



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

BRUNA SOARES MOREIRA

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE FILITO E ESCÓRIA DE
ACIARIA NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE CERÂMICAS
ESTRUTURAIS.**

MARABÁ
2013

BRUNA SOARES MOREIRA

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE FILITO E ESCÓRIA DE
ACIARIA NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE CERÂMICAS
ESTRUTURAIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia de
Materiais, Campus de Marabá,
Universidade Federal do Pará.
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rosane
Maria Pessoa Betânio Oliveira.

MARABÁ

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UFPA. CAMAR, Marabá, PA

Moreira, Bruna Soares

Influência da incorporação de filito e escória de aciaria nas propriedades tecnológicas de cerâmicas estruturais / Bruna Soares Moreira ; orientadora, Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveira. — 2013.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2013.

1. Cerâmica (Tecnologia). 2. Agregados (Materiais de construção). 3. Resíduos industriais - Reaproveitamento. 4. Filito. 5. Escória (Metalurgia). I. Oliveira, Rosane Maria Pessoa Betânio, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 666.3

BRUNA SOARES MOREIRA

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE FILITO E ESCÓRIA DE
ACIARIA NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE CERÂMICAS
ESTRUTURAIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia de
Materiais, Campus de Marabá,
Universidade Federal do Pará.
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rosane
Maria Pessoa Betânio Oliveira.

Data de aprovação: ____/____/____

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveira – UFPA - Orientadora

Prof. Dr. Adriano Alves Rabelo – UFPA - Membro interno

Prof. Dr. Elias Fagury Neto – UFPA - Membro interno

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus e a minha família!

AGRADECIMENTOS

Ao meu grandioso Deus que através do seu amor e misericórdia me fez forte, capacitou e amparou diante das lutas, dificuldades, desafios, me concedeu a oportunidade de ter uma família e amigos maravilhosos com quem eu posso contar;

Aos meus pais amados Suely e Roberval que sempre me amaram, incentivaram a dar o melhor de mim, a buscar sempre ser uma pessoa melhor e nunca duvidar do meu valor e de me lembrar todos os dias o quanto vale a pena amar e ser amado, respeitar e ser respeitado;

Ao meu irmão Rafael por me apoiar e suportar. A minha família por me amar e estar sempre ao meu lado em todos os momentos;

Aos meus amigos que me apoiaram, deram força, carinho e torceram por mim ao longo dessa caminhada acadêmica, Barbara Thays, Manoela Coelho, Karin Camargo, Renata Monteiro, Vinicius Paes, Viviane Costa, Mara Cristina, Túlio Alves, Adilton Rocha, Micael, Lourival, Ronaldo Gama, Mayron.

Aos colegas, Arthur, Pedro, André e Kelly que trabalham no Instituto de Geociências da UFPA;

Aos professores Rômulo Angélica e Simone Paz, pelo apoio nas caracterizações conduzidas no Instituto de Geociências da UFPA;

Ao professor Wilson Acchar, pelos ensaios mecânicos conduzidos no Laboratório de Propriedades Físicas de Cerâmicas do Instituto de Física da UFRN.

A minha orientadora professora Rosane Oliveira, pela orientação e apoio no desenvolvimento intelectual deste trabalho;

A FEMAT 2008 pelos os momentos de descontração e que apesar dos desentendimentos sempre buscaram ajudar uns aos outros;

A Universidade Federal do Pará pela minha formação em Engenharia de Materiais.

RESUMO

A busca da utilização de materiais alternativos e o aproveitamento de rejeitos industriais para a produção de cerâmicas estruturais têm sido bastante estudados nos últimos tempos. No presente trabalho, foram utilizados a argila, o filito e a escória de aciaria com objetivo de obter características que possam agregar valor aos produtos de cerâmica estrutural. Foram preparadas formulações de cerâmicas estruturais com objetivo de avaliar a microestrutura, as propriedades físicas e mecânicas obtidas após a incorporação de filito como substituto parcial da argila e também a introdução de escória de aciaria como carga. Os materiais de partida foram caracterizados através das técnicas de difratometria de raios-X e fluorescência de raios-X. Os teores adicionados para cada componente foram de 30 a 35% de escória, 20 a 50% de filito e 45 a 50% de argila. Os corpos de prova foram prensados e sinterizados nas temperaturas de 900, 1000 e 1100⁰ C com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min e patamar de queima de 2 horas. Para conhecer a influência dos componentes nas peças cerâmicas, foram realizados ensaios de propriedades tecnológicas para avaliar o potencial de uso, com base nos resultados de retração linear, absorção de água, densidade aparente, porosidade aparente e módulo de ruptura à flexão. As formulações apresentaram como resultado diminuição da porosidade e aumento da resistência mecânica.

PALAVRAS-CHAVES: Cerâmica estrutural, filito, escória de aciaria, propriedades tecnológicas.

ABSTRACT

The search for the use of alternative materials and industrial wastes for the production of structural ceramics has been extensively studied in recent times. In this work, it was used clay, phyllite and steel slag in order to produce structural ceramics with improved characteristics and high value. Formulations of structural ceramics were prepared aiming to evaluate the microstructure, as well as the physical and mechanical properties obtained after incorporation of phyllite as a partial replacement of clay, and also the introduction of steel slag as filler. The starting materials were characterized through of X-ray diffraction and X-ray fluorescence. The content of each component were 30 to 35% of slag, 20 to 50% of phyllite and 45 to 50% clay. The specimens were pressed and sintered at temperatures of 900, 1000 e 1100⁰ C, with a heating rate of 10 °C / min and firing threshold of 2 hours. The influence of the components in the ceramic parts were assessed by some tests, which were performed to evaluate the technological properties of potential use, based on results of linear retraction, water absorption, apparent density, apparent porosity and flexural modulus of rupture. The formulations showed as result reduction of porosity and increase of the mechanical strength.

Keywords: Structural Ceramic, phyllite, steel slag, technological properties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Fluxograma do Processo Produtivo de Cerâmica Estrutural.....	13
Figura 2- Diagrama Ternário com a Classificação das Argilas para uso em Cerâmica levando em consideração a cor após a queima nas faixas de 950, 1250 e 1450°C..	21
Figura 3- Escória de Aciaria	22
Figura 4- Esquema da Produção de Aço mostrando as Etapas de Formação e descarte da Escória de Aciaria	24
Figura 5- Etapa de Refino Secundário no Forno Panela	25
Figura 6- MET de um Tipo de Filito apresentando a Morfologia Lamelar típica desse material	26
Figura 7- Tipo de Filito	27
Figura 8- Argila MG utilizada no trabalho ainda sem processamento	30
Figura 9- Filito utilizado	31
Figura 10- Escória de Aciaria usada	31
Figura 11- Fluxograma da metodologia empregada	32
Figura 12- Difratoograma da Argila MG	39
Figura 13- Difratoograma do Filito Marrom	40
Figura 14- Difratoograma da Escória de Aciaria	40
Figura 15- Absorção de água em função da temperatura de sinterização	42
Figura 16- Porosidade Aparente em função da temperatura de sinterização	43
Figura 17- Retração Linear em função da temperatura de sinterização.....	44
Figura 18- Densidade Aparente em função da temperatura de sinterização	45
Figura 19- Módulo de Ruptura a Flexão em função da temperatura de sinterização.	46
Figura 20- Curva de Gresificação para a F1	47
Figura 21- Curva de Gresificação para a F2	48
Figura 22- Curva de Gresificação para a F3	49
Figura 23- Micrografia das formulações sinterizadas a 1100°C: (a) e (b) F1, (c) e (d) F2, (e) e (f) F3.....	50
Figura 24- MEV das partículas em forma de agulha:(a) Região analisada;(b) Análise química por EDS	50
Figura 25- Cor de queima das amostras após sinterização para as três formulações de F1, F2 e F3: (a)F1 (b) F2 (c)F3	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Aspectos observados na etapa de recepção.	17
Tabela 2- Aspectos observados na etapa de processamento.	17
Tabela 3- Aspectos observados no produto final.	18
Tabela 4- Comparação entre as composições das escórias produzidas em diferentes tipos de fornos.	23
Tabela 5- Comparação da composição química de diferentes tipos de Fillito.....	28
Tabela 6- Características do Filito explorado pela mineradora Itapeva.	29
Tabela 7- Formulações definidas.	33
Tabela 8- Valores especificados segundo a literatura para o ensaio dos corpos de prova de materiais cerâmicos	38
Tabela 9- Composições químicas das matérias primas utilizadas	38
Tabela 10- Resultados obtidos pelo ensaio de absorção de água (%)	41
Tabela 11- Resultados obtidos pela porosidade aparente (%)	43
Tabela 12- Resultados para a retração linear (%)	44
Tabela 13- Resultados para a densidade aparente (g/cm^3)	45
Tabela 14- Resultados para a ruptura a flexão (kgf/cm^2)	46
Tabela 15- Composição química obtida por EDS das agulhas.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivos Gerais	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	CERÂMICA ESTRUTURAL E A INDÚSTRIA	11
2.2	PROCESSO PRODUTIVO DA CERÂMICA ESTRUTURAL	12
2.2.1	Principais Etapas do Processo Produtivo	14
2.2.1.1	Matéria-prima, estocagem e transporte	14
2.2.1.2	Dosagem e desintegração	14
2.2.1.3	Processo de formação das peças	15
2.2.1.4	Secagem	16
2.2.1.5	Queima	16
2.3	QUALIDADE DOS PRODUTOS CERÂMICOS	16
2.4	MATÉRIAS PRIMAS	18
2.4.1	Argila	18
2.4.1.1	Conceito de argila	18
2.4.1.2	Tipos de Argila	19
2.4.1.3	Argila para cerâmica estrutural no Brasil	21
2.4.2	Escória de Aciaria	22
2.4.2.1	Produção de escória	23
2.4.2.2	Reutilização da escória de aciaria	25
2.4.3	Filito	26
2.4.3.1	Exploração de filito	26
2.4.3.2	Características do filito	29
3	MATERIAIS E METODOLOGIA	30
3.1	MATERIAIS	30
3.1.1	Argila	30
3.1.2	Filito	30
3.1.3	Escória de Aciaria	31
3.2	METODOLOGIA	32
3.2.1	Preparação dos Corpos de Prova	33

4	CARACTERIZAÇÃO E ENSAIOS	34
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS	34
4.1.1	Espectrometria de Fluorescência de raios X	34
4.1.2	Difratometria de Raios X	34
4.1.3	Microscopia Eletrônica de Varredura	34
4.2	ENSAIOS REALIZADOS	35
4.2.1	Ensaio Tecnológicos	35
4.2.1.1	Absorção de água	35
4.2.1.2	Porosidade aparente	35
4.2.1.3	Retração linear	36
4.2.1.4	Densidade aparente	36
4.2.2	Ensaio de Ruptura à Flexão	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA	38
5.2	CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA	38
5.3	PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS	41
5.3.1	Absorção de água	41
5.3.2	Porosidade aparente	42
5.3.3	Retração linear	43
5.3.4	Densidade aparente	44
5.4	MÓDULO DE RUPTURA À FLEXÃO	45
5.5	CURVAS DE GRESIFICAÇÃO	47
5.5.1	Formulação 1	47
5.5.2	Formulação 2	48
5.5.3	Formulação 3	48
5.6	ANÁLISE MICROESTRUTURAL	49
6	COR DE QUEIMA	51
7	CONCLUSÃO	53
8	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	54
9	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A produção de cerâmicas consiste basicamente em se produzir peças a partir de argila e outros elementos, formando uma mistura plástica e que ao estar úmida pode ser moldada. Em seguida esta mistura é submetida a um processo de secagem e queima em temperaturas na faixa de 1000° C, processo o qual confere resistência ao material de acordo com o tipo de componente utilizado.

O setor cerâmico é voltado para a produção de cimento, cerâmica vermelha, cerâmica de revestimento, entre outros. A produção de materiais cerâmicos vem encontrando um crescimento vertiginoso ao longo dos anos devido ao avanço econômico e conseqüentemente a expansão das construções no mundo inteiro. Pensando neste fator e na política ambiental, a utilização de elementos diversificados e de rejeitos industriais vem sendo bastante explorada.

A função principal da aplicação de novos materiais as formulações cerâmicas é conferir ao material a ser produzido propriedades tecnológicas superiores e a redução dos custos de produção. A utilização de escória de aciaria nesse segmento tem se tornado constante, já a de Filito, um componente ainda não amplamente estudado, ainda vem sendo explorado para aplicação nestes materiais. (REIS, 2006)

A utilização do Filito nas massas cerâmicas se deve também ao fato deste possuir a função de fundente, conferindo assim um aumento na resistência mecânica dos materiais cerâmicos e cor de queima. Esse tipo de material na região de Marabá – Pará ocorre em abundância o que potencializa sua utilização como material alternativo, devido ao seu baixo consumo e custo para exploração.

Outro componente, este que vem sendo mais amplamente estudado e aplicado na indústria cerâmica, é a escória de aciaria. A escória de aciaria constitui depois da escória de alto forno, o principal rejeito produzido no processo siderúrgico. Este tipo de resíduo é produzido na faixa que pode variar entre 4 e 31 kg por tonelada de aço produzido, apesar de cerca de 83% da sua parte ser reciclada, a sua reutilização durante o processo não é indicada devido as suas características granulométricas e ao uso da sucata galvanizada. (MACIEL, 2006)

A presença de grande quantidade de óxidos em sua composição, dentre eles o CaO que sofre expansão, não o torna indicado para aplicação em materiais de construção, em especial nos compósitos cimentícios. Entretanto pode sim ser utilizado como aditivo em cerâmicas vermelhas, melhorando a qualidade e

processamento, e ajudando na economia da massa cerâmica que tem a capacidade de suportar em quantidade elevada a presença de outros tipos de materiais (SANTOS JUNIOR, 2005).

Buscando dar enfoque ao Filito e a Escória de Aciaria, utilizou-se o Filito Marrom extraído na Região de Marabá e a Escória de Aciaria produzida pela Siderúrgica Norte Brasil (SINOBRAS), localizada no distrito industrial de Marabá-Pará. O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver formulações cerâmicas com a substituição parcial da argila pelo Filito e da incorporação da Escória de Aciaria nas massas cerâmicas, visando estudar e melhorar suas propriedades tecnológicas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Estudar a viabilidade e influência da aplicação de filito e escória de aciaria na produção de cerâmicas estruturais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar as propriedades tecnológicas dos corpos de prova confeccionados com escória de aciaria e filito para a produção de cerâmica estrutural, em diferentes temperaturas e porcentagens dos materiais nas formulações.
- Avaliar os resultados dos ensaios dos corpos de prova com base nos valores limites recomendados pela literatura para a fabricação de materiais cerâmicos e verificar se as diferentes temperaturas e porcentagens de matérias primas tem influência significativa no produto final.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CERÂMICA ESTRUTURAL E A INDÚSTRIA

A palavra cerâmica é derivada da palavra grega “keramikos” (feito de terra), dentro desse conceito encontra-se a cerâmica estrutural ou vermelha, classificada pelo IBGE como uma indústria de transformação de materiais não metálicos que

possui esse nome, pois o produto final possui uma coloração avermelhada devido à matéria-prima geralmente utilizada para sua produção.

