



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS ANANINDEUA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Dayana Rosy Souza dos Santos

**EFEITOS DA INCORPORAÇÃO DO CHAMOTE NO PROCESSAMENTO E
MICROESTRUTURA DA CERÂMICA UTILITÁRIA DO MUNICÍPIO DE
BRAGANÇA-PA**

Ananindeua-PA

2018

Dayana Rosy Souza dos Santos

**EFEITOS DA INCORPORAÇÃO DO CHAMOTE NO PROCESSAMENTO E
MICROESTRUTURA DA CERÂMICA UTILITÁRIA DO MUNICÍPIO DE
BRAGANÇA-PA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado a Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Pará *campus* Ananindeua como requisito para a obtenção do título de Bacharel(a) em Ciência e Tecnologia ênfase Mineral.

Área de habilitação:

Orientador: Prof. Dr. Daniel José Lima Sousa.

Ananindeua-PA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S237c SANTOS, DAYANA ROSY SOUZA DOS.
EFEITOS DA INCORPORAÇÃO DO ÇAMOTE NO PROCESSAMENTO E MICROESTRUTURA
DA CERÂMICA UTILITÁRIA DO MUNICÍPIO DE BRAGANÇA-PA / DAYANA ROSY SOUZA DOS
SANTOS. — 2018.
74 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. DANIEL JOSÉ LIMA SOUSA
Coorientador(a): Prof. Dr. SILVIO BISPO DO VALE
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Campus Universitário de
Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
1. CERÂMICA UTILITÁRIA. 2. ÇAMOTE. 3. REFRAATÁRIO. 4. INCORPORAÇÃO. 5. RESÍDUO
SÓLIDO. I. Título.

CDD 666

Dayana Rosy Souza dos Santos

**EFEITOS DA INCORPORAÇÃO DO CHAMOTE NO PROCESSAMENTO E
MICROESTRUTURA DA CERÂMICA UTILITÁRIA DO MUNICÍPIO DE
BRAGANÇA-PA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado a Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Pará *Campus* Ananindeua como requisito para a obtenção do título de Bacharela em Ciência e Tecnologia ênfase Mineral.

Aprovado em: ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel José Lima de Sousa – FaCT / UFPA (Orientador)

Prof. Dr. Silvio Bispo do Vale – FaCT / UFPA (Co-orientador)

Prof. Dr. Oscar Jesus Choque Fernandez - IFPA (Campus Belém)

Prof. Msc. Alacid do Socorro Siqueira Neves – FEMAT/UFPA (Campus Ananindeua)

A minha mãe por todo incentivo e ajuda para
que tudo dê certo na minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus agradeço pelo folego de vida e força e coragem e por sua misericórdia. A minha mãe Sônia Santos que sempre esteve do meu lado me apoiando e dando força para que meus sonhos se realizassem.

A professora doutora Eliene Souza Lopes, pelo incentivo à pesquisa, conselhos e dedicação, sempre disposta a ajudar. Ao Professor Daniel Sousa Lima pela orientação e oportunidade de crescer na pesquisa.

Às amigas de curso Miriane Alexandrino Pinheiro, Karla Lino, Atamy Tenoue, que sempre me deram força pra seguir em frente e não desistir. Ao amigo Gabriel da Silva Gomes pelo companheirismo durante todas as análises. Muito obrigada!

Ao Instituto de Geociências (IG) por disponibilizar os laboratórios de sedimentologia, cromatografia, análises químicas e o MUGEO.

Ao Laboratório de engenharia Química, assim como ao laboratório do MATICAM sob supervisão da Professora Raimunda pela realização das análises com MEV/EDS.

À faculdade de ciência e tecnologia do campus Ananindeua. Ao técnico do laboratório de análises químicas Jhonny Ramos por sua disponibilidade e auxílio. Ao Daniel presidente da associação da cerâmica de São Mateus- Bragança, pela disponibilidade e disposição a expor seus conhecimentos na fabricação das painéis.

“Ai daquele que contende com o seu Criador! o caco entre outros cacos de barro! Porventura dirá o barro ao que o formou: Que fazes? ou a tua obra: Não tens mãos?”

(Isaías 45:9)

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da incorporação do chamote em massa cerâmica utilitária, visando à obtenção de painéis refratários no município de Bragança-PA. O chamote foi obtido de rejeito de artefatos e painéis artesanais, queimados a temperatura 1.000°C. Inicialmente, a argila utilizada na fabricação da cerâmica foi submetida a ensaios de caracterização química, física e mineralógica, sendo quantificadas as frações argila, silte e areia, os teores de umidade e de matéria orgânica e a composição mineralógica, esta última por difratometria de raios-X, análise térmica (TG/ATG). Fez-se adições de chamote nas proporções de 5, 10, 15, 20, 25% em peso e posterior preparação do corpo-de-prova por blocos manualmente, para queima em forno industrial a temperatura similar a utilizada na fabricação da cerâmica artesanal em estudo. As propriedades avaliadas foram: absorção de água, porosidade aparente, perda ao fogo, e retração linear. Micrografia obtidas por microscopia eletrônica de varredura com mapeamento por espectrômetro de dispersão de energia (MEV/EDS) e Fluorescência de Raio-X (FRX). Com os resultados obtidos avaliou-se o comportamento do chamote na incorporação referente aos parâmetros de secagem da cerâmica. Além disso, a adição do chamote resultou em alterações significativas na porosidade, após a queima. Com os resultados do estudo chegou-se na definição da mistura com teor de 15% sendo a mais indicada para evitar alterações degenerativas na microestrutura das cerâmicas utilitárias produzidas na Comunidade São Mateus, reduzindo também o desperdício de matéria-prima.

Palavras-chave: Cerâmica utilitária. Refratárias. Chamote. Microestrutura. Propriedades.

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the effect of the incorporation of in a mass of utilitarian ceramics, aiming at obtaining refractory pans in the city of Bragança-PA. The shrimp was obtained from tailings of artifacts and handcrafted pots, burned at a temperature of 1000 ° C. Initially, the clay used in the manufacture of ceramics was subjected to chemical, physical and mineralogical characterization tests. The clay, silt and sand fractions, moisture and organic matter contents and mineralogical composition were quantified, the latter being by diffraction -X, thermal analysis (TG/ATG). Chamotte additions were made in the proportions of 5, 10, 15, 20, 25% by weight and subsequent preparation of the test specimen by hand, for burning in an industrial oven at a temperature similar to that used in the manufacture of the handmade ceramics in study. The evaluated properties were: water absorption, apparent porosity, fire loss, and linear retraction. Micrographs obtained by scanning electron microscopy with spectrometer of energy dispersion (SEM/EDS) and X-Ray (FRX). The results obtained were evaluated the behavior of the chamote in the incorporation referring to the drying parameters of the ceramic. In addition, the addition of chamote resulted in significant changes in porosity after burning. With the results of the study the definition of the 15% blend was reached, being the most indicated to avoid degenerative changes in the microstructure of the utilitarian ceramics produced in the São Mateus Community, also reducing the waste of raw material.

Keywords: Utility ceramics. Refractory. Chamote. Microstructure. Properties.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 01: Localização do Município de Bragança | 17 |
| Figura 02 - Cerâmica refrataria de São Mateus pronta para venda. | 18 |
| Figura 03 - Mapa de localização e delimitação da bacia do Rio Caeté. | 21 |
| Figura 04 - Mapa de subdivisões da Bacia do Rio Caeté. | 22 |
| Figura 05 - Mapa Geológico da região Bragantina. | 23 |
| Figura 06 - Produção do chamote na olaria. | 25 |
| Figura 07 - Mistura (argila + chamote) guardada em sacos plásticos e alocados em prateleiras para descanso de 24h. | 25 |
| Figura 08 - Conformação das peças refratárias com auxílio de um torno de pedal. | 26 |
| Figura 09 - Peças esperando polimento antes da sinterização. | 27 |
| Figura 10 - Peça após passar pelo processo de raspagem e polimento. | 27 |
| Figura 11 - Vista lateral (A) e (B) do forno utilizado para queimar as peças refratárias. | 28 |
| Figura 12 - Processo de defumação (pintura) das peças refratárias. | 28 |
| Figura 13 - Chamote peneirado a 80# pronto para a produção do corpo de prova. | 36 |
| Figura 14 - Matriz em alumínio. | 36 |
| Figura 15 - Vista frontal do forno utilizado para queimar os CP's. | 37 |
| Figura 16 - Fluxograma das etapas do procedimento experimental. | 38 |
| Figura 17 - Classificação das partículas solidas quanto a dimensão. | 41 |
| Figura 18 - CP's após conformados. | 46 |
| Figura 19 - CP's 100% argila após lixados. | 47 |
| Figura 20 - CP's 5 % de chamote após lixados. | 47 |
| Figura 21 - CP's 10 % de chamote após lixados | 47 |
| Figura 22 - CP's 15 % de chamote após lixados. | 48 |
| Figura 23 - CP's 20 % de chamote após lixados. | 48 |
| Figura 24 - CP's 25 % de chamote após lixados. | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 25 - CP's que não resistiram durante o período de queima e submissão à temperatura de 100°C no período de 24h. | 49 |
| Figura 26 - CP3 de 5% e CP3 de 10% após a queima que resistiram porem apresentam trincas. | 50 |
| Figura 27 -CP's de 15 % de chamote após queima. | 50 |
| Figura 28 - CP's de 20 % de chamote após queima. | 50 |
| Figura 29 - CP's de 25 % de chamote após queima. | 51 |
| Figura 30 - CP's que resistiram após queima. | 51 |
| Figura 31 - CP's após o período de queima na mufla. | 51 |
| Figura 32 - Difratoograma de raio X da Argila AB na lâmina orientada (DRX). | 52 |
| Figura 33 - Difratoograma de raio X da argila método do pó (DRX). | 53 |
| Figura 34 - Difratoograma de raio X do Chamote (DRX). | 53 |
| Figura 35 – Curva de TG/ATG da argila. | 55 |
| Figura 36 - MEV da ABCH 10%. Aumento: 40x (A), 200x (B) e 1000x (C). | 57 |
| Figura 37 - MEV da ABCH 15%. Aumento: 40x (A), 200x (B) e 1000x (C). | 58 |
| Figura 38 - MEV da ABCH 20%. Aumento: 40x (A), 200x (B) e 1000x (C). | 58 |
| Figura 39 - MEV Cerâmica Bragança Aumento: 40x (A), 200x (B) e 1000x (C). | 59 |
| Figura 40 – EDS do CP ABCH 10%. Pontos: (P1), (P2), (P3), e (P4). | 60 |
| Figura 41 – EDS do CP ABCH 15%. Pontos: (P1), (P2), (P3), e (P4). | 60 |
| Figura 42 – EDS do CP ABCH 20%. Pontos: (P1), (P2), (P3), e (P4). | 61 |
| Figura 43 - EDS Cerâmica Bragança. Pontos: (P1), (P2), (P3), e (P4). | 61 |

LISTA DE TABELAS E QUADROS

| | |
|--|----|
| Tabela 01 – Composição inicial para a produção dos CP's (blocos). | 41 |
| Tabela 02 – peso dos CP's produzidos. | 41 |
| Tabela 03 – peso dos CP's depois da secagem. | 46 |
| Tabela 04 – peso dos CP's depois da queima. | 49 |
| Tabela 05 – Composição química da matéria prima estudada (% em peso). | 56 |
| Tabela 06 – Valores médios das características das cerâmicas. | 62 |
| Quadro 01 – Cor de queima dos corpos cerâmicos conformados para a temperatura de queima à 1000°C. | 64 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | Justificativa | 15 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 16 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral..... | 16 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos | 16 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.1 | História de Bragança | 17 |
| 2.2 | Artesanato/trabalhos manuais | 18 |
| 2.3 | Argila | 19 |
| 2.3.1 | Constituição das argilas | 20 |
| 2.3.2 | Propriedades plásticas das argilas | 20 |
| 2.3.3 | Propriedades das argilas secas | 20 |
| 2.3.4 | Ocorrência em Bragança | 20 |
| 2.3.5 | Extração | 24 |
| 2.3.6 | Beneficiamento | 24 |
| 2.3.7 | Produção | 24 |
| 2.3.8 | Propriedades de queima das argilas | 29 |
| 2.3.9 | A indústria de cerâmica vermelha..... | 29 |
| 2.3.10 | Materiais Cerâmicos..... | 30 |
| 2.3.11 | Cerâmica Vermelha..... | 30 |
| 2.3.12 | Cerâmica Branca | 31 |
| 2.3.13 | Cerâmica Refratária..... | 31 |
| 2.3.14 | Cerâmica de alta tecnologia (cerâmica avançada) | 31 |
| 2.3.15 | Legislação e aplicação tecnológica | 32 |
| 2.4 | Resíduos | 32 |
| 2.5 | Relevância da incorporação de resíduos na indústria de cerâmica | 33 |
| 2.6 | Chamote | 34 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 35 |
| 3.1 | Materiais | 35 |
| 3.1.1 | Chamote..... | 35 |
| 3.1.2 | Molde..... | 36 |
| 3.1.3 | Forno | 37 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.2 | Metodologia | 37 |
| 3.2.1 | Beneficiamento das matérias-primas | 38 |
| 3.2.2 | Caracterização das matérias-primas | 38 |
| 3.2.3 | Difração de Raios-X (DRX) | 38 |
| 3.2.4 | Análises Térmicas (TG/ATG) | 39 |
| 3.2.5 | Análise Química - Fluorescência de Raio-X | 40 |
| 3.2.6 | Separação de tamanho de partícula..... | 40 |
| 3.2.7 | Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS) | 41 |
| 3.2.8 | Determinação Gravimétrica de PF (perda ao fogo por calcinação). | 42 |
| 3.3 | Propriedades Tecnológicas | 42 |
| 3.3.1 | Absorção de Água | 42 |
| 3.3.2 | Porosidade Aparente | 43 |
| 3.3.3 | Massa Específica Aparente | 43 |
| 3.3.4 | Retração Linear de Queima | 44 |
| 3.3.5 | Produção dos corpos de prova. | 44 |
| 3.3.6 | Produção do corpo de prova no molde retangular. | 44 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 52 |
| 4.1 | Caracterização das argilas | 52 |
| 4.1.2 | Caracterização Mineralógica | 52 |
| 4.2 | Caracterização Química | 55 |
| 4.2.1 | Fluorescência de Raio-x (frx) | 55 |
| 4.3 | Caracterização Física | 56 |
| 4.3.1 | Tamanho de partículas da matéria-prima | 56 |
| 4.4 | Mev/eds | 57 |
| 4.5 | Matéria Orgânica | 61 |
| 4.6 | Propriedades Tecnológicas | 62 |
| 4.7 | Cor de Queima | 63 |
| 5 | CONCLUSÕES | 65 |
| 5.1 | Sugestões para trabalhos futuros | 66 |
| | REFERÊNCIAS | 67 |

1 INTRODUÇÃO

A existência do homem no decorrer da história e sua relação com o meio ambiente remete a uma evolução que é o avanço científico e tecnológico, e simultaneamente deixaram marcas profundas no meio ambiente. (FERNANDES, 2018).

A geração de resíduos até então não se tinha uma preocupação no seu despejo sendo que os recursos naturais eram abundantes e a natureza se encarregava de absorver esses resíduos. Com o surgimento da indústria em meados do século XVIII, no qual o objetivo principal era crescimento econômico em curto prazo, assim, utilizando métodos e processos na produção e exploração dos recursos naturais de maneira intensiva, seja energia ou matéria prima, no entanto as fontes naturais eram avaliadas como limitadas. Gerou riqueza econômica, mas conseqüentemente gerou problemas sociais e ambientais, dentre eles os resíduos (MODESTO et al., 2003).

Além disso, observa-se que as indústrias vêm utilizando seus resíduos como material alternativo eficiente. Com isso, os mesmos vêm reciclando seus resíduos industriais motivados por três objetivos: escassez das matérias-primas não renováveis; pelo volume de resíduos sólidos gerados que ocupam espaço; e pela degradação gerada ao meio ambiente devido ao despejo inadequado, coloca em risco a saúde pública (SOARES et al., 2010).

A variedade de produtos e processos produtivos no setor da indústria cerâmica atual dispõe de diferentes tipos de estabelecimentos com níveis de produção, assim como apontadores de produtividade e nível de mecanização, qualidade do produto a ser ofertado no mercado de maneira distinta. Este setor industrial pode ser destacado em: cerâmica artística (decorativa e utilitária), cerâmica vermelha ou estrutural, cerâmica técnica, materiais refratários, materiais de revestimento, isolante térmico, cal e cimento, louças sanitárias, louças porcelana de mesa, isoladores elétricos, filtros cerâmicos de água para uso doméstico (SEBRAE, 2016).

Diante disso, o setor cerâmico tem por objetivo prover insumos para indústrias de energia, metalomecânica a indústrias de construção civil, imóveis residenciais, governamental e comercial. A construção civil é formada por 61,2% construção e 18% indústria de materiais, daí se fortifica a ideia de negócio (SEBRAE, 2016).

Materiais cerâmicos dispõem de uma gama de variedades de substâncias, assim como, pedras, concretos, verniz, vidro, tijolo, esmalte para porcelana, materiais magnéticos

não-metálicos, refratários para grandes temperaturas, são materiais comuns na atuação do engenheiro. (VAN VLACK, 2003)

Materiais cerâmicos tem sido bastante aplicada em componentes tecnológicos, meios magnéticos de gravação, refratários dialéticos de capacitores, velas de ignição (ASKLEND,D, 2015),

De acordo com Asklend, D. (2015) a classificação das cerâmicas podem estar relacionados pelos compostos químicos, nitretos carbetos, sulfetos ,fluoretos, óxidos, ou por suas propriedades principais que são: térmicas, óticas, mecânicas e elétricas. O óxido de magnésio é um exemplo de composto de material cerâmico com relação 1 para 1 entre seus átomos metálicos e não metálicos. São empregados como refratários por sua resistência a altas temperaturas, sendo estas dispostas entre 1500°C a 2000°C, ou 300°F a 4500°F, sem que ocorra uma fundição ou dissociação (VAN VLACK, 2003)

A estrutura cristalina da argila mais simples possui quatro unidades diferentes, Al, Si, O e o radical $(OH)_4$, formado por $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (VAN VLACK, 2003).

