



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

Elza Rodrigues Gouveia

**Análise da viabilidade da produção de cerâmica vermelha à
base de chamote**

MARABÁ-PA

2014

Elza Rodrigues Gouveia

**Análise da viabilidade da produção de cerâmica vermelha à
base de chamote**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Engenharia de Materiais da
Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará – UNIFESSPA, em
cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Elias Fagury
Neto

MARABÁ-PA

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca II da UNIFESSPA. Marabá, PA

Gouveia, Elza Rodrigues

Análise da viabilidade da produção de cerâmica vermelha à base de chamote / Elza Rodrigues Gouveia ; orientador, Elias Fagury Neto. — 2014.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Materiais, Curso de Engenharia de Materiais, Marabá, 2014.

1. Cerâmica (Tecnologia). 2. Resíduos industriais - Reaproveitamento. 3. Caulim. 4. Filito. I. Fagury Neto, Elias, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 666.3

Elza Rodrigues Gouveia

**Análise da viabilidade da produção de cerâmica vermelha à
base de chamote**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Engenharia de Materiais da
Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará – UNIFESSPA, em
cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Materiais.
Orientador: Prof. Dr. Elias Fagury
Neto

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Bancada Examinadora:

Prof. Dr. Elias Fagury Neto
ORIENTADOR – IGE/UNIFESSPA

Prof. Esp. Marcio Paulo de Araújo Mafra
EXAMINADOR – IGE/UNIFESSPA

Prof. Eng. Carlos Vinicius de Paes Santos
EXAMINADOR – IGE/UNIFESSPA

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

Ademario Rodrigues Gouveia e Joscelina Fernandes da Cunha

e em especial a **Jose Ricardo Oliveira Morais**

e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de realização de uma graça alcançada, de estar sempre me guiando e abençoando em minha caminhada na vida em minhas experiências reais e permitindo minha evolução como ser humano.

A minha família, minha mãe Joscelina Fernandes da Cunha, por todo esforço, carinho e dedicação. Incansável na luta para buscar aos seus filhos melhores oportunidades de vida e garantir que eles pudessem ter acesso ao conhecimento, as diversidades que despertassem a vontade de crescimento pessoal e profissional a fim de se tornar cidadãos éticos.

Meu pai, Ademario Rodrigues Gouveia, por todas as vezes que orgulhosamente fez questão de falar do meu esforço para realizar este curso, por todo suporte e apoio financeiro e psicológico, pelos valores que me ensinou na faculdade da família, principalmente respeito e honestidade.

Aos meus amigos, Renan Mineiro e Kerlon Klaio por estarmos juntos até os últimos momentos, e em especial as minhas melhores amigas, Ana Cássia Queiroz e Elaine Gonçalves, vocês são mais que amigas são minhas irmãs. Obrigada por todos os bons momentos que passamos juntas durante o curso, pelo apoio, carinho, compreensão e ajuda. São amizades sinceras que perdurarão pela vida, independentemente do caminho que cada uma vai percorrer. Felicidades a todos.

Aos professores da universidade, pela contribuição durante minha graduação.

Aos demais colegas da faculdade, pelas amizades que fiz ao longo do curso.

E a todos aqueles amigos e colegas que torcem pela minha vitória.

Obrigada José Ricardo, por toda paciência, apoio e incentivo para que eu finalizasse esta graduação.

EPÍGRAFE

“Precisamos dar um sentido humano às nossas construções. E, quando o amor ao dinheiro, ao sucesso nos estiver deixando cegos, saibamos fazer pausas para olhar os lírios do campo e as aves do céu.”

Érico Veríssimo

RESUMO

As indústrias cerâmicas descartam uma grande quantidade de resíduos, principalmente proveniente da etapa de queima, que na maioria das vezes ocorrem de modo artesanal e com grande quantidade de perdas em virtude da utilização de fornos ineficientes, em virtude de serem intermitentes e não apresentarem controle de temperatura, o que ocasiona problemas de geração de defeitos, que criam elevado percentual de perda em cada batelada. Assim, o presente estudo se baseou na utilização de chamote para produção de cerâmicas, e avaliação das suas características tecnológicas. Rejeitos cerâmicos foram cominuidos mecanicamente e posteriormente processados em moinhos de bolas, a fim de atingir a granulometria adequada. Os demais componentes utilizados para a formulação foram o caulim e o filito. Os corpos de prova foram conformados através de prensagem uniaxial e sinterizados nas temperaturas de, 1150 °C, 1200 °C e 1250 °C para avaliação das propriedades tecnológicas. As propriedades analisadas foram a retração linear de queima, porosidade aparente, absorção de água, massa específica aparente e resistência mecânica através do ensaio de flexão em três pontos. Os resultados apontaram que o chamote diminuiu a retração linear de queima e que o filito possivelmente eliminou bastante os poros dos corpos-de-prova, haja vista que foram encontrados valores de absorção de água bastante baixos. A variação da massa específica aparente não foi significativa para as amostras analisadas. A formulação FIV que possui o maior percentual de chamote apresentou-se bastante viável para a produção de blocos de vedação, a temperaturas superiores a 1150 °C, pois apresentou a menor retração linear de queima e as demais características analisadas em concordância com a literatura.

Palavras-chave: Cerâmica, chamote, reaproveitamento, ensaios tecnológicos.

ABSTRACT

Ceramic industries discard a large amount of waste, mainly from the burning stage, which most often occur in an artisanal way and with loads of losses due to the use of inefficient furnaces, because they are intermittent and not present control temperature, which causes problems of generation of defects, which cause a high percentage of loss in each batch. Thus, the present study relied on the use of grog for the production of ceramics and evaluation of their technological characteristics. Ceramic tailings were mechanically comminuted and subsequently processed in ball mills in order to achieve adequate particle size. The other components in the formulation were used for kaolin and phyllite. The specimens were shaped by uniaxial pressing and sintered at temperatures, 1150 ° C, 1200 ° C and 1250 ° C for assessment of technological properties. The properties measured were linear firing shrinkage, apparent porosity, water absorption, apparent specific gravity and mechanical strength by testing three point bending. The results showed that the grog decreased the linear firing shrinkage and the phyllite quite possibly eliminated the pores of the body-of-evidence, given that values of water absorption were found quite low. The variation of the apparent specific gravity was not significant for the samples. IVF formulation that has the highest percentage of grog had become quite feasible for the production of bricks, the higher temperatures to 1150 ° C, it showed the lowest linear firing shrinkage and other characteristics analyzed in agreement with the literature.

Keywords: sealing blocks, grog, technological tests

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma do processo típico da produção de blocos cerâmicos.....	24
Figura 2- Extração de argilas para a produção de blocos cerâmicos.....	25
Figura 3- Pilha formada para sazonalização das argilas	26
Figura 4- Equipamentos utilizados para a confecção de blocos de vedação. a) boquilha de moldagem; b) mesa de corte	28
Figura 5- Secagem natural de blocos cerâmicos	29
Figura 6 - Secagem artificial em blocos cerâmicos. a) secagem por meio de gases quentes; b) secagem por meio de ventiladores de teto.....	30
Figura 7- Fornos utilizados na queima dos blocos. a) Forno intermitente (abóboda); b) Forno contínuo (túnel)	31
Figura 8- Modo de descarte de chamote.....	33
Figura 9- Fluxograma dos procedimentos experimentais.....	35
Figura 10- Corpos de prova confeccionados.....	37
Figura 11- Forno utilizado na sinterização das peças.	38
Figura 12- Ensaio conduzidos nas condições especificadas	42
Figura 13- Curva de gresificação da formulação FI.....	44
Figura 14- Curva de gresificação da formulação FII.....	45
Figura 15- Curva de gresificação da formulação FIII.....	46
Figura 16- Curva de gresificação da formulação FIV	47
Figura 17- Gráfico das tensões de ruptura para os corpos cerâmicos.	50
Figura 18- Massa específica aparente para os corpos submetidos a queima	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química dos filitos.....	22
Tabela 2- Percentual em peso dos componentes da formulação.....	36
Tabela 3- Resultados de retração linear de queima (RLQ) em função da temperatura.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

AA- Absorção de água

b- Largura do corpo de prova

F- Força

L₀- Comprimento inicial do corpo de prova

L- Comprimento final do corpo de prova

M_s- Massa do corpo de prova seco após a queima

M_i- Massa do corpo de prova imerso após a queima

MRF- Modulo de Resistência a Flexão

MPa- Mega Pascal

mm- Milímetro

NBR- Norma Brasileira

N- Newton

Pa- Pascal

P_s- Peso seco do corpo de prova

P_i- Peso imerso do corpo de prova

PA- Porosidade aparente

RLQ- Retração Linear de Queima

σ - tensão de ruptura à flexão

ρ_i = massa especifica do liquido

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	15
1.1- OBJETIVOS	17
1.1.1- Objetivo geral.....	17
1.1.2- Objetivos específicos.....	17
2- REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	18
2.1- ARGILA.....	18
2.2- CHAMOTE	19
2.3- CAULIM	20
2.4- FILITO.....	21
2.5- REFRAATÁRIO.....	23
2.6- O PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BLOCO CERÂMICO	23
2.7- PERDAS APÓS A QUEIMA E GERAÇÃO DE CHAMOTE.....	32
3- MATERIAIS E METODOS	34
3.1- MATÉRIAS-PRIMAS.....	36
3.2- FORMULAÇÕES	36
3.3- PRODUÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA	37
3.4- SECAGEM E CALCINAÇÃO	37
3.5- SINTERIZAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA	38
3.6- PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS.....	38
3.6.1- Retração linear de queima	39
3.6.2- Absorção de água (AA) e Porosidade Aparente (PA).....	39
3.6.3- Massa Especifica Aparente (MEA)	40
3.6.4- Curva de gresificação	41
3.6.5- Resistencia Mecânica.....	41
4- RESULTADOS E DISSCUSÕES	44
4.1- CURVAS DE GRESIFICAÇÃO	44
4.2- MODULO DE RUPTURA À FLEXÃO (MRF)	49
4.3- MASSA ESPECIFICA APARENTE.....	51
5- CONCLUSÕES.....	53
6- SUSGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	54
REFERÊNCIAS.....	55

1-INTRODUÇÃO

Ao longo da evolução industrial o homem acabou despejando no meio ambiente uma série dos mais variados tipos de passivos ambientais, que por sua vez acabaram gerando uma série de problemas relacionados à poluição e ao desperdício. Como passar do tempo, em vários países surgiram organizações não governamentais (ONG's) que começaram a discutir alternativas para tentar promover uma solução para o problema, e no Brasil não foi diferente [1].