A indústria da cerâmica estrutural é o segmento industrial responsável pela produção de blocos, tijolos, telhas, tubos, ladrilhos, elementos vazados, entre outros. Esse setor é base para a construção civil e têm como matérias primas empregadas para sua fabricação as argilas plásticas, matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. (SANTOS, 1989)

No Brasil a produtividade do setor cerâmico é de 15 mil peças/operário/mês, valor esse que varia de região para região, que comparado à produtividade em outros países é baixa e indica que este setor precisa de modernização. O número de empresas é de aproximadamente 5000 e a tendência é de aumento ao longo dos anos, geralmente a localização geográfica das empresas cerâmicas é determinada pela localização das jazidas de exploração da matéria-prima e a menor distância dos centros onde esses materiais serão consumidos. (ETENE/BNB, 2010)

O Brasil ao lado de países, como a China e Espanha, está entre os maiores produtores de produtos cerâmicos. O país utiliza processos manuais ou mecânicos para a produção de cerâmicos, que podem ser feitos pelos métodos prensagem ou extrusão utilizando temperaturas de queima que oscilam de 950 a 1250°C, dependendo do tipo de forno usado, do produto cerâmico a ser usado e da argila.

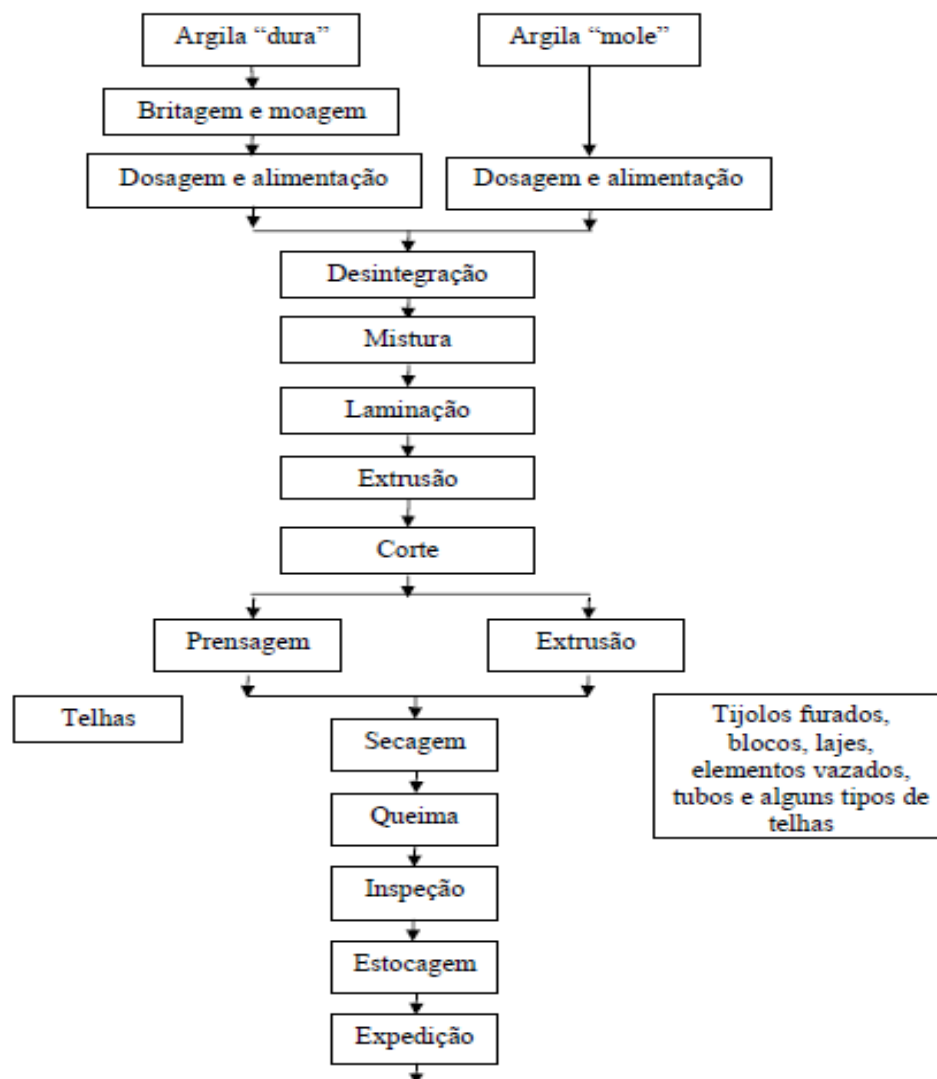
Esses materiais possuem grande utilização na construção civil devido a sua estabilidade, durabilidade e resistência mecânica, fatores que promovem vantagens no seu uso, uma maior qualidade nas construções produzidas e diminui a deterioração causada por agentes externos. Dentre os materiais cerâmicos estruturais os mais utilizados são as telhas e tijolos, mas também podem ser citados os tijolos maciços, usados em alicerces, muros e pilares, tijolos furados, blocos cerâmicos estruturais, lajotas, entre outros. (GARCIA, 2009)

2.2 PROCESSO PRODUTIVO DA CERÂMICA ESTRUTURAL

O processo de produção empregado para a maioria dos produtos cerâmicos é o mesmo, podendo se diferenciar apenas pelo tipo de material ou peça que se deseja obter. As principais etapas de produção de materiais cerâmicos compreende a preparação da massa e matéria-prima, a formação das peças, o tratamento térmico e o acabamento.

O fluxograma apresentado na Figura 1 mostra todo o processo de fabricação típico de um material cerâmico desde a etapa de beneficiamento da matéria-prima até a saída do produto final. Um controle durante as etapas do processamento é de grande importância para objetivar a minimização dos defeitos nos produtos produzidos.

Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo de cerâmica estrutural.



Fonte: AMORIM, 2007.

2.2.1 Principais etapas do processo produtivo

2.2.1.1 Matéria-prima, estocagem e transporte

A maior parte das matérias primas usadas para a produção de cerâmica estrutural são naturais e encontradas em depósitos minerais (jazidas), obtidas por mineração, dentre outros exemplos de matérias primas também utilizadas na produção desses materiais estão a calcita, a grafita e o quartzo.

Geralmente a extração de argila, principal componente desses materiais, é realizado a céu aberto, passando posteriormente por um processo de beneficiamento (desagregação ou moagem) e em seguida transportada por via rodoviária ou ferroviária até o local de processamento.

Sua estocagem é realizada em armazéns e a massa resultante de todo esse processo é denominada simples ou natural, sem alteração da composição química ou mineralógica dos componentes principais, os quais podem ser materiais orgânicos, impurezas e minerais de ferro, permitindo sua sinterização a baixas temperaturas (faixa entre 900° e 1000°C). (AMORIM, 2007; OLIVEIRA, 2006)

2.2.1.2 Dosagem e desintegração

A massa cerâmica é geralmente obtida a partir da mistura de duas ou mais matérias primas, aditivos, água ou outros meios, nas cerâmicas estruturais a entrada de dois ou mais tipos de argilas é necessário para ajuste da plasticidade. A etapa de dosagem é extremamente importante no processamento, pois esta deve seguir a formulação da massa.

As matérias primas devem ser bem homogeneizadas e adicionadas em quantidades controladas, de modo a se obter uma massa com uniformidade química e física. A preparação dessas massas é obtida de acordo com a técnica que será utilizada para formar as peças, as massas cerâmicas podem ser classificadas em:

- Suspensão: solução de “argila”, também conhecida como barbotina, é usada para obtenção de peças em moldes de gesso ou resinas porosas.

- Massas secas ou semi-secas: está na forma granulada e sólida, é usada para obtenção de peças por prensagem.

- Massas plásticas: constituídas de um sólido maleável, usada para a obtenção de peças por extrusão, seguida ou não de torneamento ou prensagem. Essas massas são preparadas para dar forma aos materiais de cerâmica estrutural.

Essa dosagem é realizada em um caixão alimentador, que tem por função controlar a quantidade de matéria-prima necessária para a produção. Em seguida é realizada a desintegração que reduzirá as partículas para frações menores e destruirá alguns torrões que podem ter sido formados nas fases anteriores. A umidade da massa deve estar entre 16% e 25% para que não haja perda de eficiência.

2.2.1.3 Processo de formação das peças

Para a conformação das peças cerâmicas existem diferentes processos, a escolha do processo ideal para ser utilizado é feita baseada nas dimensões da peça, geometria, nos fatores econômicos, nas propriedades das matérias primas, entre outros. São quatro os principais métodos utilizados: colagem/fundição em molde, extrusão, prensagem e torneamento.

- Colagem/Fundição em molde: esse tipo de processo é utilizado quando se deseja fabricar produtos a base de barbotina. Consiste em despejar a barbotina em um molde de gesso até que a água contida na suspensão seja absorvida pelo gesso, ao mesmo tempo que as partículas sólidas vão se acomodando na superfície do molde, formando assim a parede da peça. O produto que será formado terá uma configuração que será igual a forma interna do molde de gesso.

- Extrusão: nesse processo a massa plástica é colocada em uma extrusora (maromba), onde é compactada e forçada por um pistão ou eixo helicoidal, através de um bocal com determinado formato. O resultado é uma coluna extrudada, com seção transversal, formato e dimensões desejadas, que em seguida é cortada para obtenção de peças como blocos, tubos, tijolos vazados e outros produtos de formato regular. A extrusão pode ser uma etapa intermediária, seguindo após o corte da coluna extrudada, a prensagem, como é o caso para a maioria das telhas ou no torneamento.

- Prensagem: utiliza-se nessa operação massas granuladas e com baixo teor de umidade. A massa granulada com praticamente 0% de umidade é colocada num molde de borracha ou outro material polimérico, que em seguida é fechado hermeticamente e introduzido numa câmara contendo um fluido, que é comprimido e exerce uma forte pressão, por igual, no molde.
- Torneamento: etapa que vem após a extrusão e que é realizada em tornos mecânicos ou manuais, onde a peça adquire seu formato final.

2.2.1.4 Secagem

Essa etapa é posterior a conformação da peça cerâmica crua. Se caracteriza por ser um processo térmico, onde parte da água contida na peça conformada vai evaporando, enquanto esta irá se densificando e tendo sua resistência mecânica aumentada. Devido as diferentes contrações que ocorrem na peça durante a etapa de secagem, a peça está facilmente submetida a fraturas e deformações, para evitar isso é necessário que a peça crua possua uma retração de secagem de no máximo 0,3% e um módulo de tensão a ruptura superior a 2,9 MPa.(RÊGO, 2010)

2.2.1.5 Queima

Nessa etapa as peças secas são colocadas em fornos e onde ocorrem as principais transformações químicas, microestruturais e físicas que darão as características finais para a peça produzida. Esse processo de queima e consequente densificação do material é conhecida como sinterização.

2.3 QUALIDADE DOS PRODUTOS CERÂMICOS

A qualidade dos produtos cerâmicos é garantida durante a seleção das matérias primas e do processamento do produto, para garantir que isto ocorra existem alguns parâmetros que devem ser adotados. Esses parâmetros estão divididos em três etapas: controle de recepção de matérias primas, controle na fase de processamento e controle do produto final. (MARTINS,2004)

- Controle de Recepção das Matérias primas: Durante esta etapa as matérias primas são observadas e analisadas durante a sua recepção, através de uma série de procedimentos, os quais serão apresentados na Tabela 1. Cada procedimento leva em consideração o tipo de matéria-prima, os ensaios a serem realizados e a periodicidade na qual estes devem ocorrer.

Tabela 1- Aspectos observados na etapa de recepção.

Matéria-Prima	Aspecto Analisado na Recepção
Cerâmicos	- Visual - Granulometria - Retração após secagem e queima - Absorção após queima - Resistência mecânica
Feldspato	- Resíduo - Fusibilidade - Cor de queima
Areia	- Resíduo
Vidro	- Cor

Fonte: MARTINS, 2004.

- Controle na fase de processamento: Nesta etapa é feito o controle para que durante o processamento não haja problemas de conformidade nas peças e nos requisitos que se deseja obter ao final da produção. Os procedimentos de controle analisam o produto que esta em processamento, como apresentado na Tabela 2, os tipos de ensaios aplicados e a periodicidade destes. (MARTINS,2004)

Tabela 2- Aspectos observados na etapa de processamento.

Matéria-Prima	Aspecto Analisado no Processamento
Pasta	- Visual - Retração após secagem e queima - Absorção após queima - Resistência mecânica
Barbotina	- Densidade - Viscosidade - Resíduo
Prensado	-Dimensões, espessura, densidade aparente - Resistência mecânica
Seco	- Umidade
Vidro, engobe	- Densidade - Viscosidade

Fonte: MARTINS, 2004.

- Controle do produto final: Essa é a etapa final onde será observado se o produto final se encontra dentro das especificações de forma, da avaliação da qualidade, garantindo assim um padrão. A Tabela 3 apresenta os aspectos. (MARTINS,2004)

Tabela 3- Aspectos observados no produto final.

Matéria-Prima	Aspecto Analisado do Produto Final
Revestimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Resistência mecânica - Absorção de água - Resistência aos químicos e manchas - Dimensões, espessura

Fonte: MARTINS, 2004.

2.4 MATÉRIAS-PRIMAS

2.4.1 Argila

2.4.1.1 Conceito de Argila

Principal matéria-prima utilizada na cerâmica estrutural com a função de fornecer as propriedades plásticas a verde que irá conferir melhores características ao corpo cerâmico durante sua compactação, secagem e sinterização. De acordo com a ABNT esse material é composto por partículas coloidais com diâmetro inferior a 0,005 mm, possui alta plasticidade quando úmido, e definidos quimicamente como silicatos de alumínio hidratados quando estão na sua forma mais pura.