No percurso da história da humanidade, a cerâmica pode ser considerada como uma tecnologia das mais antigas, no qual, o seu modo de utilização vem passando por mudanças em relação ao surgimento de materiais novos assim como tecnologias.

O chamote tem um comportamento de material inerte quando submetida à queima com temperaturas inferiores a que foi submetido a seu processo, no entanto quando submetido a temperaturas superiores ao seu processo de obtenção, desenvolve o processo de sinterização (VIEIRA et al.,2004).

Durante a queima, a incorporação do chamote reduz a perda de massa, associando assim às reações de sinterização do chamote. (VIEIRA et al.,2004). Além disso, a densidade aparente da massa cerâmica reduziu devido a incorporação do chamote (VIEIRA et al., 2009).

Durante a queima o chamote se comporta como material inerte até a temperatura na qual foi obtido podendo se tornar um ponto de concentração de tensão diminuindo assim a resistência mecânica da peça. Entretanto, quando é queimado acima de sua temperatura de processamento inicial as reações e as transformações de sinterização que venham a ocorrer podem contribuir para minimizar ou até mesmo eliminar o efeito deletério na resistência mecânica. (CANDIDO et al., 2013).

O artesanato produzido em Bragança tem como marca a habilidade do povo, no que tange de forma significativa a expressão da identidade local bragantina. Produzido em

comunidades como a de fazendinha e São Mateus. Os artesãos de fazendinha produzem vasos decorativos diversos e telhas somente com argila, enquanto que os artesãos da comunidade São Mateus produzem as famosas panelas de barro, através da mistura de porção de argila mais porção de chamote.

Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar a incorporação do chamote em argila refrataria de Bragança, avaliar o efeito dessa incorporação em massas cerâmicas dosadas em diferentes proporções, nas propriedades de retração, porosidade aparente, absorção de água, massa específica aparente, perda ao fogo.

O foco dos projetos tem se mantido na questão da qualidade técnica das peças e da forma de avaliação desta qualidade. Percebeu-se que a literatura voltada a este tipo de problemática é inexistente. Nenhum trabalho tratando da avaliação técnica de produtos artesanais, tais como a conformação das peças assim como normas técnicas para conformação de corpos de prova artesanal foi encontrado. A avaliação de peças que são produzidas fora de uma norma técnica mostrou-se uma grande barreira no trabalho junto aos artesãos. Por esta razão, procurou-se desenvolver uma metodologia que permita comparar e avaliar tais peças. Buscou-se dentro da gama de ensaios e técnicas utilizadas para caracterização de uma peça cerâmica, selecionar aquelas as quais permitam estudar melhor as peças artesanais. Diversas técnicas foram estudadas e uma comparação entre os resultados obtidos. Partiu-se então para utilização da metodologia do método empírico para a conformação de corpos de prova seguindo sempre a proximidade de como são produzidas as peças na olaria de Bragança-PA.

1.1 Justificativa

Não se observa um estudo prévio para a otimização das peças cerâmicas o que pode dificultar a produção, pois pode haver gasto excessivo de energia e de matéria-prima. Além disso, a produção é pouco diversificada e voltada para peças de menor valor agregado, sendo a produção de panelas refratarias pouco difundida.

Sabendo a quantidade exata da incorporação do chamote à argila refratária, será evitado desperdício de material, agregando mais precisão na fabricação da panela, podendo ser uma alternativa para aumento da produção.

Assim, observa-se que existe uma necessidade de valorização dos rejeitos de queima como um subproduto e dar a eles uma destinação final ambientalmente correta.

Além disso, observa-se a necessidade de fabricação de um produto inovador e de elevado valor agregado para diversificar a produção das cerâmicas da comunidade São Mateus do município de Bragança-PA.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo estudar as formulações ideais para fabricação da panela refratária através da incorporação do chamote obtido pela queima de material.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar as características físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas das matérias-primas;
- Avaliar o efeito da incorporação de chamote na plasticidade/trabalhabilidade da massa argilosa;
- Avaliar a influência da temperatura de queima nas propriedades e na microestrutura das cerâmicas;
- Determinar as propriedades físicas, e microestruturais das cerâmicas queimadas;
- Correlacionar a microestrutura das cerâmicas queimadas com as propriedades físicas obtidas;
- Encontrar a melhor porcentagem de incorporação do chamote na fabricação do produto refratário;
- Realizar análise comparativa do processo difusivo entre o material cerâmico obtido comercialmente e o material cerâmico desenvolvido em laboratório.

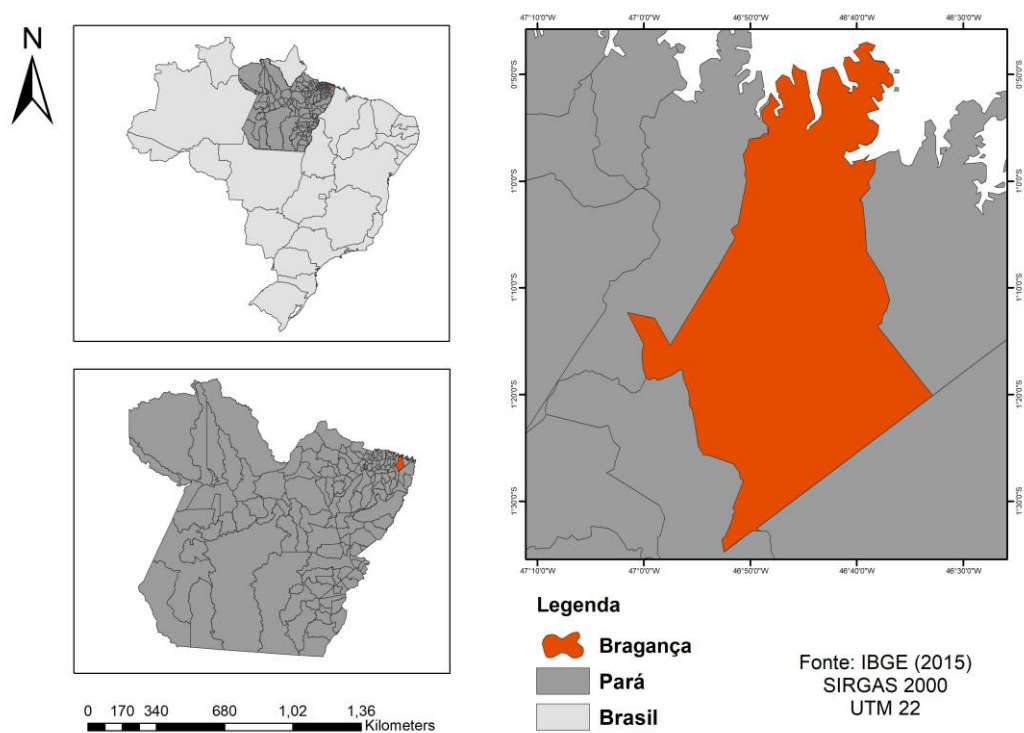
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História de Bragança

Bragança, conhecida como “Pérola do Caeté”, assim era chamada pois localiza-se à margem esquerda do rio Caeté. Seus primeiros habitantes pertenciam à nação Tupinambás, os índios apotiângas. Uma das cidades mais antigas do Pará. (IBGE, 2016)

Localizada na região nordeste do Pará, a 210 quilômetros de Belém, capital do Estado, é um dos municípios mais procurados pelos turistas ao longo do ano, em especial durante as férias escolares. Suas fronteiras são estratégicas. Assim, o município oferece o maior número de opções aos turistas: ao Norte está o oceano Atlântico, ao Sul, o município de Santa Luzia do Pará, a Leste os municípios de Augusto Corrêa e Vizeu e a Oeste, Tracuateua. Com uma área de 2.344,10Km² Bragança tem uma população de mais de 102.600 habitantes (IBGE, 2016). Como pode ser observado na Figura 01.

Figura 01: Localização do Município de Bragança.



Fonte: Autoria Própria (2018).

2.2 Artesanato/trabalhos manuais

A utilização de matéria-prima própria da região, trabalhada através do talento das mãos habilidosas do povo Bragantino, marca de forma significativa o artesanato produzido em Bragança por expressar a identidade local bragantina.

O artesanato é produzido em comunidades como a de São Mateus, formado por mulheres da localidade, com origem familiar e posteriormente agregando membros da comunidade local, ambos os grupos produzem as famosas panelas de barro. Existe ainda o grupo da comunidade da Fazendinha, que apresenta um artesanato feito com argila, voltado para linha decorativa que produz peças para jardins, entre abajures e vasos. Figura 02 mostra as cerâmicas de São mateus.

Figura 02 - Cerâmica refrataria de São Mateus pronta para venda.



Fonte: Autoria própria (2018).

Segundo dados da Secretaria Municipal de Turismo, o artesanato bragantino ainda está se consolidando no mercado interno, até para os bragantinos ainda é novidade tal produção, que, antes do Programa de Artesanato promovido pela prefeitura, vivia no anonimato. As feiras mensais, principalmente aquelas promovidas durante o mês de julho e de dezembro, período de maior fluxo de turistas na região, têm oportunizado a divulgação e o escoamento da produção. Foi registrada, em dezembro de 2007, por ocasião da festividade de São Benedito, a comercialização de cerca de 5.000 peças.

2.3 Argila

Tomando como definição, a argila é rocha finamente dividida, constituída principalmente por argilominerais, podendo conter minerais que não são considerados argilominerais (calcita, dolomita, gipsita, quartzo, pirita e outros), como também matéria orgânica e outras impurezas. (SANTOS, 1989). De tal modo que caracteriza-se uma argila por: **a)** ser constituída essencialmente por argilominerais, geralmente cristalinos; **b)** possuir elevado teor de partículas de diâmetro equivalente a 2 μm ; **c)** quando pulverizada ou umedecida, torna-se plástica; **d)** após secagem é relativamente dura e rígida e após queima em uma temperatura elevada (superior a 1000°C), adquire dureza comparável a dos aços; **e)** possuir capacidade de troca de cátions (SANTOS, 1989).

Segundo ABNT/NBR 6502 (1995) argila é um solo de granulação fina constituído por partículas com dimensões menores que 0,002 mm, apresentando coesão e plasticidade.

A argila é um insumo encontrado em grande abundância, sendo, na maioria das vezes, utilizado sem processamento na sua qualidade. Os produtos mais comuns, a partir da argila, são os tijolos de construção, telhas e tubulações de esgoto (CALLISTER JR., 2012).

Argila é o termo usado para indicar uma rocha constituída necessariamente por argilominerais. Estes, são silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio que tem as suas estruturas cristalinas arranjadas em camadas contínuas de $(\text{SiO}_4)_4^-$, na forma de tetraedros condensados com folhas de hidróxidos de metais di e tri valentes. Em regra, a dimensão dessas partículas cristalinas estão abaixo de 2 μm . (COELHO; SANTOS, 2007).

Segundo Ferreira, Fernandes e Curi (1999), a argila é composta de silicato de ferro e alumínio e a unidade dessas partículas forma agregados estáveis de óxidos. Entretanto, essa composição pode variar de acordo com as condições geológicas em que se acham e foram formadas. Os argilominerais presentes e seus componentes irão conferir algumas características consideravelmente importantes para o material cerâmico (MIYAZAWA; BARBOSA, 2011).

As argilas nunca são encontradas puras, mas sim, misturadas com outras substâncias que determinam suas características. As argilas assim constituídas podem ser denominadas de argilas industriais. (MENDES, 2008).

2.3.1 Constituição das argilas

As argilas são constituídas por argilominerais, comumente cristalinos; sendo silicatos de alumínio hidratados sua composição química, contendo em certos tipos outros elementos como: magnésio, ferro, cálcio, sódio, potássio, lítio entre outros. (SANTOS, 1989).

De acordo com ABNT/NBR 6502 (1995), argilominerais são hidratos de alumínio, podendo conter quantidades variáveis de ferro, magnésio, potássio, sódio, lítio, etc. São geralmente formados por lamelas constituídas por estratos ou lâminas de tetraedros de SiO_4 e octaedros de $\text{Al}(\text{OH})_6$, possuindo cristalinidade variável. Os argilominerais se formam por alteração de minerais primários das rochas ígneas e metamórficas, como feldspatos, piroxênios e anfibólios, ou são constituintes de rochas sedimentares. (ABNT/NBR 6502,1995). Possuem a propriedade de absorver às superfícies de suas partículas quantidades variáveis de água e íons. Os principais grupos de argilominerais são: caulinita, micas hidratadas e esmectitas. (ABNT/NBR 6502, 1995).

2.3.2 Propriedades plásticas das argilas

São altamente plásticas as argilas de granulometria mais finas, contudo argilas com granulometria grosseiras que contenham quantidade pequena de montmorilonita ou matéria orgânica contendo muito ácido húmico, podem ser plásticas. Argilas que contenham relevante quantidade de minerais acessórios como areia, tem a plasticidade diminuída. Para tanto, usa-se o Limite de plasticidade de Atterberg na determinação da mínima porcentagem de água para formação de uma massa plástica no sistema argila mais água (NORTON, 1973).

2.3.3 Propriedades das argilas secas

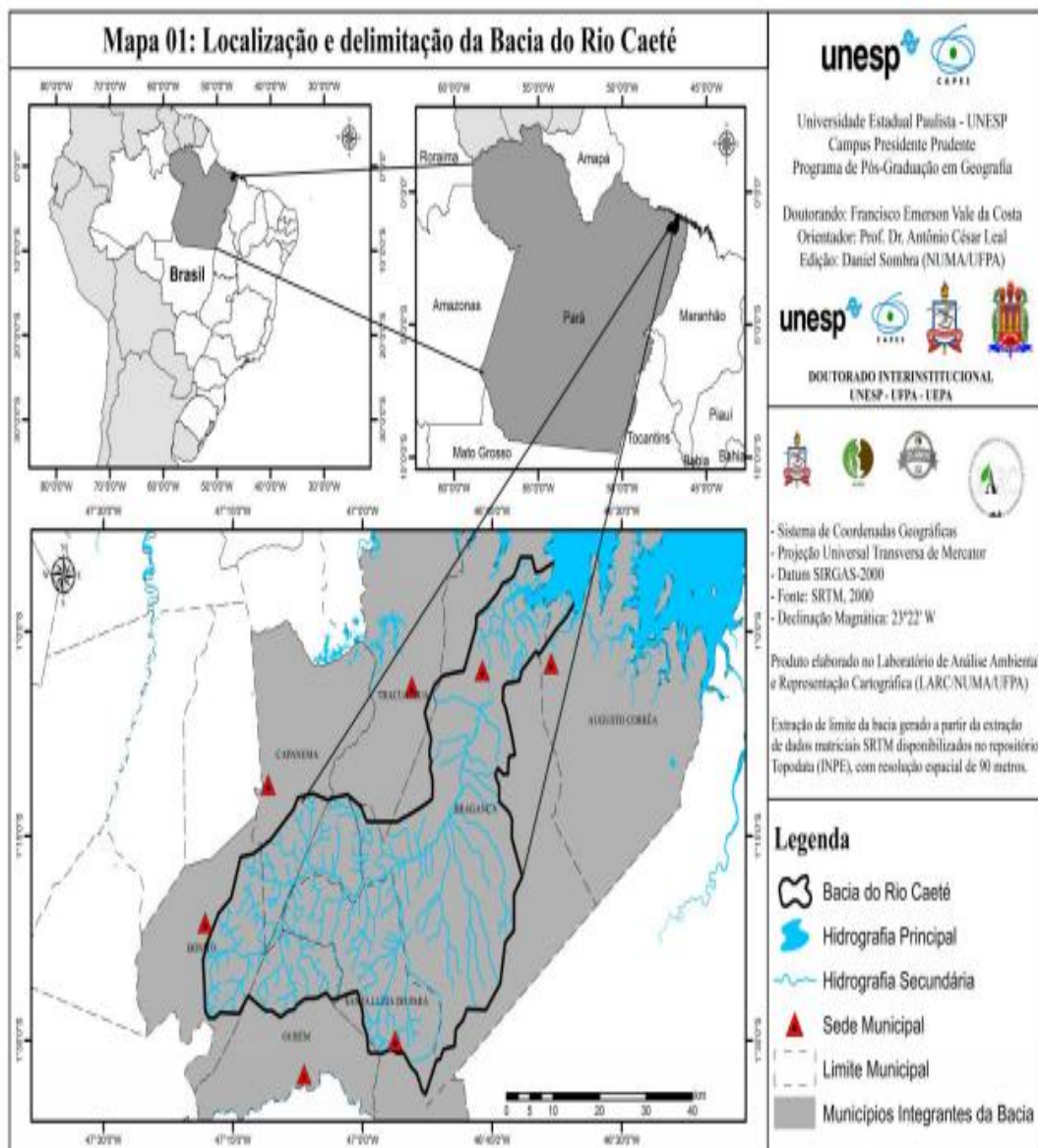
Para determinação desta propriedade denominada de retração de secagem, muda-se o comprimento ou o volume no processo de secagem que ocorre a $105^\circ\text{-}110^\circ\text{ C}$. Sendo importante na conformação de peças grandes, porque uma grande retração precisa de secagem lenta com a finalidade de evitar possíveis trincas. (NORTON, 1973)

2.3.4 Ocorrência em Bragança

As argilas utilizadas na produção de utilitários cerâmicos da comunidade de São Mateus do município de Bragança, são retiradas às margens do rio Caeté. A bacia hidrográfica do rio Caeté tem cuja nascente localiza-se no município de Bonito, desaguando

no Oceano Atlântico. A Figura 03, apresenta informações da bacia hidrográfica do rio Caeté referente a sua localização. (CPRM, 1998)

Figura 03 - Mapa de localização e delimitação da bacia do Rio Caeté.

