizado na metalização das amostras.

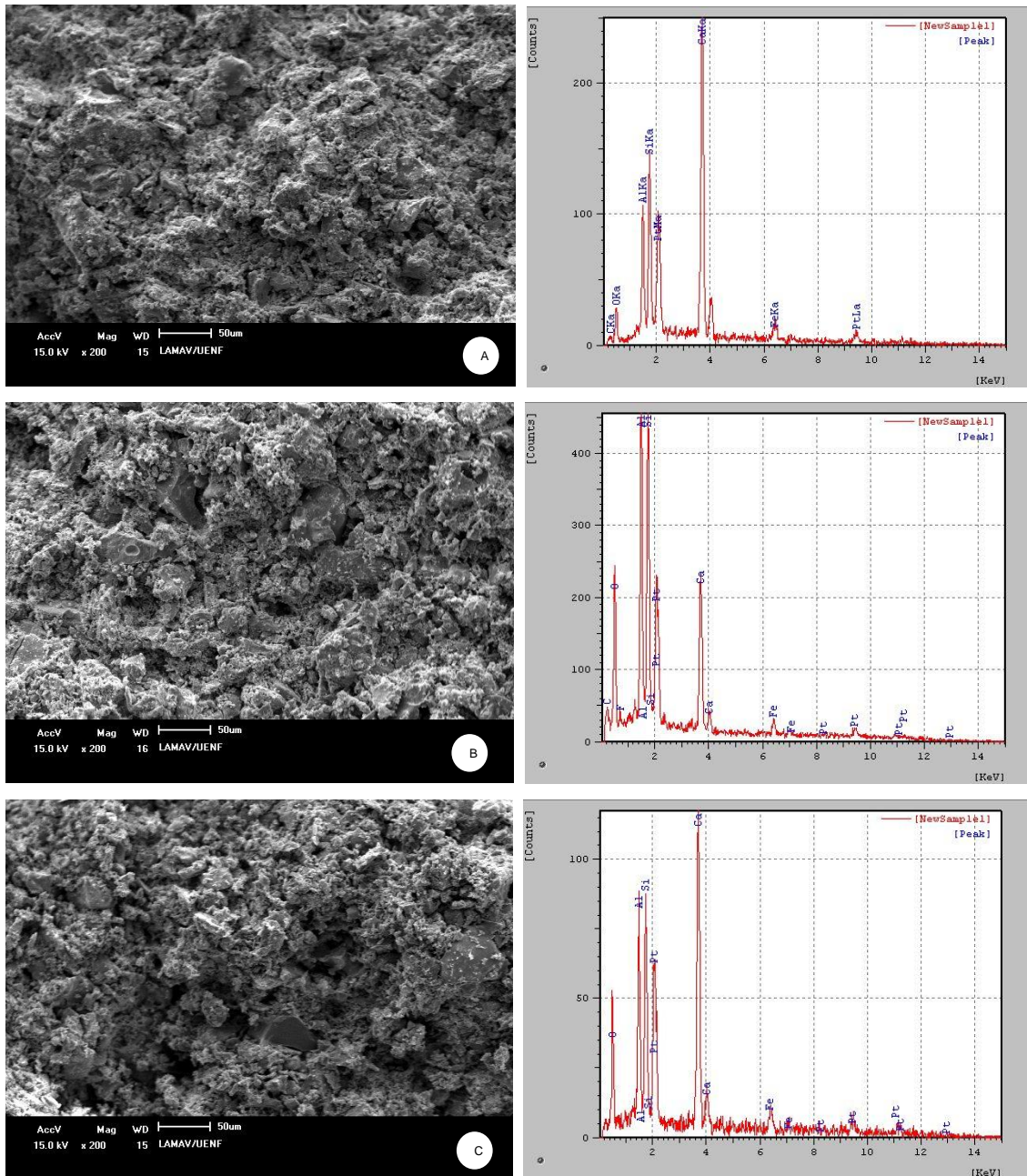


Figura 4.31- Micrografias de MEV da superfície de fratura do material de silicato de cálcio sintetizado a partir de chamote e pó de casca de ovo calcinada, com mapeamento de EDS, nas temperaturas de a)1000 °C, b)1050 °C e c)1100 °C.