As argilas no estado puro são dificilmente encontradas na natureza, sempre são encontradas associadas a partículas de argilominerais como: quartzo, micas, feldspatos, óxidos e hidróxidos de ferro, carbonatos de cálcio e magnésio, compostos químicos amorfos, além de matéria orgânica. (RÊGO, 2010)

Esse material tem sua denominação no setor cerâmico feita de acordo com as características que este apresenta na fase de sinterização, sendo dividida em: avermelhada, branca, fundente ou carbonática. A argila avermelhada possui como característica alta quantidade de óxido de ferro (>4%), a argila branca possui normalmente pouca ou nenhuma quantidade de óxidos como ferro ou titânio.

Argilas denominadas de fundentes são compostas pela mistura de argilominerais (ilita,caulinita) com proporção variada de quartzo, outros minerais não plásticos e óxidos fundentes, enquanto as carbonáticas apresentam grande

quantidade de calcita, dolomita ou magnesita, conferindo assim plasticidade a massa cerâmica. A classificação das argilas quanto ao seu tipo e característica será abordada de forma mais profunda no próximo tópico.

2.4.1.2 Tipos de Argilas

Devido aos diversos tipos de argilas existentes, a variedade qualitativa e quantitativa dos argilominerais e de não argilosos que fazem parte de sua constituição, é feita de modo a especificar as particularidades de cada uma. Essa classificação é feita de duas formas, a primeira leva em consideração a formação e ocorrência das argilas e a segunda leva em consideração as propriedades e características específicas.

A classificação quanto a formação e ocorrência é subdividida em: Argilas primárias e secundárias. As argilas primárias são as que ocorrem no lugar de sua formação a partir de uma rocha metamórfica, magmática ou sedimentar, já as secundárias partem do mesmo princípio, porém não ocorrem no local de formação e sim a uma certa distância.

A segunda classificação que leva em consideração as características e propriedades específicas de cada argila se subdivide em: Caulim, Ball Clay, Fire Clay, Bentonita e Argila comum.

- Caulim: Esse tipo de argila é caracterizada por ser muito refratária e constituída essencialmente por caulinita, podendo possuir também a ocorrência de haloisita associada. É utilizada principalmente nas indústrias de papel, cerâmica, borracha, tintas e de refratários. Apresenta plasticidade e resistência mecânica a seco, coloração branca e ponto de fusão a 1800°C.

Apresenta como estrutura mais comum uma camada de átomos de silício e oxigênio formando uma estrutura tetraédrica e outra de octaedros e hidroxilas, também podem apresentar em sua estrutura haloisita, nacrita e dicrita. O beneficiamento deste tipo de argila se dá pelas operações de moagem e lavagem.

- Ball Clay: Argila muito plástica composta basicamente por caulinita associada à hidromica e quartzo finamente dividido, montmorilonita, clorita e em algumas vezes

matéria orgânica. Sua refratariedade é bem inferior a do caulim, possui granulometria fina e coloração creme claro ou marfim após a queima.

É bastante utilizada na indústria de cerâmica branca e de refratários, pelas suas propriedades ligantes e refratárias devido ao teor de Al_2O_3 e baixo teor de álcalis. Sua exploração normalmente é feita a céu aberto com o emprego de escavadoras mecânicas.

- Fire Clay: Possui refratariedade superior a 1500°C , cor de queima castanho claro, são constituídas por caulinita (de média ordenação estrutural) associada a quantidades de quartzo, mica, illita, montmorilonita e também matéria orgânica.

É utilizada na fabricação de louça de mesa e de forno, cerâmica ornamental e de revestimento. Sua composição química mais comum é de 23-35% de Al_2O_3 , 50-60% SiO_2 e quantidades variáveis de Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O e TiO_2 .

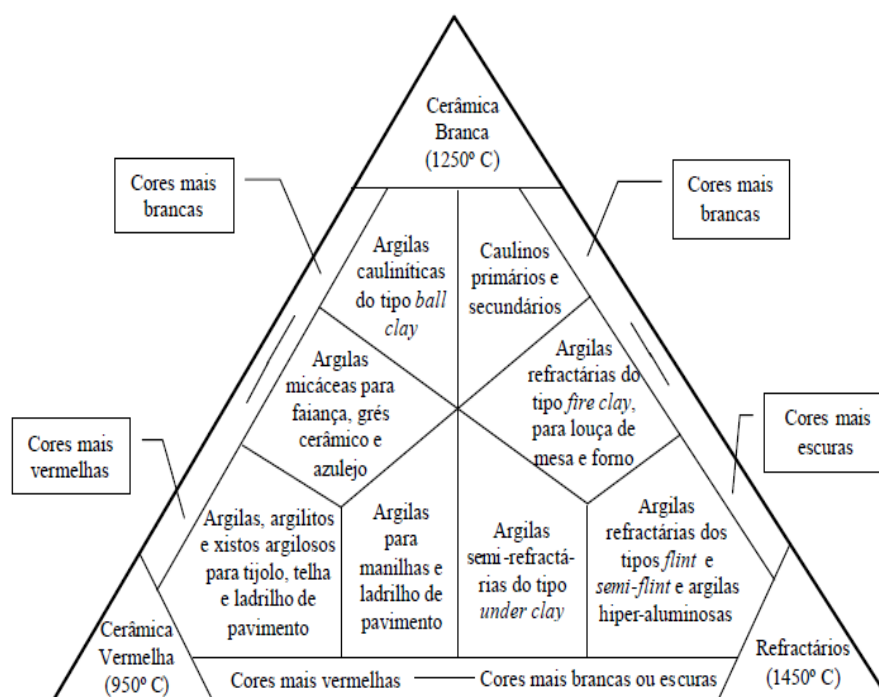
- Bentonita: É uma argila que possui baixa refratariedade e residual, que é proveniente da alteração de cinzas vulcânicas com granulometria muito fina. São divididas em expansivas e não expansivas, a expansiva se difere por possuir interstratificados de illita-montmorilonita e a capacidade de aumentar em até vinte vezes seu volume quando imerso em água.

- Argila comum: Ocorre em depósitos sedimentares e é o tipo mais abundante na natureza, compreende dois tipos principais que são determinados pela sua utilização industrial, são eles: para olaria e para tijolo.

A argila para olaria é usada na produção de cerâmica ornamental, é bem plástica, o que torna sua moldagem bem fácil. Possui cores variadas, componentes como quartzo, feldspatos, micas, óxidos e hidróxidos de ferro, carbonatos e pirite em sua composição. Durante a queima possui uma fusão acentuada entre $1150-1330^\circ\text{C}$.

A argila para tijolo tem como característica ser grosseira, possuir certas quantidades de silte e areia, cores variadas, baixo teor de fração argilosa e uma plasticidade que cresce com a razão de minerais argilosos e não argilosos que possui. É bem aplicada na indústria de cerâmica estrutural na fabricação de materiais de construção. A Figura 2 mostra a classificação das argilas quanto à cor de queima.

Figura 2 – Diagrama ternário com a classificação das argilas para uso cerâmico levando em consideração a cor após a queima nas faixas de 950, 1250 e 1450°C.



Fonte: AMORIM, 2007.

2.4.1.3 Argilas para cerâmica estrutural no Brasil

No Brasil as principais jazidas se localizam próximas aos pólos produtores de cerâmica estrutural, isso decorre do fato das argilas serem matérias primas de baixo valor agregado e consumidos em grande quantidade, não comportando transporte a longas distâncias.

O Brasil possui grandes reservas de argila para cerâmica estrutural, segundo os dados do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), em 1996 as reservas de argilas comuns e plásticas eram de quase 1.4 bilhões de toneladas, esse número de reservas teve uma aumento em 2000, chegando em 2001 a 2.2 bilhões de toneladas e em 2005 a 3.6 bilhões de toneladas. (JMC, 2009)

Apesar do país possuir uma quantidade expressiva de recursos de argila, fatores como a preocupação ambiental, a expansão urbana, entre outros, vem tornando difícil a exploração de determinadas jazidas e a escassez da argila para a produção.

Segundo ainda dados do DNPM, existem 417 minas de argila em operação no país, obtendo uma produtividade anual de 2183.5 ton de argila/funcionário, com

cada mina produzindo em média 44.660 ton de argila, essa produção soma de 30 a 50% do total das minerações registradas pelo DNPM no país. (JMC, 2009)

2.4.2 Escória de Aciaria

As escórias são resíduos produzidos na fusão de metais ou na redução de minérios, durante a combustão ou tratamento industrial de uma substância. Há dois tipos de escória siderúrgicas que são produzidas em grande quantidade: a de alto forno e a de aciaria. (SOUSA, 2007)

A escória de aciaria possui ainda outras classificações, as quais são divididas em: seca (por suas características físicas), industrial (pela sua origem) e inorgânica (por sua composição química).

A escória de aciaria é um subproduto obtido na produção do aço, resultando assim em um agregado de elementos, os quais não é interessante estar presente no aço. Sua formação ocorre no processo de oxidação do aço onde há a eliminação de carbono e fósforo que fazem parte da composição da escória junto com o CaO (fundente).

Figura 3 – Escória de Aciaria.



Fonte: Escória de aciaria [imagem online].

Tem como características ser composta basicamente por óxidos básicos, possuir a presença de MgO em sua composição e ser expansível devido as reações químicas que ocorrem pela presença desses óxidos. A Tabela 4 apresenta composições típicas de escórias produzidas em diferentes fornos.

Tabela 4- Comparação entre as composições das escórias produzidas em diferentes tipos de fornos.

Tipo da Escória		Composição (%)							
		SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	S	MnO	TiO ₂
Escória de Conversor LD		13,8	44,3	B 1,5	17,5	6,4	0,07	5,3	1,5
Escória de Forno Elétrico	Escória Oxidada	19	38	7	15,2	6	0,38	6	0,7
	Escória Reduzida	27	51	9	1,5	7	0,50	1	0,7

Fonte: Ficha Técnica [Tabela online].

2.4.2.1 Produção de Escória de Aciaria

Os principais processos utilizados para a produção de aço são através da fusão e refino de sucata por meio de fornos elétricos a arco e do refino do ferro gusa líquido em conversores LD, a Figura 4 apresenta o esquema de produção da escória de aciaria elétrica durante a fabricação do aço. A produção de aço no FEA será o principal processo explorado neste tópico, pois a escória utilizada neste trabalho é a formada durante a etapa de refino secundário do aço após sair do FEA, o qual ocorre no Forno Panela.

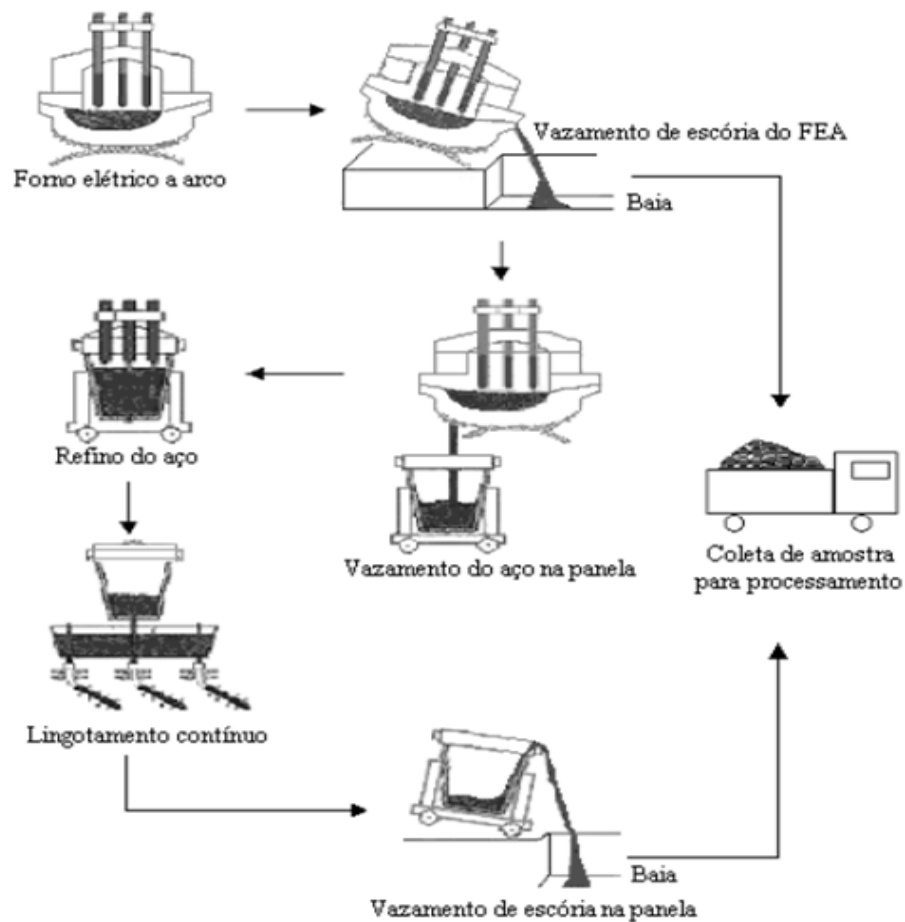
A produção do aço no FEA seguem as seguintes etapas: o carregamento da sucata e gusa através do cestão, em seguida ocorre a fusão da carga pela energia do combustível fóssil, elétrica e de reações exotérmicas de oxidação. O oxigênio é então injetado para que haja a decarbonização e formação de escória, depois há a injeção combinada de carbono e oxigênio para formação de escória espumante que é feita para cobrir o arco elétrico. (PUC-RiO,2011)

Como o aço líquido possui uma densidade maior que a da escória líquida, a escória então flutua a uma temperatura de aproximadamente 1650°C, a partir disso o forno é basculado e a escória escorre para um leito onde solidifica. (MASUERO, 2004; CARDOSO, 2009)

Essa primeira etapa de processamento no FEA é chamada de refino primário, após o aço passar por essa elaboração primária ele então passa por uma metalurgia secundária que dará continuidade ao processo de obtenção do aço. O aço, que esta

líquido, é então vazado do FEA e conduzido para o Forno Panela onde passará por uma etapa de refino secundário e haverá a formação de uma nova escória. (MASUERO, 2004; CARDOSO, 2009)

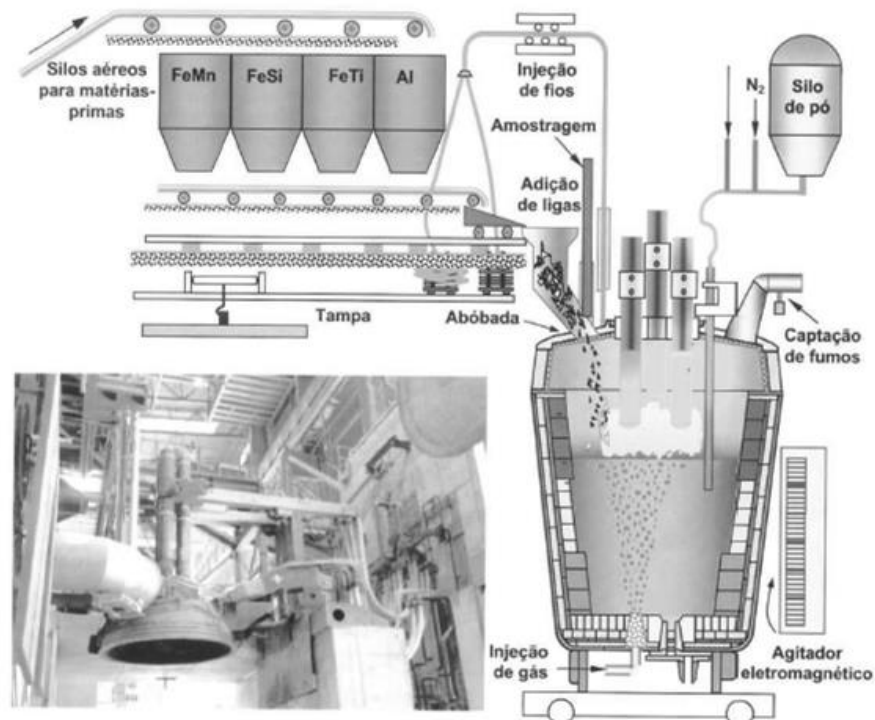
Figura 4- Esquema da produção de aço mostrando as etapas de formação e descarte da escória de aciaria.