Partindo desta demanda, utilizou-se das cerâmicas como uma alternativa para que se possa incorporar parte destes passivos ambientais, podendo desta maneira promover o reaproveitamento em maior ou menor grau dos rejeitos, a fim de agregar o máximo de valor possível, e transformar tais componentes em bens úteis para a sociedade.

A utilização dos resíduos pelas indústrias cerâmicas pode ser viabilizada pela substituição de uma ou mais matérias-primas da composição original por resíduos, mantendo o processo de produção igual ao convencional, assim como as propriedades características do produto [2].

A indústria de cerâmica vermelha se faz presente ao longo de quase todas as regiões do país, haja vista que fabrica um produto bastante tradicional e muito utilizado pelo consumidor, mesmo havendo outros produtos de qualidade superior, como os blocos de concreto, entre outros [3].

Na microrregião de Marabá existe uma série dessas empresas que são caracterizadas como de pequeno e médio porte, e desenvolvem produtos de modo artesanal, tais como de blocos de vedação, telhas, lajotas entre outros. A falta de investimento em inovação tecnologia, além do não conhecimento das características da matéria-prima colaboram para gerar perda da produção que segundo a literatura [4] a perda devido a erros de processamento chega a 20 % da produção.

O material que é então gerado de todo este processo acaba sendo inutilizado ou é vendido com um preço inferior, haja vista que não possui características aceitáveis pelo consumidor, e isso gera várias perdas para o produtor. Com o intuito de promover o reaproveitamento deste material de “segunda” que é denominado

tecnicamente como chamote [3] existe a possibilidade de utilizar este material em formulações cerâmicas.

Uma alternativa proposta é a utilização de parte da produção de tijolos, que é perdida durante a queima de um lote produzido após a devida cominuição, para elaborar formulações com a adição de caulim e filito, para avaliar a possibilidade de produzir um tijolo de característica refratária ou semi-refratária, para ser utilizado em componentes, como de pequenos fornos e churrasqueiras.

No Brasil existem poucos casos de fragmentação e cominuição de blocos que foram perdidos durante a queima, o que evidencia a necessidade de se promover pesquisas com este tipo de material [3].

O chamote, como aditivo na massa cerâmica, é benéfico para o processo produtivo, principalmente na etapa de secagem, pois contribui para um melhor empacotamento e a morfologia das partículas [5].

1.1- OBJETIVOS

1.1.1- Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver cerâmicas refratárias a partir de argila, caulim e filito, com adição de chamote de tijolo, com intuito de se avaliar as suas características físicas e mecânicas.

1.1.2- Objetivos específicos

Para a investigação da viabilidade das massas deve-se alcançar as seguintes metas:

- Produzir corpos-de-prova com várias formulações e avaliar as suas características tecnológicas: densidade aparente, porosidade aparente, absorção de água, retração linear de queima e módulo de ruptura à flexão.
- Comparar os resultados obtidos com resultados encontrados em outros trabalhos acadêmicos.

2-REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1- ARGILA

A argila pode ser definida como produto de alterações produzidas por intempéres em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Em seu estado nativo, as argilas são compostas de minerais primários, que são encontrados em rochas e apenas alteram sua composição química e/ou minerais secundários, que são produzidos através da ação de agentes químicos sobre minerais primários [3].

Se considerarmos a formação e localização, as argilas podem ser consideradas residuais, formadas *in situ* e/ou sedimentares. No caso da *in situ* podemos afirmar que praticamente não houve transporte e há uma proporção muito maior de minerais primários do que argilas sedimentares, porém quando nos referimos as formadas por sedimentação, é possível definir que estas foram transportadas e depositadas, e nelas são encontrados poucos minerais associados às rochas, com exceção de quartzo e alguma muscovita.

Um outro conceito sobre como se pode definir argila é que se trata de material com textura terrosa e de baixa granulométrica, e que desenvolve plasticidade quando misturado com água. Possui ainda estruturas cristalinas minúsculas denominadas de argilominerais [6]. Estas estruturas são compostas quimicamente de silicatos hidratados de alumínio e ferro, além de poder conter alguns teores de alcalinos e alcalinos terrosos. Outros componentes presentes nas argilas são matéria orgânica, sais solúveis, partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e demais minerais residuais, amorfos e não cristalinos.

Os ceramistas possuem uma maior aceitação de que argila é um sedimento com tamanho de partícula inferior a 4 μm e possui boa parte de seus constituintes classificados como argilominerais e podendo ainda conter impurezas. Adquirem plasticidade com adição de água, a qual é perdida após a secagem (água de conformação e/ou processamento) e depois da queima (água estrutural) em temperaturas geralmente superiores a 1000 °C, adquirido resistência [7].

As argilas ainda possuem diversas classificações e algumas delas são quanto a granulometria, forma das partículas, composição química e forma cristalina entre outras classificações [3]. Outras características que também são importantes e que podem ajudar na hora da formulação das massas cerâmicas é a determinação do índice de plasticidade [6].

2.2- CHAMOTE

Chamote pode ser considerado como um subproduto proveniente de rejeitos de material cerâmico após uma etapa de queima [8]. Esse material é considerado inerte a temperatura de obtenção e pode ser caracterizado como componente não plástico e que geralmente pode ser incorporado em formulações para a produção de novas peças.

Segundo a literatura [9,5] a incorporação de chamote em formulações cerâmicas, pode promover alterações nas demais propriedades previstas pela norma técnica, controlar a retração de queima das peças, entretanto para se promover este estudo de maneira coerente deve-se avaliar uma série de características dos pós que irão compor a formulação.

Isso pode ser confirmado pelo fato de que a mistura de várias argilas com teores de impurezas associados aos argilominerais que a constituem acabam por reduzir a plasticidade da massa e conseqüentemente sua compactação e posterior retração após a queima [6]. A incorporação de algum componente não plástico como o chamote pode ainda diminuir o ciclo de secagem das peças, pois as descontinuidades impostas pelas partículas de chamote reduz a interação entre as partículas presentes na massa cerâmica [10].

Este tipo de material, porém deve ser introduzido em proporções e distribuição granulométrica adequada, haja vista que pode diminuir a resistência mecânica durante a secagem, além de poder promover dependendo da característica do material contrações diferenciadas nas peças, e isso pode ocasionar fissuras, portanto quando se for adicionar chamote em massas cerâmicas recomenda-se homogeneizar bem a massa e resfriar de maneira lenta para que não ocorra decréscimo da resistência mecânica do produto após a queima.

2.3- CAULIM

O caulim é um nome dado a uma argila branca que é essencialmente caulinita e que era utilizada pelos chineses primordialmente para a confecção de porcelana. Segundo a literatura o caulim pode ser definido como sendo uma rocha constituída de material argiloso, com baixo teor de ferro e cor branca[11].

Este material consiste basicamente de silicatos, com a composição química que se aproxima da $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, contendo outros elementos como impurezas. O caulim deve possuir um teor de caulinita entre 75% a 85% e não deverá apresentar outros elementos que possam afetar sua coloração após a queima, haja vista que esta cerâmica deverá manter sua alvura. Uma impureza que apresenta está característica é no caulim se estiver presente um teor de 0,9% é o Fe_2O_3 [12].

O caulim quando queimado sofre transformações termoquímicas e termomecânicas que afetam as propriedades tecnológicas (retração linear de queima, absorção de água, porosidade aparente, massa específica, módulo de ruptura à flexão e compressão). Tais propriedades são afetadas também pela variação da composição química e mineralógica, além da curva de queima que o material poderá estar submetido.

O caulim é uma argila que também pode ser empregada carga e cobertura na indústria de celulose no processo de fabricação de papel. A distribuição do tamanho de partícula, o tamanho, a estrutura e a forma das partículas influenciam as propriedades reológicas, opacidade e alvura [12].

As principais aplicações do caulim incluem: cerâmicas, cargas para tintas, plásticos entre outros. No Brasil sua utilização está situada principalmente na indústria do papel (53%), dispersão de tintas (15%), artefatos de borrachas (12%), refratários (11%), cerâmicas (7%) e inseticidas, adubos químicos e outras aplicações [12].

Está argila por possuir o óxido de alumínio (Al_2O_3), o qual durante a vitrificação das peças dar equilíbrio e estabilidade, pois durante a queima a temperaturas superiores 1000 °C, o caulim se converte em mulita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) formando uma fase vítrea que irá atuar como um esqueleto, além de aumentar a resistência mecânica e a deformação pirolástica, este último evento é ocasionado

como consequência do excesso de fases líquidas formadas durante a etapa de queima.

O caulim quando utilizado de modo separado dará origem a peças brancas e com pouca porosidade, portanto produtores de porcelanas e outros produtos utilizam exclusivamente o caulim como matéria prima, porém esta argila se comparada a outras apresenta pequena plasticidade, por isso pode se fazer necessária a adição de outra argila mais plástica com o intuito de promover uma etapa de processamento mais facilitada. Como as partículas de caulinita são maiores que as das argilas plásticas, com as quais são misturadas, e isso faz com que ocorra uma aceleração do processo de moldagem, haja vista que são mais permeáveis a passagem de água.

Outra característica importante do caulim é que durante o processo de sinterização há a formação de mulita que é uma fase que pode ainda promover a refratariedade da peça, portanto o caulim é largamente utilizado em formulações que visam a obtenção de refratários e semi-refratários.

2.4- FILITO

O Filito pode ser encontrado em várias regiões do mundo e do Brasil e possui a característica de ser um material fácil de pulverizar, que acaba originando um pó finíssimo, e possui como principais constituintes filossilicatos de pequeno tamanho de grão, como mica muscovita finamente dividida ou sericita e caulinita, e quartzo [13].

Este material se apresenta na forma de uma rocha que possui superfícies de clivagem brilhosas e sedosas, além de possuir xistosidade acentuada (existência de planos paralelos), ou foliação, resultante de recristalização. A rocha possui geralmente finas lamina paralelas. A coloração é variável, de branco-prateado, esverdeada, amarelada, avermelhada, e até negra [14].

