



INSTITUTO FEDERAL
Piauí



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ÊNIO VIEIRA ALVES DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA DE BELICE, EM MIGUEL
ALVES (PIAUÍ), PARA A PRODUÇÃO DE CERÂMICA
VERMELHA

TERESINA
2024

ÊNIO VIEIRA ALVES DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA DE BELICE, EM MIGUEL
ALVES (PIAUÍ), PARA A PRODUÇÃO DE CERÂMICA
VERMELHA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PPGEM) do Instituto Federal do Piauí, como parte integrantes dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Caracterização de Materiais

Orientador: Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes

Coorientadora: Prof^a. Dr^a Naedja Vasconcelos Pontes

**TERESINA
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Silva, Ênio Vieira Alves da

S586c Caracterização da argila de belice, em Miguel Alves (Piauí), para a
aprovação de cerâmica vermelha / Ênio Vieira Alves da Silva. - 2024.
84 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2024.

Orientador : Prof Dr. Érico Rodrigues Gomes.

1. cerâmica tradicional. 2. argilominerais. 3. alvenaria. 4. caracterização.
I. Título.

CDD - 620.1

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

ÊNIO VIEIRA ALVES DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA DE BELICE, EM MIGUEL
ALVES (PIAUÍ), PARA A PRODUÇÃO DE CERÂMICA
VERMELHA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Aprovada em: 19/11/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof^a. Dr^a. Naedja Vasconcelos Pontes (Co-orientadora)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Paulo Borges da Cunha (Avaliador externo)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Gilvan Moreira da Paz (Avaliador Interno)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Decido este trabalho a minha família, em
especial a minha tia/madrinha Cleide Maria (*in
memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade da vida e do estudo para aprimoramento moral, humano e ético.

Agradeço a minha família pelo apoio constante durante a jornada acadêmica, em especial a minha mãe, irmã e a minha tia/madrinha Cleide Maria (*n memoriam*) pelo apoio contínuo e pelos momentos de felicidade.

Agradeço aos servidores do IFPI que de alguma forma colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho, em especial ao meu orientador o Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes e a minha co-orientadora Prof^a. Dr^a. Naedja Vasconcelos Pontes pela paciência e dedicação ao ensino no programa.

Agradeço à parceria entre o CIEPI e o IFPI que permitiu o desenvolvimento deste trabalho de forma técnico-científica.

Agradeço à Cerâmica Santa Vitória pelo subsídio da bolsa durante o período de desenvolvimento da pesquisa, em especial ao Seu Edgar Carneiro, ao supervisor Djarlys, ao técnico de laboratório João, ao seu Ysaú e ao ex-funcionário seu Humberto.

Agradeço as amigadas desenvolvidas dentro do Programa, em especial Naiara, Millena, Sandra, Fernando (o Reitor), Arlon, Ezequiel, Yudson, Ernane, Isa, Teresa e outros.

Agradeço aos meus amigos de graduação que me apoiaram nessa trajetória.

Agradeço à Liduína e ao André por sempre estarem disponíveis para a realização dos ensaios deste trabalho.

Agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram ao meu desenvolvimento acadêmico.

Pai, perdoa-lhes porque não sabem o que fazem”.

Lucas 23:34

RESUMO

Os produtos cerâmicos estão inseridos na sociedade desde a antiguidade, em que serviam para armazenar água, comida, óleos especiais e também uma forma de cultuar deuses. A matéria prima é a argila e em contato com a água adquire plasticidade onde tal propriedade é essencial para a fabricação de peças cerâmicas. A indústria de cerâmica vermelha manufatura produtos que podem ser aplicados na construção civil, no entanto é necessário ter um conhecimento prévio acerca da matéria prima para fins de aplicação. Portanto, o objetivo deste trabalho é caracterizar a argila de uma indústria que fabrica bloco cerâmico de vedação para verificar se o produto final está dentro das normas da ABNT 15270/2017. Para tal, as matérias-primas foram analisadas quimicamente e mineralógicamente, termicamente e tecnologicamente. Os corpos de prova confeccionados foram submetidos às análises de absorção de água (AA), massa específica aparente (MEA), módulo de resistência à flexão (MRF), perda ao fogo (PF), porosidade aparente (PA) e retração linear (RL). O resultado do difratograma apontou muscovita, ortoclásio, quartzo e fosfato de ferro, porém estes últimos em maior teor na argila magra e gorda, respectivamente. As duas argilas apresentaram limite de plasticidade dentro do recomendado, porém apenas a argila gorda obteve um limite de liquidez recomendado pela literatura. Já o índice de plasticidade, a argila gorda foi classificada como medianamente plástica e a magra fracamente plástica. Todos os corpos de prova das formulações F1, F2 e F3 apontaram valores dentro da faixa de recomendação para produção de bloco de vedação. De todas as formulações propostas (exceto as testemunhas), a F2 e F3 indicaram resultados positivos para o MRF.