Fonte: GRAFFITTI, 2002.

Essa escória chamada de escória de refino redutor, originada a partir da adição de desoxidantes e cal, tem como principal função ajudar na eliminação do oxigênio e enxofre do aço líquido, permitindo assim o ajuste de sua composição pela adição de ferro-ligas. A Figura 5 mostra como ocorre a etapa de refino secundário. (MASUERO, 2004; GRAFFITTI, 2002)

Figura 5- Etapa de refino secundário no Forno Panela.



Fonte: CARDOSO, 2009.

2.4.2.2 Reutilização da escória de aciaria

Com o crescimento de uma política forte de reciclagem e reutilização de resíduos industriais produzidos, novos métodos de aplicação para certos tipos de material estão sendo empregados como uma saída para o desperdício e sobrecarregamento deste no meio ambiente.

A indústria siderúrgica é a principal geradora de uma grande e bem diversificada quantidade de resíduos, dentre esses resíduos encontra-se a escória de aciaria. A reciclagem da escória de aciaria tem sido bem explorada nos últimos anos, principalmente pelo setor da construção civil.

Esse tipo de escória vem sendo aplicada na produção de Cimento, como substituto parcial do Clínquer Portland, na pavimentação e como agregado no concreto. Porém esse material possui uma certa limitação na sua utilização, devido a expansibilidade causada pelos óxidos contidos em sua composição.

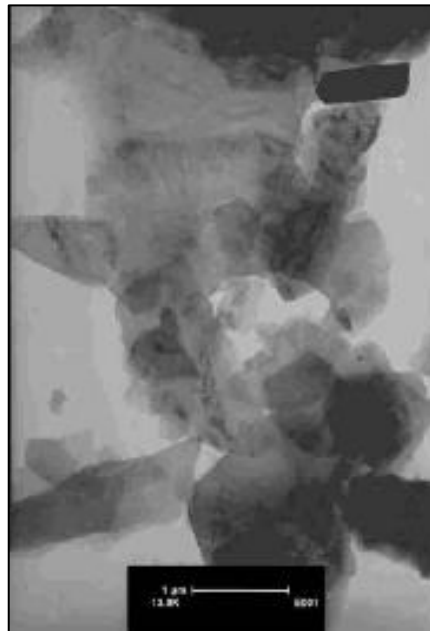
Pode ser usada também na indústria cerâmica, afim de se obter melhoria nas propriedades físicas do material que se deseja produzir. Práticas como essas são ambientalmente corretas e ajudam a minimizar problemas que vem se tornando

constantes e crescentes no mundo, com a manutenção e adoção de uma política de descarte correto para os resíduos industriais.

2.4.3 Filito

O filito, uma rocha sedimentar também denominada de leucofilito ou filito branco, tem como características principais apresentar superfícies de clivagem brilhosas e sedosas, foliação resultante da recristalização durante sua formação, aparência de finas lâminas paralelas, como mostra a Figura 6, possuir em sua constituição basicamente sericita, caulinita, quartzo ou mica muscovita finamente dividida e apresentar na natureza cores que variam desde o branco prateado até o vermelho, ou possuir até mesmo a cor negra. É um material que possui fácil pulverização e fornece um pó finíssimo. Existem diversos tipos de Filito, um deles está apresentado na Figura 7.

Figura 6- MET de um tipo de filito apresentando a morfologia lamelar típica desse material.



Fonte: MELO, 2011.

É bastante empregado em massas cerâmicas de grês sanitário, indústria de argamassa, plastificante, ração animal, pigmentos, aglutinantes, concretos especiais e materiais a prova de água. São utilizados como substitutos parciais da fração

argilosa e do feldspato da fração fundente das cerâmicas. Suas características fundentes surgem devido ao alto conteúdo de álcalis, da ordem de 7%, se utilizado em diversos teores aumenta a velocidade de sinterização das massas cerâmicas. (MELO, 2011)

O filito é encontrado principalmente no Brasil e sua utilização na indústria cerâmica tem sido amplamente empregada principalmente na forma bruta, pois este promove melhoria nas propriedades físicas, químicas e dimensionais. Seu preço é bem mais baixo que o de outras fontes de potássio como os feldspatos. Após passar por algumas etapas de beneficiamento pode adquirir propriedades que podem tornar possível seu uso como carga mineral.

Figura 7 – Tipo de Filito



Fonte: Filito [Imagem online].

Cerca de 70% das reservas de filito se encontram no estado de São Paulo, 80% do estado e 50% do Brasil, as quais são registradas na Região de Itapeva. Parte dessa produção tem como destino as indústrias cerâmicas de São Paulo e Santa Catarina. (MIYAHARA, 2002)

Por apresentar uma grande variabilidade em sua composição química e do conhecimento necessário para sua utilização em diversas aplicações, a caracterização mineralógica e química desse material é de grande importância. A Tabela 5 apresenta a composição química de diferentes tipos de filito de acordo com a sua área de exploração.

Tabela 5 - Composição química de diferentes tipos de Filito.

Óxidos	Porcentagem em Massa (%)				
	Filito de Martinópolis (CE)	Filito dos E.U.A.	Filito da Espanha	Filito do Açungui (PR)	Filito de Paracatu (MG)
SiO ₂	>6,1	15,1	49,0	54,5	50,4 – 76,4
Al ₂ O ₃	21,7	70,3	26,0	23,2	6,2 – 28,4
Na ₂ O	~4,0	0,4	2,5	1,9	-
CaO	~2,0	5,3	3,3	4,1	0,01 – 0,4
K ₂ O	3,2	0,5	4,2	3,4	-
Fe ₂ O ₃	1,3	2,5	10,0	7,4	0,01 – 46,4
MgO	~1,0	0,1	3,0	2,3	0,2 – 1,4
TiO ₂	0,05	2,3	1,40	1,0	~ 1

Fonte: MELO, 2011.

O conhecimento da composição química e estrutura de um determinado material permite a melhoria de suas propriedades e a determinação do emprego deste em novas aplicações, porém no que diz respeito ao Filito, sua caracterização é muito limitada devido à complexidade de análise e da falta de informações mais antigas a respeito dessas características.

2.4.3.1 Exploração de Filito

O setor de exploração de filito pode ser dividido em dois tipos de empresas: 1º- empresas de médio a grande porte que estão em crescimento e tem como objetivo cumprir os padrões de proteção ambiental e atender as exigências do controle de qualidade; 2º- empresas de pequeno porte que funcionam de forma rudimentar.

No Brasil, a mineração de Itapeva é a principal empresa de exploração de filito, possuindo quatro lavras em atividade que extrai aproximadamente 300 mil ton./ano de filito na forma *in natura* ou na forma beneficiada. Para o processo de exploração a empresa utiliza a lavra de forma semi-mecanizada, a céu aberto, onde são lavradas bancadas de 4 a 15 m de altura e o material é desagregado com a ajuda de escavadeiras e retroescavadeiras. (MORETO, 2006)

Depois de lavrado esse material é armazenado e transportado para beneficiamento. Durante esse beneficiamento o filito passa pelas etapas de homogeneização, britagem, moagem, secagem e ensacamento. A exploração desse tipo de material enfrenta problemas ambientais por causa dos processos erosivos

durante a lavra, o excesso de poeira formada durante o beneficiamento e também de lavra, o impacto ambiental causado pela utilização de áreas que já foram exploradas e o decapeamento da frente de lavras. (MORETO, 2006)

Tabela 6 – Características do Filito explorado pela mineradora Itapeva.

Umidade		$\leq 1,0\%$
Expansão de prensagem		$\leq 1,3\%$
Retração de secagem		$\leq 0,0\%$
Retração de queima	Piso	3,5 a 6,5%
	Azulejo	3,0 a 6,0%
Cor de queima	Piso	Branco a creme escuro
	Azulejo	Creme escuro
Módulo de resistência à flexão cru		$\geq 1,0 \text{ kgf/cm}^2$
Módulo de resistência à flexão a seco		$\geq 4,0 \text{ kgf/cm}^2$
Módulo de resistência à flexão queimado	Piso	$\geq 300 \text{ kgf/cm}^2$
	Azulejo	$\geq 250 \text{ kgf/cm}^2$
Absorção de água	Piso	$\leq 12,0\%$
	Azulejo	$\leq 13,0\%$
Matéria orgânica		Presença

Fonte: MORETO, 2006.

2.4.3.2 Características do Filito

O filito, por sua diversidade química e mineralógica, possui propriedades tanto de um material plástico quanto de um material não plástico, o que torna possível compor até 50% das massas cerâmicas no processo via úmido. São bastante utilizados por sua abundância na natureza e por seu baixo custo. (MORETO, 2006)

Em diferentes temperaturas de queima apresentam mudanças na sua coloração e propriedades. Na temperatura de 950°C, apresenta cor rósea e cor cinza com tonalidade esverdeada após queima em 1250°C. É nesta temperatura que ocorre também a vitrificação total ou quase total desse material.

A 1450°C ocorre sua fusão, apresentam cor cinza escura e bolhas em seu interior, o que faz com que ocorra a perda da forma dos materiais produzidos com este. Filitos que possuem altos teores de ferro normalmente não são utilizados em cerâmica, devido após a queima a 1250°C apresentarem cores escuras, o que não é

desejável para utilização em cerâmica branca, por exemplo. Os teores admissíveis de ferro nas cerâmicas são de 1,5 a 2 %.

Sua aplicação tem se tornado bem ampla no setor industrial por possuir outras características, além das citadas, como sua granulação e poder de sinterização em baixas temperaturas. Dependendo do tipo de aplicação a variação de sua composição química, principalmente dos componentes Al_2O_3 , Fe_2O_3 e K_2O , ocasionam grandes mudanças em parâmetros como a retração linear e absorção de água.

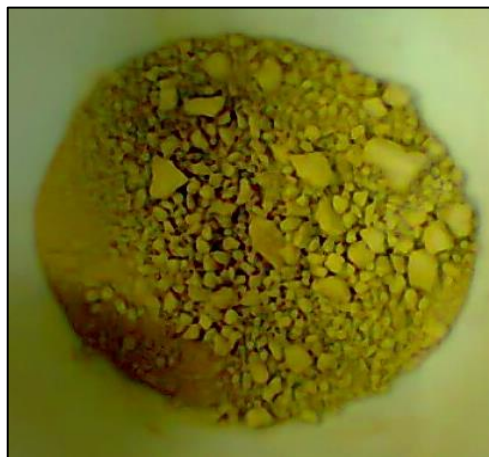
3 MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Argila

A argila utilizada nas formulações foi fornecida pela Cerâmica Minas Gerais, localizada em Marabá. A argila foi macerada com almofariz e pistilo e em seguida passada em peneira de 100 mesh Tyler. A amostra de argila foi caracterizada através da Difração de raios X e Fluorescência de raios X.

Figura 8- Argila MG utilizada no trabalho ainda sem processamento.



Fonte: Autora, 2012.

3.1.2 Filito

O Filito utilizado é oriundo da formação Couto Magalhães, que aflora na faixa de dobramento Araguaia. Para melhor homogeneização da massa, este foi passado

em peneira de 100 mesh Tyler, caracterizado por meio da técnica de difratometria de raios-X e Fluorescência de raios-X.

Figura 9- Filito utilizado.



Fonte: Autora, 2012.

3.1.3 Escória de Aciaria

A escória de aciaria utilizada foi fornecida pela empresa Siderúrgica Norte Brasil (SINOBRAS). A escória não precisou ser cominuída para diminuição da sua granulometria, este tipo de escória sai do forno panela com uma granulometria que pode ser utilizada para a formulação das massas cerâmicas.

Figura 10- Escória de aciaria usada.