O filito é geralmente empregado em massas cerâmicas de grés, argamassas, plastificantes, ração animal, pigmentos, aglutinantes, concretos especiais e materiais que necessitam de baixa permeabilidade. Este componente quando aplicado em

formulações pode agir como substituto parcial da fração argilosa e fundente das cerâmicas. A característica fundente deste mineral se deve ao elevado teor de álcalis em sua composição química que está situada em torno de 7% [15].

O seu emprego em formulações cerâmicas é benéfico, haja vista promove o aumento da velocidade de sinterização em diversos tipos de materiais cerâmicos, como os refratários. Devido a diversidade que este material se apresenta na natureza, este poderá apresentar característica de plástico ou não-plástico [6].

A utilização de filitos em formulações cerâmicas é de grande viabilidade, haja vista que é um material de pouco valor agregado e é bastante abundante na crosta terrestre, além de pode substituir com boa margem de segurança, dependendo é claro das caracterizações realizadas, outras cargas minerais.

Os filitos variam de maneira bem acentuada a sua composição isso pode ser evidenciado na tabela 01.

Tabela 1 - Composição química dos filitos

Óxidos	Porcentagem em massa (%)					
	Filito de Martinópolis (CE)	Filito dos E.U.A	Filito da Espanha local 1	Filito da Espanha local 2	Filito do Açugui (PR)	Filito de Paracatu (MG)
SiO ₂	>61	15,1	49,0	54,5	60,2	50,4-76,2
Al ₂ O ₃	21,7	70,3	26,0	23,2	22,3	6,2-28,4
Na ₂ O	4,0	0,4	2,5	1,9	1,1	-
CaO	0,02	5,3	3,3	4,1	<0,1	0,01-46,4
K ₂ O	3,2	0,5	4,2	3,4	3,8	-
Fe ₂ O ₃	1,3	2,5	10,0	7,4	6,3	0,01-46,4
MgO	1,0	0,1	3,0	2,3	<0,5	0,2-1,4
TiO ₂	0,05	2,3	1,40	1,0	0,6	1

Fonte: [15] adaptada

Para os filitos as técnicas de caracterização são de vital importância, haja vista que cada área, na qual foi retirada uma amostra pode apresentar características específicas e conseqüentemente aplicações distintas.

2.5- REFRAATÁRIO

Os refratários são materiais cerâmicos que segundo a literatura [16] devem ter a capacidade de resistir a temperaturas elevadas, sem que ocorra sua decomposição, deverá ainda permanecer inerte quando exposto a ambientes agressivos. Estes materiais devem possuir a capacidade de promover isolamento térmico.

Os materiais cerâmicos refratários podem possuir diversas aplicações como revestimentos de fornos para refino e obtenção de metais, fabricação de vidros, tratamento térmico metalúrgico e geração de energia.

Existem uma gama de aplicações para os refratários que podem ser originados mediante a adição de componentes brutos. Tais como partículas grandes (ou chamote) e finas, vale ressaltar que estas matérias químicas podem possuir diferentes composições.

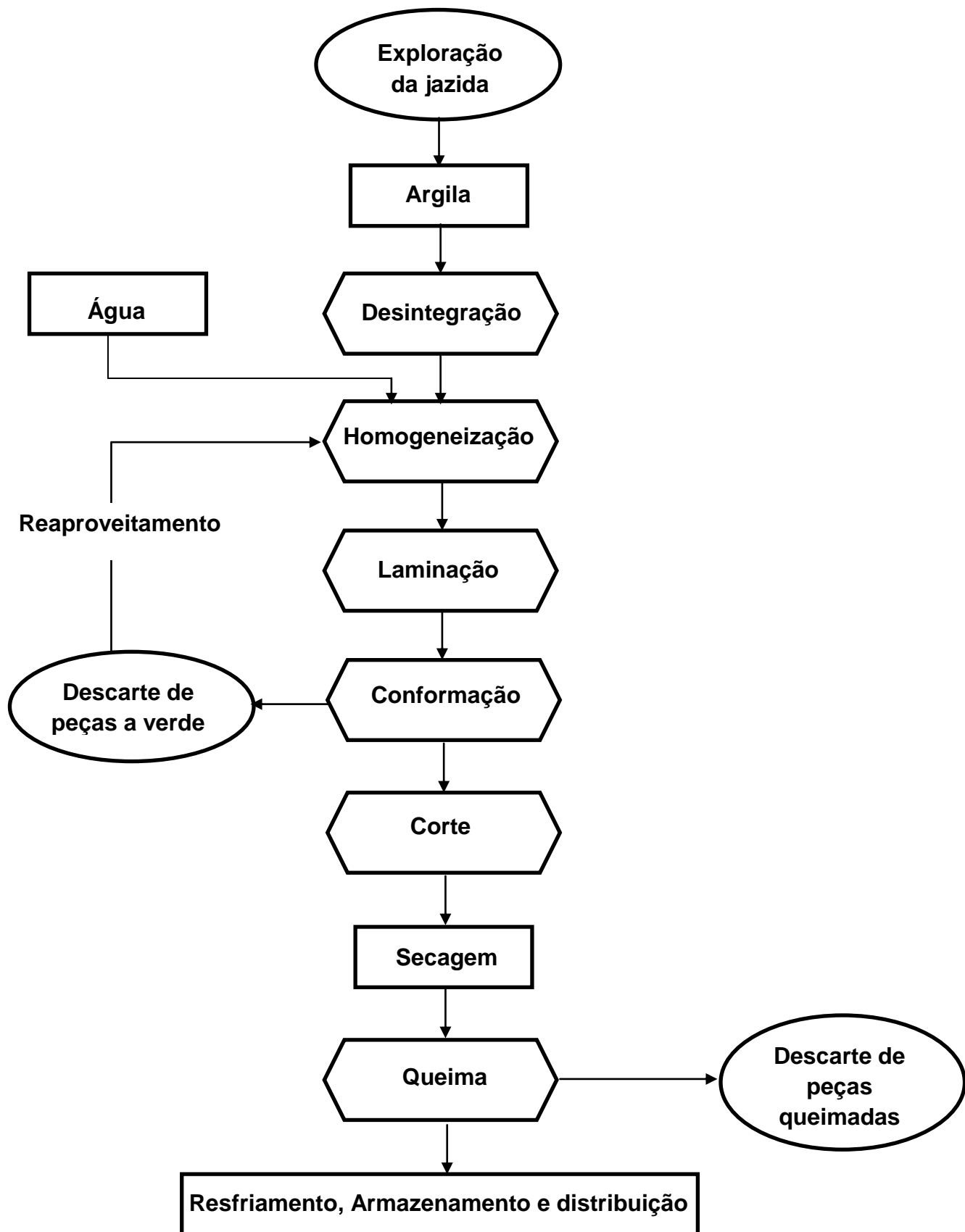
2.6- O PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BLOCO CERÂMICO

A produção do bloco cerâmico consiste em várias etapas, desde a escolha da argila e a sua extração, até a obtenção do produto final. Estas fases são: preparação da matéria-prima, moldagem da massa cerâmica e tratamento térmico.

Segundo a norma técnica [17], os blocos cerâmicos de vedação devem ser fabricados por meio de conformação plástica (processo de extrusão ou prensagem da matéria prima argilosa, contendo ou não aditivos), e queimados a elevadas temperaturas.

Os valores previstos pela norma são alcançados mediante cuidados durante todas as etapas que constituem o processo A Figura 1 apresenta um fluxograma que mostra as etapas de produção de blocos cerâmicos de vedação.

Figura 1- Fluxograma do processo típico da produção de blocos cerâmicos



Fonte: [3] adaptada

A jazida é o local, no qual se extrai a matéria-prima para a produção de blocos cerâmicos. De modo geral a extração da argila é realizada a céu aberto, estas jazidas podem estar localizadas em depósitos de vários tipos, na região de Marabá estes materiais podem ser encontrados nos leitos dos rios.

Para a utilização adequada das argilas para a produção de blocos de vedação e demais produtos se faz necessária a caracterização destes materiais, por meio de técnicas como análise química, difração de raios-X, plasticidade e outras [18]. Vale lembrar que a grande maioria dos proprietários das indústrias negligencia a prática de realizar caracterizações.

A Figura 2 apresenta uma situação típica, na qual as argilas geralmente são extraídas.

Figura 2- Extração de argilas para a produção de blocos cerâmicos



Fonte: [3]

As argilas após a extração deverá sofrer o processo de sazonalamento, homogeneização, obtenção da umidade adequada e laminação da massa cerâmica.

Segundo a literatura [19]na primeira etapa de tratamento da matéria prima é chamada de sazonalamento, que consiste em impor a argila recém-extraída à ação

dos agentes atmosféricos, em período que normalmente varia de seis meses a dois anos, quando são eliminadas as impurezas prejudiciais ao material.

As argilas são depositadas em camadas, as quais as espessuras e alternância dependem do tipo e propriedades desejadas da mistura final. A exposição às intempéries pode provocar a lavagem de sais solúveis, fermentação e oxidação das matérias-primas, assim melhorando a plasticidade e a moldagem por extrusão.

Tal pratica pode evitar a expansão das peças logo após a moldagem, devido a formação indesejada de trincas e rupturas dos produtos na fase de secagem, e o desenvolvimento de gases durante a queima. A Figura 3 apresenta um exemplo de pilha de sazonalamento comumente encontrada nas indústrias de cerâmica vermelha.

Figura 3- Pilha formada para sazonalamento das argilas



Fonte: [3]

Após o sazonalamento, a matéria-prima é levada até o caixão alimentador, no qual são dosadas as quantidades pré-determinadas das matérias-primas que serão utilizadas na formulação. Em seguida a massa será direcionada para o desintegrador com o intuito de promover a cominuição de possíveis torrões e/ou materiais de granulometria mais grosseira. Dando seguida ao processamento, a

matéria é direcionada ao misturador, para ocorre a devida homogeneização e ajuste do teor coerente de água, caso seja necessário, e pôr fim a mistura é levada ao laminador caso seja necessário para completar a homogeneização [5].