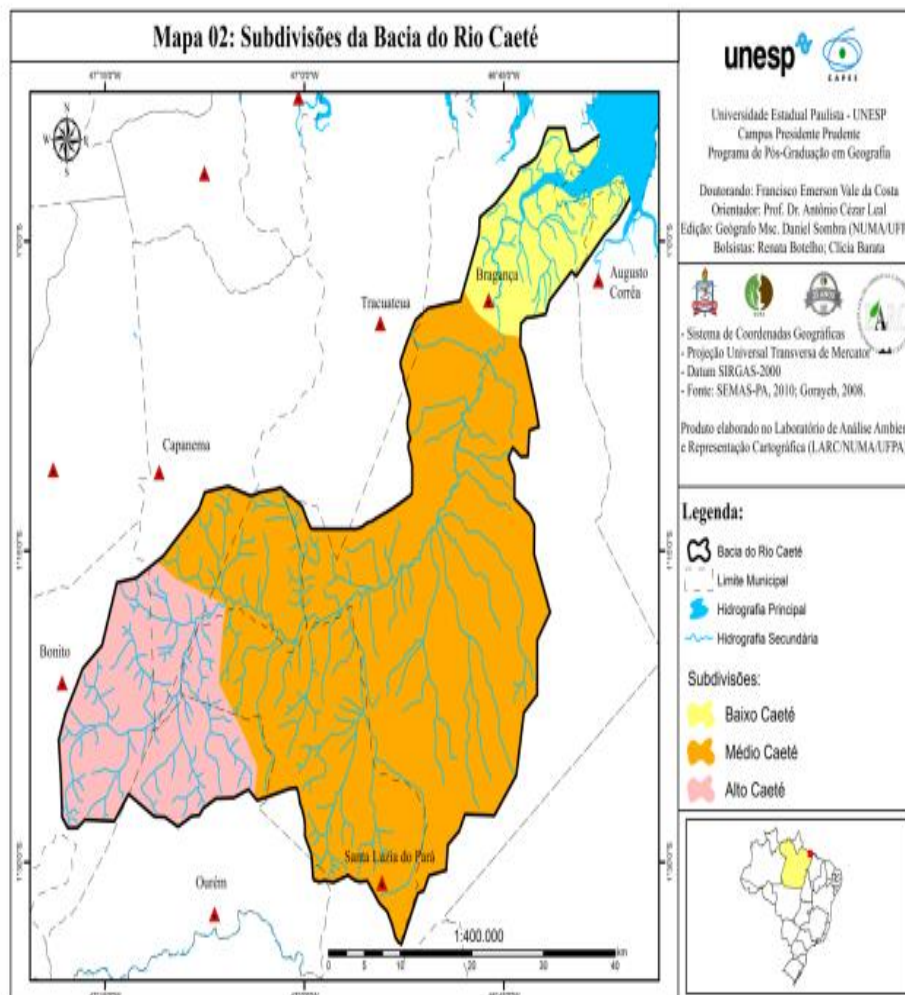


Fonte: COSTA 2017.

Segundo CPRM (1998) a bacia hidrográfica do rio Caeté possui uma área total de 2.235,14 km², drenando parte dos territórios de sete municípios paraenses: Augusto Corrêa, Bonito, Bragança, Capanema, Ourém, Tracuateua e Santa Luzia do Pará. Todos estão inseridos parcialmente na bacia hidrográfica com destaque para o município de Bragança que ocupa 52% da área total, representando 36% da área total de seu município, enquanto que em Augusto Corrêa se encontra apenas 1% da área total da bacia hidrográfica do rio

Caeté representando 2% da área total desse município. A Figura 04 apresenta as subdivisões da bacia do rio Caeté que são: baixo Caeté, médio Caeté e alto Caeté.

Figura 04 - Mapa de subdivisões da Bacia do Rio Caeté.



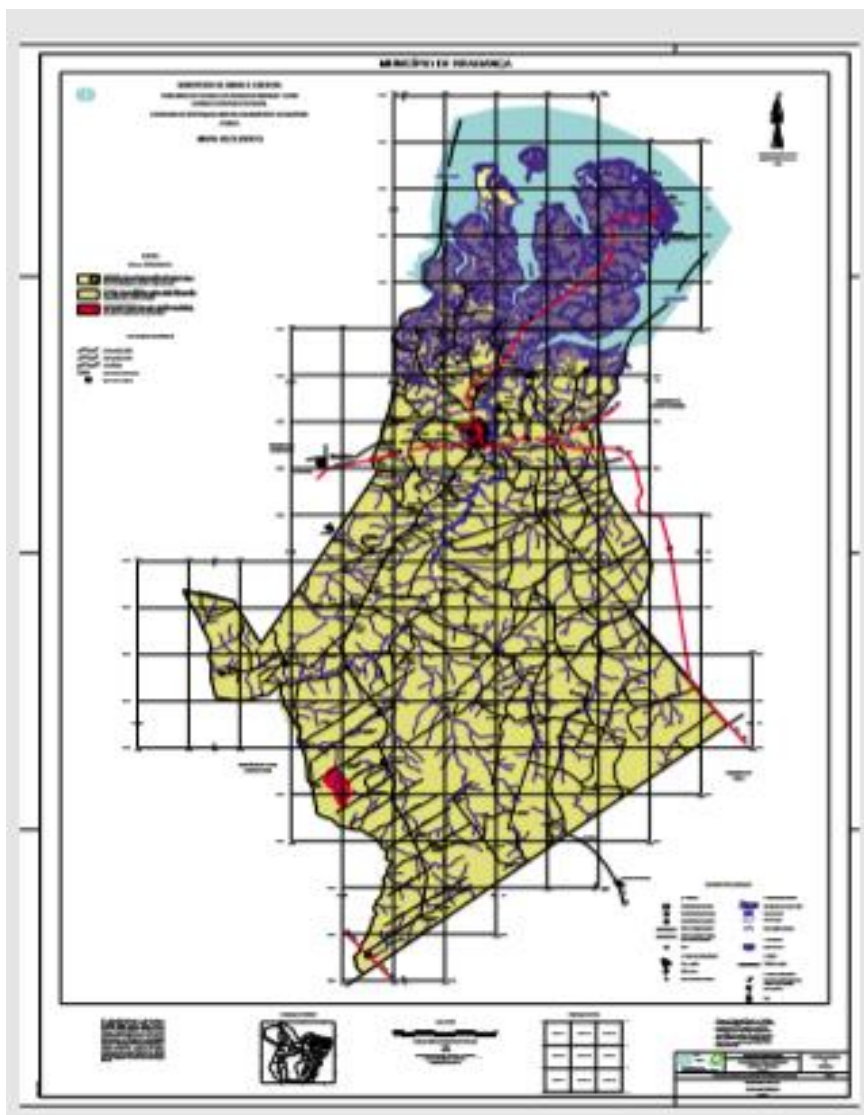
Fonte: COSTA 2017.

Na Figura 05 temos o mapa geológico da região bragantina que mostra a coluna estratigráfica com a área amarela representado o quaternário, a área verde mostra o terciário e a área vermelha mostra o proterozóico inferior. (CPRM, 1998)

- **QUATERNÁRIO:** incluem sedimentos inconsolidados, do tipo de dunas e praias (Qd), sedimentos areno-argilosos e argilo-arenosos, coloração variegada, blocos de arenito ferruginosos, cascalhos e conglomerados (Qa).

- **TERCIÁRIO:** Sedimentos siliciclásticos que incluem materiais pelíticos e pisamíticos como: argilitos, arenitos, conglomerados e siltitos de ambiência continental marinha e fluvial, pertencentes ao GRUPO BARREIRAS.
- **PROTEROZOICO INFERIOR:** Incluem rochas metamórficas para derivadas de facies xistos verdes, envolvendo xistos e filitos, pertencentes ao GRUPO GURUPI, provavelmente correlacionáveis à formação Rio Piritoró.

Figura 05 - Mapa Geológico da região Bragantina



Fonte: (CPRM, 1998)

Na Plataforma Bragantina afloram principalmente sedimentos cretáceos e cenozoicos, rochas precambrianas e paleozóicas ocorrem apenas em alguns locais. (URDÍNEA, 1977)

Segundo Urdinínea (1977), a distribuição dos sedimentos cretáceos e cenozóicos reflete a migração da subsidência da crosta do sul ao norte. Enquanto a porção meridional da plataforma experimentou alguma subsidência somente no Cretáceo, o que resultou na deposição das Formações Ipixuna e Itapecuru, na parte setentrional, este processo ocorreu apenas no Terciário Superior levando à deposição da Formação Pirabas e do Grupo Barreiras.

2.3.5 Extração

O modo artesanal ocorre desde a extração da matéria prima até conformação do produto final. A argila é extraída das margens do rio Caeté manualmente. O transporte entre retirada até chegar nas mãos dos artesãos se dá por pequenas embarcações seguidos de carro de mão ou carroças. No local de extração, retira-se um capeamento vegetal do solo para que então se possa extrair dois tipos de argilas, sendo elas denominadas de argila preta que é uma argila encontrada logo abaixo o capeamento vegetal e a argila branca, encontrada em partes mais profundas do perfil.

2.3.6 Beneficiamento

De posse da argila extraída pelos extrativistas, os artesões fazem o beneficiamento. Fazem uma ‘limpeza’ no bloco com uma espécie de arame passado por várias vezes por entre o bloco de argila. Processo que permite a retirada de restos orgânicos (folhas, raízes) e possíveis partículas grosseiras. Para homogeneizá-la, os artesões misturam várias vezes nas mãos para retirada de ar de dentro do bloco. Esta etapa feita corretamente evita problemas futuros concernente à queima da peça.

2.3.7 Produção

Após a limpeza do bloco de argila adiciona-se o chamote e novamente é homogeneizado para a conformação das peças utilitárias. O chamote é produzido pelos artesãos, que utilizam martelo e pilão, para quebrar as peças trincada após a queima. A Figura 06 (A, B, C, D) ilustram o que foi percorrido.

Figura 06 - Produção do chamote na olaria.



Fonte: (A) artesão utilizando o martelo para quebrar as peças, (B) peças que se transformarão em chamote, (C) pilão utilizado para socar o chamote, (D) o chamote pronto. Autoria Própria (2018).

Após o chamote ser incorporado à argila, essa mistura é posta em sacos plásticos e deixados descansando por 24h para então começar a moldagem das peças, como mostra a Figura 07.

Figura 07 - Mistura (argila + chamote) guardada em sacos plásticos e alocados em prateleiras para descanso de 24h.



Fonte: Autoria Própria (2018).

A conformação e moldagem das peças é feita com auxílio de uma bancada com plataforma do torno acima e pedal abaixo. Produz-se vários tipos de utensílios domésticos como: frigideiras, travessas, panelas, etc. A Figura 08 apresenta a forma e dimensões relativas ao torno.

Figura 08 - Conformação das peças refratárias com auxílio de um torno de pedal.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Foram utilizadas argila e chamote provenientes da comunidade são Mateus localizada em Bragança, PA, local que trabalha com panela refratária. A produção mensal da comunidade é estimada em 1800 panelas, queimados em fornos tipo intermitente com temperaturas variando de 1.000 a 1.400 C° segundo informação do presidente da associação dos artesãos.

O produto após moldado passa para o processo de raspagem e polimento para então ficar na estante por 48h secando. Este polimento se dá com a utilização de semente de anajá e como polidor a saca de cebola em fibra, feito isso, a peça é carimbada com uma espécie de carimbo/marca fornecida pelo SEBRAE. Em seguida, as peças estão prontas para serem alocadas no forno para passarem pelo processo de queima. Na Figura 09 observa-se as peças moldadas à serem polidas, já a Figura 10, observa-se a peça polida e pronta para ir ao processo de sinterização.

Figura 09 - Peças esperando polimento antes da sinterização.



Fonte: Aatoria Própria (2018).

Figura 10 - Peça após passar pelo processo de raspagem e polimento.



Fonte: Aatoria Própria (2018).

Forno utilizado pelos artesões Figura 11 (A e B) para a queima de vasos e utensílios domésticos, que se encontra na olaria de São Mateus localizada em Bragança.

Figura 11 - Vista lateral (A) e (B) do forno utilizado para queimar as peças refratárias.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Após passarem pelo processo de sinterização, as peças já resfriadas são retiradas do forno agora com a cor avermelhada, daí, passam então pelo processo de defumação para adquirirem a cor enegrecida. Essa defumação é feita com folha de goiabeira ou de ameixeira. Esta espécie de pintura só é feita no interior da panela e interior da tampa. Este processo dura uma hora. Este procedimento segundo os artesãos bragantinos, é feito para evitar que o alimento grude no fundo do refratário. É uma forma de tornar a panela antiaderente. Pode-se observar este processo na Figura 12 seguinte.

Figura 12 - Processo de defumação (pintura) das peças refratárias.



Fonte: (A) e (B) defumador das panelas, (C) artesão mostrando a folha que será o combustível da defumação, e (D) a tampa enegrecida após o processo de defumação. Autoria Própria (2018).

2.3.8 Propriedades de queima das argilas

A mineralogia e a distribuição granulométrica obtida no processo de moagem também variam. A distribuição granulométrica que resulta da moagem é importante no empacotamento das partículas durante a prensagem, da mesma forma que na evolução da sinterização, uma vez que está relacionada parcialmente à quantidade de contatos intergranulares. O argilomineral dominante geralmente é a illita, existindo em todo o perfil (ZANARDO et al., 2004).

A proporção de cada argila usada na preparação das massas é determinada empiricamente, necessitando correções quando as variações se manifestam, as quais são aplicadas principalmente na massa, na temperatura e no tempo de queima.

Em ciclos de queima rápida, o início efetivo da sinterização depende principalmente do empacotamento das partículas cujos pontos de contato viabilizam a difusão sólida (MORENO et al., 2009).

2.3.9 A indústria de cerâmica vermelha

A indústria de cerâmica vermelha é em parte responsável pela degradação ambiental provocadas pelo jazimento das matérias primas, a queima dos produtos e o descarte dos resíduos cerâmicos após queima (CASTRO et al., 2012).

Grande maioria das indústrias de cerâmica vermelha gera um volume estimado de resíduo, isto em função da má queima realizadas durante o processo fabril e quebramento das peças durante o armazenamento. Segundo dados das indústrias ceramistas algumas indústrias tem um controle rigoroso sobre seus resíduos, tendo um desperdício próximo a 1%, enquanto que outras chegam a perto de 10% o que representa em função do grande volume de telhas produzidas no Brasil um grande volume de resíduo (FERNANDES, 2002).

A cerâmica vermelha é adquirida a partir da conformação de uma massa argilosa, submetida a um processo de secagem relativamente lento para a retirada de grande parte da água, e calcinadas em altas temperaturas. A cor da massa que por sua vez pode ser branca ou vermelha, é um dos critérios mais tradicionais utilizados para classificar as cerâmicas (KOMLJENOVIC et al., 2013).

2.3.10 Materiais Cerâmicos

Segundo as informações técnicas da Associação Brasileira de Cerâmica (ABRACEM), cerâmica compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas.

Santos (1989) define cerâmica como um campo especial da ciência dos materiais, podendo também ser definida de diversas maneiras.

Silva (2000) discorre sobre os materiais cerâmicos assegurando que, estes apresentam uma alta resistência ao calor, assim como apresenta uma considerável resistência a oxidação e ataque químico, também alta resistência a deformação plástica e alta rigidez mecânica, além de normalmente serem bons isolantes térmicos e elétricos.

A palavra cerâmica advém do termo em grego “Keramicos”, que significa matéria-prima queimada, mostrando que suas propriedades são atingidas através de um processo térmico de alta temperatura (CALLISTER, 2016).

Smith (1998) relata que os materiais cerâmicos são materiais inorgânicos, não-metálicos, e que são compostos por elementos metálicos e não-metálicos, assim como, são ligados quimicamente entre si por ligações iônicas e/ou covalentes.

Segundo Bergaya et al. (2006), a indústria cerâmica é uma das mais antigas existentes na sociedade. É uma indústria que tem compostos formados por elementos metálicos e não metálicos, onde há 60 anos atrás, os materiais mais importantes nessa categoria eram as “cerâmicas tradicionais”, ou seja, aquelas onde a matéria-prima primária é a argila (CALLISTER JR, 2012).

2.3.11 Cerâmica vermelha

As argilas utilizadas na fabricação de materiais da construção civil, no qual são fabricadas telhas, tijolos, elementos vazados, cerâmica utilitária ou por materiais mais modernos como os agregados leves de argila. No Brasil, a cerâmica vermelha é chamada de indústria (SANTOS, 1989).

Maia (2012) faz umas considerações sobre a indústria da cerâmica vermelha, afirma que essa produção é uma das mais antigas porém ainda sim, seus processos produtivos têm pouco investimento tecnológico, no que tange baixo valor agregado e custos energéticos e ambientais elevados.

A cerâmica é a atividade de produção de artefatos a partir de argilas, ao umedece-la torna-a muito plástica e fácil de moldar. O uso de matérias primas naturais para a fabricação de tijolos de cerâmica vermelha representa uma parcela significativa do custo total do produto acabado. Sendo a argila a principal matéria-prima utilizada para a produção da cerâmica. Esta matéria prima é um material natural de textura terrosa e baixa granulometria que adquire, quando umedecida, grau de plasticidade suficiente para ser moldada. Esta característica é perdida temporariamente pela secagem, e permanentemente pela queima e assim adquire resistência mecânica (MENDES, 2008).

2.3.12 Cerâmica branca

Um grupo de materiais formados por uma massa contendo caulim, argila, quartzo e feldspato potássio, recebe o nome de cerâmica branca, por possuir cores com tons claros como: branca, cinza-claro, rosa-clara, amarelo-clara, creme-clara (SANTOS, 1989).

2.3.13 Cerâmica Refratária

Possuem capacidade de suportar exposição a elevadas temperaturas sem ocorrer seu amolecimento ou formar fragmentos ou fundir. Além disso, tijolos refratários feitos com argila dependem de sua característica química disposta de teores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O e K_2O) (SANTOS, 1989).