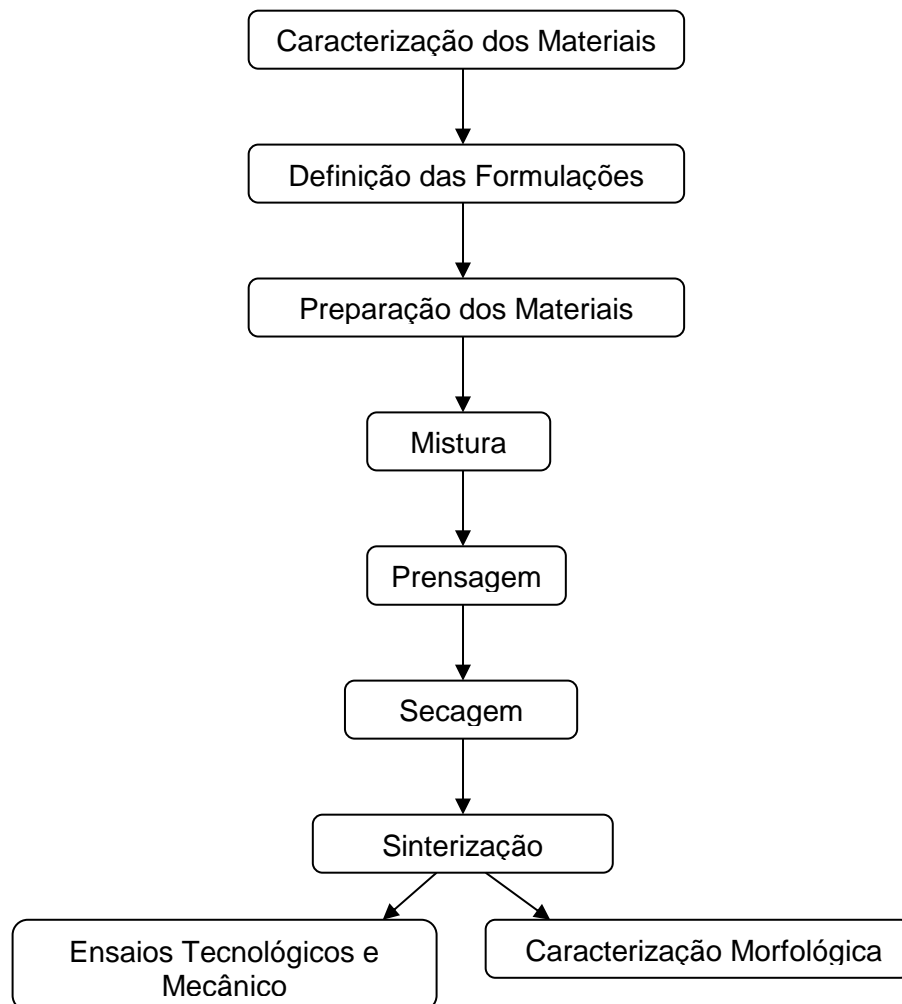
Fonte: Autora, 2012.

Para a retirada de algumas impurezas, antes de sua aplicação na massa cerâmica, esta foi passada em peneira 100 mesh Tyler (0,149 mm). Foram feitos ensaios para realizar sua caracterização, os quais foram determinação da composição química por meio da espectrometria de Fluorescência de raios-X (FRX) e a Difractometria de raios-X (DRX).

3.2 METODOLOGIA

A metodologia empregada para execução do trabalho está apresentada e descrita no fluxograma da Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma da metodologia empregada.



Fonte: Autora, 2012.

3.2.1 Preparação dos corpos de prova

Para a preparação dos corpos de prova foram desenvolvidas diferentes formulações. O teor de cada componente nas formulações foi determinado de modo a testar o comportamento do filito, como substituto parcial da argila, e a influência da escória de aciaria como aditivo na massa cerâmica para fabricação de cerâmicas estruturais. A Tabela 7 apresenta as formulações definidas.

Tabela 7 – Formulações definidas.

Formulação	Argila (%)	Filito (%)	Escória (%)
1	45	35	20
2	45	20	35
3	20	50	30

Fonte : Autora, 2013.

Objetivando maior aproveitamento das propriedades de cada matéria-prima utilizada, as formulações e temperaturas de sinterização deste trabalho foram escolhidas baseadas em dados apresentados na literatura (SANTOS JUNIOR, 2005; MOTTA, 1998).

Antes da preparação dos corpos de provas, todas as matérias primas foram peneiradas em malha 100 mesh Tyler (0,149mm), para que todas estivessem em um padrão de homogeneização. Corpos de prova de 15 g foram preparados, cada matéria-prima foi pesada em uma balança analítica (Balança Analítica Marte modelo UX8200S) de modo a obter a massa exata de cada componente para a preparação das formulações.

Após a pesagem as formulações foram homogeneizadas e em seguida foi realizada a prensagem de cada corpo de prova em uma prensa hidráulica (Marcon, 15 toneladas). A compactação do pó das formulações foi realizada utilizando uma pressão de 4 toneladas em moldes de aço com medidas de 2 x 6 cm, totalizando a fabricação de 90 corpos de prova.

Com os corpos de prova já confeccionados, estes foram colocados em uma estufa à temperatura de 100°C durante 24 h para a retirada da umidade adquirida durante a preparação. Em seguida foram calcinados em forno tipo mufla (Mufla Magnos) a temperatura de 300° C durante 2 horas para a retirada dos materiais orgânicos.

Terminando todo o processo que antecede a sinterização, os corpos de prova foram sinterizados em um forno de resistência elétrica (Fortelab, FE1350) em diferentes temperaturas, as quais foram determinadas em 900°, 1000° e 1100° C, em um patamar de queima de 2 horas. Posteriormente foram realizados ensaios e análises para a avaliação do comportamento, morfologia e propriedades mecânicas dos materiais obtidos.

A medição dos corpos de prova com um paquímetro antes e após cada etapa de preparação no trabalho foi realizada, de modo a se obter dados que seriam relevantes na análise final dos resultados.

4 CARACTERIZAÇÃO E ENSAIOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS

4.1.1 Espectrometria de fluorescência de raios-X

A composição química dos componentes foi determinada através da espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX), utilizando espectrômetro WDS sequencial, modelo Axios Minerals da marca PANalytical com tubo de raios-X cerâmico, anodo de ródio (Rh) e máximo nível de potência 2,4 KW.

4.1.2 Difratometria de raios-X

A semi-quantificação mineralógica das matérias primas foi realizada em um difratômetro de raios-X, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), da PANalytical, com goniômetro PW3050/60 (θ / θ), tubo de Raios-X cerâmico e anodo de Cu ($K\alpha_1 = 1,540598 \text{ \AA}$), modelo PW3373/00 com foco fino (2200 W / 60 kV) e filtro $K\beta$ de Níquel. O detector utilizado é do tipo RTMS, X'Celerator.

4.1.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para a análise microestrutural, após a sinterização e ensaio mecânico, as amostras foram analisadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) acoplado com espectrômetro de energia dispersiva de raios-X (EDS), da marca Hitachi e modelo TM-3000, para análise da superfície de fratura.

4.2 ENSAIOS REALIZADOS

4.2.1 Ensaios tecnológicos

4.2.1.1 Absorção de Água

A absorção de água é uma propriedade representada pela quantidade de água absorvida pelo corpo de prova saturado de água pela massa seca de água. (SGM, 2009)

De acordo com as normas NBR 13818/1997 e ISO 10545 / parte 3 (1995), que estabelece os procedimentos que devem ser adotados para este ensaio, os corpos de prova de cada formulação, depois de sinterizados, foram pesados e submersos em água durante 24 horas.

Ao decorrer deste tempo os corpos de prova foram novamente pesados, obtendo-se assim os valores do peso úmido e seco. Os valores foram então aplicados na equação 1, apresentada abaixo, para a obtenção da porcentagem de água absorvida por cada corpo de prova.

$$AA = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

P_u = peso úmido

P_s = peso seco

4.2.1.2 Porosidade Aparente

A porosidade aparente é o ensaio que determina a quantidade de poros abertos nos corpos de prova depois de sinterizados, esta medida é calculada através da relação entre o quociente do volume de poros de cada corpo de prova pelo volume aparente. Para a realização do ensaio a norma regulamentada a ser seguida foi a ISO 10545 parte 3 (1995). A medida do peso úmido obtida no ensaio anterior foi utilizada.

Os corpos de prova foram imersos em água em um recipiente de plástico e suspensos sobre um anteparo, através de um fio de cobre fino preso a balança para determinar a medida do seu peso imerso. De posse das medidas, após o ensaio,

com a utilização da equação 2 representada abaixo, a porosidade aparente de cada corpo de prova foi determinada.

$$PA = \frac{P_u - P_s}{P_u - P_i} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

P_u = peso úmido

P_s = peso seco

P_i = peso imerso

4.2.1.3 Retração Linear

A medida da retração linear é representada pela relação entre o comprimento inicial medido do corpo de prova com o auxílio de um paquímetro (precisão de $\pm 0,01$ mm) e o comprimento após a secagem dos corpos de prova. As medidas obtidas foram colocadas na equação 3 e a retração para cada corpo de prova foi calculada.

$$RL = \frac{L_i - L_{ii}}{L_i} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

L_i = comprimento antes da queima

L_{ii} = comprimento após a queima

4.2.1.4 Densidade Aparente

O ensaio de densidade aparente determina a porosidade dos corpos de prova, através da determinação da razão entre a massa e o volume. O ensaio para determinação desta propriedade foi realizada seguindo a mesma norma usada para a determinação da porosidade aparente.

Os corpos de prova foram submersos em água durante 24 horas, em seguida foram retiradas e secas com um guardanapo para a retirada do excesso de água, e depois foram pesadas para a determinação do peso úmido. Com a equação 4 foi possível determinar a densidade aparente para cada corpo de prova.

$$Dap = \frac{P_s}{P_u - P_i} \times L \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

P_u = peso úmido

P_s = peso seco

P_i = peso imerso

L = densidade do líquido

4.2.2 Ensaio de Ruptura à Flexão

O ensaio para a determinação do módulo de ruptura a flexão ou resistência à flexão determina as propriedades mecânicas dos corpos de prova. Baseado na norma ISSO 10545/ parte 4 (1994), os corpos de prova foram submetidos, em uma máquina de ensaios universal, ao ensaio de flexão em três pontos. Após o ensaio e com a utilização da equação 5, a resistência à flexão foi determinada, através deste ensaio a qualidade das formulações e dos produtos finais foi determinada.

A medida do módulo de ruptura, em Kgf/cm², dos corpos de prova indica a capacidade das amostras suportarem esforços mecânicos exercidos por cargas, que podem levar a ruptura ou quebra dos mesmos. O ensaio de flexão em três pontos foi realizado na máquina de ensaios universal Zwick/Roell modelo 25S1S do laboratório de propriedades físicas de materiais cerâmicos (LaPFiMC).

$$TR = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

P = carga atingida na ruptura (kgf)

L = distancia entre os apoios (cm)

b = largura do corpo de prova (cm)

h = altura do corpo de prova (cm)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, na Tabela 8, são apresentados os valores mínimos e máximos descritos por normas e pela literatura, recomendados para cada ensaio nos corpos de prova e tipos de material cerâmico e os quais foram utilizados para discussão e análise das formulações estudadas no trabalho.

Tabela 8- Valores especificados segundo a literatura para o ensaio dos corpos de prova de materiais cerâmicos.

Tipo de ensaio	Telhas	Tijolo furado	Tijolo maciço
RL _{queima} (%) máximo	6,0	6,0	6,0
AA (%) máximo	-	8 a 25	20
DA (g/cm ³) máximo	2,7	2,7	2,7
PA (%) máximo	17 a 35	17 a 35	17 a 35
MRF _{queima} (kgf/cm ²)	20	55	65

Fonte : SOUZA SANTOS, 1989 ; RIKER, 2005.

5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

A Tabela 9 apresenta as composições químicas de cada componente utilizado no trabalho, determinadas pela espectrometria de fluorescência de raios X.

Tabela 9 – Composições químicas das matérias primas utilizadas.

Matéria prima	SiO₂	Al₂O₃	Fe₃O₂	MgO	K₂O	P₂O₅	TiO₂	Na₂O	ZrO₂	CaO	SO₃	TiO	SiO	PF
Argila	60,08	20,78	5,47	0,73	2,10	0,05	0,96	0,271	0,03	-	-	-	-	9,49
Escória	26,98	2,59	0,20	6,87	-	-	-	-	-	62,86	0,09	0,23	0,17	0
Filito	59,75	20,32	7,71	1,09	4,89	<0,1	1,11	-	-	-	-	-	-	5,07

Fonte: Autora, 2012.

Pela determinação da composição química nota-se que a argila é composta basicamente de SiO₂ e Al₂O₃, o filito apresentou composição semelhante a argila, diferindo apenas no seu teor de potássio que chega a quase 5% em massa. A escória de aciaria é composta majoritariamente por CaO, proveniente do calcário dolomítico utilizado como fundente na produção de aço, apresentando também uma fração acentuada de SiO₂ e de outros elementos como o TiO, SO₃ e MgO decorrentes da composição química da fabricação do aço.

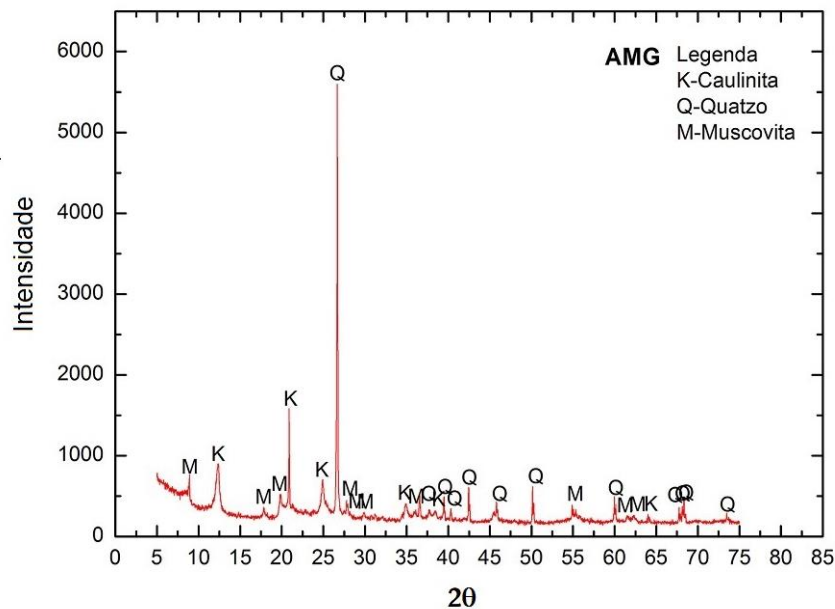
5.2 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

A caracterização mineralógica das matérias primas foi determinada por difratometria de raios-X. Os picos relacionados a cada fase foram indentificados. A

Figura 12 apresenta o difratograma referente à argila MG, no qual as principais fases encontradas foram a caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5[\text{OH}]_4$), muscovita ($\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{11}$) e o quartzo (SiO_2).