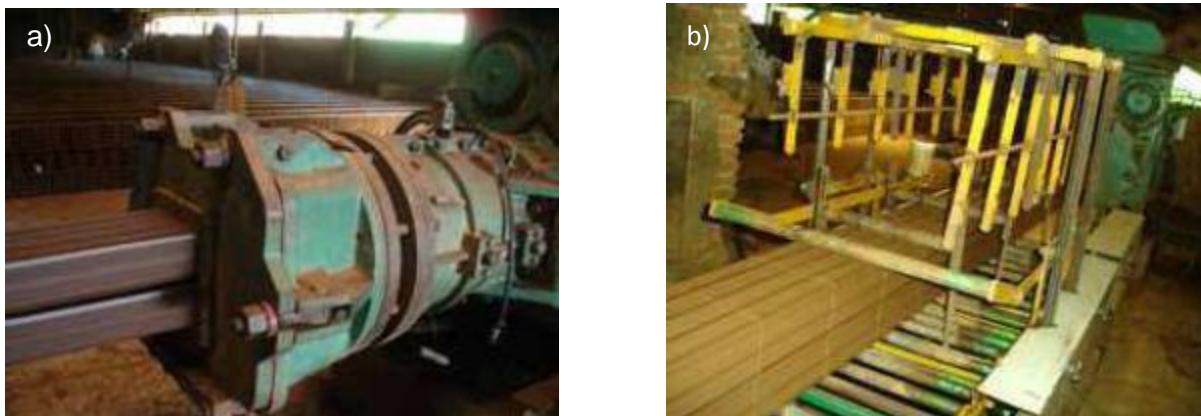
A adição de água merece bastante atenção, pois ela pode influenciar o processo de produção dependendo da quantidade adicionada. O teor de água que deve ser adicionado irá variar com o tipo de conformação que o produto submetido [3].

A etapa de conformação deverá ser escolhida em virtude do produto que deverá ser originado (blocos de vedação, blocos estruturais, telhas e etc) e da umidade presente na massa que será processada. Há diversos métodos que podem ser utilizados para a conformação das massas. Um deles é o de prensagem a seco, neste modo de processamento o teor de umidade deve ser inferior a 10% e a pressão exercida é considerada elevada, os produtos que geralmente são originados através deste método são ladrilhos, azulejos, refratários, tijolos e telhas [20] .

A extrusão é outro método de conformação [18] possível de produzir peças de cerâmica vermelha principalmente blocos de vedação, este processo se destaca como um dos mais utilizados pelas indústrias de cerâmica vermelha. Nesse caso específico a massa plástica é processada em uma extrusora (maromba), composta por uma rosca sem fim que comprime a massa forçado a passagem dessa massa por uma chapa de aço.

Em seguida o material que foi pegado quando entrou em contato com a chapa furada cai em uma câmara de vácuo e após isso é direcionada a outra rosca sem fim que força a passagem da massa por um molde (boquilha) que será responsável por imprimir a forma necessária a peça, porém irá originar uma coluna continua que em seguida seguirá para a etapa de corte. A figura 4 mostra os equipamentos que serão utilizados para processar este produto.

Figura 4- Equipamentos utilizados para a confecção de blocos de vedação. a) boquilha de moldagem; b) mesa de corte



Fonte: [3] adaptado

A etapa de secagem é uma das mais importantes no processo produtivo de blocos cerâmicos, a seguir abordaremos definições e conceitos utilizados para definir o processo. Segundo a literatura [19] secagem possui a finalidade de eliminar parte da água inserida na peça durante o processo de mistura e laminação.

As argilas contêm partículas menores em sua composição e necessitam de uma maior quantidade de água para que possam adquirir plasticidade. Isso se deve ao fato de que as partículas possuem uma área específica maior. Assim matérias primas que possuem partículas maiores como, por exemplo; o quartzo, não necessitam de uma grande quantidade de água desde que sua plasticidade seja suficiente, fazendo com que a sua umidade não seja elevada na etapa de secagem [21].

A massa cerâmica que será submetida a extrusão necessita de uma quantidade maior de água para que se possa obter a homogeneidade do material, entretanto a peça prensada obtém a homogeneidade devido a uma elevada pressão exercida por uma máquina, portanto há uma compensação da baixa plasticidade [3].

A etapa de secagem é de extrema importância, pois água depositada entre as partículas cerâmicas se não for eliminada, no procedimento subsequente, ou seja, a de queima originará fissuras indesejáveis nos produtos e quanto maior for o teor de umidade, maior será a retração linear de queima das peças que pode ser uma

consequência indesejável durante a produção [21]. Os defeitos mais comuns provocados pela retração são: as deformações, empenamentos e fissuras [22].

A literatura [21] apresenta que durante a secagem a zona de maior umidade (interior) fica submetida a uma tensão de compressão enquanto que a zona de menor umidade (região externa) é submetida a uma tensão de tração. Isso pode explicar o aparecimento de alguns defeitos. Para controlar esta problemática deve-se realizar uma secagem controlada.

A secagem pode ser caracterizada como de dois tipos [3]:

- *Secagem Natural*

Este tipo de secagem consiste basicamente em utilizar agentes atmosféricos, tais como ar e luz solar, sem auxílio de nenhum componente mecânico. A Figura 5 apresenta uma das possibilidades de se realizar este processo.

Figura 5- Secagem natural de blocos cerâmicos



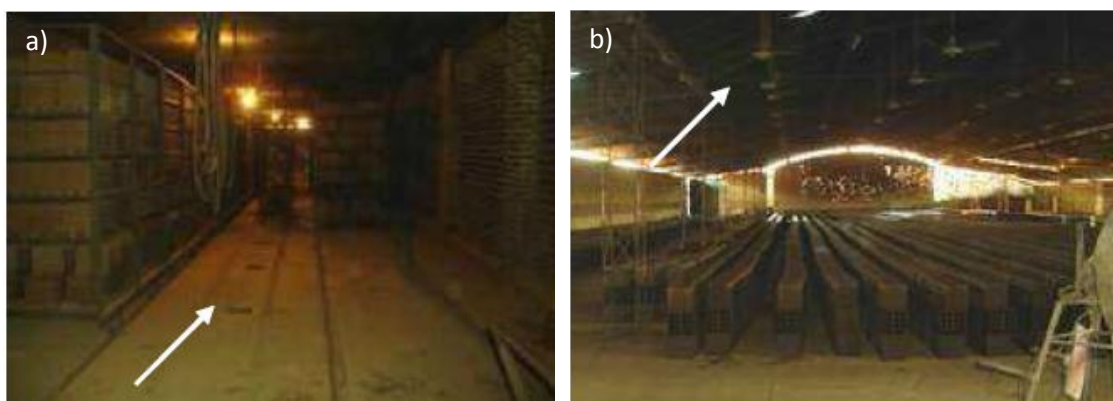
Fonte: [3]

A secagem natural é essencial, pois o bloco é levado ainda úmido à estufa de secagem (secagem artificial) ou ao forno (queima), e a água contida no interior pode ficar retida na camada externa, e conseqüentemente, ocorreram tensões diferenciais internas, causando defeitos e até prejuízos com a perda do produto [22]. Nas indústrias cerâmicas na região de Marabá apresentam problemas correlacionados a falta de controle de temperatura, umidade e tempo de secagem.

- Secagem artificial

A secagem artificial é feita através da utilização de equipamentos que promoveram a evaporação da umidade, tais como: a) utilização de gases quentes; b) utilização de ventiladores para remover o ar saturado. A Figura 6 apresenta duas situações, nas quais ocorre este tipo de esquema.

Figura 6 - Secagem artificial em blocos cerâmicos. a) secagem por meio de gases quentes; b) secagem por meio de ventiladores de teto



Fonte: [3] adaptado

Segundo a literatura [20,6] a etapa de queima consiste na operação mais importante durante a fabricação de blocos cerâmicos. Pois se trata de uma fase bastante complexa, na qual ocorrem reações químicas importantes, as quais irão definir as características finais dos produtos, como cor e resistência mecânica, por exemplo.

Os principais aspectos que influenciam a queima são; o tempo de queima, a velocidade de aquecimento e de resfriamento, a atmosfera ambiente, o tipo de forno e o combustível utilizado, além de outros fatores [3].

O tempo e curva de temperatura de queima variam de acordo com a matéria prima, pois estes parâmetros dependem do tipo de forno, tipo de argila, eficiência do processo de queima, distribuição de calor na câmara de queima, condições ambientais e geometria das peças a serem queimadas.

Se a queima for lenta, boa parte dos defeitos pode ser eliminados, porém ocorrerá um excessivo consumo de combustível. A queima rápida é interessante

ecômicamente, porém pode afetar a qualidade do produto final. Já temperaturas de queima baixas e/ou curtos períodos de queima, podem dar origem a blocos crus, pois devido ao tipo de forno podem ocorrer pontos frios.

Segundo a literatura [21], o princípio da queima consiste na redução dos poros entre as partículas e uma simultânea contração do bloco, pois combina o aumento da união e da resistência de ligações químicas entre partículas adjacentes quando aquecidas a altas temperaturas.

Durante o processo de queima ocorre o fenômeno da sinterização que pode ser definido como o ponto de interação máxima dos minerais da argila durante a queima.

Os fornos utilizados nas indústrias cerâmicas podem ser classificados em contínuos e periódicos (ou intermitentes). Geralmente as indústrias apresentam o tipo de forno intermitente, haja vista que este geralmente é artesanal e apresenta um custo de implantação menor, entretanto tem um gasto energético bem superior ao contínuo, além ainda de apresentar peças com bem mais defeitos e conseqüentemente apresentar bem mais perdas. A Figura 7 apresenta os dois tipos de fornos.

Figura 7- Fornos utilizados na queima dos blocos. a) Forno intermitente (abóboda); b) Forno contínuo (túnel)



Fonte: [3] adaptado

2.7- PERDAS APÓS A QUEIMA E GERAÇÃO DE CHAMOTE

Segundo a literatura [23] as perdas no processo de produção de peças cerâmicas sempre irão existir, entretanto precisão estar dentro de limites, ou seja, um patamar de aceitabilidade.