Palavras chave: cerâmica tradicional; argilominerais; alvenaria.

ABSTRACT

Ceramic products have been part of society since ancient times, when they were used to store water, food, special oils and also as a way of worshipping gods. The raw material is clay and when it comes into contact with water it acquires plasticity, a property that is essential for the manufacture of ceramic pieces. The red ceramics industry manufactures products that can be used in civil construction, but it is necessary to have prior knowledge of the raw material for application purposes. Therefore, the aim of this work is to characterize the clay from an industry that manufactures ceramic sealing blocks to check whether the final product complies with ABNT 15270/2017 standards. The raw materials were analyzed chemically and mineralogically, thermally and technologically. The specimens made were subjected to analysis of water absorption (AA), apparent specific mass (MEA), flexural strength modulus (MRF), fire loss (PF), apparent porosity (PA) and linear shrinkage (RL). The results of the diffractogram showed muscovite, orthoclase, quartz and iron phosphate, but the latter were higher in the lean and fat clay, respectively. Both clays had a plasticity limit within the recommended range, but only the fat clay had the liquidity limit recommended in the literature. As for the plasticity index, the fat clay was classified as moderately plastic and the lean clay as weakly plastic. All the test specimens for formulations F1, F2 and F3 showed values within the recommended range for the production of sealing blocks. Of all the formulations proposed (except for the witnesses), F2 and F3 showed positive results for the MRF.

Keywords: traditional ceramic; clay minerals; masonry.

Lista de Figuras e ilustrações

Figura 1 - Bloco de vedação de seis furos.....	32
Figura 2 - Bloco de vedação de oito e nove furos	33
Figura 3 - Bloco de vedação seco de oito furos.....	34
Figura 4 - Representação dos defeitos de lacunas e interstícios defeitos Schottky e Frenkel.....	36
Figura 5 - Foto da argila gorda e argila magra.....	37
Figura 6 - Mapa de localização da indústria.....	38
Figura 7 - Fluxograma das etapas da metodologia da pesquisa.....	39
Figura 8 - Equipamento destorroador de material.....	40
Figura 9 – Argila gorda e magra peneirada.....	41
Figura 10 – Corpos de prova conformados.....	42
Figura 11 – Representação 3D do corpo de prova.....	42
Figura 12 – Prensa hidráulica.....	43
Figura 13 – Forno laboratorial do IFPI.....	43
Figura 14 – Mesa agitadora.....	44
Figura 15 – Amostra para água de amassamento.....	47
Figura 16 – Amostras antes e depois para água de esfarelamento.....	48
Figura 17 – Amostra para ensaio de plasticidade e da ranhura.....	49
Figura 18 – Cinzel curvo e reto.....	49
Figura 19 – Paquímetro com corpo de prova seco.....	50
Figura 20 – Máquina universal de ensaio de resistência.....	51
Figura 21 – Corpo de prova queimado.....	52
Figura 22 –Equipamento de difratograma de raios-X.....	55
Figura 23 – Equipamento de fluorescência de raios-X.....	56
Figura 24 – Equipamento de termogravimetria.....	57
Figura 25 – Figura do gráfico de granulometria da argila gorda e magra.....	58
Figura 26 – Resultado do ensaio de retração linear total.....	63

Figura 27 – Resultado do ensaio de MRF.....	64
Figura 28 – Resultado do ensaio de perda ao fogo.....	65
Figura 29 - Resultado do ensaio de absorção de água.....	67
Figura 30 – Resultado do ensaio de porosidade aparente.....	67
Figura 31 – Resultado do ensaio de massa específica aparente.....	68
Figura 32 – Difratoograma das argilas gorda e magra.....	69
Figura 33 – Resultado da análise de termogravimetria da argila gorda.....	72
Figura 34 – Resultado da análise de termogravimetria da argila magra.....	73
Figura 35 – Resultado do MEV da argila gorda.....	74
Figura 36 – Resultado do MEV da argila magra.....	75