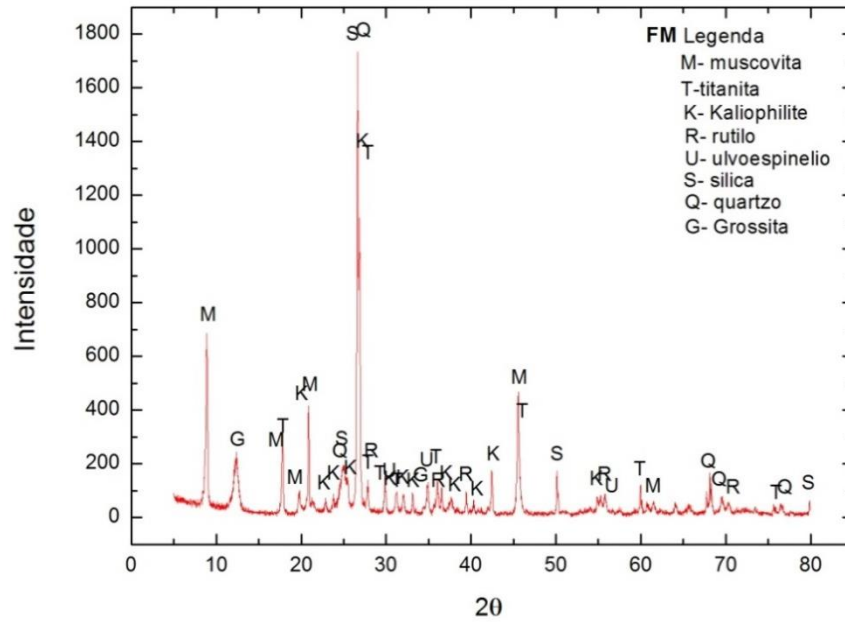
Entre essas fases, a caulinita contribui para a plasticidade da massa cerâmica e redução da retração linear, o quartzo favorece a secagem e contribui para a resistência após a sinterização das peças, enquanto que a muscovita, se em tamanho reduzido, pode atuar como fundente. (AMORIM, 2007; VIEIRA, 2011)

Figura 12- Difratograma de raios-X da Argila MG.



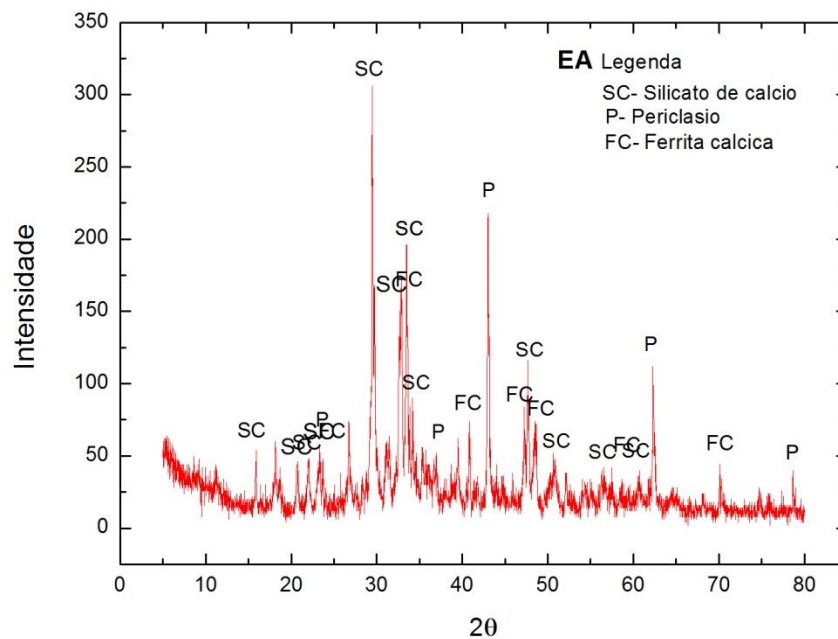
A Figura 13 apresenta o difratograma referente ao filito, observou-se a presença dos componentes majoritários desse material: a muscovita ($\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{11}$) e o quartzo (SiO_2). A presença desses minerais justifica os altos valores dos óxidos de silício (SiO) e alumínio (Al_2O_3) na composição química. Foram identificadas também a presença de minerais acessórios como a titanita (CaTiSiO_5), rutilo (TiO_2) e ulvoespínélio (Fe_2TiO_4), comuns de rochas metamórficas, além de outros minerais como a sílica (SiO_2) e kaliofilito ($\text{KAl}[\text{SiO}_4]$). (MELO, 2011)

Figura 13- Difratoograma do Filito Marrom.



No difratograma da escória de aciaria, apresentado na Figura 14, foram identificados compostos típicos desse material, como a ferrita cálcica, o periclásio e o silicato de cálcio, este último, produto da reação entre o óxido de cálcio e o silicato de cálcio, que são compostos expansivos. Observou-se também que, por serem materiais compostos por inúmeras fases, a escória apresentou picos agrupados que são difíceis de serem identificados. (ROCHA, 2011; GRAFFITTI, 2002)

Figura 14- Difratoograma da Escória de Aciaria.



5.3 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

5.3.1 Absorção de Água

A Figura 15 apresenta os resultados da absorção de água para cada formulação e temperatura de sinterização. Observa-se que nos resultados da AA para a formulação 1, houve uma diminuição com o aumento da temperatura por conta da maior presença de argila na composição. Na formulação 2, a AA apresentou uma pequena diminuição relacionada à presença de carbonatos, que contribuem na formação de fase líquida em temperaturas elevadas. (RÊGO, 2010)

Entretanto, a 1100°C essas duas formulações se mantiveram praticamente estáveis, fato este que ocorreu devido a pouca presença de poros nos corpos de prova, ressaltando que a porosidade aparente está diretamente ligada a absorção de água. Já para a formulação 3, a diminuição da absorção de água apresentou uma queda maior que para as outras duas formulações. Isto se deve a uma maior presença de filito na massa cerâmica, que tem como principal característica possuir baixa permeabilidade, característica esta que tem seu potencial elevado com o aumento da temperatura de sinterização. (MELO, 2011; RÊGO, 2010)

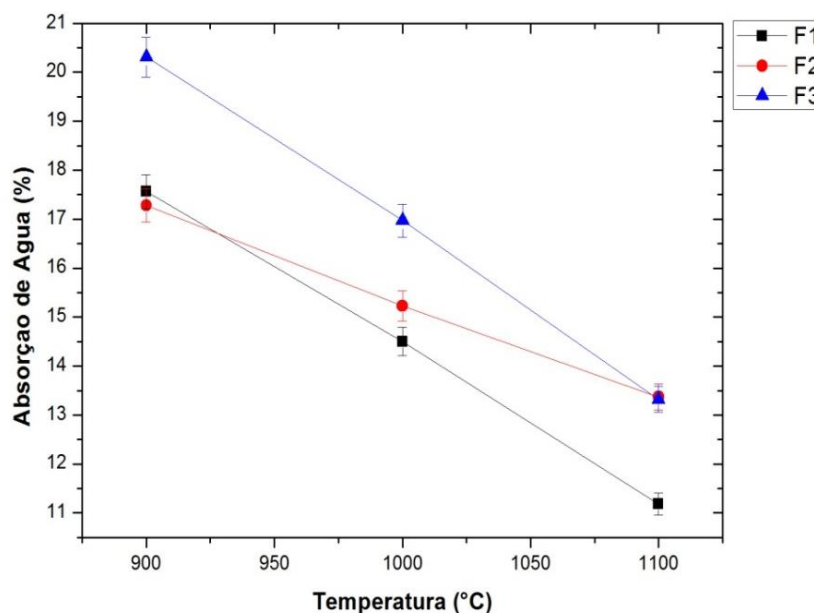
Segundo a norma, os materiais aptos para aplicação em cerâmica estrutural devem possuir valores para a absorção de água $\leq 25\%$. De acordo com os resultados, todas as três formulações são adequadas para a fabricação deste tipo de material. As formulações 1 e 2 são indicadas principalmente para emprego na fabricação de telhas nas três temperaturas, que devem possuir uma absorção máxima de 20%, enquanto que a formulação 3 é indicada para o mesmo uso em temperaturas acima de 925°C.

Tabela 10- Resultados obtidos pelo ensaio de absorção de água (%).

Formulações	Temperaturas (°C)		
	900	1000	1100
F1	17,56	14,50	11,18
F2	17,28	15,23	13,37
F3	20,31	16,97	13,32

Fonte: Autora, 2013.

Figura 15 – Absorção de água em função da temperatura de sinterização.



5.3.2 Porosidade Aparente

A Figura 16 apresenta o resultado obtido para a porosidade aparente das formulações em diferentes temperaturas de sinterizações. Observou-se que na formulação 1 a porosidade diminuiu com aumento da temperatura de sinterização.

A formulação 2, ao contrário das outras duas formulações, teve um aumento da porosidade aparente. Isto ocorreu, pois nesta formulação há uma quantidade de escória maior que nas outras duas. Este tipo de escória possui normalmente a presença da fase calcita que em temperaturas a partir de 1050° C começa a se decompor provocando o aumento da porosidade. (SANTOS JUNIOR, 2005)

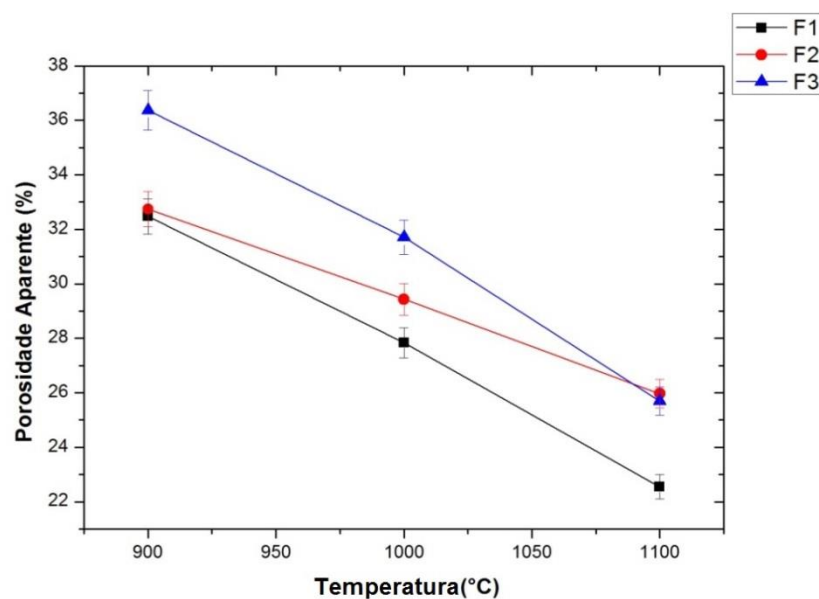
Já na formulação 3, a porosidade aparente diminuiu com o aumento da temperatura, pois o filito que está em maior quantidade, age como fundente, pois possui a mica muscovita, que tem como característica formar fases de maior poder de fundência, em faixas de temperatura até 1060°C. (FONSECA, 1999)

Segundo SOUZA SANTOS (1989), a porosidade para materiais cerâmicos deve se encontrar nas faixas entre 17 a 35%. Esses valores são os mesmos, tanto para a fabricação de tijolos maciços e furados, quanto para telhas. Com base nos valores obtidos e apresentados na Tabela 8, a formulação 3 na temperatura de 900°C, é a única que não se apresentou dentro das especificações.

Tabela 11 – Resultados para a Porosidade Aparente (%).

Formulações	Temperaturas (°C)		
	900	1000	1100
F1	32,47	27,84	22,55
F2	32,74	29,43	25,97
F3	36,37	31,71	25,69

Fonte: Autora, 2013.

Figura 16– Porosidade aparente em função da temperatura de sinterização.

5.3.3 Retração Linear

A partir dos valores obtidos para a retração linear de queima, o gráfico foi traçado como apresentado na Figura 17. Observou-se que, para as três formulações trabalhadas, o comportamento para a retração linear foi uniforme.

As formulações 1 e 3 apresentaram aumento da retração linear com a temperatura, já na formulação 2 a retração linear se tornou constante a partir da temperatura de 1000°C, isto é, ocorreu a estabilidade dimensional. (RÊGO, 2010)

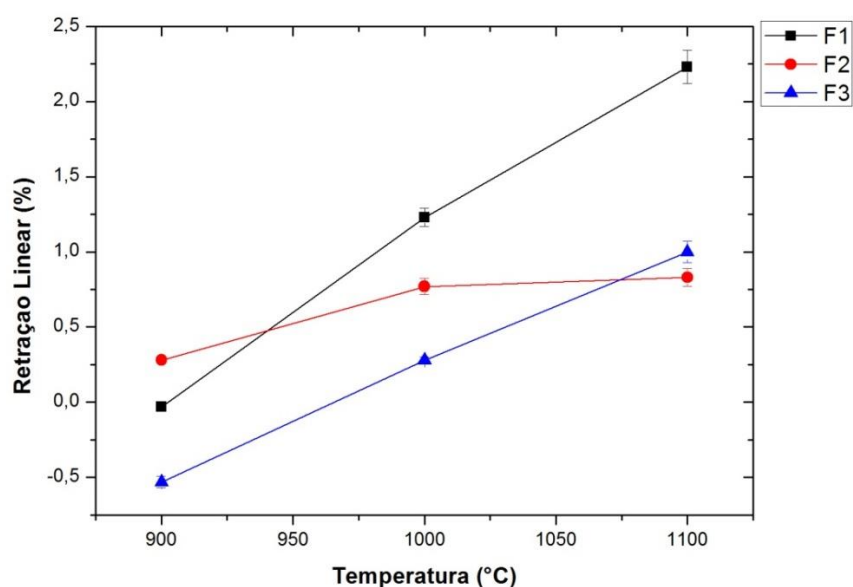
Ainda segundo SOUZA SANTOS (1989), para cerâmicas estruturais, os valores de retração linear de queima não podem exceder 6%. Todas as formulações, com exceção da formulação 1 e 3 à temperatura de 900°C, atendem aos valores especificados pela literatura. Ao contrário da formulação 3, estas sofreram uma pequena expansão indicada pelo valor negativo da retração linear.

Tabela 12 – Resultados para a Retração Linear (%).

Formulações	Temperaturas (°C)		
	900	1000	1100
F1	-0,03	1,23	2,23
F2	0,28	0,77	0,83
F3	-0,53	0,28	1,00

Fonte: Autora, 2013.

Figura 17 – Retração Linear em função da temperatura de sinterização.



5.3.4 Densidade Aparente

A Figura 18 apresenta os resultados obtidos para a densidade aparente nas diferentes formulações e temperaturas de sinterização. Observou-se que a densidade aparente para a formulação 1 aumentou com o aumento da temperatura de sinterização. Isso ocorreu devido a maior compactação dos grãos de argila, mesmo com a presença de certa quantidade de escória na composição da formulação.

Na formulação 2, que possui maior quantidade de escória, o valor da densificação se torna maior a partir da temperatura de 1000° C. Essa incorporação de escória em massas cerâmicas provoca, até 1050°C, a formação da fase calcita devido à decomposição de carbonato de cálcio, que provoca a perda de massa da escória nessa faixa de temperatura e reduz os valores de densidade. (SANTOS JUNIOR, 2005)

Na Formulação 3, observou-se que, com o aumento da temperatura, os valores da densidade aparente se tornaram crescentes. Isto ocorreu, assim como na porosidade aparente, devido à presença de fases de maior poder de fundência formadas pelo filito até a temperatura de 1160°C.