2.3.14 Cerâmica de alta tecnologia (cerâmica avançada)

De acordo com Mendes (2008) a indústria cerâmica é responsável pela fabricação de pisos, azulejos, e revestimento de larga aplicação na construção civil, pela fabricação de tijolos, lajes, telhas, entre outros. O setor da cerâmica tecnológica, é responsável pela fabricação de componentes de alta resistência ao calor e de grande resistência à compressão.

Pinto (1997) define a argila como um sedimento com tamanho de partícula inferior a $4\mu\text{m}$, constituída em grande parte por argilominerais, podendo conter impurezas; desenvolve plasticidade com a adição de uma quantidade conveniente de água, perdendo-a após a

secagem (água de conformação) e, após a queima (água de estrutura) a uma temperatura superior a 1.000°C, adquire alta resistência. Sob o ponto de vista da tecnologia cerâmica, é o conceito mais aceito e adotado pelos ceramistas.

2.3.15 Legislação e aplicação tecnológica

Nas indústrias eletrônica e elétrica, materiais cerâmicos avançados como titânio bário (BaTiO_3), materiais piezelétricos e materiais semicondutores são muito utilizados para a produção de capacitores cerâmicos, sensores de temperatura, osciladores, etc. As cerâmicas utilizadas para este tipo de aplicações são chamadas cerâmicas funcionais. As propriedades específicas dos materiais cerâmicos avançados são utilizadas para suas aplicações industriais (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

2.4 Resíduos

Segundo a lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, Política Nacional de Resíduos Sólidos, em seu capítulo II das Definições: “Resíduo Sólido: Material, substância, objeto ou bem descartado resultante das atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou de corpo d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.

Por decorrência dos hábitos da sociedade capitalista, pelo consumo exagerado de produtos industrializados e tóxicos descartados, acumulados ao ambiente como resíduos, causando agressão à natureza ao planeta e à própria existência humana (ZANETI, 2003).

2.5 Resíduos sólidos

A destinação inadequada destes resíduos acarreta impactos ao meio ambiente, podendo causar poluição das águas superficiais e subterrâneas, contaminação dos solos e do ar e a proliferação de doenças (TENÓRIO; ESPINOSA, 2004; SCHALCH et al., 2002).

2.6 Classificação dos resíduos

Os resíduos sólidos são classificados quanto à degradabilidade, origem e periculosidade. De acordo com a identificação do processo ou atividade que a origem, constituição e

características com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto que podem causar ao meio ambiente sejam conhecidos.

De modo geral, os resíduos sólidos são constituídos de substâncias (FUNASA, 2007):

a) Facilmente degradáveis (FD): restos de comida, sobras de cozinha, folhas, capim, cascas de frutas, animais mortos e excrementos.

b) Moderadamente degradáveis (MD): papel, papelão, e outros produtos celulósicos;

c) Dificilmente degradáveis (DF): trapo, couro, pano, madeira, borracha, cabelo, pena de galinha, osso, plástico;

d) Não degradáveis (ND): metal não ferroso, vidro, pedras, cinzas, terra, areia, cerâmica.

Os resíduos sólidos são divididos em duas classes de acordo com a norma técnica da ABNT NBR 10004/2004: Classe I – perigosos e Classe II A não perigosos, não inertes e Classe II B não perigosos, inertes.

❖ Classe I: Perigosos

Os resíduos perigosos são aqueles cujo manuseio inadequado pode causar sérios danos à saúde pública e/ou ao ambiente, em virtude de serem inflamáveis, reativos, corrosivos, tóxicos ou patogênicos

❖ Classe II: Não perigosos

• Classe II A: não inertes

Os resíduos classificados como Classe II A são aqueles que são biodegradáveis, combustíveis e solúveis em água.

• Classe II B: inertes

São classificados como resíduos inertes aqueles que não apresentam atividade, não reagem e são insolúveis em água

A NBR 10004/04 da ABNT dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública para que possam ser gerenciados adequadamente.

2.7 Relevância da incorporação de resíduos na indústria de cerâmica.

Ripoli Filho (1997) realizou um estudo de viabilidade da adição de chamote à massa argilosa para a fabricação de elementos cerâmicos como fator de qualidade na Fabricação de elementos Cerâmicos. Já Weber (2002) realizou pesquisa avaliando a incorporação de resíduos em cerâmicas artesanais destacando a importância da conformação e produção dos

corpos de prova artesanais, tendo em vista que não se encontra normas técnicas para este fim artesanal.

2.8 Chamote

Peças defeituosas provenientes da etapa de queima da cerâmica vermelha podem eventualmente retornar ao processo, após trituração, gerando um resíduo cerâmico conhecido como chamote (PRACIDELLI; MELCHIADES, 1997).

O reaproveitamento do chamote torna-se uma alternativa barata e sustentável, porém a quantidade de resíduo a ser adicionado à massa cerâmica precisa ser avaliada para não prejudicar o processo de queima das peças, pois, de acordo com Campelo et al. (2006) quanto maior a quantidade de resíduo queimado adicionado à massa cerâmica, maior será a temperatura de gresificação da peça.

A gresificação de massas cerâmicas é a medida da evolução da microestrutura do material durante a queima. A curva de gresificação utilizada em revestimentos cerâmicos ilustra o comportamento térmico do material em função da temperatura. Normalmente, é representada por dois parâmetros: porosidade e sinterização (MUÑOZ et al., 2002).

A vantagem principal da adição do chamote é facilitar a etapa de secagem. A morfologia e o tamanho das partículas do chamote promovem um aumento da permeabilidade da peça verde, facilitando a eliminação da água de conformação (BELTRÁN et al., 1995).

O chamote pode também melhorar a trabalhabilidade de massas cerâmicas eventualmente muito plásticas e conferir efeitos estéticos desejados na superfície dos produtos. Entretanto, o chamote é geralmente prejudicial à resistência mecânica das peças (RIPOLI, 1997), pois suas partículas inertes dificilmente aderem à matriz tornando-se pontos de concentração de tensão. Por outro lado, caso o chamote seja queimado uma segunda vez, acima de sua temperatura de processamento inicial, as reações e as transformações de sinterização que venham a ocorrer podem contribuir para minimizar ou até mesmo eliminar o efeito deletério na resistência mecânica.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

A matéria-prima foi obtida na comunidade São Mateus Bragança-PA por intermédio do senhor Daniel Ferreira da Silva (presidente da Associação dos Artesãos de São Mateus – Bragança / Pará). Nesta comunidade faz-se a produção/fabricação de utensílios refratários. O chamote foi obtido do descarte de panelas cerâmicas queimados a aproximadamente 1.000 C°, o material reaproveitado foi triturado com martelo e depois socado no pilão até ficar pó bem fino. Para a conformação dos corpos de provas com as devidas porcentagens de argila e chamote, utilizou-se argila beneficiada e o chamote derivado das peças queimadas que por ventura sofreram algum dano e precisaram ser descartadas assim chamadas como chamote, ambos, provenientes do município de Bragança-PA, molde, paquímetro, balança analítica, estufa e o forno. A argila foi caracterizada segundo as suas composições químicas, físicas e mineralógicas. Em seguida foram determinadas as propriedades físicas. Adotou-se nomenclaturas para facilitar a identificação os materiais são: AB para designar Argila de Bragança, CH denomina o chamote.

As análises químicas foram feitas no laboratório de Análises Químicas do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

Foram produzidos 6 composições de corpos de prova (CP's), 3 para cada composição argila-chamote e 3 com 100% argila, nas dimensões 10 x 5 x 1 mm (comprimento, largura e altura). A homogeneização e conformação das massas e corpo de prova foram feitas de forma manual no molde. Utilizou-se forno elétrico tipo mufla (1.000 C°) para queimar as peças. Os corpos de prova após a conformação, ficaram dispostos a secagem natural por 24h, em seguida postos na estufa a 105-110 °C por 24h. Após esse período procedeu-se a etapa de queima.

Foram confeccionados retângulos /blocos de mistura (argila e chamote - ABCH) de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%. Assim como três corpos de prova padrão de ABP 100% argila.

3.1.1 Chamote

O chamote utilizado foi produzido na olaria de São Matheus – Bragança/PA. De posse deste material, já no laboratório de química do *Campus* Ananindeua-PA, foi peneirado

em malha de 80# (0,177 mm), afim de se obter uma granulometria uniforme para a produção dos corpos de prova. A Figura 13 apresenta o chamote peneirado.

Figura 13 - Chamote peneirado a 80# para a produção do corpo de prova.



Fonte: Autoria Própria (2018).

3.1.2 Molde

Em decorrência de que os moldes usualmente utilizados para confecção dos corpos de prova estarem sendo usados em outras pesquisas, desenvolveu-se uma nova matriz em alumínio, como mostra a Figura 14, daí produziu-se corpos de provas com as seguintes dimensões: 10 cm de comprimento x 5 cm de largura x 1 cm de espessura.

Figura 14 - Matriz em alumínio.



Fonte: Autoria Própria (2018).

3.1.3 Forno

O forno utilizado para a queima dos CP's foi o Elebttro Lim Elektro Therm, de temperatura até 1300°C do laboratório de Análises químicas do IG-UFFPA *Campus* Guamá. Apresentado na Figura15.

Figura 15 - Vista frontal do forno utilizado para queimar os CP's.



Fonte: Autoria Própria (2018).

3.2 Metodologia

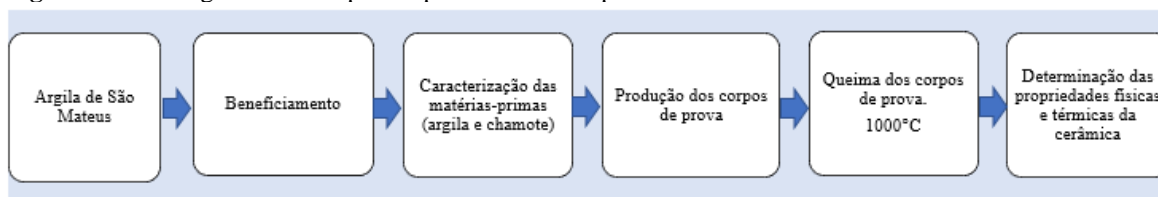
Descreve-se aqui, a metodologia adotada na caracterização das matérias-primas, conformação dos corpos de prova – CP's, determinação dos microestruturas e propriedades cerâmicas produzidas.

A Figura 16 apresenta o fluxograma das etapas do procedimento experimental deste trabalho.

Procedimento experimental por etapas:

- ❖ Beneficiamento e seleção das matérias-primas;
- ❖ Caracterização das matérias-primas (argila e chamote);
- ❖ Produção dos corpos de prova;
- ❖ Queima dos corpos de prova;
- ❖ Determinação das propriedades físicas e térmicas da cerâmica.

Figura 16 - Fluxograma das etapas do procedimento experimental.



Fonte: Autoria Própria (2018).

3.2.1 Beneficiamento das matérias-primas

As matérias-primas utilizadas (argila e chamote) passaram por processos de beneficiamento e seleção antes da produção laboratorial e artesanal dos corpos de prova. O chamote foi classificado em peneira com abertura de malha de 80# (0,177 mm) afim de se obter uma granulometria uniforme para a produção dos corpos de prova. A argila veio de Bragança pronta para uso (foram retiradas as impurezas, possíveis raízes e folhas provenientes da extração).

3.2.2 Caracterização das matérias-primas

A caracterização das matérias-primas consistiu na determinação da composição mineralógica, composição química e características físicas. A caracterização mineralógica foi realizada por meios de análises de difração de raio X (DRX) e análises térmicas (TG/ATG). A caracterização química foi realizada por fluorescência de raios X (FRX). A caracterização morfológica das matérias-primas foi efetuada por microscopia eletrônica de varredura Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (MEV/EDS), quantificação da matéria orgânica através da perda ao fogo e distribuição granulométrica.

3.2.3 Difração de raios-X (DRX)

A análise por difração de raios X (DRX) teve sua realização no laboratório de difração de raios - IG - UFPA, no qual utilizou-se amostras na forma de pó, lâminas orientadas e lâminas glicoladas. O equipamento utilizado é o difratômetro da Bruker, modelo D8- Advance, operando a 40 kV e 40 mA e com um comprimento de onda $\lambda_{CuK\alpha} = 1,5406\text{Å}$. As amostras foram examinadas em um intervalo de 2θ entre $5-75^\circ$, com um passo angular de $0,02^\circ$ e tempo por passo 0,2s.

O quartzo é encontrado na natureza sob as formas polimorfas: quartzo, tridimita e cristobalita. Com a variação de temperatura ocorre às transformações de fase, recebendo cada uma, a sua denominação específica. O quartzo alfa é estável à temperatura ambiente, transformando-se na variedade beta a 573 °C e em tridimita a 870 °C. À temperatura de 1470 °C ocorre à transformação para cristobalita, até atingir o ponto de fusão a 1713 °C (DEER; HOWIE; ZUSSUMAN, 1975).

3.2.4 Análises térmicas (TG/ATG)

A análise térmica (TG/ATG) foi realizada no laboratório de Cromatografia - IG - UFPA, sob a responsabilidade do Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa. A amostra foi avaliada por análise termogravimétrica e análise térmica diferencial(TG/ATG) em equipamento Shimadzu ATG-60H, sob fluxo contínuo de nitrogênio e temperatura entre 25 e 1000 °C, com taxa de aquecimento 10 °C.min⁻¹. no qual utilizou-se amostra da argila na forma de pó.

O argilomineral illita, tem uma estrutura cristalina monoclinica semelhante à da montmorilonita, com apenas uma substituição maior do alumínio por silício, o que dá uma maior carga à estrutura cristalina e o cátion neutralizante é o potássio. Como consequência dessas diferenças, as camadas estruturais são rigidamente ligadas e não expandem, e o argilomineral tem uma distância interplanar basal fixa de 10,1 Å. O alumínio é o cátion octaédrico dominante, porém, o magnésio e o ferro podem estar presentes (BRADLEY, 1961). A illita é um silicato de alumínio hidratado e elevado grau de óxido de potássio, que torna as argilas muito plásticas, devido ao seu alto grau de granulometria fina, de fácil moldagem e bom desempenho na secagem. Algumas vezes contribui para a coloração avermelhada do produto, no caso de possuírem ferro em sua composição, que é liberado por volta de 900 °C em forma de hematita (VARELA, 2004). As illitas comportam-se termicamente:

- entre 100 °C e 200 °C, com pico máximo a 150 °C, existe um pequeno pico endotérmico de água que parece estar intercalada entre camadas;
- entre 450 °C e 600 °C, existe um pico endotérmico pequeno, cujo pico máximo ocorre a 530 °C ou 550 °C, de perda de água de hidroxilas, essa perda não destrói a estrutura cristalina das illitas dioctaédricas, porém, destrói a estrutura cristalina das illitas trioctaédricas;
- acima de 600 °C, há uma pequena expansão;

- entre 880 °C e 930 °C, com picos máximos a 900 °C e 920 °C, respectivamente, um pico duplo endo-exotérmico. O pico endotérmico a 900 °C é de perda da estrutura cristalina e o pico exotérmico a 910 °C é de formação de espinélio;

- a 1200 °C há um pequeno pico exotérmico de formação de mulita (GRIM, 1963).

A análise termogravimétrica possibilita o estudo do comportamento das matérias-primas quando são submetidas ao aquecimento, e também, possibilita a complementação da caracterização mineralógica desses materiais por DRX (CANDIDO, 2002).

3.2.5 Análise Química - Fluorescência de Raio-X

Os constituintes químicos identificados nesta pesquisa foram obtidos através da análise feita em espectrofotômetro de fluorescência de raios X. A análise foi feita no Museu de Geociências (MUGEO) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, cujo equipamento utilizado foi o FRX portátil, da marca Bruker e modelo S1 TURBO. Esta análise tem por finalidade apresentar o percentual dos elementos químicos presentes em cada material coletado.

3.2.6 Separação de tamanho de partícula

A distribuição de tamanho de partícula da argila foi realizada no Laboratório de Sedimentologia do IG da UFPA. O método utilizado foi de acordo com a norma NBR 7181 (1984). No ensaio de sedimentação, foi usada a fração passante em peneira de 200 mesh (0,075 mm) e baseando-se na Lei de Stokes (Equação 1), onde a velocidade terminal de sedimentação depende do tamanho da partícula e viscosidade do fluido determinado. A velocidade foi definida por:

$$V = \frac{(\rho - \rho_f)gd^2}{18\mu} \quad (1)$$

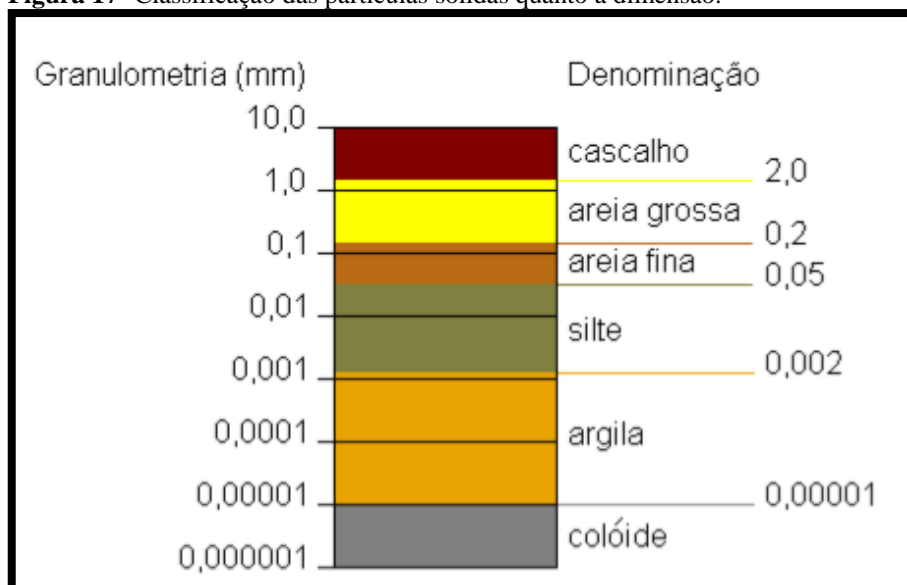
Onde:

V= velocidade terminal (m/s); g= é gravidade (m/s²); d= representa diâmetro esférico equivalente da partícula (m); ρ= massa específica do material (kg/m³); ρ_f = representa massa específica do fluido (kg/m³); μ= viscosidade dinâmica do meio fluido (N.s/m²).