---

---

### 5.1. Conclusões

Neste trabalho de mestrado foi estudado a sintetização do material de silicato de cálcio a partir das matérias-primas de chamote e casca de ovo em pó sem calcinar e calcinada. Os resultados experimentais e discussão deles permitiram as seguintes conclusões:

- ✓ O resíduo de chamote é constituído quimicamente por sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e outros óxidos que somam 6,28 % da composição total da amostra, e apresenta baixa perda ao fogo (2,9 %). Do ponto de vista mineralógico, o chamote é constituído de quartzo, illita/mica, feldspato potássico e hematita. Do ponto de vista físico ele é rico em partículas na fração silte ( $2 < x \leq 63 \mu\text{m}$ ) com cerca de 69%.
- ✓ A casca de ovo sem calcinar é quimicamente constituída de óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ). A amostra também continha pequenas quantidades  $\text{SrO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ , sendo inferior a 1,9% da composição total e alta perda ao fogo (45,6%) .Do ponto de vista mineralógico, a casca de ovo é constituída principalmente de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Do ponto de vista físico, o resíduo apresenta grande quantidade de partículas na fração areia fina ( $63 < x \leq 200 \mu\text{m}$ ) com cerca de 56 % e silte ( $2 < x \leq 63 \mu\text{m}$ ) com cerca de 43 %.
- ✓ A casca de ovo calcinada é quimicamente constituída de óxido de cálcio, assim como na casca sem calcinar, com 98,92 % da composição total e pequenas quantidade de  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SrO}$  e  $\text{ZrO}_2$ , que juntas somam 0,7 %, possui baixa perda ao fogo de aproximadamente 0,38 %. Do ponto de vista mineralógico, o resíduo calcinado é constituído de portlandita e óxido de cálcio.
- ✓ A análise mineralógica depois da sintetização da mistura dos pós das matérias-primas indicou que houve mudanças nas fases cristalinas. Confirmando que houve a formação do silicato de cálcio e outras fases nas temperaturas de 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C e 1200°C, que foram: Wollastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ), Tridimita ( $\text{SiO}_2$ ) e Rakinita, Ghelenita ( $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi})\text{O}_7$ ), Larnita ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), Anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), Ferrobustamita

---

([Ca,Fe,Mn]  $3\text{Si}_3\text{O}_9$ ), Cristobalita ( $\text{SiO}_2$ ), Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), Portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), Quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Na temperatura de  $1150^\circ\text{C}$  para a casca de ovo sem calcinar, das fases descritas acima a única que não apareceu foi a Larnita. Para todas as temperaturas com a casca calcinada não houve a presença da calcita. Além da calcita a Temperatura de  $1150^\circ\text{C}$  para a mesma mistura também não apresentou hematita e larnita.

- ✓ Não foi possível trabalhar com os materiais sintetizados nas temperaturas de  $1150^\circ\text{C}$  e  $1200^\circ\text{C}$ , devido a grande quantidade de fase líquida presente nessas temperaturas.
- ✓ Houve diferença nas propriedades tecnológicas dos corpos sintetizados de silicato de cálcio, nas temperaturas de  $1000^\circ\text{C}$ ,  $1050^\circ\text{C}$  e  $1100^\circ\text{C}$ , a partir de chamote e pó de casca de ovo sem calcinar para a mistura de chamote e pó de casca de ovo calcinada. Na primeira mistura a porosidade foi menor, e conseqüentemente, diminui a absorção de água, com exceção da temperatura de  $1000^\circ\text{C}$  onde ocorreu o inverso, devido a alterações na formação das fases, dessa para as demais temperaturas.
- ✓ Observou que houve melhor resistência do silicato de cálcio produzido com o pó da casca de ovo calcinada na temperatura de  $1000^\circ\text{C}$ . Com exceção a ela, o material com melhor resistência foi o silicato de cálcio produzido com a casca sem calcinar nas três temperaturas usadas neste trabalho.
- ✓ O silicato de cálcio produzido a  $1000^\circ\text{C}$  com a casca calcinada e com a casca sem calcinar, foi o que mais apresentou variação na densidade aparente, que pode ser explicada pela maior quantidade de poros nessa temperatura.
- ✓ Houve uma elevada variação nos valores de sucção obtida pelo material de silicato de cálcio com a casca calcinada, devido ao maior número de poros presentes durante as reações de sintetização deste produto.