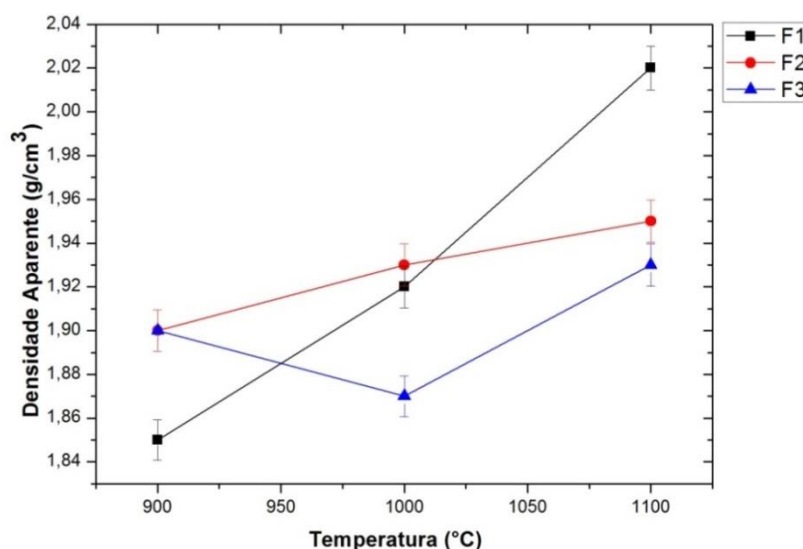
Segundo SOUZA SANTOS (1989), a densidade aparente das cerâmicas estruturais deve possuir um limite de até 2.7%. Com base nos resultados obtidos para as três formulações, todas são indicadas para a aplicação em cerâmica estrutural.

Tabela 13 – Resultados para a Densidade Aparente (g/cm³).

Formulações	Temperaturas (°C)		
	900	1000	1100
F1	1,85	1,92	2,02
F2	1,90	1,93	1,95
F3	1,90	1,87	1,93

Fonte: Autora, 2013.

Figura 18 – Densidade Aparente em função da temperatura de sinterização.



5.4 MÓDULO DE RUPTURA A FLEXÃO

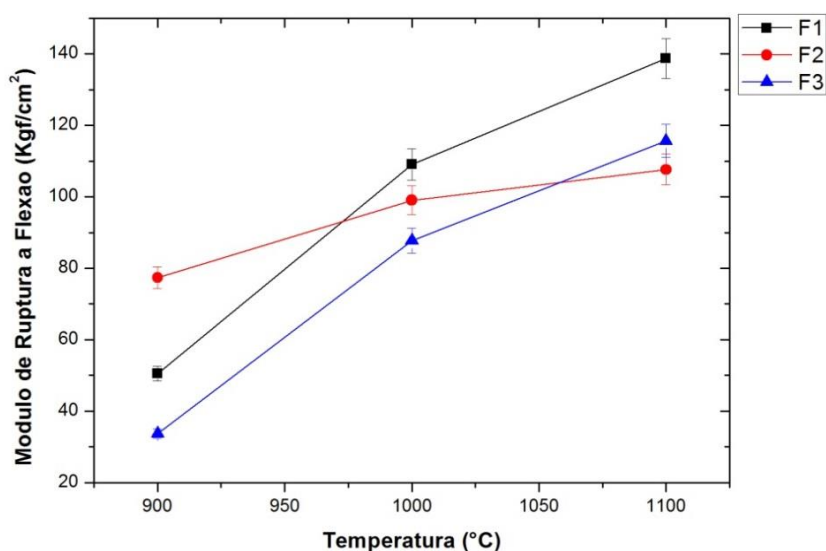
Após o ensaio de tensão de flexão, o gráfico apresentado na Figura 19 foi gerado, a partir dos resultados obtidos na análise do comportamento para as três formulações.

Tabela 14 – Resultados para o Módulo de Ruptura a Flexão (kgf/cm²).

Formulações	Temperaturas (°C)		
	900	1000	1100
F1	50,51	109,03	138,73
F2	77,39	99,05	107,63
F3	33,68	87,70	115,67

Fonte: Autora, 2013.

Figura 19 – Módulo de ruptura a flexão em função da temperatura de sinterização.



Na formulação 2, com maior quantidade de escória incorporada, observou-se que começa a haver uma redução no módulo de ruptura à flexão (MRF). A partir de 1050°C, a calcita presente na escória de aciaria começa a se decompor, provocando assim a formação de uma pequena porosidade no interior do material, ocasionando a consequente diminuição do módulo de ruptura a flexão.

Porém, observa-se que nas temperaturas entre 925° e 1050°C, houve um aumento deste módulo devido à vitrificação causada pela escória nos corpos cerâmicos nesta faixa de temperatura. (SANTOS JUNIOR, 2005)

Para a formulação 3 o aumento no módulo de ruptura foi gradativo, devido à ação fundente do filito de formar uma fase líquida mais viscosa, aumentando a resistência à flexão do material. (FONSECA, 1999)

De uma forma geral, todas as formulações atenderam aos valores mínimos previstos na literatura (RIKER, 2005), que estabelece para a resistência mecânica

das cerâmicas estruturais após a queima, entre 20 e 65 Kgf/cm². Principalmente nas temperaturas acima de 900°C, as três formulações apresentaram excelentes resultados para o MRF.

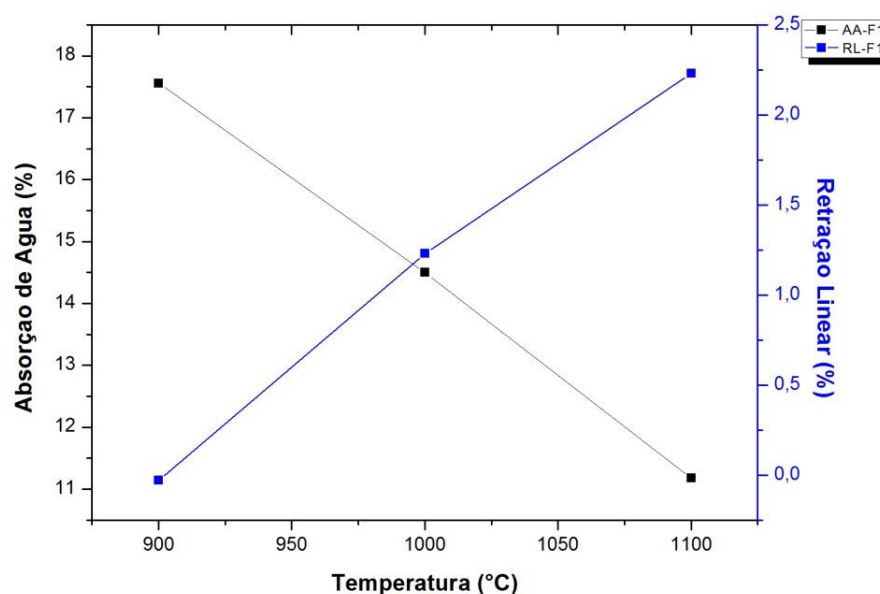
5.5 CURVAS DE GRESIFICAÇÃO

Os gráficos apresentados a seguir foram traçados de modo a encontrar a curva de gresificação para cada formulação estudada. A curva de gresificação representa graficamente, as variações da retração linear e absorção de água dos corpos de prova após serem sinterizados. Através deste gráfico é possível localizar em qual faixa de temperatura o material vai obter melhores propriedades, as condições de processamento e as tolerâncias da massa cerâmica às mudanças de temperatura.

5.5.1 Formulação 1

Para a formulação 1 a curva de gresificação traçada teve sua interseção em aproximadamente 1000 °C, ponto este que indica a melhor temperatura de trabalho para a formulação em questão. Nesta temperatura o valor da retração linear é de 1,24%, valor este constante nas três temperaturas de sinterização, e absorção de água de 14,75%.

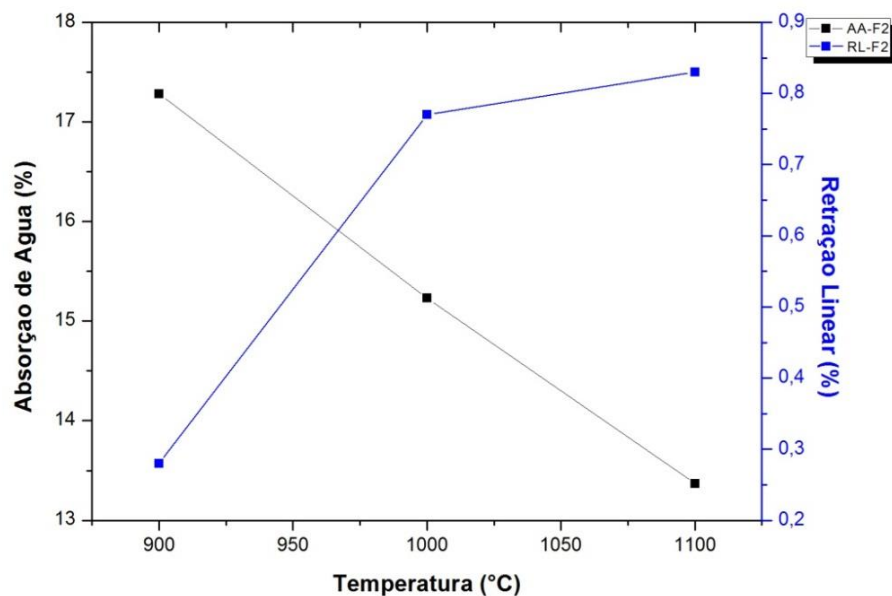
Figura 20 – Curva de gresificação para a F1.



5.5.2 Formulação 2

A formulação 2 diferentemente da 1, teve um comportamento diferenciado, tendo como ponto de interseção para a temperatura ideal de trabalho e obtenção das melhores propriedades desta formulação, em 970° C. Este comportamento ocorreu devido à presença de escória na faixa de 35% no material cerâmico, essa escória provoca formação de fase líquida a partir desta faixa de temperatura. Na temperatura de gresificação o material apresentou retração linear de 0,6% e absorção de água de 16%.

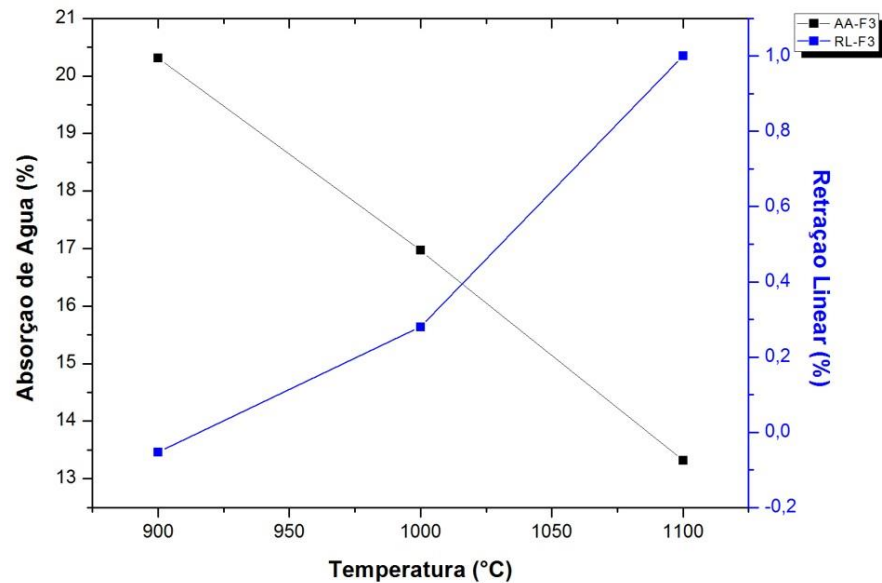
Figura 21– Curva de gresificação para F2.



5.5.3 Formulação 3

Na formulação 3 ocorreu o mesmo que na formulação 2; o ponto de interseção, que indica a melhor temperatura de trabalho para a formulação, também não se formou no meio do gráfico. A temperatura ideal prevista no gráfico é em aproximadamente 1020° C, com 0,4% de retração linear e 16,25% de absorção de água.

Figura 22- Curva de Gresificação para a F3.



5.6 ANÁLISE MICROESTRUTURAL

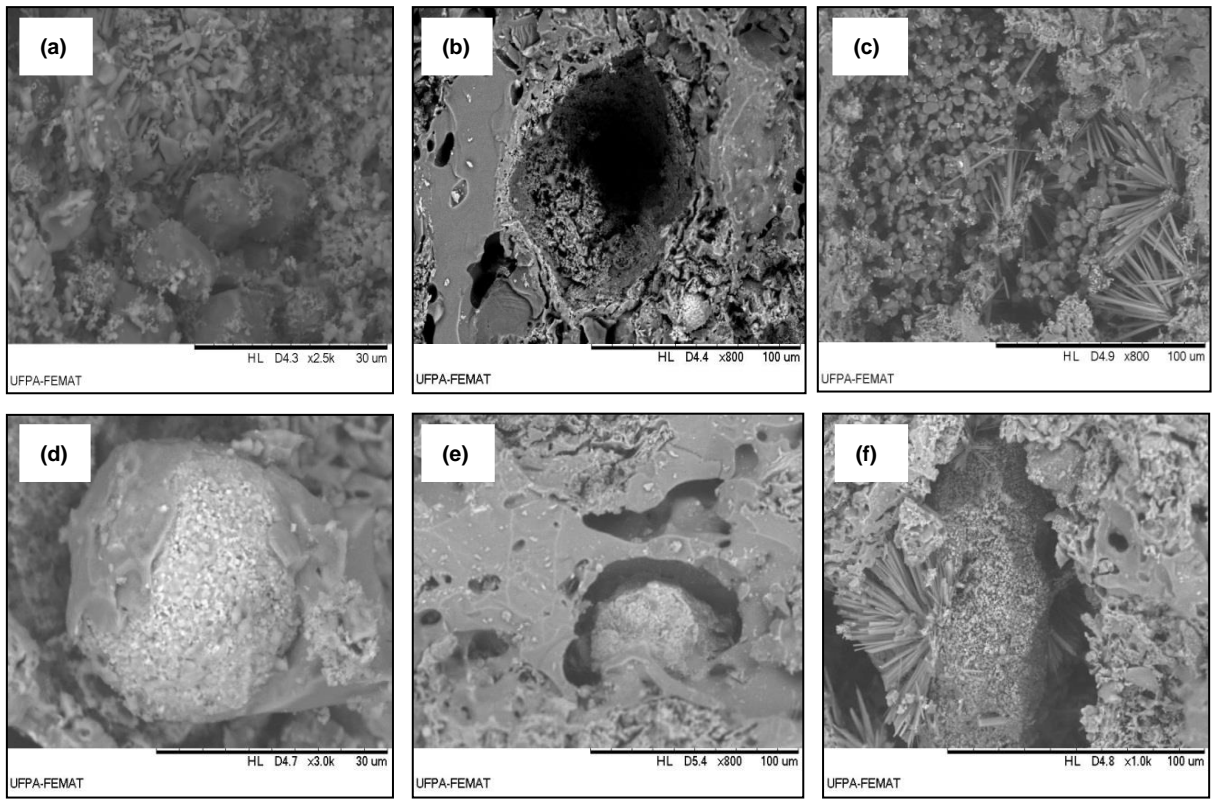
Após a realização dos testes físicos, as fraturas contidas nas amostras foram observadas no MEV. Para a análise microestrutural as formulações sinterizadas a 1100°C foram escolhidas para análise dos corpos de prova, pois foram as que apresentaram os melhores resultados.