No método de peneiramento as amostras foram inicialmente passadas por um peneiramento mais grosseiro (até a peneira de 2 mm – 10 mesh) e posteriormente por um peneiramento mais fino (até a peneira de 0,075 mm – 200 mesh).

A Figura 17 mostra a classificação das partículas sólidas quanto a dimensão.

Figura 17 -Classificação das partículas sólidas quanto a dimensão.



Fonte: Rocha, F. N.; Suarez, P. A. Z.; Guimarães, E. M. Rev. Virtual Quim., 2014, 6 (4), 1105-1120.

3.2.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS)

Com o MEV/EDS foram realizadas as análises morfológicas, e análises pontuais. A análise foi realizada no Laboratório de MATCAM da Universidade Federal do Pará. Para tal análise foi utilizado um microscópio Hitachi *Analytical TableTop*, Modelo SEM TM3030. Utilizando-se Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Hitachi TM3000 com Espectrômetro de Energia Dispersiva (EDS) SwiftED3000 acoplado. O MEV opera com feixe de 15kV, fonte de filamento de tungstênio, detector de elétrons retroespalhados com câmara de vácuo e apresenta magnificação máxima de 4000x. O EDS tem detector de silício tipo SDD de 30 mm² e resolução 161 eV (Cu-K α) com analisador multicanal 2048 canais (10 eV/canal). As amostras foram dispostas em disco de alumínio (stub) e fixadas em fita dupla face de carbono (superfície condutora). Os componentes principais analisados foram: Si, Al, Ti, Fe, Mg, K, Cl, Ca, Na, C, P e Mn.

3.2.8 Determinação gravimétrica de PF (perda ao fogo por calcinação).

Pesou-se 1 grama da amostra de argila acima de 80# previamente seca, por 1 (uma) hora a 110 °C em cadinho de porcelana, também previamente calcinado em forno mufla QUIMIS a 950 °C, do Laboratório de Análises Químicas do Instituto de Geociências. Então, a amostra foi levada ao forno mufla à temperatura de 1.000 °C por uma hora. Ao termino desse período, a amostra foi retirada e levada ao dessecador por 30 minutos para seu esfriamento.

Pela diferença de peso inicial e final temos o peso da perda ao fogo (PF) por calcinação, expresso abaixo mostra a equação 2. Desconsiderando os argilominerais hidratados.

$$PF (\%) = \frac{P1-P2(g)}{\text{massa da amostra}} \times 100\% \quad (2)$$

$$P1 = \text{peso do cadinho} + \text{amostra seca}$$

$$P2 = \text{peso do cadinho} + \text{amostra calcinada}$$

3.3 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

3.3.1 Absorção de água

A determinação da absorção de água (AA) dos corpos-de-prova procedeu-se de acordo com a NBR 15270-3(2005), as amostras foram imersas em um recipiente contendo água, em volume suficiente para mantê-los totalmente imersos. Após 24 horas as amostras foram retiradas removendo o excesso de água superficial e em seguida pesadas em balança com resolução de 0,01g. O valor da absorção de água (AA) em percentagem (%) foi obtida segundo a Equação 3.

$$AA(\%) = \frac{Mu-Ms}{Ms} \times 100 \quad (3)$$

Onde: Mu = massa do corpo de prova saturado de água (g)

M_s = massa do corpo de prova seco (g)

3.3.2 Porosidade aparente

Utilizando o princípio de Arquimedes para a obtenção da porosidade aparente. O procedimento foi realizado simultaneamente com o ensaio de absorção de água, onde após a retirada da imersão em água, durante 24 horas, as amostras foram pesadas imersas em água destilada. A porosidade aparente (PA) foi determinada por meio da Equação 4, exibida por SANTOS (1989):

$$PA(\%) = \frac{(M_u - M_s)}{M_u - M_i} \times 100 \quad (4)$$

Onde: M_u = massa do corpo de prova úmido (g)

M_s = massa do corpo de prova seco (g)

M_i = massa do corpo de prova imerso em água (g)

3.3.3 Massa específica aparente

De posse dos valores da massa do corpo de prova úmido e massa do corpo de prova imerso em água, utilizados para a obtenção da porosidade e absorção de água, a massa específica aparente (MEA) dos corpos-de-prova foi determinada por meio da Equação 5, exibida por SANTOS (1989):

$$MEA(g/cm^3) = \frac{M_s \times \rho_L}{M_u - M_i} \quad (5)$$

Onde: M_s = massa do corpo de prova seco (g)

M_u = massa do corpo de prova úmido (g)

M_i = massa do corpo de prova imerso em água (g)

ρ_L = massa específica da água em (g/cm³)

Para os ensaios de Porosidade Aparente (PA) e Absorção de Água (AA), utilizou-se uma balança de precisão de marca: EVEN, modelo: BL-320AB-BI, para se obter a massa do corpo seco. Os corpos de prova foram colocados em um recipiente de alumínio com água

fervente por duas horas. Em seguida foi determinada a massa úmida. E finalmente, colocou-se a balança em um aparato de madeira conjuntamente com uma haste de aço usada como suporte para a pesagem do corpo de prova que será imerso em água.

3.3.4 Retração linear de queima

Com um paquímetro foram determinadas as dimensões dos corpos de prova a verde (após secagem a 110 °C, por 24 horas) e após queima, para todas as formulações. A retração linear de queima (RLQ) foi determinada por meio da Equação 6, exibida por SANTOS (1989):

$$RLQ(\%) = \frac{C_s - C_q}{C_s} \times 100 \quad (6)$$

Onde: C_s = comprimento do corpo de prova após secagem (cm)

C_q = comprimento do corpo de prova após queima (cm)

3.3.5 Produção dos corpos de prova

A produção dos corpos de prova (CP's) foi executada de maneira manual em molde metálico. Utilizando a mistura (massa argilosa + chamote) com as determinadas porcentagens moldou-se blocos retangulares em molde metálico. Avaliou-se o tempo de secagem, a existência de gradientes de umidade, o comportamento de queima (aparecimento de trincas e rachaduras, deformação, etc.) e sua habilidade em armazenar água (o que está diretamente relacionado à porosidade da peça).

3.3.6 Produção do corpo de prova no molde retangular

A preparação das composições foi produzida com a incorporação de chamote nas quantidades de 0, 5, 10, 15, 20 e 25% em massa. Foram preparados 3 corpos de prova de cada composição. O valor padrão inicial estabelecido foi o de 160 gramas de argila. A tabela 01 apresenta as composições que foram usados nos corpos de prova. A produção dos referidos CP's, foi realizado no Laboratório de Química da Universidade Federal do Pará, *Campus Ananindeua*.

Na produção dos CP's as incorporações só ocorreram até 25% de teor de chamote por falta de matéria prima, por esse motivo não foram feitas as formulações de 30%, 35%, 40%, 45% e 50%, pois devido a distância do município e a logística não foi possível adquirir mas material.

Tabela 01 – Composição inicial para a produção dos CP's (blocos).

| | 0% | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Argila | 160 g | 152 g | 144 g | 136 g | 128 g | 120 g |
| Chamote | 0 g | 8 g | 16 g | 24 g | 32 g | 40 g |
| TOTAL | 160 g | 160 g | 160 g | 160 g | 160 g | 160 g |

Fonte: Autoria Própria (2018).

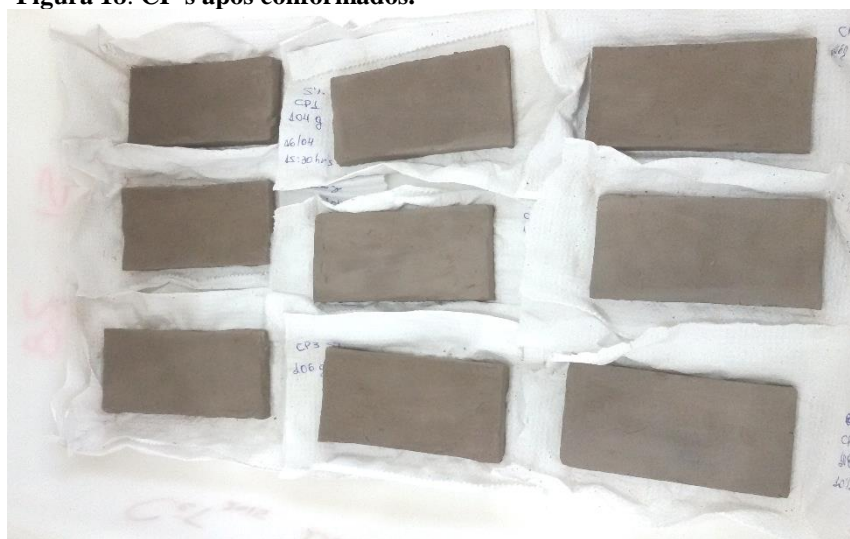
A tabela 02 apresenta as massas de cada corpo de prova em suas respectivas porcentagens e a composição da mistura total, para a produção do corpo de prova, porem o mesmo teve massa inferior das composições iniciais.

Tabela 02 – peso dos CP's produzidos.

| | 0% | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CP 1 | 106 g | 104 g | 106 g | 108 g | 106 g | 106 g |
| CP 2 | 102 g | 100 g | 102 g | 100 g | 108 g | 108 g |
| CP 3 | 102 g | 106 g | 108 g | 102 g | 102 g | 108 g |

Fonte: Autoria Própria (2018).

Logo após a conformação dos CP's, foram imediatamente pesados e alocados em bandejas plásticas deixados descansando por 7 dias (Após esse período esse material seria lixado e levado ao forno pra a queima, porém , por falta de forno mufla que ficasse 24 horas a 1000°C , tivemos que esperar na fila no laboratório do IG de análises químicas da UFPA *campus* Guamá, pois, no laboratório da UFPA *campus* Ananindeua só poderiam ficar no forno por 6 horas apenas e não era esse o objetivo da pesquisa, essa espera durou 30 dias, por esse motivo os CP's tiveram essa variação de peso). Em seguida os Cp's foram lixados com lixa 100mm para remoção das imperfeições decorrentes da moldagem e pesados novamente. Como a figura 18 ilustra.

Figura 18: CP's após conformados.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Na tabela 03 apresenta os pesos dos CP's após serem lixados.

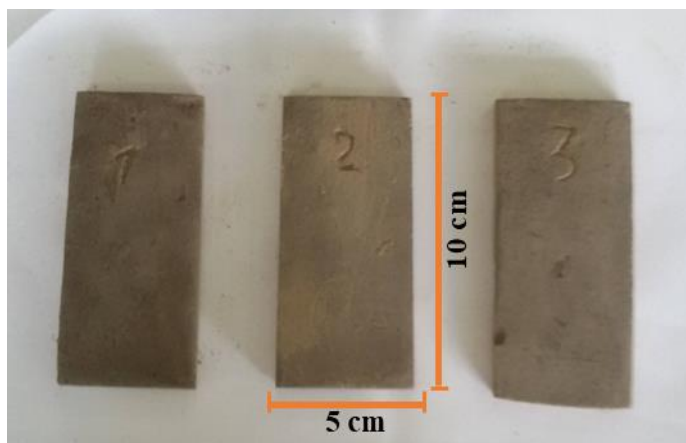
Tabela 03 – peso dos CP's depois da secagem.

| | 0% | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% |
|------|------|------|------|------|------|------|
| CP 1 | 76 g | 76 g | 82 g | 82 g | 84 g | 82 g |
| CP 2 | 74 g | 74 g | 78 g | 76 g | 70 g | 75 g |
| CP 3 | 72 g | 78 g | 86 g | 78 g | 80 g | 82 g |

Fonte: Autoria Própria (2018).

Verifica-se na tabela 03 em relação ao peso inicial que houve uma relevante perda de água e também devido ao lixamento de todas as áreas, no qual se pode notar a diferença de peso. As figuras a seguir mostram os CP's lixados antes de entrarem ao forno, figura 19 com CP's de 100% argila, figura 20 com CP's 5% de chamote, figura 21 com CP's de 10% de chamote, figura 22 com CP's de 15% de chamote, figura 23 com 20% de chamote e figura 24 com 25% de chamote.

Figura 19 - CP's 100% argila após lixados.



Fonte: Autoria Própria (2018). Retirar a caneta da figura

Figura 20 - CP's 5 % de chamote após lixados.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 21 - CP's 10 % de chamote após lixados.



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 22 - CP's 15 % de chamote após lixados.



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 23 - CP's 20 % de chamote após lixados.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 24 - CP's 25 % de chamote após lixados.



Fonte: Autoria Própria (2018).

A queima foi realizada na mufla do laboratório de análises químicas do Instituto de Geociência, em temperatura 1000 °C. tabela 04 mostra o peso dos corpos de prova após sua queima na mufla.

Tabela 04 – peso dos CP's depois da queima.

| | 0% | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% |
|------|----|------|------|------|------|------|
| CP 1 | - | - | - | 70 g | 72 g | 72 g |
| CP 2 | - | - | - | 64 g | 60 g | 66 g |
| CP 3 | - | 60 g | 64 g | 68 g | 68 g | 72 g |

Fonte: Autoria Própria (2018).

Observa-se após a queima, houve perda de 7 CP's, todos os de 100% argila, 2 de 5% e dois de 10%. Durante a retirada do material do forno rapidamente para não o contaminar perdeu-se uma porção do material, por esse motivo não foi possível pesar o material que não resistiu à temperatura. A produção dos mesmos foi realizada com o objetivo de analisar e obter as propriedades tecnológica do material. Como: absorção de água, massa específica aparente, porosidade aparente e retração linear de queima. A figura 25 mostra os corpos de provas perdidos após a queima.

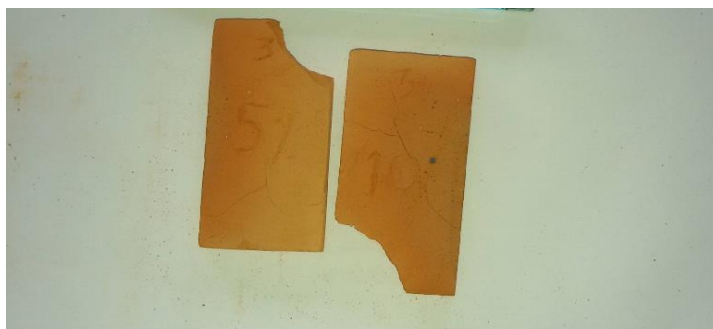
Figura 25 - CP's que não resistiram durante o período de queima e submissão à temperatura de 1000°C no período de 24h.



Fonte: (A) vista lateral da pilha, (B) vista superior da pilha. Autoria Própria (2018).

As figuras a seguir mostram os cp's após queima, figura 26 com cp's 5% e 10% de chamote, figura 27 com cp's de 15% de chamote, figura 28 com 20% de chamote, figura 29 com 25% de chamote. A figura 30 mostra a sequência de todos os cp's que resistiram após a queima.

Figura 26 - CP3 de 5% e CP3 de 10% após a queima que resistiram porem apresentam trincas.



Fonte: Aatoria Própria (2018).

Figura 27 - CP's de 15 % de chamote após queima.



Fonte: Aatoria Própria (2018).

Figura 28 - CP's de 20 % de chamote após queima.



Fonte: Aatoria Própria (2018).

Figura 29- CP's de 25 % de chamote após queima.



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 30 - CP's que resistiram após queima.



Fonte: Autoria Própria (2018).

A Figura 31 mostra a abertura do forno e os cp's que resistiram e os que não resistiram após expostos a temperatura de 1000°C.

Figura 31 - CP's após o período de queima na mufla.



Fonte: Autoria Própria (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização das argilas

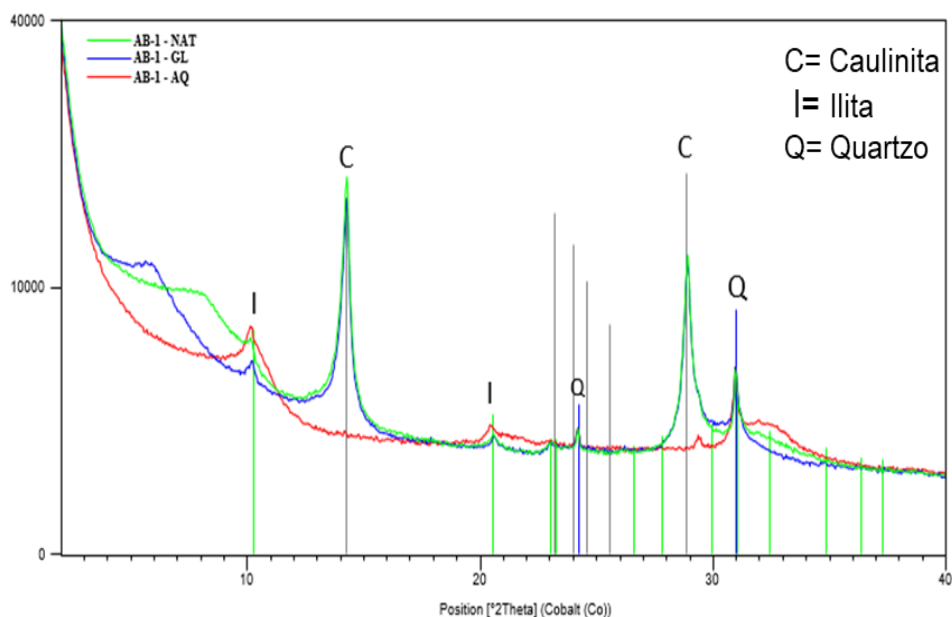
4.1.1 Caracterização Mineralógica

A caracterização mineralógica foi feita por meio do difratograma de raio-X e análise termogravimétrica (TG/ATG)

A) Difractometria de raios-x das matérias-primas

O resultado da Figura 32 mostra fases cristalinas presentes como a caulinita, quartzo e illita. Os picos predominantes são referentes à caulinita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) e ao quartzo (SiO_2) tendo ainda a illita [$K_0, 7Al_2(Si, Al)_4 O_{10} (OH)_2$]. Os picos de quartzo (Q) são evidenciados por sua intensidade, devido ao alto grau de cristalinidade em relação à caulinita e não à sua concentração em si.