As perdas da produção podem ser classificadas da seguinte forma [3]:

De acordo com o controle:

- Perdas evitáveis (decorrente do emprego inadequado dos materiais e componentes, roubo, vandalismos e etc);
- Perdas inevitáveis;

De acordo com a natureza:

- Perdas de natureza aparente (diretas) são denominadas como aquelas, nas quais um material danificado, não pode ser recuperado ou utilizado, ou quando o mesmo é perdido durante o processo de construção. Este é o tipo mais comum que forma o entulho da construção.
- Perdas de natureza oculta (indiretas) são denominadas como as que ocorrem devido a utilização de excesso de material ou forma diferente da prevista. Nesse tipo de perda, os materiais não são perdidos fisicamente.

De acordo com a incidência:

- As perdas de materiais podem ocorrer por várias formas durante o processo de produção, desde o transporte externo, recebimento, estocagem, transporte interno, até o momento de suas aplicações.

O chamote por sua vez está relacionado as perdas geradas no processo de produção do bloco, quanto maior for o controle de qualidade deste processo de produção, menor é o percentual gerado. Os fornos intermitentes, que são mais largamente utilizados apresentam um percentual de geração de chamote elevado, isso se deve ao fato do processo de queima se artesanal e com ausência de uniformidade durante a queima.

O reaproveitamento do chamote se torna uma alternativa viável em virtude de ser barata e sustentável, entretanto deve-se ter cuidado ao adicionar o rejeito, pois se deve avaliar com precisão se o percentual adicionado a formulação pode prejudicar o processo de queima, haja vista que, este poderá aumentar a temperatura de gresificação das peças. A figura 8 apresenta um destino comum do chamote nas indústrias cerâmicas.

Figura 8- Modo de descarte de chamote



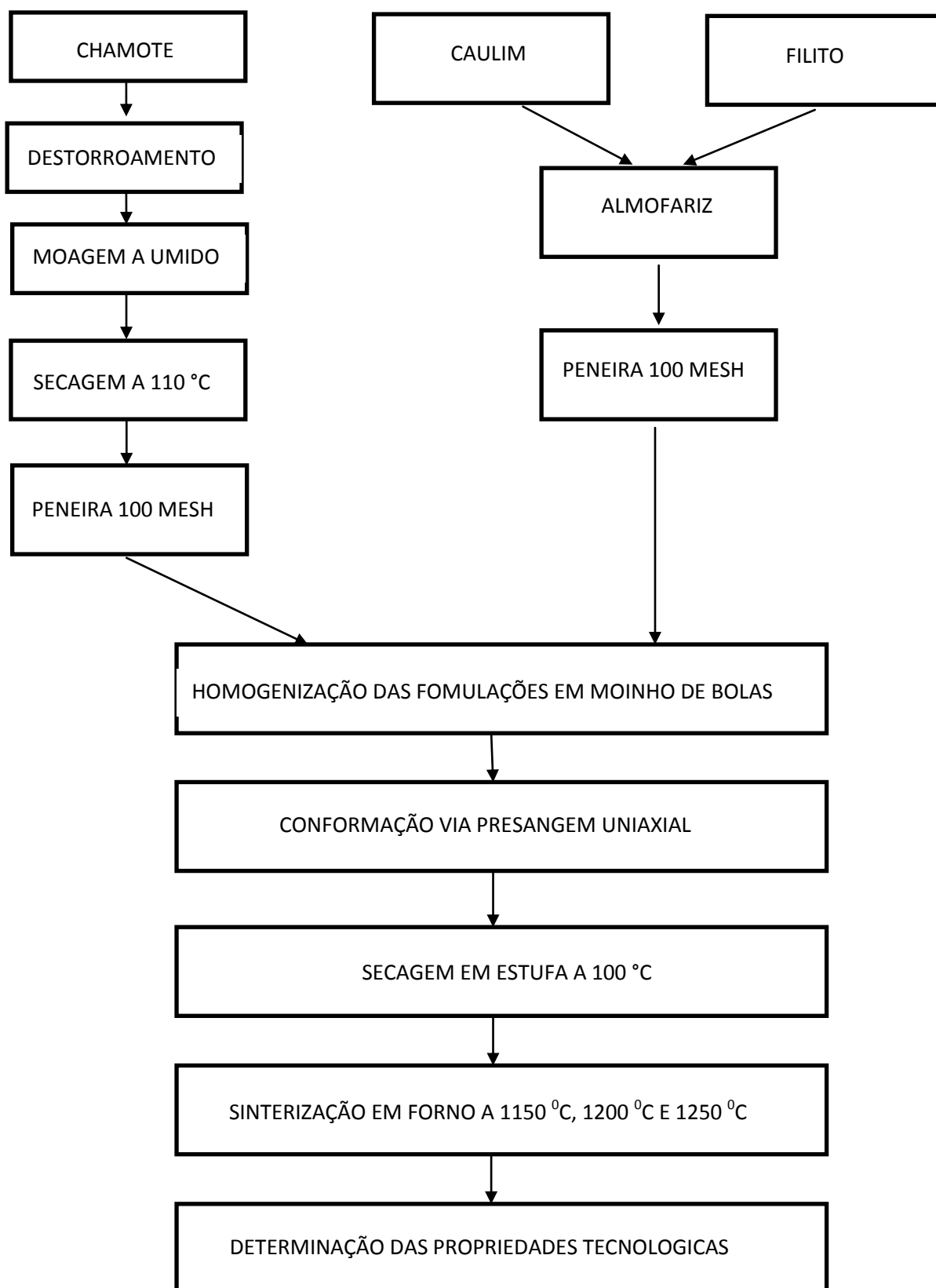
Fonte: [3]

3-MATERIAIS E METODOS

O estudo se baseou na avaliação das propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova. Para isso foram definidas algumas formulações com modificações dos nos teores dos componentes utilizados.

As variáveis físico-mecânicas avaliadas foram a retração linear de queima, absorção de água, porosidade aparente, massa específica e tensão de ruptura á flexão. A Figura 9 apresenta o fluxograma das etapas dos procedimentos experimentais.

Figura 9- Fluxograma dos procedimentos experimentais



3.1- MATÉRIAS-PRIMAS

Os “tijolos de segunda”, ou seja, o chamote foi coletado em uma empresa situada no município de Nova Ipixuna. Este material foi produzido devido à queima em um forno caracterizado como intermitente, em uma temperatura situada a aproximadamente 800 °C.

Após a coleta o chamote foi cominuído com o auxílio de martelo, em seguida sendo moído em moinho de bolas via úmido. Após a sedimentação o pó originado foi seco em uma estufa a 110 °C por 24 horas e peneirado em peneira 100 mesh.

O caulim é oriundo da RCC Imerys S.A. e foi destorroado em almofariz, assim como o filito coletado na região de Marabá. Ambos foram posteriormente peneirados em peneira 100 mesh.

3.2- FORMULAÇÕES

As matérias-primas após o peneiramento foram homogeneizadas em moinho de bolas, nas devidas proporções como apresentado na Tabela 2, para que se pudessem obter as formulações.

Tabela 2- Percentual em peso dos componentes da formulação.

Matérias primas	Percentual em peso (%)			
	FI	FII	FIII	FIV
Chamote	10	20	30	40
Caulim	50	45	40	35
Filito	40	35	30	25

Fonte: Autor

As quatro formulações foram elaboradas com o intuito de avaliar a influência de cada componente da mistura nas propriedades tecnológicas que foram analisadas.

3.3- PRODUÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Os corpos-de-prova foram produzidos com pós que passaram por etapas de processamento já citadas. Após a preparação das formulações em suas devidas proporções a massa originada foi dividida em quantidades suficientes para que se pudesse confeccionar 72 corpos de prova, sendo que foram 24 para cada conformação e 6 para cada temperatura de queima, com dimensões de 10 mm X10 mm X100 mm. Foi utilizada uma prensa uniaxial (Marcon 15 ton) para prensar as barrinhas, com auxílio de molde metálico de aço SAE 1020. A pressão utilizada durante o processo foi de 20 MPa e para que a operação ocorresse sem gerar defeitos nas peças foi necessário a adição de 8% em massa de água. A Figura 10 mostra os corpos-de-prova confeccionados.

Figura 10- Corpos de prova confeccionados



Fonte: Autor

3.4- SECAGEM E CALCINAÇÃO

Após a fabricação das amostras, estas foram secas em estufa a uma temperatura de 110 °C por um período de 24 horas, com a intenção de eliminar a água de processamento utilizada na etapa de conformação. Após a secagem, os corpos-de-prova foram calcinados por 2 horas a uma temperatura de 300 °C, com a intenção de eliminar a matéria orgânica e voláteis presentes nas amostras.

3.5- SINTERIZAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

A sinterização das peças ocorreu em um forno INTI FE 1350 nas temperaturas de 1150 °C, 1200 °C e 1250 °C, com patamar de queima de 2 horas. A Figura 11 mostra o forno de sinterização.

Figura 11- Forno utilizado na sinterização das peças.



Fonte: Autor

3.6- PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

Após a etapa de queima se determinou as propriedades físicas (retração linear de queima, absorção de água, porosidade aparente e curva de gresificação) e mecânicas (resistência à flexão em três pontos). Os modos de obtenção destas características serão descritos a seguir.

3.6.1- Retração linear de queima

O comprimento do corpo antes e após a queima deve ser medido. Considerando evidentemente as formulações e as temperaturas de queima pré determinadas. A equação 1 é utilizada para mensurar esta propriedade.

$$RL = \frac{l_0 - l_i}{l_0} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

RL= Retração Linear de queima (%)

l_0 = Comprimento inicial do corpo de prova (mm)

l_i = Comprimento final do corpo de prova (mm)

3.6.2- Absorção de água (AA) e Porosidade Aparente (PA)

O processo de obtenção da absorção de água e porosidade aparente se baseou na norma [24]. Para isso foi preciso obter o peso seco dos corpos de prova, após a queima e depois submetê-los a imersão em água por 24 horas para que então se pudesse obter o imerso através do método de Arquimedes. Em seguida retirou-se o excesso de água com um papel toalha limpo e pesou-se novamente, a fim de se obter o peso úmido. Para determinar as propriedades utilizou-se as equações 2 e 3.