## 5.2. Sugestões para trabalhos futuros

- ✓ Avaliar a viabilidade econômica da utilização do resíduo de casca de ovo e chamote para a sintetização do silicato de cálcio para uso como isolante térmico em material cerâmico.
  
- ✓ Variar o formato do corpo de prova
  
- ✓ Aumentar a quantidade de corpos de prova para uma estatística mais apurada.
  
- ✓ Fazer outras composições com razão molares diferentes.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANFACER- ASSOCIAÇÃO DOS FABRICANTES DE CERÂMICAS. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE CERÂMICA (THE AMERICAN CERAMIC SOCIETY) - Centro de conhecimento - cerâmica ciências de engenharia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Informações técnicas-Definição e classificação.

ABNT NBR 6508 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984) Determinação da densidade dos grãos.

ABNT NBR 7181 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984) análise granulométrica. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 10836 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994) Bloco vazado de solo-cimento. Determinação da resistência à compressão e a absorção de água. Método de ensaio. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 10004 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004c) Resíduos Sólidos - Classificação: Rio de Janeiro.

ASTM C373-72 - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1977a). Test method for water absorption, bulk density, apparent porosity and apparent specific gravity of fired whiteware products.

ASTM- C373-88 - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1994) Test method for water absorption, bulk density and apparent porosity

UNE 67-031 – UNIÃO EUROPEIA DE NORMA ( 1986) Burned Clay Bricks. Suction Test.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. (1986) Resolução n°. 001,

---

23 de Janeiro 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.

ETENE (2010) -ESCRITÓRIO TÉCNICO DE ESTUDOS ECONÔMICOS DO NORDESTE. Informe setorial cerâmica vermelha. Outubro/2010.

GAIA AMBIENTAL – Disponível em:  
<http://www.gaiambiental.com.br/servicos/meio-ambiente/classificacao-de-residuos-de-acordo-nbr-100042004> Acessado: 15/01/2014

INSULATION AND REFRACTORIES- Insulation-types and application, Economic thickness of insulation, Heat savings and application criteria, Refractory-types, selection and application of refractories, Heat loss.Bureau of Energy Efficiency.. Disponível:  
[http://www.beeindia.in/energy\\_managers\\_auditors/documents/guide\\_books/2Ch5.pdf](http://www.beeindia.in/energy_managers_auditors/documents/guide_books/2Ch5.pdf) Acessado em: 10/1/2013

ISAR (2013)- Site Institucional da Empresa ISAR Isolamento térmico e acústico Disponível: <http://www.isar.com.br/produtos/isolamento-termico/silicato-de-calcao/> Acessado: 10/1/2013

NEOTÉRMICA (2012) - Isolantes térmicos e revestimentos metálicos. Disponível: <http://www.neotermica.com.br/html/isolante-termico/silicato-de-calcao.html> Acessado: 27/11/2012

UBA- União Brasileira de avicultura

EUROAKTION, Tabela das densidades dos materiais. Disponível em:  
<http://www.euroaktion.com.br/Tabela%20de%20Densidade%20dos%20Materiais.pdf> Acessado: 5/1/2014 -

AL-HOMOUD, M.S. (2005) Performance characteristics and practical applications of commonbuilding thermal insulation materials. Building and Environment.vol. 40, pp. 353–366.



ALMOND, D.P.; PATEL, P.M. (1996) *Photothermal Science and Techniques*. Chapman & Hall, London.

AI-TAYYIB, A.J.; JUNG, I. H.J.; SHAMIM KHAN, M. (2009) Development of calcium silicate thermal insulator in Saudi. Vol. 20. n. 5.

BROSTOW, W. et al. (1999) Synthesis of hydroxyapatite from eggshells. p. 128-134.