Figura 32 - Difrátograma de raio X da Argila AB na lâmina orientada

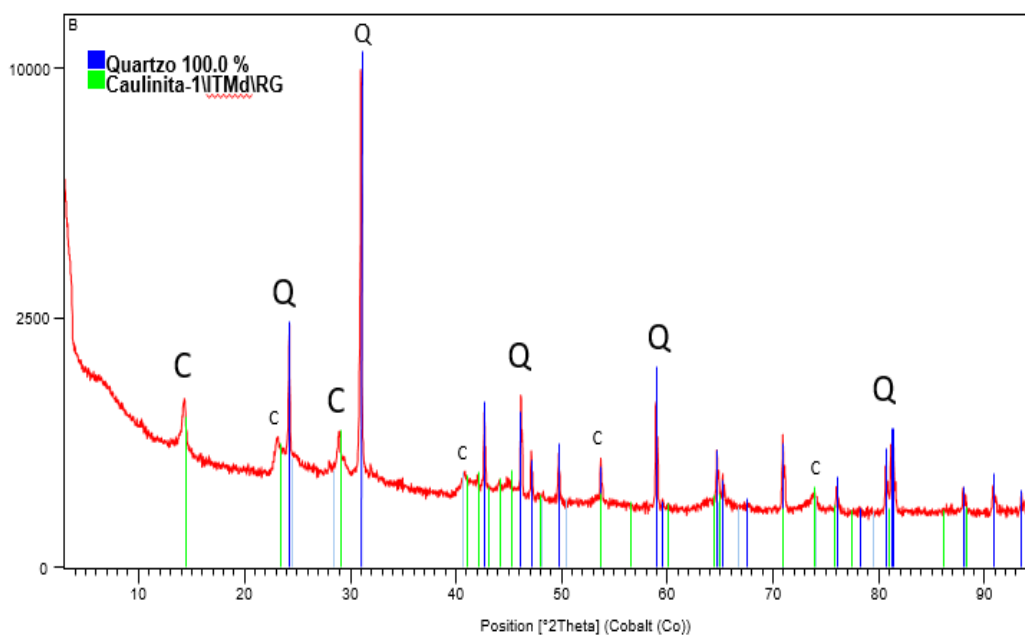


Fonte: Autoria Própria (2018).

A caulinita é o argilomineral triclinico responsável pelo desenvolvimento da plasticidade da argila em mistura com a água (SOUZA, 2007). Quanto ao quartzo presente na argila, é atuante como matéria-prima não-plástica e inerte durante a sinterização.

No difratograma da Figura 33, referido com o método do pó sem a orientação, não apresentou a Ilíta, apenas caulinita e quartzo. O quartzo é predominante na amostra.

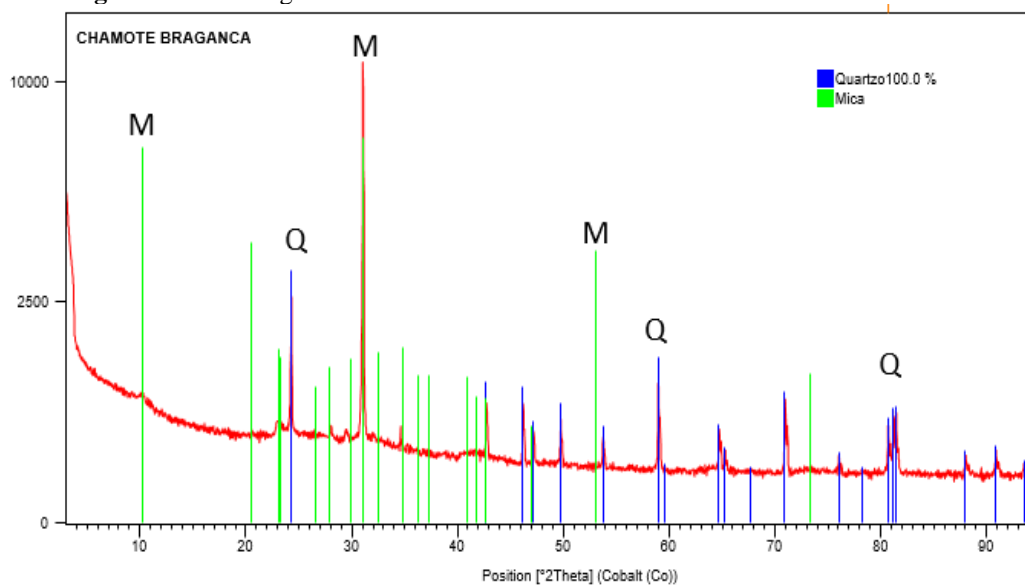
Figura 33- Difratoograma de raio X da argila AB método do pó .



Fonte: Autoria Própria (2018).

No difratograma do chamote, verificou-se a presença de quartzo e mica muscovita. A mica muscovita é um mineral com textura lamelar que pode ocasionar o aparecimento de defeitos nas peças cerâmicas. Em tamanho de partícula reduzido, a mica muscovita pode atuar como fundente devido à presença de óxidos alcalinos. Na Figura 34, o difratograma foi feito no chamote.

Figura 34 - Difratoograma de raio X do Chamote



Fonte: Autoria Própria (2018).

O difratograma do chamote observa-se a ausência de illita e caulinita em relação ao difratograma da lâmina orientada e do método do pó da argila in natura, apresentou mica-muscovita e quartzo devido já ter passado por processo de sinterização.

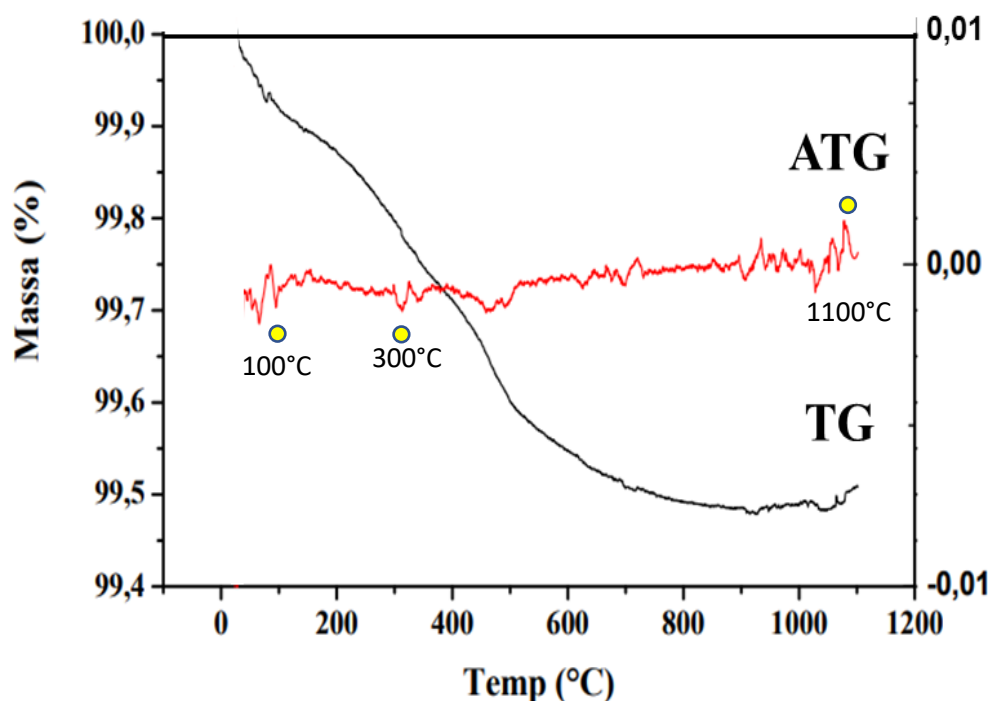
Após a queima a 1000°C, observa-se que a estrutura cristalina da caulinita foi totalmente destruída, mostrando que a queima favoreceu a recristalização, também é observado picos característicos de quartzo após a queima.

A análise de DRX da argila in natura em lâmina orientada, apresentou illita, quartzo e caulinita, na análise de DRX da argila no método do pó não apresentou illita, somente quartzo e caulinita, já na análise do DRX do chamote (peça cerâmica sintetizada) apresentou apenas quartzo, e mica -muscovita, são fases predominantes desse material quando submetido nessa temperatura.

B) Análise termogravimétrica das matérias-primas (TG/ATG)

A curva possibilita a detecção de picos endotérmicos e exotérmicos (efeito devido ao ganho ou perda de entalpia) no material argiloso. O primeiro pico endotérmico, entre 100 e 200 °C, refere-se à saída de água adsorvida fisicamente. A intensidade deste pico é característica de argilas que têm grande quantidade de illita ou montmorilonita. Estes minerais têm maior capacidade de conter água adsorvida nas suas moléculas, apresentando elevada plasticidade. O evento endotérmico com máximo em 300 °C indica a transformação do quartzo alfa para beta, acompanhado de expansão volumétrica. O pico exotérmico em torno de 1100 °C refere-se à nucleação da mullita. Observa-se uma perda de massa de apenas 0.5 % que no gráfico é possível observar uma variação de picos quase que horizontal o que dificulta ver se os picos são endotérmicos ou exotérmicos, conclui-se que provavelmente houve uma descalibração no equipamento antes da execução da análise. A Figura 35 ilustra a curva de análise térmica diferencial TG/ATG da argila em estudo.

Figura 35 – Curva de TG/ATG da argila.



Fonte: Autoria Própria (2018).

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

4.2.1 Fluorescência de Raio-X (FRX)

A análise química foi realizada com o objetivo de avaliar os teores de cada elemento presentes nas amostras representativas da região de São Mateus Bragança. A Tabela 05 apresenta a composição química (expressa em termos do percentual em óxidos equivalentes) e perda ao fogo das amostras respectivas argila e chamote. A sílica e a alumina como óxidos predominantes, associados, sobretudo, aos aluminossilicatos como o mineral argiloso e a mica muscovita. Os óxidos mais expressivos em porcentagem mássica da argila foram: Óxido de silício (SiO_2) com 56,90%, o óxido de alumínio (Al_2O_3) com 22,60% e o óxido de ferro (Fe_2O_3) com 7,75%. Já os óxidos mais expressivos em porcentagem mássica do chamote foram: Óxido de silício (SiO_2) com 64,2%, o óxido de alumínio (Al_2O_3) com 23,00% e o óxido de ferro (Fe_2O_3) com 7,50%. Ou seja, quando comparada as amostras de argila e chamote, temos 7% de (SiO_2) a mais no chamote, e 0,25% de (Fe_2O_3) na argila. Os teores de sílica, óxido de alumínio e de ferro são característicos de matérias-primas para

produção de cerâmica vermelha, o que confirma para a industrialização da mesma, bem como para a obtenção de cerâmica artística de coloração vermelha. Tanto a composição da argila quanto a do chamote apresentaram resultados semelhantes. A perda ao fogo variou 2%, menor no chamote devido ser proveniente de um processo de queima.

Tabela 05 - Composição química da matéria prima estudada (% em peso).

| Composições | Matéria Prima (Argila) | Matéria Prima (Chamote) |
|-------------|---------------------------|-------------------------|
| SiO_2 | 56.90 | 64.20 |
| Al_2O_3 | 22.60 | 23.00 |
| Fe_2O_3 | 7.75 | 7.50 |
| TiO_2 | 1.51 | 1.14 |
| K_2O | 0.99 | 0.89 |
| CaO | 0.13 | 0.08 |
| MnO | 0.018 | 0.016 |
| Zn | 0.04 | 0.043 |
| PF | 6 | 4 |

Fonte: Autoria Própria (2018).

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

4.3.1 Tamanho de partículas da matéria-prima

A distribuição de tamanho de partícula da matéria-prima foi obtida por meio do método de peneiramento e sedimentação por gravimetria. As matérias-primas com características argilosas possuem um tamanho de partícula médio de 2 μm . A matéria prima foi macerada com pistilo e levada ao peneiramento. Vibrador de peneiras verticais da marca SOLOTESTE BETEL.

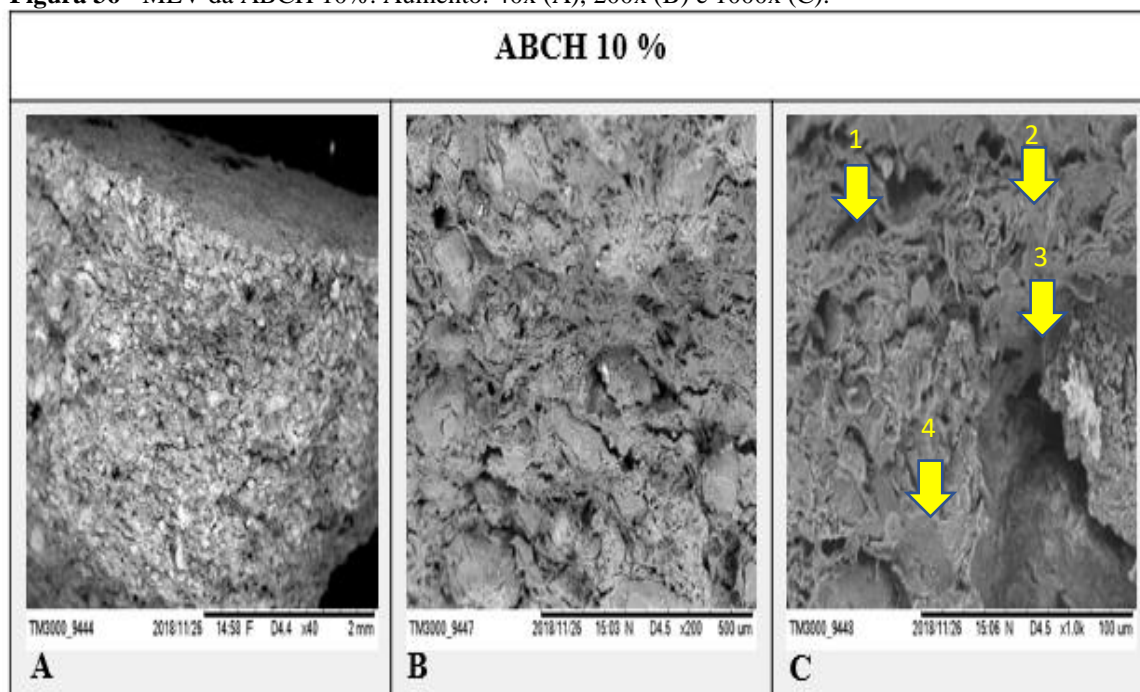
4.4 MEV/EDS

Segundo Vieira et al., (2007) cerâmicas vermelhas queimadas em temperaturas inferiores a 970°C não apresentam uma solidificação estrutural eficiente apresentando regiões de porosidade e rugosidade. Em temperaturas de 1000°C a 1050°C é possível observar áreas, mas lisas, com grãos mais unidos que ocorre provavelmente devido a formação da fase líquida. As amostras analisadas em temperatura de 1000°C, apresentaram uma textura rugosa, quantidade de poros, o que configura a não ocorrência da interconectividade destes poros, a maior porosidade está relacionada ao surgimento de bolhas de gases originados no processo de confecção dos corpos de prova.

A análise por MEV/EDS mostrou que a temperatura usada de 1000°C não permitiu uma formação de fase líquida tão eficiente evidenciando uma granulometria grosseira. foram observadas partículas que podem ter atuado como concentradores de tensão sendo ponto de nucleação de trincas.

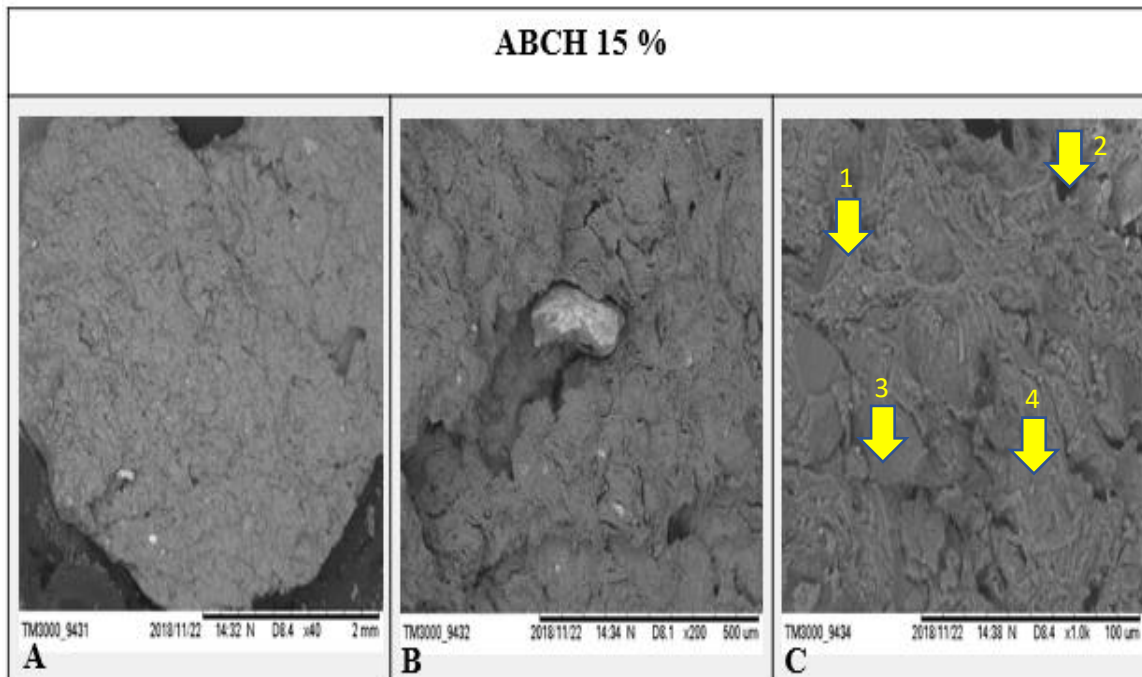
As Figuras 36 a 39 apresentam as micrografias obtidas por MEV/EDS das regiões da cerâmica de Bragança e das formulações com ABCH 10%, ABCH 15% e ABCH 20%, ambas com aumento de 40x, 200x, e 1000x, queimadas a 1000°C. vê-se uma grande fração de partículas finas e uma superfície de fratura com muitas cavidades, e alta porosidade.