A determinação da absorção de água foi realizada pela equação que segue:

$$AA = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

AA= Absorção de água (%)

P_u = Peso úmido do corpo de prova (g)

P_s = Peso seco do corpo de prova (g)

A determinação da porosidade aparente foi realizada com a equação que segue:

$$PA = \frac{P_u - P_s}{P_u - P_i} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

PA = Porosidade aparente (%)

P_u = Peso úmido do corpo de prova (g)

P_s = Peso seco do corpo de prova (g)

P_i = Peso imerso do corpo de prova (g)

3.6.3- Massa Especifica Aparente (MEA)

O processo de obtenção da MEA se baseou na norma [24]. A relação que pode determinar a obtenção deste parâmetro é a equação 4.

$$MEA = \frac{M_s}{M_u - M_i} \times \rho_l \quad (4)$$

Onde:

MEA = Massa Especifica Aparente (g/cm^3)

M_s = Massa do corpo de prova seco após a queima (g)

M_u = Massa do corpo de prova úmido após a queima (g)

M_i = Massa do corpo de prova imerso após a queima (g)

ρ_l = Densidade do líquido utilizado para obter as medições (g/cm^3)

3.6.4- Curva de gresificação

Durante a sinterização ocorrem dois processos de maneira simultânea que devem ser avaliados: a retração linear e a diminuição da porosidade; esta última ainda pode ser entendida como absorção de água. A curva de gresificação apresenta em uma representação gráfica a variação destas duas propriedades em relação à temperatura.

A curva permite avaliar a tolerância da massa a variações de temperatura e condições de processamento. E principalmente qual deverá ser a faixa de absorção de água e a variação de tamanho admissível para a peça. Assim se pode determinar com boa margem de precisão qual a temperatura e/ou faixa na qual se obterá as características desejadas [3].

3.6.5- Resistência Mecânica

A resistência mecânica dos corpos-de-prova foi avaliada através do ensaio de ruptura à flexão em três pontos, em uma máquina de ensaio universal, da marca EMIC (DL10000), programada para ser executada com a velocidade de 0,5mm/min. A distância entre os apoios foi estabelecida em 40 mm. A Figura 12 mostra a máquina de realização do ensaio.

Figura 12- Ensaio conduzidos nas condições especificadas



Fonte: Autor

A equação 5 apresenta a relação que se utilizou para determinar a tensão de ruptura à flexão em três pontos:

$$\sigma = \frac{3FL}{2be^2} \quad (5)$$

Onde:

σ = tensão de ruptura (MPa)

F = Força de ruptura (N)

L = Distância entre os apoios (mm)

b = largura do corpo de prova (mm)

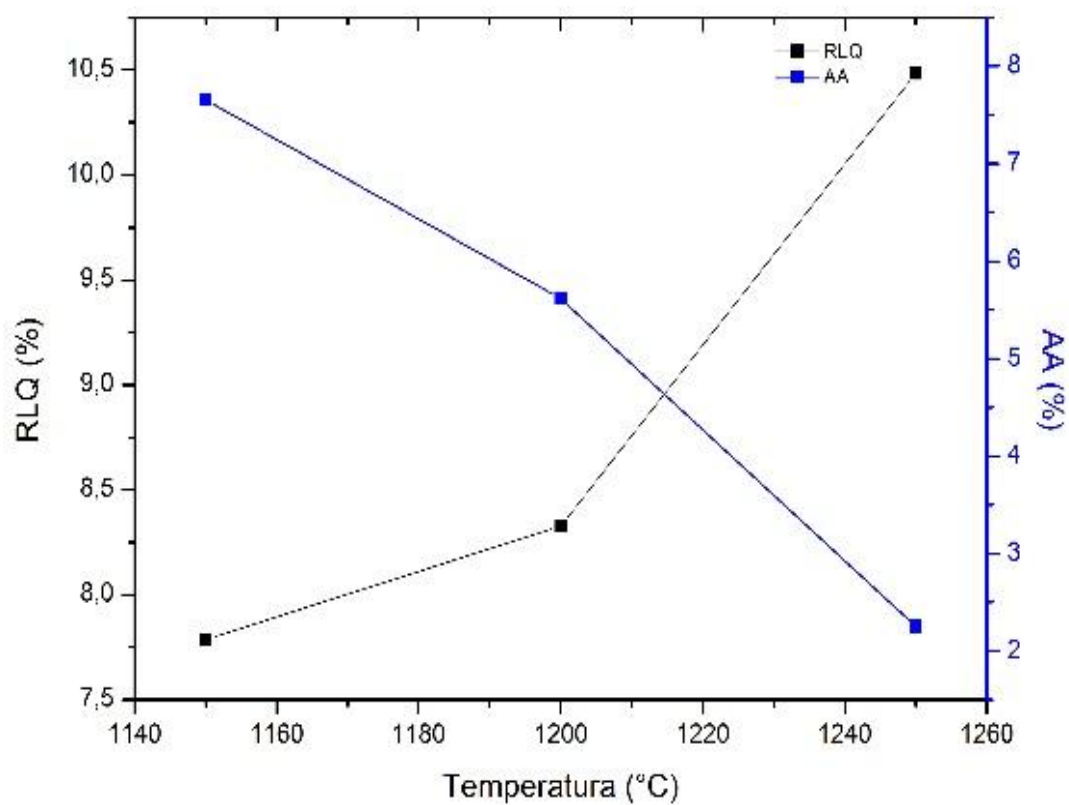
e = espessura do corpo de prova (mm)

4- RESULTADOS E DISSCUSÕES

4.1- CURVAS DE GRESIFICAÇÃO

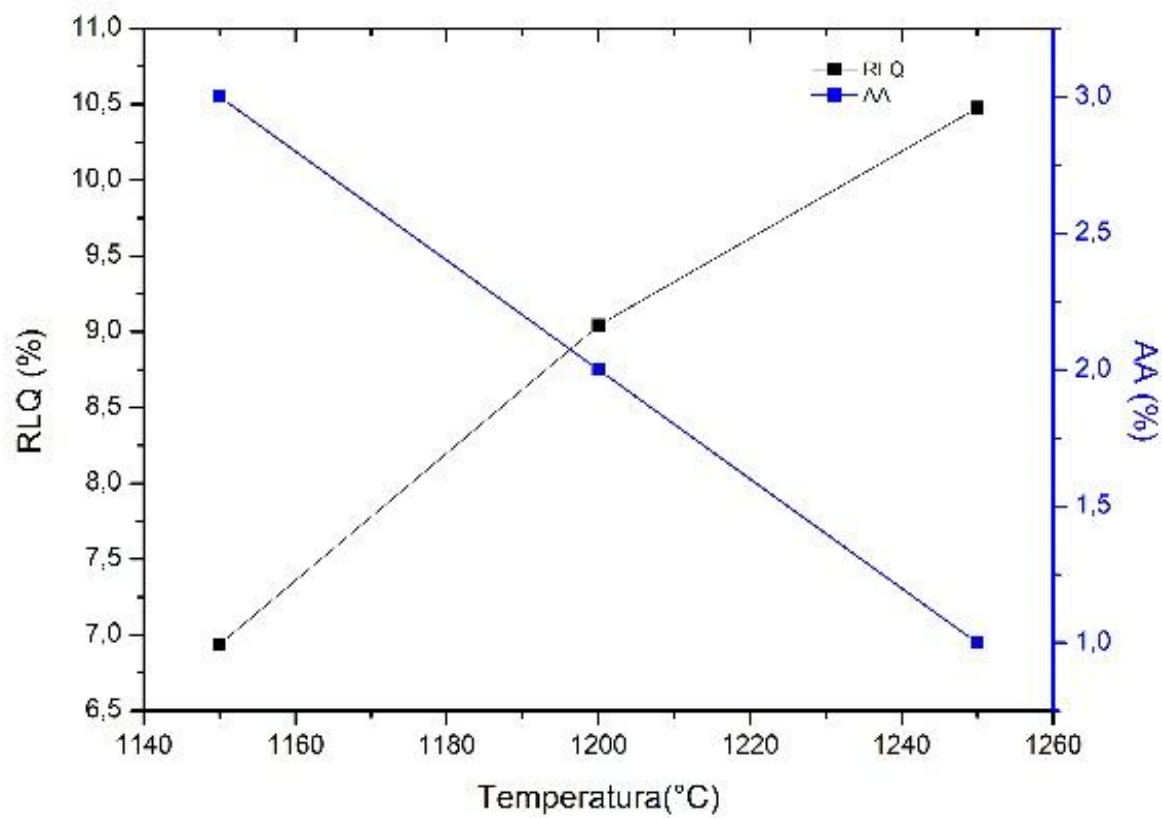
As Figuras 13, 14, 15 e 16 apresentam as curvas de gresificação para as diversas formulações utilizadas para a realização do estudo.