A Figura 23 apresenta as superfícies de fratura para as três formulações. É possível observar que a formulação 1, apresentada na Figura 23 (a) e (b), apresenta uma textura grosseira, com a presença de algumas partículas de quartzo descoladas da matriz e de alguns poros, além de uma fratura intergranular.

A Figura 23(c), pertencente a formulação 2, mostra partículas arredondadas formados pelo Filito e em formato de agulhas originadas pela presença de escória. Na Figura 23(d) mostra-se um aglomerado de escória envolta por uma fase líquida.

A formulação 3, como mostra a Figura 23(e), apesar de apresentar uma textura da superfície da fratura mais refinada, ainda apresenta a presença de alguns poros causados pelo descolamento de partículas, ocasionadas durante a solicitação mecânica. Observou-se ainda um aglomerado de escória não aderido a matriz.

Figura 23 – Micrografia das formulações sinterizadas a 1100°C: (a) e (b) F1, (c) e (d) F2, (e) e (f) F3.



Fonte: Femat, 2012.

Na Figura 23(f), referente a formulação 3, mostra uma matriz com fase líquida e viscosidade acentuadas. Há também, a presença de um aglomerado de partículas em forma de agulha e arredondadas que não estão aderidas a matriz. Através do EDS foi possível obter a composição química semi-quantitativa das partículas em forma de agulha como mostra a Figura 24.

Figura 24- MEV das partículas em forma de agulha: (a) Região analisada; (b) Análise química por EDS.

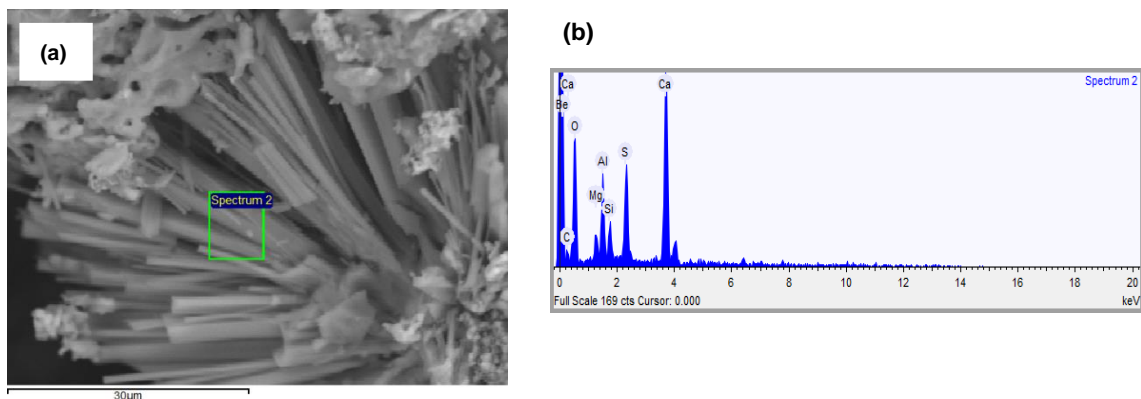


Tabela 15- Composição química obtida por EDS das agulhas.

Elemento	Porcentagem em Massa (%)
Carbono	21,31
Oxigênio	45,14
Magnésio	1,53
Alumínio	4,00
Silício	2,22
Cálcio	19,64

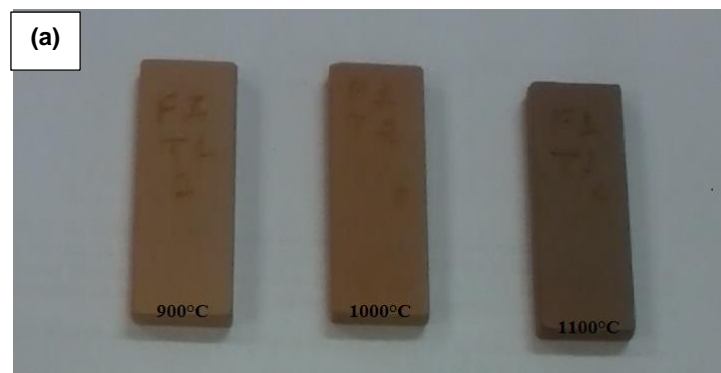
6 COR DE QUEIMA

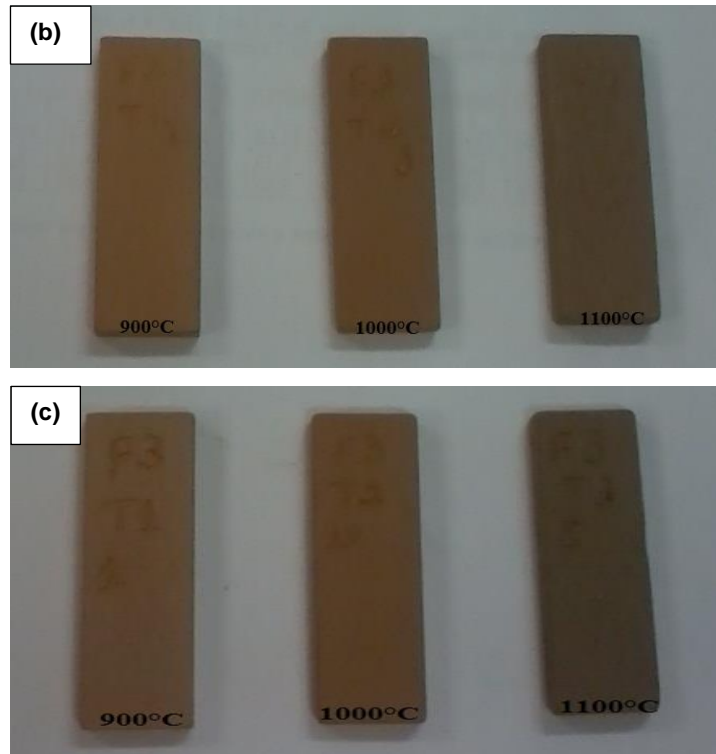
A Figura 25 mostra a coloração de cada formulação após a sinterização, que variou entre rosa claro, bege e marrom. Para as formulações 1 e 2 não houve variação de coloração nas três temperaturas de queima, enquanto que a formulação 3 apresentou uma coloração marrom que se intensificou com o aumento da temperatura.

A coloração final de queima é determinada geralmente pela presença de cátions de metais como ferro, titânio, manganês, cromo, entre outros. Isso sugere que a coloração mais marrom para as três formulações, na temperatura mais alta (1100°C), ocorreu devido à presença de grande quantidade de cátions de alguns desses metais. (GOUVEIA, 2008)

Figura 25– Cor de queima das amostras após sinterização para as três formulações:

(a) F1, (b) F2 e (c) F3.





Fonte: Autora, 2012.

7 CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo estudar o efeito da incorporação de escória de aciaria e a substituição parcial da argila pelo filito nas formulações de cerâmicas estruturais, buscando estudar e observar as mudanças nas propriedades tecnológicas desses materiais.

- As composições químicas das matérias-primas se mostraram satisfatórias para a fabricação de cerâmica estrutural.
- De acordo com os resultados apresentados pode-se afirmar que houve uma diminuição significativa na absorção de água e porosidade aparente principalmente para as formulações 1 e 3. A formulação 3, porém, apresentou uma exceção a 900°C, pois a esta temperatura o valor de PA excede o permitido para aplicação em cerâmicas estruturais.
- Quanto à retração linear de queima, as formulações 1 e 2 apresentaram um aumento; já a formulação 3, apresentou uma pequena diminuição devido à expansão da escória a altas temperaturas.
- A resistência mecânica e propriedades tecnológicas, no geral para as três formulações, apresentaram melhoras. Isso indicou que é viável a utilização de escória e filito na composição de formulações de cerâmicas estruturais nos teores estudados neste trabalho.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os seguintes temas de trabalhos são sugeridos para continuidade e aperfeiçoamento deste trabalho:

- Aumentar os teores de escória e filito nas massas cerâmicas, objetivando utilizar ao máximo esses componentes e observar suas influências no produto final.
- Diminuir as temperaturas de sinterização para as três formulações, para buscar uma economia de energia.

9 REFERÊNCIAS

AMORIM, F.R. **Co-processamento de Dregs em Argila para produção de Cerâmica Vermelha**. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

CARDOSO, M.D. **Reciclagem de Escória de Forno Panela de Aciaria Elétrica em Material Cerâmico**. São Leopoldo, RS: PPGECC, 2009. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, UNISINOS.

Determinação de Porosidade, Absorção de Água e Massa Específica. Superintendência de Geologia e Mineração (SGM), versão 3, pag. 1-4, 2009.

Escoria de Aciaria [Imagem online]. Disponível em: <http://www.ccabrazil.org.br>. Acessado em: 10 de janeiro de 2013.

ETENE/BNB. **Informe Setorial Cerâmica Vermelha**. Outubro, 2010.

Ficha Técnica [Tabela online]. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br>. Acessado em: 15 de novembro de 2012.

Filito [Imagem online]. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br>. Acessado em: 18 de dezembro de 2012.

FONSECA, M.G. et al. **Estudo de matérias primas fundentes**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 43., 1999, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: UFSCar, 1999. Disponível: <<http://pintassilgo2.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/1999/Artigos/443.doc>>. Acesso em: 20 set. 2012.

GOUVEIA, F.P. **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**. Brasília, DF: ENC/FT, 2008. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, UnB.

GRAFFITTI, D.F. **Avaliação do Teor de Cal Livre em Escória de Aciaria Elétrica**. Porto Alegre, RS: PPGEM, 2002. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, UFRGS.

GARCIA, F.A.; RIBEIRO, M.B.; OLIVA, R.K.B. **Análise do Perfil do Setor da Indústria de Cerâmica Vermelha pela Abordagem na Metodologia do Carbono Social**. São Paulo: Faculdade Oswaldo Cruz, 2009.

J. MENDO CONSULTORIA. **Perfil das Argilas para Cerâmica Vermelha**. Relatório Técnico N° 32, Outubro de 2009.

MACIEL, G.S. et al. **Alterações Microestruturais e Inertização de Lama Fina de Aciaria em Cerâmica Argilosa**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17., 2006, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: Cbecimat, 2006.

MARTINS, J.G. SILVA, A.P. **Materiais de Construção: Produtos Cerâmicos**. 2 ed. UFP, 2004.

MIYAHARA, R.Y. et al. **Comportamento Reológico de Dispersões Cerâmicas Triaxiais Contendo filito**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, -- 2002, Natal. Anais... Natal: Cbecimat, 2002. p. 205-210.

MELO, L.G.A. **Síntese e Caracterização de Geopolímeros Contendo Filito**. Rio de Janeiro: IME, 2011.

MASUERO, A.B; MOLIN, D.C.C.D.; VILELA, A.C.F. **Estabilização e viabilização técnica da utilização de escórias de aciaria elétrica**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v.4, n.2 p. 57-81, abr./jun. 2004.

MOTTA, J.F.M.; MARSIS, C.J.; TANNO, L.C. **Panorama das Matérias-Primas Utilizadas na Indústria de Revestimentos Cerâmicos: Desafios ao Setor Produtivo**. Cerâmica Industrial 3, p. 30-37, 1998.

MORETO, A.L.R. **Características Química, Mineralógica e Tecnológica dos Filitos da Região de Itapeva-SP Empregados na Indústria de Cerâmica**. Curitiba: UFPR, 2006.

MOREIRA, B.S.; FREITAS, M.C. et al. **Efeito da Incorporação de Filito e Escória de Aciaria nas Propriedades Tecnológicas de Cerâmicas Estruturais**. In:

Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 20., 2012, Joinville. Anais... Joinville: Cbecimat, 2012.

OLIVEIRA, M.C.; MAGANHA, M.F.B. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos**. São Paulo: CETESB, 2006. 90p.; 21 cm.-- (Série P+L)

REIS, J.P ; FOLGUERAS, M.V. ; et al. **Caracterização de Resíduos Industriais para uso em Cerâmica Vermelha**. In : Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17., 2006, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu : Cbecimat, 2006.

Revisão Bibliográfica. PUC-Rio – Certificação Digital N° 0913939/CA. cap. 2, 2011.

RÊGO, V. R. **Efeito da adição de escória de aciaria em formulações de massa cerâmica para telhas**. Natal: UFRN, 2010.

RIKER, S.R.L. **Argilas da Região de Boa Vista-Roraima: Mineralogia, Geoquímica e Aplicação Tecnológica**. Manaus: UFAM, 2005.

ROCHA, B.P. **Estudo da Viabilidade da Reutilização da Escória do Refino Secundário no Forno Elétrico a Arco**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.

SOUZA SANTOS, P. **Tecnologia de argilas**. São Paulo: Edgard Blucher, 1989.

SOUSA, G.M. **Estudo Experimental de Escórias de Aciaria para Fins de Caracterização Tecnológica com Material de Lastro Ferroviário em Vias Sinalizadas**. Ouro Preto, MG: NUGEO, 2007. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, UFOP.

VIEIRA, C.M.F.; PINHEIRO, R.M. **Avaliação de Argilas Cauliníticas de Campos dos Goytacazes utilizadas para a fabricação de Cerâmica Vermelha**. Cerâmica **57** (2011) 319-323.

SANTOS JUNIOR, E.L. et al. **Incorporação de Escória de Aciaria em Cerâmica Vermelha**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 49., 2005, São Pedro. Anais... São Pedro: CBC, 2005.