Figura 36 - MEV da ABCH 10%. Aumento: 40x (A), 200x (B) e 1000x (C).



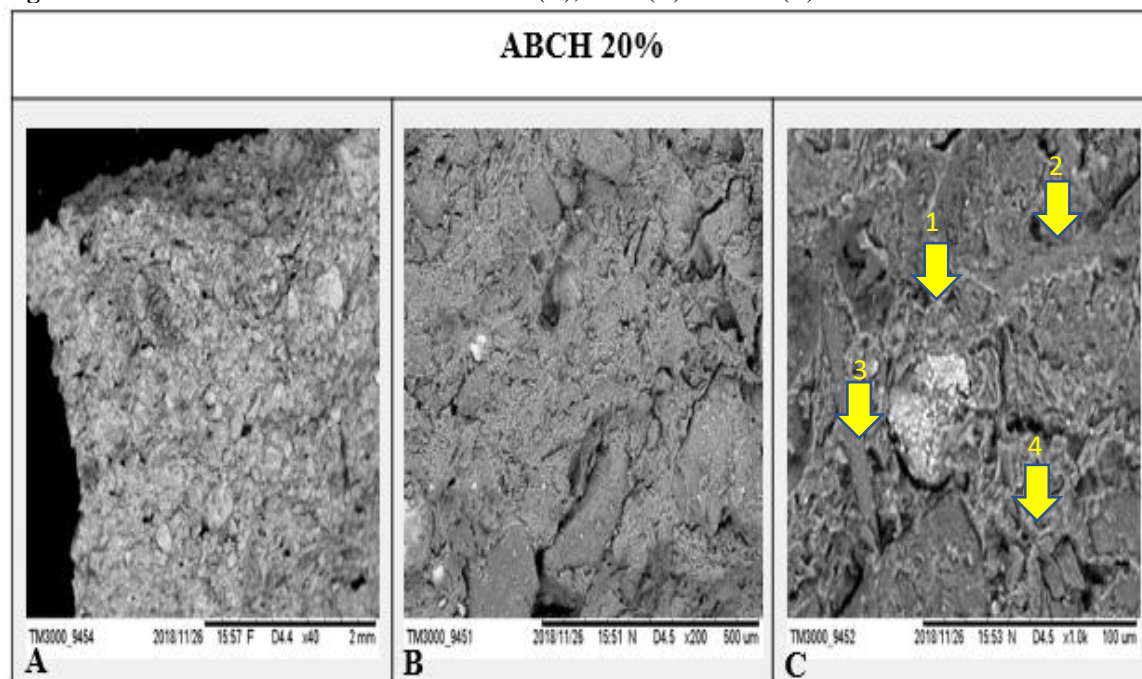
Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 37 - MEV da ABCH 15%. Aumento: 40x (A), 200x (B) e 1000x (C).



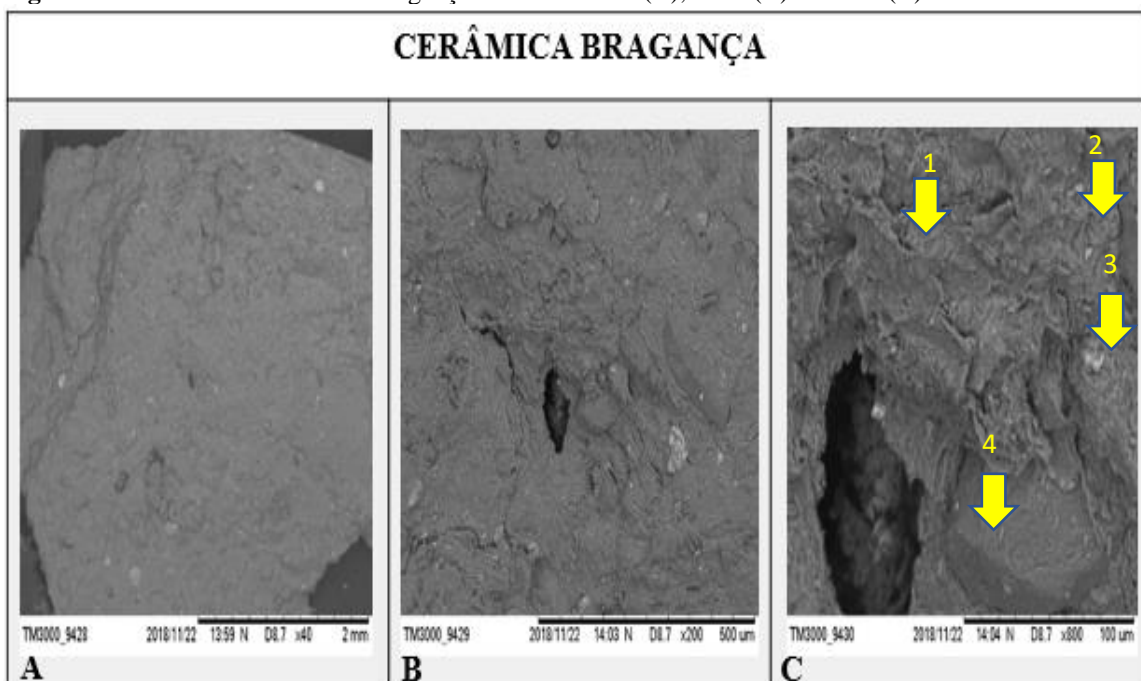
Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 38 - MEV da ABCH 20%. Aumento: 40x (A), 200x (B) e 1000x (C).



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 39 - MEV da cerâmica de Bragança. Aumento: 40x (A), 200x (B) e 1000x (C).



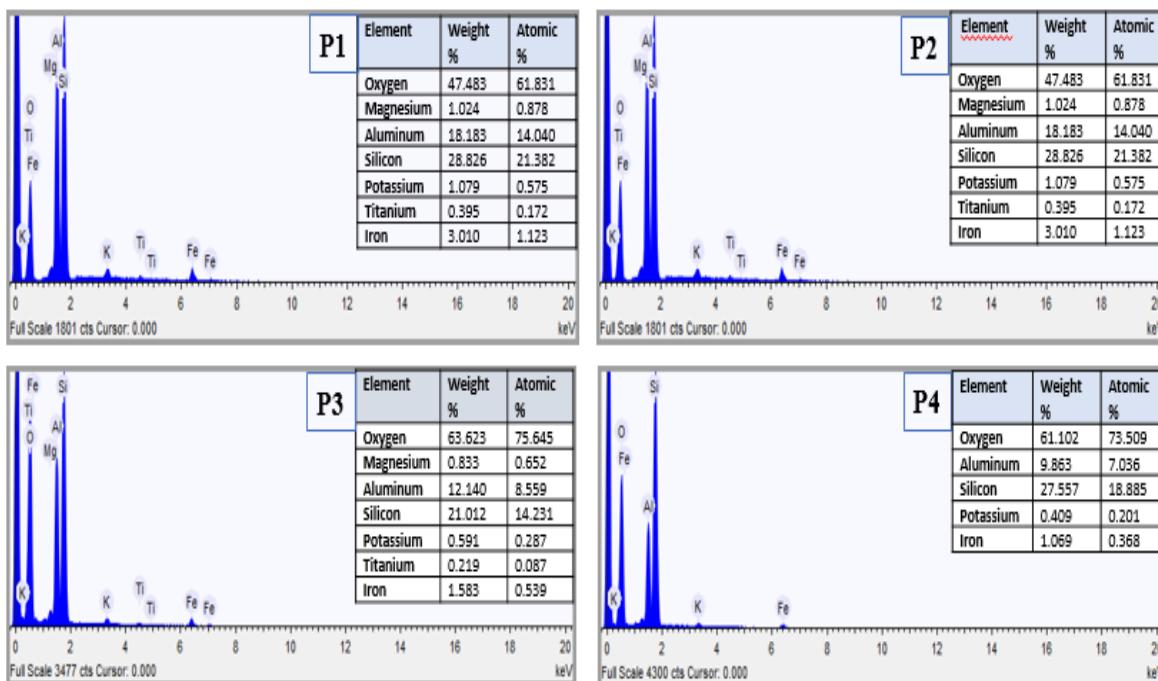
Fonte: Autoria Própria (2018).

A análise de MEV/EDS foi feita em 4 pontos diferentes : figura 40 apresentou nos pontos P1,P2 e P3, Al, Si, Mg, O, K, Ti e Fe, e no P4 apresentou O, Al, Si, K e Fe; na figura 41 apresentou em P1 e P4 O, Al, Si ,Mg e K, P2 e P3 apresentaram O, Al, Si ,Mg e K ,Ti, Fe; figura 42 apresentou nos 4 pontos Al, Si, O, Mg, K, Ti; figura 43 apresentou em P1 e P3, O, Al, Si, K e Fe, não os pontos P3 e P4 apresentou O, Al, Si, K, Fe, Mg e Ti. Podem-se observar trincas e poros.

As amostras apresentaram uma maior quantidade de Si, referente a plasticidade. Em relação a presença do elemento Fe, a amostra ABCH 15% apresentou maior percentual (19%) e a amostra Cerâmica Bragança com (6%). O elemento Fe é responsável pela coloração vermelha do produto cerâmico. O alto teor do oxigênio em todas as amostras, pode ser explicado, pela presença deste elemento na estrutura cristalina dos óxidos e dos silicatos que compõem às amostras.

Figura 40 – EDS do CP ABCH 10%. Pontos: (P1), (P2), (P3), e (P4).

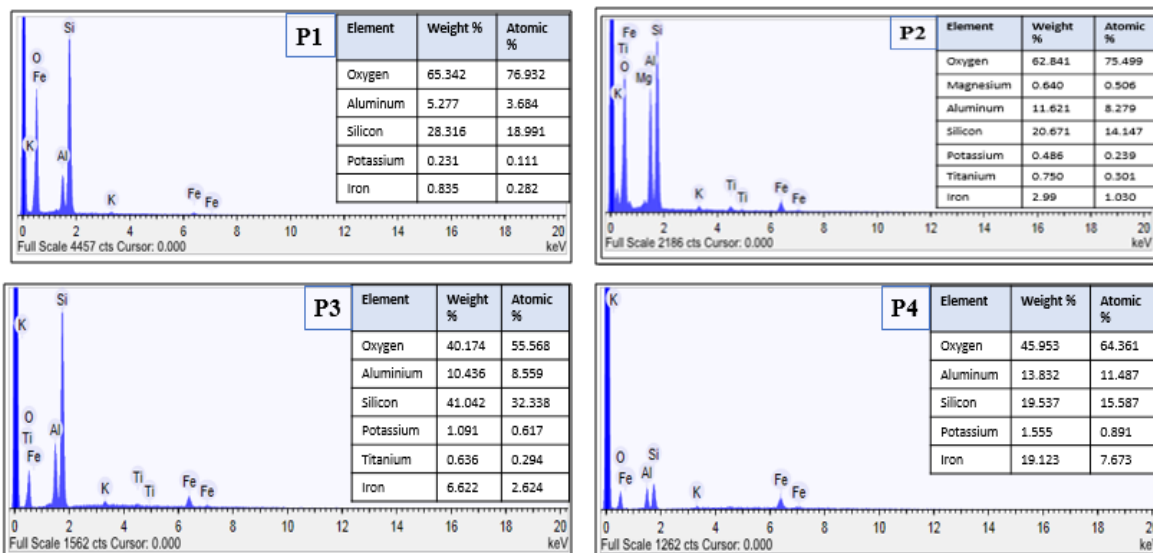
EDS do CP ABCH 10%



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 41 – EDS do CP ABCH 15%. Pontos: (P1), (P2), (P3), e (P4).

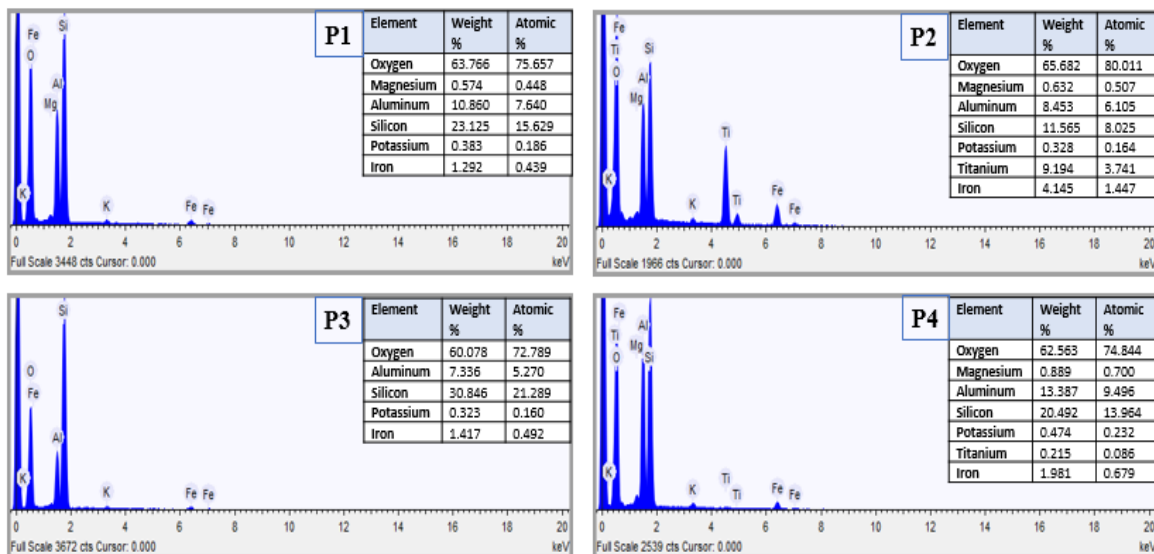
EDS do CP ABCH 15 %



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 42 – EDS do CP ABCH 20%. Pontos: (P1), (P2), (P3), e (P4).

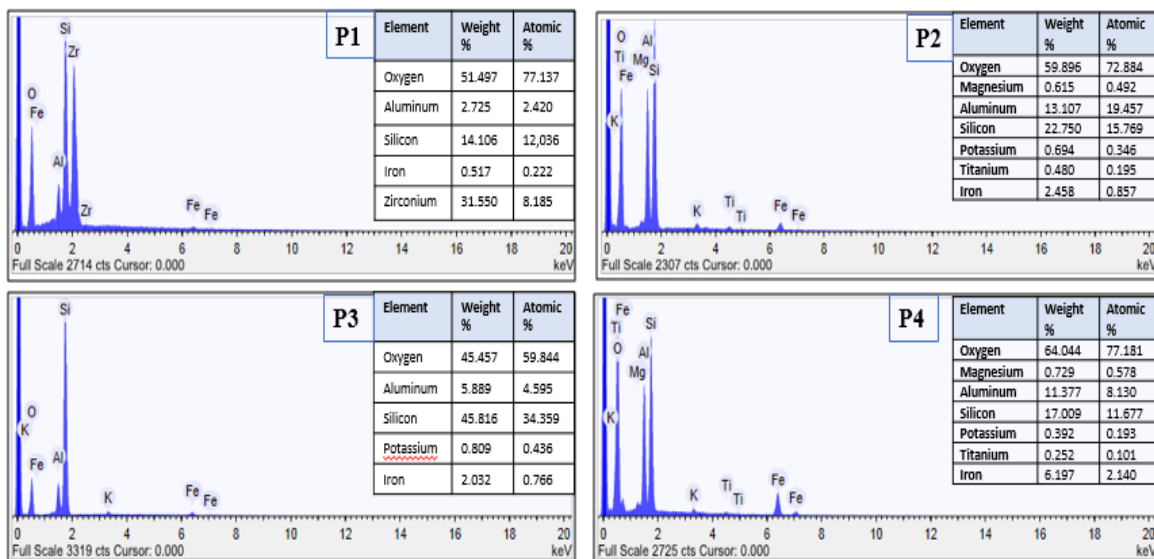
EDS do CP ABCH 20%



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 43 – EDS cerâmica de Bragança. Pontos: (P1), (P2), (P3), e (P4).

EDS CERÂMICA BRAGANÇA



Fonte: Autoria Própria (2018).

4.5 Matéria orgânica

Devido a quantificação da matéria orgânica ter sido executado em perda ao fogo, o valor correspondente não é aproximado, devido a argila conter argilominerais hidratados, que possivelmente perdeu essa água em sua estrutura após ser exposta ao calor de 550 °C.

O resultado obtido verificou-se que mesmo a argila com a coloração clara, comuns em argila com baixa matéria orgânica, o resultado foi expressivamente alto. Perdendo quase que 5% da sua massa ao fogo. O valor de perda ao fogo compreende as OH⁻ dos minerais micáceos presente na amostra.

4.6 Propriedades tecnológicas

Resultados obtidos das características cerâmicas nos corpos de prova são apresentados na Tabela 06. Os valores de retração linear de queima variaram de 2,48 a 5,37%, o que satisfaz o valor máximo desejado e recomendado por Santos (1989) para argilas caulínica, que é de 2 a 17%.