Figura 13- Curva de gresificação da formulação FI



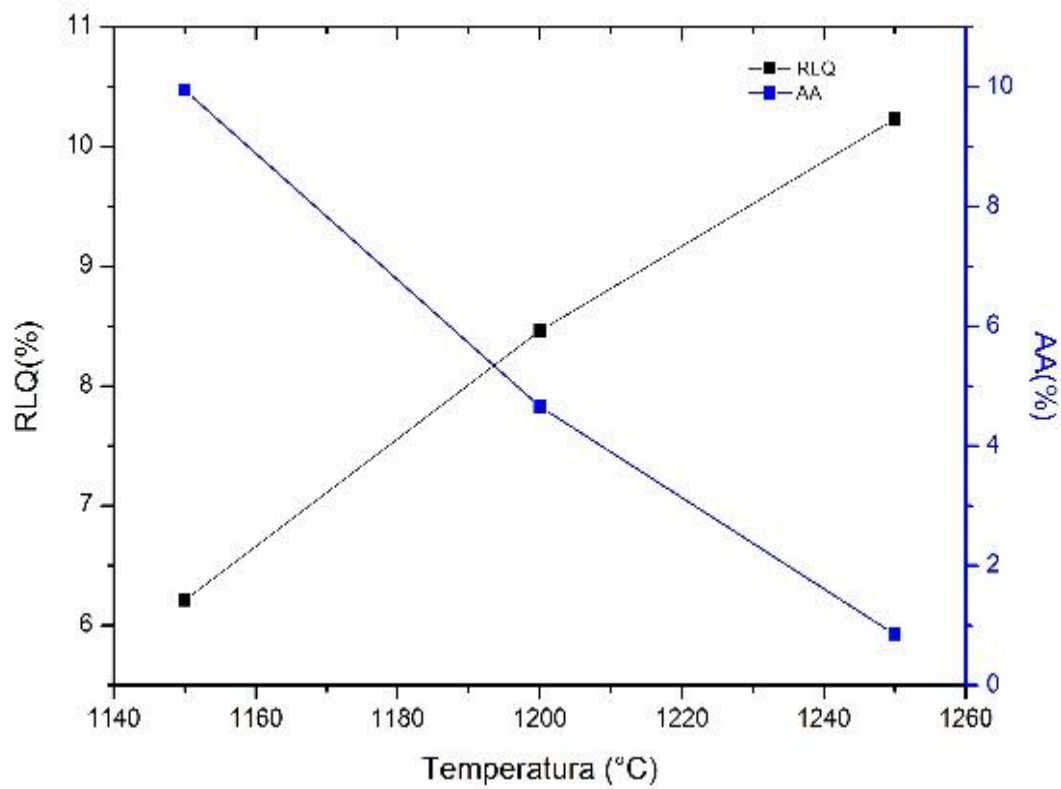
Fonte: Autor

Figura 14- Curva de gresificação da formulação FII



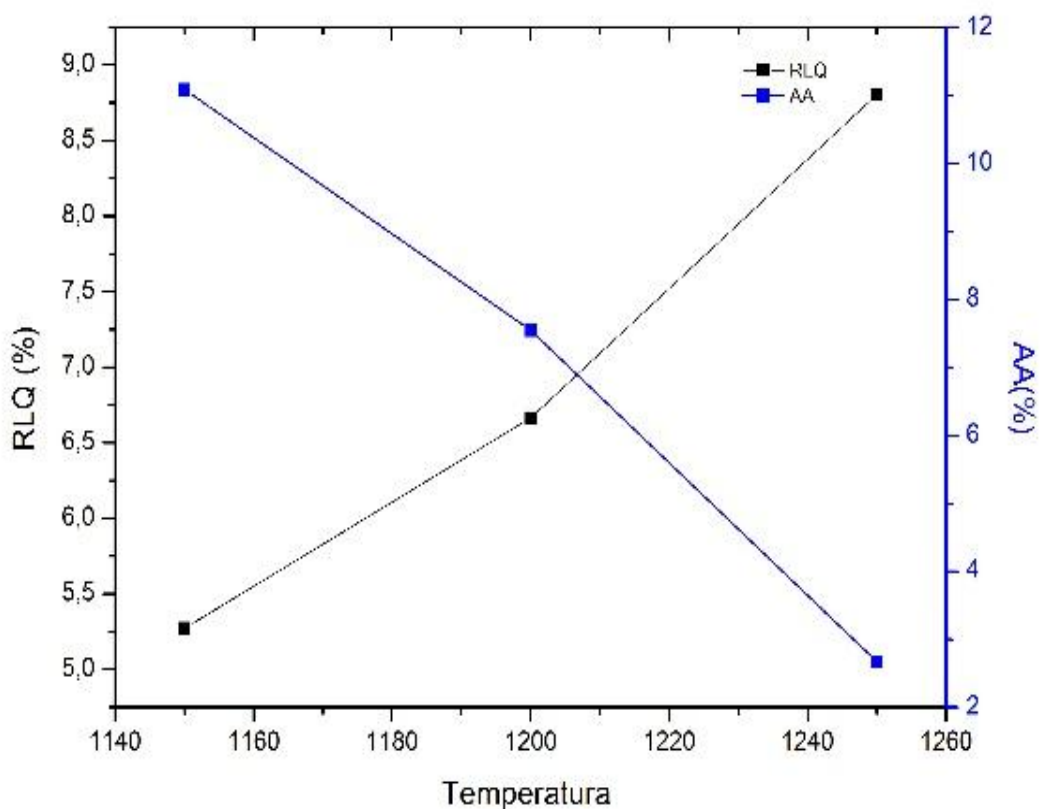
Fonte: Autor

Figura 15- Curva de gresificação da formulação FIII



Fonte: Autor

Figura 16- Curva de gresificação da formulação FIV



Fonte: Autor

As Figuras 13, 14, 15 e 16 relacionam a absorção de água (AA) e a retração linear de queima (RLQ) em função da temperatura. Pode-se constatar que o aumento do teor de chamote não aumentou significativamente a absorção de água, ou seja, a porosidade aparente. Isso pode ser explicado pela presença de filito que pode, dependendo de suas características químicas e mineralógicas substituir a fração argilosa e fundente nas formulações cerâmicas.

Segundo a literatura [3], o chamote deveria aumentar visivelmente a absorção de água devido ao fato de que as partículas deste material possuem um tamanho muito próximo, o que colaboraria para o aparecimento de porosidades internas e externas.

Ao avaliarmos a viabilidade da utilização destas massas para produzir componentes caracterizados como cerâmica vermelha, tais como blocos de vedação e utilizarmos os valores previstos para este tipo de material na literatura [6], fica evidente que nem todas as formulações podem ser utilizadas para confeccionar blocos de vedação, haja vista que os valores de absorção de água previstos devem estar situados entre 5 a 25%.

A formulação FI a partir de uma temperatura de queima inferior a 1200 °C se apresenta viável, já a FII não mostrou viabilidade, haja vista que em nenhuma situação apresentou uma absorção de água (AA) superior a 5%. Já as formulações FIII e FIV são viáveis no que tange este critério da norma em temperaturas inferiores a 1200 °C.

Com relação à retração linear de queima (RLQ), observou-se que ocorreu uma queda desta propriedade com o aumento do percentual em peso de chamote nas formulações. Os resultados de retração apontam o valor mínimo 5,5 % para a formulação FIV, a qual possui o maior teor de chamote que é de aproximadamente 40%. Os máximos valores de retração foram alcançados pelas formulações FI e FII, aproximadamente 10,5 %. Isso reafirma a teoria de que o chamote pode sim atuar como um inibidor da retração linear de queima (RLQ).

Através das curvas de gresificação fica evidente que em todas as formulações apresentadas ocorreu um acréscimo da retração linear de queima, e isso pode ser explicado pelo fato de que o aumento de temperatura ocasiona um maior grau de densificação, o que provoca mudanças físicas e redução do volume das peças. A Tabela 3 apresenta os resultados de retração para cada uma das formulações.

Tabela 3- Resultados de retração linear de queima (RLQ) em função da temperatura.

Formulações	Retração Linear de Queima (RLQ)		
	Temperatura		
	1150 °C	1200 °C	1250 °C
FI	7,79±0,13	8,33±0,05	10,48±0,18
FII	6,94±0,073	9,04±0,03	10,48±0,07
FIII	6,21±0,084	8,46±0,05	10,23±0,37
FIV	5,27±0,12	6,66±0,04	8,8±0,08

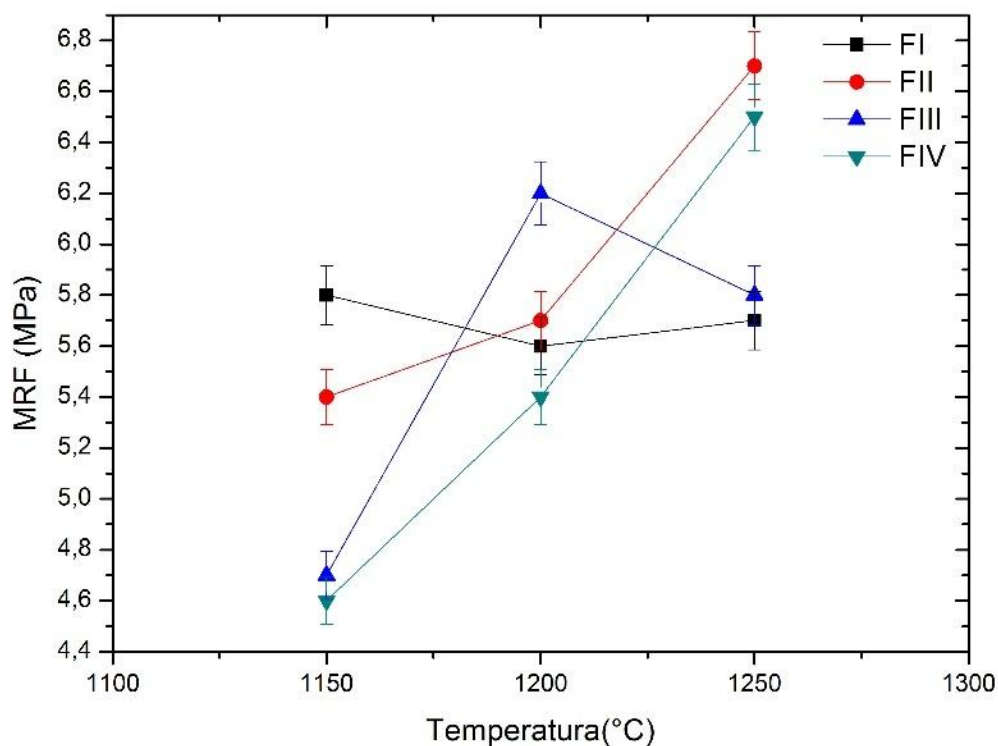
Fonte: Autor

4.2- MÓDULO DE RUPTURA À FLEXÃO (MRF)

Os valores previstos pela literatura [6] apontam que os resultados para cerâmica vermelha devem estar situados entorno de 5,5 MPa, para que as massas produzidas possam ser utilizadas para a confecção de blocos cerâmicos.

A formulação FI que apresenta o menor teor de chamote apresentou MRF entorno de 5,5 MPa ao longo de todas as temperaturas de queima. Já as formulações FII, FIII e FIV só apresentam valores satisfatórios para temperaturas de queima superiores a 1200 °C. A Figura 15 apresenta o gráfico, no qual se pode visualizar os valores de resistência a flexão de todas as formulações

Figura 17- Gráfico das tensões de ruptura para os corpos cerâmicos.



Fonte: Autor

Ficou evidente que, para praticamente todas as formulações, ocorreu um aumento da resistência a flexão. E esta característica pode estar atrelada ao fato de que o aumento da temperatura ocasiona uma maior densificação e conseqüentemente uma maior coesão das partículas, e com isso um aumento da resistência mecânica. Vale ressaltar que, quanto mais lento for o ciclo de queima e maior a temperatura, ocorrerá a maior formação de fase líquida e uma melhor eliminação das porosidades.