CALLISTER, W.D. Jr (2002). *Ciências e Tecnologia de Materiais: uma introdução*. 5e Ed. Rio de Janeiro.:Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A.

CARNEIRO, B. S.; ANGÉLICA, R. S.; SCHELLER, T.; CASTRO, E. A. S.; NEVES, R. F.( 2003) Caracterização mineralógica e geoquímica e estudo das transformações de fase do caulim duro da região do Rio Capim, Pará. *Cerâmica*, vol.49,p. 237-244 -

CASAGRANDE, M.C ; SARTOR, M N; GOMES, V.;DELLA, V.P, HOTZA, D.; OLIVEIRA, A.P. N. (2008) Reaproveitamento de Resíduos Sólidos industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico. *Cerâmica Industrial*,vol.13 (1/2).

CORBELLA, O.; YANNAS, S. (2003) *Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: Conforto Ambiental*. Rio de Janeiro: Revan.

CUNHA, A. G., CUNHA, R. R. (1997) *Impermeabilização e isolamento térmico: materiais e especificações*, 117p.

DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. (1997) Recycling of industrial and urban wastes in brick production – a review. *Tile & Brick International*, v. 13, p. 218-225.

FELIPE-SESÉ, M.; ELICHE-QUESADA, D.; CORPAS-IGLESIAS, F.A. (2011) The use of solid residues derived from different industrial activities to obtain

---

calcium silicates for use as insulating construction materials. *Ceramics International*, In press.

FELIPE-SESÉ, M.; ELICHE-QUESADA, D.; CORPAS-IGLESIAS, F.A. (2011) Obtención de silicatos de calcio empleando como precursores residuos sólidos. Influencia del mezclado de reactivos en fase seca o fase húmeda. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. vol 50, n.1,p. 41-48, Enero-Febrero. ISSN 2173.0431

FERNANDES,P.F.; OLIVEIRA, A.P.N.; HOTZA; D. (2003) Reciclagem do Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes de uma Indústria de Revestimentos Cerâmicos. Parte 1: Ensaios Laboratoriais Industrial. *Cerâmica Industrial*,vol. 8 n.2 Março/Abril. Criciúma – SC.

FREIRE, M.N.; HOLANDA, J.N.F. (2006) Characterization of avian eggshell waste aiming its use in a ceramic wall tile paste . *Cerâmica* [online]. vol.52, n.324, p 240-244. ISSN 0366-6913.

FREIRE, M.N.; SOUSA, S.J.G.; HOLANDA, J.N.F. (2008) Using eggshell in red wall tiles, *Waste and Resource Management*, v. 161, p. 23-27.

GARCIA, F. G; ACOSTA,V. R.; RAMOS G. G.; RODRIGUEZ, M. G. (1990) Firing transformations of mixtures of clays containing illite, kaolinite and calcium carbonate used by ornamental tile industries. *Applied Clay Science*. vol.5, p. 361-375.-

GOUVEIA, F.P. (2008) Efeito da incorporação de chamote (resíduo cerâmico queimado) em massas cerâmicas para a fabricação de blocos de vedação para o distrito federal- DF. Um estudo experimental. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília- DF. p.111

GOUVEIA, F. P.; SPOSTO, R. M. (2009) Grog incorporation in ceramic mass for the manufacture of bricks. A study of the physical-mechanical properties. *Cerâmica*. vol. 55, p. 415-419.

GRIGOLETTI, G.C.; SATTLER, M.A. (2003) Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 19-32.

INCROPERA, F.P; DeWITT, D.P. (1998) Fundamentos de Transferência de calor e massa. 4ª ed. Rio de Janeiro. Editora LTC- Livros Técnicos e Científicos S.A.

KAPUR, P.C. (1980) Thermal Insulations from Rice Husk Ash, an Agricultural Waste. *Ceramurgia internacional*. Vol. 6. n. 2.

KOTSIS, I; BALOGH, A. (1989) Synthesis of wollastonite. *Cerâmica Internaciona*. Vol.15, pp. 79–85.