Tabela 06 – Valores médios das características das cerâmicas.

| Composição | PF(%) | AA(%) | PA(%) | MEA(g/cm³) | RLq(%) |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------|---------------|
| 0% | - | - | - | - | - |
| 5% | 23,05 | 10,00 | 17,64 | 1,76 | 5,37 |
| 10% | 25,58 | 9,37 | 16,66 | 1,77 | 5,32 |
| 15% | 14,41 | 12,02 | 20,7 | 1,69 | 4,22 |
| 20% | 14,52 | 16,00 | 26,51 | 1,66 | 3,59 |
| 25% | 14,78 | 16,74 | 27,82 | 1,64 | 2,48 |
| Ref | - | ≤25,00 | ≤35,00 | 1,50 a 2,00 | 2 a 17* |

Nota: PF=Perda de massa ao fogo; AA=Absorção de água; PA=Porosidade aparente; MEA=Massa específica aparente; RLq=Retração linear de queima; Ref= Souza Santos (1989); * valor para argila caulínica.

Fonte: Autoria própria (2018).

O cálculo da perda ao fogo é o método para determinar o teor de materiais orgânicos e da água de cristalização contidos nos constituintes dos materiais para fundição, afim de prevenir defeitos causados por gases.

Todos os outros valores de porosidade aparente encontrados estiveram dentro do máximo permitido segundo SANTOS (1989), ou seja, todos permaneceram abaixo do índice de porosidade máximo permitido para produtos de cerâmica vermelha queimada a uma temperatura de 950°C que é de 35%. A absorção de água em todos os testes não ultrapassou o limite estabelecido pela NBR 15270-3/2005.

A retração linear de queima em todos os testes não ultrapassou o limite estabelecido pela MB-305 ABNT/1984.

De tal modo, sugere-se que o percentual de chamote mais indicado para incorporação à argila é o de 15%, pois apresentou os menores valores de porosidade aparente, absorção de água, perda ao fogo, cor mais acentuada, tendo a massa específica aparente e retração linear de queima dentro dos parâmetros exigidos pelas normas.






O que se tem nas argilas da região de São Mateus- Bragança são matérias-primas com predominância do argilomineral caulinita, que confere boa plasticidade e consequentemente, amplo aproveitamento nas indústrias de cerâmica da região.

4.7 Cor de Queima

A cor de queima teve uma variação na percepção ótica basicamente em tons amarelo escuro, amarelo claro e tom amarelo avermelhado. A presença de cátions de ferro, titânio, manganês, cromo, entre outros, vão determinar a cor final de queima.

A adição com 15% de chamote resultou numa tonalidade mais avermelhada que as outras, por consequência a transformação de compostos de ferro presentes na matéria-prima quando submetidas à atmosfera oxidante, assim como os corpos cerâmicos que resistiram de 5% e com 10% de chamote manifestaram também tons avermelhados. Sendo que estes dois apresentaram muitas rachaduras/trincas por toda sua extensão. Os corpos cerâmicos compostos 100% argila não resistiram, dois dos três corpos cerâmicos de 5% e 10% também não resistiram. Esse fato ocorreu talvez pela não homogeneidade das massas na etapa de mistura. Houve uma escala de cor que foi possível verificar durante a observação, quanto mais chamote na formulação, mais claro o corpo cerâmico após a queima. Corpos cerâmicos, mas claros verifica-se com 25% de chamote, enquanto que os de 15% apresentaram-se mais escuros. A adição de 15% de chamote já indica reações químicas, traduzidas pela cor de queima. No quadro 01 são apresentadas as cores obtidas após a queima a 1000°C por 24h.

Quadro 01 - Cor de queima dos corpos cerâmicos conformados para a temperatura de queima à 1000°C.

| | | | | |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| 5% ACH | 10% ACH | 15% ACH | 20% ACH | 25% ACH |

Fonte: Autoria própria (2018).

É possível afirmar que as formulações pertinentes a resistirem a uma temperatura de 1000°C se dá a partir da adição de 15% de chamote a massa argilosa. A 1000 °C é a temperatura em que iniciou a liberação de ferro bivalente, que por oxidação passa a ferro trivalente responsável pela cor vermelha. Segundo Roveri. C. D et al., (2007) Pode-se concluir que com esta temperatura nos corpos de prova analisados, a mudança na coloração relaciona-se por intermédio da liberação de Fe^{2+} presentes no argilomineral ilita, porém a verificação da influência do ferro presente se dá acima de 1000°C.

5 CONCLUSÕES

Efeitos da incorporação do chamote no processamento e microestrutura da cerâmica utilitária do município de Bragança-pa revelou que:

A argila in natura é constituída, por caulinita, quartzo e illita. O chamote apresentou quartzo e muscovita.

A caracterização físico-química e morfológica da argila São Mateus Bragança-Pa, pré e pós queima foi eficaz para o entendimento da matéria-prima cerâmica com fins artísticos. A matéria-prima apresentou plasticidade adequada para conformação de produtos cerâmicos por conformação manual ou técnicas hidroplásticas.

A análise mineralógica confirmou a predominância da fase illita, características de alta plasticidade.

A incorporação do chamote no processamento e microestrutura da cerâmica utilitária do município de Bragança-pa mostrou-se eficiente, considerando que os corpos de prova produzidos com todas as formulações para o entendimento do efeito da incorporação (argila + chamote) apresentaram suas particularidades e chegou-se ao objetivo com a formulação semelhante à cerâmica utilitária.

Os estudos dessas formulações permitiram a disponibilização de maiores informações sobre a argila do município de Bragança-PA. Tem-se um trabalho com panorama mais geral sobre as características dessa argila, bem como cada composição das formulações produzidas e estudadas se comportam após a queima. Sucintamente pôde-se provar que a massa cerâmica sem mistura ou com baixos teores de chamote, quando submetida à temperatura aqui estudada pelo período usualmente utilizado nas olarias, não resiste e estoura. Porém, comprova-se que a incorporação do chamote à massa argilosa a partir de 15% permite um melhor comportamento do material, sendo que com 15% de teor de chamote comparado com as outras porcentagem, o efeito adquirido é comprovadamente o melhor em relação a qualidade do material.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Segue aqui algumas sugestões de trabalhos futuros que poderão ser executadas tomando como base este estudo, como:

- ❖ Processo em escala industrial das peças de cerâmica utilitárias.
- ❖ Caracterização ambiental das peças de cerâmica utilitária com foco no estudo sobre o potencial poluidor e emissão de gases durante o processo da queima.
- ❖ Estudo sobre a temperatura do forno na olaria.
- ❖ Produção das formulações de 30%, 35% 40% 45% e 50%.
- ❖ Estudo mecânico de resistência à flexão de todas as formulações aqui produzidas.
- ❖ Estudo químico sobre o tingimento das peças utilitárias com o uso da folha da goiabeira, qual o papel e função desse tingimento, estudo do cozimento dos alimentos e quais as consequências dos mesmos expostos a essa anti-aderência.

REFERÊNCIAS

ABCERAM. Associação Brasileira de Cerâmica. Informações técnicas: processo de fabricação. 2016. Disponível em: < <http://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>>. Acesso em 28 abr. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 7181**: Determinação da Análise Granulométrica de Solos, Rio de Janeiro, RJ (1984).

_____. **ABNT NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

_____. **ABNT NBR MB-305**: Retração por Secagem. Rio de Janeiro-RJ (1984).

_____. **ABNT NBR 7181**: Determinação da análise granulométrica dos solos. Rio de Janeiro, (1984).

_____. **ABNT NBR 6480-85**: Cerâmica - Determinação da Massa e da Absorção de Água. Rio de Janeiro-RJ (1985).

_____. **ABNT NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, (1995).

_____. **ABNT NBR 15270: 3/05**: Componentes Cerâmicos-Parte 3: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural e de Vedação-Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro (Brasil): Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA - ABC. (2003). **Anuário Brasileiro de cerâmica**. São Paulo. p. 5-8. (v. 1).

AMERICAN ASSOCIATION OF CERAMICS. Disponível em: www.ceramics.org. Acessado em 21 de agosto de 2010.

ASKELAND, DONALD R. Ciência e engenharia dos materiais. 3. ed. São Paulo: Cengage learning, 2015.

BELTRÁN. V, FERRANDO. E, J. GARCÍA.J Y SÁNCHEZ.E, *Tile & Brick Int.* **11**, 3 (1995) 169.

BRADLEY, G. W. Cholate minerals, in: **X-ray Identification and Crystal Structure of Clay Minerals**, 2ªed., p. 244, por G. Brown, Mineralogical Society, 1961.

BRADLEY, William Frank.; GRIM, Ralph E. **Mica Clay Minerals**, em “**X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals**”, 2ª ed., G. Brown, Mineralogical Society, 1961.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências**. Brasília, 2010.

BERGAYA, F.; THENG, B. K. G.; LAGALY, G. **Handbook of clay science**. Amsterdam:Elsevier,2006.

CANDIDO. V. S, PINHEIRO. R. M, SMONTEIRO. S. N, C. M. F. Vieira, Desenvolvimento de adoquim cerâmico com argilas caulínicas, chamote e argilito. **Cerâmica** 59 (2013) 310-316.

CANDIDO, V. S. **Utilização de Argilito e Chamote de Blocos de Vedação na Composição de Massa de Pavimento Intertravado Cerâmico-Adoquim**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Campos dos Goytacazes–RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 156p, 2012.

CAMPELO, N.S.; et al. Estudo da Utilização de Resíduo Cerâmico Queimado (“Chamote”) Oriundo do Pólo Oleiro dos Municípios de Iranduba e Manacapuru - AM, como Aditivo na Fabricação de Telhas. **Cerâmica Industrial**, v.11, n.1, p.44-46, jan/fev.2006.

CALLISTER, W.D. Jr., (2016). **Ciência e Tecnologia de Materiais: uma introdução**. 8 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

BARRY C. C, GRANT N. M, SPRINGER. **CERAMIC MATERIALS: SCIENCE AND ENGINEERING**, 2007 (Principal)

COELHO, A. C. V.; SANTOS, P. S. Argilas especiais: o que são, caracterização e propriedades. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 146-152, 2007.

CASTRO, R. J. S., SOARES, R. A. L., NASCIMENTO, R. M. revista matéria V17N4. **Produção de revestimento cerâmico semi-poroso com adição de chamote de telhas**. ISSN 1517-7076 artigo 11487, pp.1166-1175, 2012.

COSTA, FRANCISCO EMERSON VALE. C339g **Gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Caeté / Pará – Brasil / Francisco Emerson Vale Costa**. - Presidente Prudente: [s.n], 2017. 313 f.: il

CPRM-Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais; Ministério de Minas e Energia; Secretaria de Minas e Metalurgia; Informações para gestão territorial -GATE. Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia-PRIMAZ. **Mapa Geológico e Mapa de Favorabilidade para tipos de Jazimentos Minerais**. MUNICIPIO DE BRAGANÇA.1998.

DEER, W. A; HOWIE, R. A; Zussuman – **An Introduction to the Rock- Forming Mineral**, Logman Group Ltd, p. 340 – 355, London, 1975.

FUNASA: Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3º. ed.- Ministério da Saúde - Brasília, 2007. 408p.

BARSOUM. M. W, TAYLOR & FRANCIS . **FUNDAMENTALS OF CERAMICS**, Series in Material Science and Engineering, 2002 (complementar)

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latos solos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 515-524, 1999.

FERNANDES, Cláudio. "**Natureza Humana e Tecnologia**"; *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/historiag/natureza-humana-tecnologia.htm>>. Acesso em 16 de dezembro de 2018.

FERNANDES P. F., “**Reaproveitamento do lodo da estação de tratamento de tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica**”, M.Sc ., UFSC, SC, Brasil, 2002.

GRIM, R. E. Propriedade de Argilas. **Cerâmica** 9(35),18(1963).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016). Disponível em< www.ibge.gov.br> Acesso: 29 de novembro. 2017.

KINGERY. D.W, BOWEN. H. K, DONALD R. U. INTRODUCTION TO CERAMICS, 2a. Edição, Wiley-Interscience, 1976 (Principal)

KOMLJENOVIC, M., BASCAREVIC, Z., MARJANOVIC, N., *et al.* “**External sulfate attack on alkali-activated slag**”, *Construction and Building Materials*, v. 49, pp. 31–39, 2013.

MACEA - **Cerâmica Técnica LTDA**. Disponível em< <http://www.macea.com.br/noticias/a-historia-da-ceramica>, > Acesso em: 31/10/2017)

MAIA, F. S. **Avaliação de massas cerâmicas, processamento e propriedades dos produtos de cerâmica vermelha do pólo cerâmico de Campos dos Goytacazes**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2012.

MENDES, Adriana de Nazaré Moraes Mendes de “**Qualidades intrínsecas para inovação de produtos em piso e revestimento de cerâmica vermelha do APL de São Miguel do Guamá** ”2008.

DAVID RICHERSON, MODERN CERAMIC ENGINEERING: PROPERTIES, PROCESSING, AND USE IN DESIGN, 3a. Edição, **Materials Engineering** v. 29, CRC Press, 2005 (complementar)

MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G. M. C. Efeitos da agitação mecânica e matéria orgânica na análise granulométrica do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 680-685, 2011.

MODESTO, C., BRISTOT, V., MENEGALI, G. Obtenção e caracterização de materiais cerâmicos a partir de resíduos sólidos industriais, **Cerâmica Industrial**, v8, pp. 14-18, jun/ago. 2003.

MORENO. M. M. T., BARTOLOMEU. D., LIMA. D. R. H. C. Análise do comportamento de queima de argilas e formulações para revestimento cerâmico, **Cerâmica** 55 (286-295) 2009.

MUÑOZ. L. S, CAVA. S. S, PASKOCIMAS. C. A., et al.” Modelamento do processo de gresificação de massas cerâmicas de revestimento”, **Cerâmica** 48 (308) Out/Nov/Dez 2002.

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. 186f. Tese (Doutorado Faculdade de Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.

PEREIRA, R.L. 2002. **Resíduos Sólidos Industriais: Uma Fonte Alternativa na Elaboração de Materiais Cerâmicos de Baixa Densidade.** Tese de Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Avançados - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas – CCT, 106p.

CHIANG .Y. M, BIRNIE .D. P. III, KINGERY .W. D, JOHN WILEY & SONS .PHYSICAL CERAMICS, , New York, 1997. (complementar)

PRACIDELLI. S, MELCHIADES. S. F. G. **Cerâmica Industrial** 2, 1-2 (1997) 31.

ROCHA, F. N.; SUAREZ, P. A. Z.; GUIMARÃES, E. M. **Rev. Virtual Quim.**, 2014, 6 (4), 1105-1120. Argilas e suas Aplicações em Utensílios e Materiais Cerâmicos. Data de publicação na Web: 12 de junho de 2014.

ROCHAS & MINERAIS INDUSTRIAIS USOS E ESPECIFICAÇÕES cetem-mct centro de tecnologia mineral ministério da ciência e tecnologia Rio de Janeiro2005. Uploaded by gldias on Mar 02, 2013.

ROVERI.C. D, ZANARDO. A, MORENO. M. M.T. Variação da cor e propriedades cerâmicas com o aumento da temperatura de queima de uma argila proveniente da formação Corumbataí, região de Piracicaba, SP) **Cerâmica** 53 (2007) 436-441.

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.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas**, Vol. 1. Sao Paulo: Edgard Blucher, 1989.

SEBRAE, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Cerâmica Vermelha, Estudo de Mercado. Relatório, 2016.Disponível em<<http://www.redeaplmineral.org.br/biblioteca/ceramica-vermelha/NT00038DA6.pdf>>Acesso :17/11/2017.

SCHALCH, V.; LEITE, W. C. de A.; FERNANDES JUNIOR, J. L.; CASTRO, M. C. A. **A. Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.** São Carlos (SC), 2002. Universidade

de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento da USP, (Apostila).

SOUZA SANTOS, P. – **Tecnologia de Argilas**, Vol. 1 - fundamentos, Ed. Da USP Ed. Edgard Blücher Ltda 1975.

SOUZA, V. P. (2007). **Análise dos gases emitidos na produção de cerâmicas com adição de resíduos industriais**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense. 74 p. Campos dos Goytacazes.

SOARES, R. A. L., CASTRO, R. J. S., NASCIMENTO, R. M. “Influência do Teor de Calcário no Comportamento Físico, Mecânico e Microestrutural de Cerâmicas Estruturais” **Cerâmica Industrial**, v. 15, n. 2, pp. 41-45, março/abril. 2010.

TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. Controle Ambiental de Resíduos. In: PHILIPPI Jr, A.; ROMÉRO, M. de A.; BRUNA, G. C. Curso de Gestão Ambiental, Barueri, SP: Manole, 2004. (**Coleção ambiental; 1**).

URDINÍNEA, J.S.A. 1977. **Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas, PA. Porto Alegre**. (Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de Ciência dos Materiais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

VICENZI, J. **Efeito da adição de chamota em uma massa cerâmica de argila vermelha**. 1999. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 1999.

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, set.2004.

VIEIRA.C. M. F, SOUZA. E. T. A, MONTEIRO. S. N, **Cerâmica 50** (2004) 254-260.

VIEIRA. C. M. F, TEIXEIRA. S. S, MONTEIRO. S. N, **Cerâmica 55** (2009) 332-336.

VARELA. Márcio Luís. **Desenvolvimento de uma metodologia para análise mineralógica racional de argilomineral**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

WEBER, I. T.; GOMES, J. W.; MARIANO, W. A.; MARTINS H. L. Z.; LONGO, E. “Metodologia para cerâmica artística artesanal” – **anais do XV CBECIMAT** – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos materiais, 2002, Natal – RN.

ZANARDO.A, MORENO. M. M.T, ROVERI. T. C. D, MASSON.M. R, BERNARDES. E. S, **Anais XLII Cong. Bras. Geologia, SBG, Araxá, MG** (2004) S02: 344.

ZANETI, I. C. B. B. Educação Ambiental, Resíduos Sólidos Urbanos e Sustentabilidade. Um Estudo de Caso Sobre o Sistema de Gestão de Porto Alegre, RS. 2003. Tese (Doutorado) - Departamento de Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.