De um modo geral as formulações apresentaram valores de resistência mecânica bem próximas, ou seja, não ficou muito evidente a influência do chamote na característica analisada.

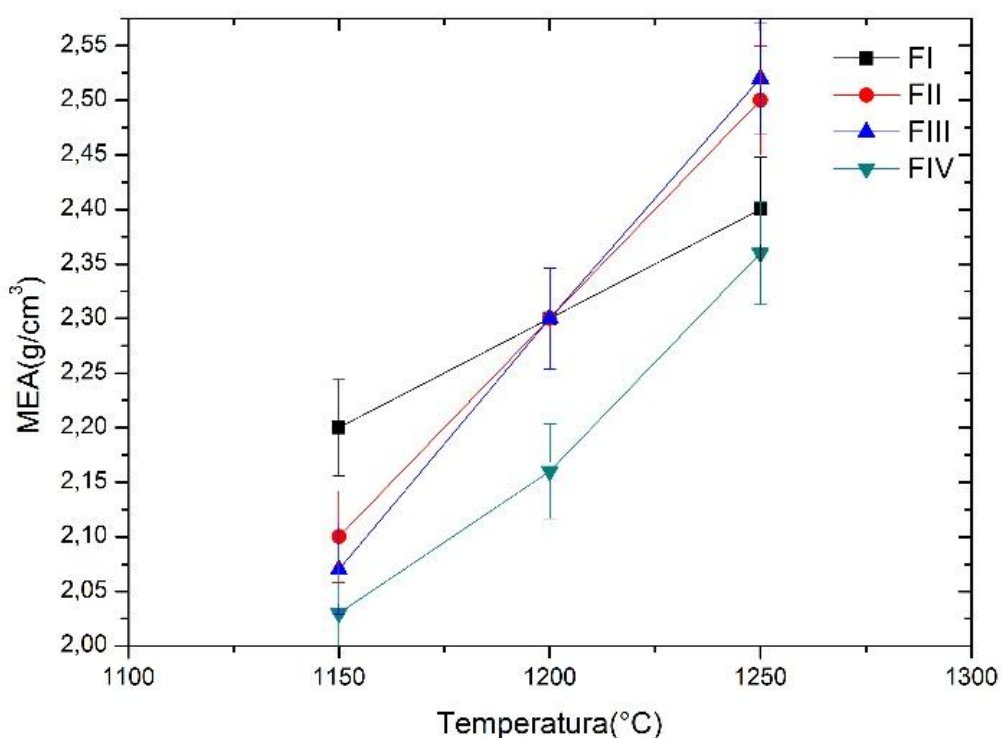
Um fator que pode explicar alguma das flutuações apresentadas no gráfico é a plasticidade, haja vista que a falta desta característica nas massas cerâmicas pode

ocasionar uma menor compactação durante a conformação em decorrência disso pode ocorrer um decréscimo na resistência mecânica.

4.3- MASSA ESPECIFICA APARENTE

A Figura 16 mostra os resultados de massa específica aparente (MEA) para as formulações testadas. Observa-se que o aumento da temperatura de queima teve influência positiva sobre esta propriedade, haja vista que ocorreu aumento da massa específica, devido possivelmente a um melhor preenchimento dos poros possivelmente creditado ao filito, que pode atuar como fundente, devido sua composição química que apresenta certo teor de álcalis, particularmente K_2O . Embora tenha ocorrido aumento da MEA com a temperatura de sinterização, este foi bastante sutil.

Figura 18- Massa específica aparente para os corpos submetidos a queima



Fonte: Autor

Na literatura [6], o valor de massa específica aparente para as massas cerâmicas devem estar situados entre 1,7 a 2,1 g/cm³, para que se possa utilizar na

fabricação de cerâmica vermelha. Assim apenas as formulações FII, FIII e FIV se apresentam aptas para esta finalidade, isso quando queimada a temperatura de 1150 °C. A formulação FI apresentou valores superiores ao máximo permitido em todas as temperaturas de queima.

5- CONCLUSÕES

As seguintes conclusões puderam ser tiradas a partir dos resultados.

1. Os valores de absorção de água e porosidade aparente previstos pela literatura[6] apontam que formulação FI e FIII e FIV para temperaturas de queima inferiores a 1200 °C, apresentam valores coerentes com a norma para que possam ser utilizadas para a confecção de blocos de vedação.
2. Com relação a esta característica fica evidente que a variação dos três componentes: caulim, filito e chamote não afeta de modo significativo esta propriedade. Já quando foi avaliada a viabilidade da utilização das formulações considerando os valores previstos na literatura [6], as formulações que se apresentam aptas são as formulações FII, FIII e FIV quando queimadas a temperatura de queima de 1150 °C.
3. A resistência mecânica das formulações seguiu como o esperado, haja vista que cresceu com o aumento da temperatura de queima. A formulação FI apresentou valores de resistência mecânica sempre próximos ao valor de 5,5 MPa que é o previsto pela literatura [6]. Já as formulações FII, FIII e FIV somente apresentam valores satisfatórios quando são sinterizadas a temperaturas superiores a 1150 °C.
4. De acordo com os resultados da tabela 3, destaca-se a formulação FIV que possui o maior teor de chamote em sua composição. Esta formulação está de acordo com o que é preconizado na literatura [3], haja vista que a retração cai com o aumento do teor de chamote e isso é uma característica boa, pois a diminuição deste parâmetro implica em menores possibilidades de geração de defeitos nas peças após a sinterização.
5. Por fim, as formulações FIII, com 30% de chamote, e a formulação FIV com 40% de chamote, podem ser utilizadas para confecção de blocos de vedação se forem sinterizadas a temperaturas superiores a 1150 °C. Pode-se ainda destacar que a formulação FIV apresentou menores valores de retração linear de queima para temperaturas superiores a 1150 °C.

6- SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando os resultados e análises realizadas neste trabalho, podemos sugerir os seguintes trabalhos futuros:

- Estudar a viabilidade econômica da confecção de blocos com as formulações consideradas aptas.
- Realizar o mesmo estudo considerando a faixa granulométrica dos componentes, análise química e mineralógica.
- Estudar o efeito da taxa de aquecimento nas formulações.

REFERÊNCIAS

- [1] CASAGRANDE, M. C; SATOR, M. N; GOMES, V; DELLA, V. P; HOTZA, D; OLIVEIRA, A, P, N. Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais. **Cerâmica Industrial**, v. 13, p. 34-42, Janeiro/Abril, 2008.
- [2] SCARINCI, G. et al. Vitrification of industrial and natural waste with production of glass fibers. **J. Eur. Ceram. Soc.**, v. 14-15, n. 20, p. 2485-2490, December, 2000.
- [3] 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.** 2008. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- [4] MELO, M. M. **Formulação e Caracterização de Massas de Grês Porcelanato Preparadas a Partir de Matérias-Primas Naturais do Rio Grande do Norte e com Adição de Chamote de Telhas.** 2006, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
- [5] VIEIRA, C. M. F.; SOUZA, E. T. A.; MONTEIRO, S. N. Efeito da Incorporação de Chamote no Processamento e Microestrutura de Cerâmica Vermelha. **Cerâmica**, v. 50, n. 315, p. 254-260, 2004.
- [6] SOUZA SANTOS, P. **Ciência e Tecnologia de argilas.** 2^a. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1989.
- [7] PINTO, L. F. S. **Potencial de acidificação e de neutralização dos materiais geológicos para a composição do solo construído em áreas de mineração de carvão.** 1997, Tese (Doutorado Faculdade de Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- [8] DONDE, M.; FABBRI, B.; MARGLI, M. Resenha das experiências de reciclagem de resíduos industriais e urbanos na produção de tijolos. **Cerâmica Informação**, v. 1, p. 17-29, nov/dez, 1989.
- [9] RIPOLI FILHO, F. A. Utilização do Rejeito Industrial Cerâmico - Chamote - como Fator de Qualidade na Fabricação de Elementos Cerâmicos um estudo Experimental. **Cerâmica**, v. 43, n. 281-282, p. 133-139, ago. 1997.
- [10] PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G. Importância da composição granulométrica de masas para a cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 2,

n. 1/2, p. 31-35, jan/fev 1997.

- [11] GRIM, R. E. **Applied Clay Mineralogy**. New York: Mc Graw - Hill Book Company, INC, 1962.
- [12] SOUZA, L. L. D. **Aproveitamento de Resíduo de Caulim em Cerâmica Branca**. 2007, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
- [13] VARELA, T. S. . R. A. P. . V.-D. F. R. . E. A. The effect of phyllite a filler for PVC plastisols. **Annual Technical Conference. Society of Plastics Engineers**, v. 60, n. 3, p. 3949-3953, 2002.
- [14] COSTA, B. **Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, p. 160. 1969.
- [15] MELO, L. G. D. A. **Síntese e Caracterização de Geopolímeros Contendo Filitos**. 2011, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2011.
- [16] CALLISTER, W. D. J. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270: Componentes cerâmicos - Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação- terminologia e Requisitos**, Rio de Janeiro, 2005.
- [18] MORAIS, D. M.; SPOSTO, R. M. Propriedades Tecnológicas e Mineralógicas das argilas e suas influências de blocos cerâmicos de vedação que abastecem o mercado do Distrito Federal. **Cerâmica Industrial**, v. 11, p. 35-38, 2006.
- [19] PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. 4 ed. ed. Porto Alegre: Globo, 1989.
- [20] NORTON, F. H. **Introdução à tecnologia cerâmica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1973.
- [21] VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciências e tecnologia dos materiais**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1984.
- [22] CARDOSO, H. P. **Tecnologia da cerâmica vermelha do norte do Paraná aplicada na produção de componente para alvenaria estrutural**. 1955. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos,

Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

- [23] ROCHA, E. G. A. **Os Resíduos Sólidos de Construção e Demolição: Gerenciamento, quantificação e caracterização. Um estudo de caso no Distrito Federal.** 2006. Dissertação (Mestrado em Estrutura e Construção Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458:** Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm - Determinação de massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água, Rio de Janeiro, 1984.