KREITH, F.(2008) Princípios da transmissão de calor: 9. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher.

LIN, K.; CHANG, J.; ZENG, Y.; QIAN, W. (2004) Preparation of macroporous calcium silicate ceramics. *Materials Letters*. vol. 58, p. 2109–2113.-

MARCIANO, F.R; BARJA, P.R ; AVALOS, D.A; BELOTO, A.F; SILVA, M.D. (2004) Medição da efusividade térmica de líquidos através da técnica fotoacústica utilizando uma célula aberta (OPC). In: VIII Encontro de Iniciação Científica e IV Encontro de Pós-Graduação da Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap. v. único. p. 49-49.

MELLO, M.M; MARTINELLI, A.E; PINHEIRO, A.S; NASCIMENTO, R.M; VIEIRA, F. A. (2008) Avaliação do efeito da adição de chamote de telha em formulação de grês porcelanato com queima a gás natural. *Anais*: 17º

---

CBECIMat- Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais. Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

MENEZES, R. R.; ALMEIDA, R. R. DE; SANTANA, L. N. L. ; FERREIRA , H. S.; NEVES , G. A.; FERREIRA, H. C. (2007) Utilização do Resíduo do Beneficiamento do Caulim na Produção de Blocos e Telhas Cerâmicos . Revista Matéria, v. 12, n. 1, pp. 226 – 23.

MELCHIADES, F.G. et al. (2001) Alternativas para Eliminar (ou Reduzir) os Furos no Esmalte Causados por Partículas de Calcário em Revestimentos Fabricados por Via Seca. Cerâmica Industrial, 6 (1) Janeiro/Fevereiro.

MOREIRA A. H.; OLIVEIRA R. M.; LIMA P. D. S., Efeito da adição de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção, Revista Cerâmica, 47 (303) (2001), p. 158-162.

MOTA, L.; TOLEDO, R. ; MACHADO, F.A.L.; HOLANDA, J.N.F.; VARGAS H.; . FARIA JR, R.T. (2008) Thermal characterisation of red clay from the Northern Region of Rio de Janeiro State, Brazil using an open photoacoustic cell, in relation to structural changes on firing. Applied Clay Science. Vol. 42 , pp 168–174.

MOTTA, J.F.M; ZANARDO, A.; JUNIOR, M.C. (2001) As matérias-primas cerâmicas. Parte I: o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus Produtos. Cerâmica industrial, São Carlos, v.6, n.2, mar./abr.

MURAKAMI, F. S. (2007) Estudo termoanalítico entre carbonato de cálcio industrial e carbonato de cálcio obtido da casca do ovo. V Congresso Brasileiro de Análise Térmica e Calorimetria – V CBRATEC.

NEVES, M. A. (1998) Alternativas para valorização da casca de ovo como complemento alimentar e em implantes ósseos. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis.

OLIVEIRA, V. M. S.; PARDO, M. B. L. (2007) Fábrica de Cimento Portland: Impactos Ambientais e Gestão de Conflitos Ambientalistas no Bairro América (1975-1984). *Scientia Plena*. São Cristóvão. V. 3, n. 5, p. 124-132.

OLIVEIRA, D. A.; BENELLI, P.; AMANTE, E. R. (2009) Valorização de Resíduos Sólidos: Casca de Ovos como Matéria-Prima no Desenvolvimento de Novos Produtos. 2nd International Workshop | Advances in Cleaner Production. São Paulo, Brazil.

PADILHA, A.F. (1997) *Materiais de engenharia- microestrutura propriedades* - . Editora: Hemus. São Paulo.

PAZINI, E.J. da SILVA, J.H. - *Materiais e produtos poliméricos* – disponível em: <http://www.upe.poli.br/~cardim/MATERIAIS%202/Materiais%20e%20produtos%20polimericos.pdf> Acessado: 01/08/2013

PEREIRA, J.G.; OKUMURA, F.; RAMOS, L.A.; CAVALHEIRO, E.T.G. (2009) Termogravimetria: Um novo enfoque para a clássica determinação de cálcio em cascas de ovos. *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 6, 1661-1666.

SANTOS, W. N. (2005) Métodos transientes de troca de calor na determinação das propriedades térmicas de materiais cerâmicos: I - o método de pulso de energia. *Cerâmica*. vol.51, n.319, pp. 205-213. ISSN 0366-6913.

SILVA, M.D.; BANDEIRA, I.N.; MIRANDA, L.C.M. (1987) Open-cell photoacoustic radiation detector. *Journal of Physics. E, Scientific Instruments* 20, 1476–1478.

SILVA, F. A. N. (2000) *Caracterização microestrutural e avaliação ambiental de cerâmicas argilosas com incorporação do resíduo borra de petróleo encapsulada*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 151 p.

SOUZA, G.P; SANCHEZ, G.P; HOLANDA, J.N.F. (2002) Characteristics and physical –mechanical properties of fired kaolinitic materials. *Cerâmica*. vol.40. p 302. Abril/mai/ Jun

SPINELLI, A.; OLIVEIRA, P.N; PASKOCIMAS, C. A. (2003) Síntese de Pigmento Cerâmico de Óxido de Ferro Encapsulado em Sílica Amorfa para Aplicações Cerâmicas a Altas Temperaturas (1100-1200 °C). *Cerâmica Industrial*. vol.8.n.1.-

SPOSTO, R. M. ; TOME, M. V. ; BLUMENSCHHEIN, R. N. (2007) Contribuição para implantação da gestão ambiental na produção de blocos cerâmicos. *Revista Sistemas Prediais: arquitetura sustentável / tecnologias emergentes*, v. 2, p. 18-24.

THOMPSON, S.P.; DAY, S.J.; PARKER, J. E.; EVANS, A.; TANG, C. C. (2012) Fine-grained amorphous calcium silicate  $\text{CaSiO}_3$  from vacuum dried sol–gel – Production, characterisation and thermal behavior. *Journal of Non-Crystalline Solids*. vol. 358, p. 885–892.

TORREIRA, R.P. (1980) Isolamento térmico. São Paulo. Fulton Editora Técnica Ltda.

TRAORÉ, K.; KABRÉ,T.S; BLANCHART,P. (2003) Gehlenite and anorthite crystallisation from kaolinite and calcite mix. *Ceramics International*. vol. 29, p.377–383.-

Valorização de resíduos . Publicação semestral. Janeiro de 2012. n. 18. ISSN 1647-2780. Disponível: <http://www.cvresiduos.pt/pdf/Jan2012.pdf> Acessado: 10/07/2013

VAN WYLN, G.J; SONNTAG, R.E. (1976) Fundamentos da Termodinâmica clássica.2ª ed. São Paulo/ SP. Ed. Edgar Bluncher Ltda.

---

VICHAPHUND, S.; KITIWAN, M.; ATONG, D.; THAVORNITI, P. (2011) Microwave synthesis of wollastonite powder from eggshells. *Journal of the European Ceramic Society*. vol. 31, p. 2435–2440.-

VIEIRA, C. M. F.; SOUZA, E. T. A.; MONTEIRO, S. N. (2004) Efeito da incorporação de chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha. *Cerâmica*. vol.50, n.315, p. 254-260. ISSN 0366-6913.

VIEIRA, C.M.F.; MONTEIRO, S.N. (2005) Microstructure evolution in kaolinitic clays as function of firing temperature. *Interceran*. V. 54, .p.268-271.

VIEIRA, C.M.F.; MONTEIRO, S.N. (2007) Effect of grog addition on the properties and microstructure of a red ceramic body for brick production. *Construction and Building Materials*. Vol. 21, p. 1754–1759.

VIEIRA, C. M. F.; TEIXEIRA, S. S.; MONTEIRO, S. N. (2009) Effect of the firing temperature on the properties and microstructure of red ceramic incorporated with grog. *Cerâmica*. vol.55, p. 332-336

VICHAPHUND, S.; KITIWAN, M.; ATONG, D.; THAVORNITI, P. (2011) Microwave synthesis of wollastonite powder from eggshells. *Journal of the European Ceramic Society*. vol. 31, p. 2435–2440.-