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Classificação do tipo e grupo dos argilominerais.....	27
Tabela 2 – Formulações dos corpos de prova.....	41
Tabela 3 – Granulometria da argila gorda.....	59
Tabela 4 – Granulometria da argila magra.....	60
Tabela 5 – Teor residual das argilas.....	60
Tabela 6 – Resultado da plasticidade das argilas.....	61
Tabela 7 – Tabela de Jenkins.....	62
Tabela 8 – Resultado da análise de FRX das argilas.....	70
Tabela 9 – Resultado da análise de FRX dos resíduos das argilas.....	71

Lista de siglas e abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AA	Água de amassamento
a.C	antes de Cristo
AG	Argila gorda
AM	Argila magra
CxLxA	ComprimentoXLarguraXAltura
CR	Carga de ruptura
Cu	Cobre
d.C	depois de Cristo
DRX	Difração de raios-X
EC	Ensaio de compressão
F1	Formulação 1
F2	Formulação 2
F3	Formulação 3
F4	Formulação 4
F5	Formulação 5
FRX	Fluorescência de raios-X
ISO	Organização Internacional de Normalização
MEA	Massa Específica Aparente
MEV	Microscopia de Varredura Eletrônica
MRF	Módulo de Resistência à Flexão
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
PI	Piauí
RF	Resistência à Flexão
RL	Retração Linear
TG	Termogravimetria

TGA

Analizador Termogravimétrico

Lista de símbolos

%	Porcentagem
mL	mililitros
kgf	kilograma força
cm ²	centrímetro quadrado
mm ²	milímetro quadrado
N	Newton
n	múltiplo inteiro do comprimento de onda
mg	miligrama
θ	Teta
°C	Graus Celsius
Min	minuto
h	hora
MPa	Mega Pascal
λ	Comprimento de onda
Kg	quilograma

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	19
1.1 JUSTIFICATIVA.....	20
1.2 OBJETIVOS.....	21
1.2.1 Geral	21
1.2.2 Específicos	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 MATERIAIS CERÂMICOS.....	23
2.2 FORMAÇÃO DAS ARGILAS.....	24
2.3 ARGILOMINERAIS.....	26
2.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGILAS.....	29
2.5 BLOCO CERÂMICO DE VEDAÇÃO.....	31
2.6 DEFEITOS EM PRODUTOS DA CERÂMICA VERMELHA.....	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1 LOCALIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA.....	37
3.2 ETAPAS DO PROCEDIMENTO DO MATERIAL.....	38
3.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	39
3.3.1 Preparação da formulação	40
3.3.2 Confecção dos corpos de prova	42
3.4 CARACTERIZAÇÕES DAS MATÉRIAS PRIMAS.....	44
3.4.1 Análise física	44
3.4.1.1 Distribuição granulométrica.....	44
3.4.1.2 Teor de resíduo.....	45

3.4.1.3	Massa específica aparente (MEA).....	48
3.4.1.4	Plasticidade das argilas.....	46
3.4.1.4.1	Água de amassamento.....	47
3.4.1.4.2	Água de esfarelamento.....	47
3.4.1.4.3	Limite de liquidez (LL).....	48
3.4.1.5	Retração linear (RL).....	50
3.4.1.6	Módulo de resitência à flexão (MRF).....	51
3.4.1.7	Perda ao fogo (PF).....	52
3.4.1.8	Absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente.....	53
3.4.2	Análise mineralógica	54
3.4.3	Análise química	55
3.4.4	Análise térmica	56
3.4.5	Análise de microscopia eletrônica por varredura (MEV)	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1	ANÁLISE FÍSICAS	58
4.1.1	Distribuição granulométrica	58
4.1.2	Teor de resíduos	60
4.1.3	Plasticidade das argilas	61
4.1.4	Retração linear (RL)	62
4.1.5	Módulo de resistência à flexão (MRF)	64
4.1.6	Perda ao fogo (PF)	65
4.1.7	Absorção de água, porosidade e massa específica aparente	66

4.2	ANÁLISE MINERALÓGICA.....	68
4.3	ANÁLISE QUÍMICA.....	70
4.4	ANÁLISE TÉRMICA.....	72
4.5	MISCROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA.....	74
5	CONCLUSÕES.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

A produção do material cerâmico é antiga e a sua existência está em torno de 10 mil anos. De origem grega, o termo cerâmica recebe o nome de “kéramos” que significa “terra queimada” ou “argila queimada” e isso traz uma ligação com a história do início da civilização pois é encontrado em escavações arqueológicas. Em resumo, a cerâmica é a produção de artefatos provido da argila em que o material de origem é facilmente moldado quando plástico na presença de água. Após a secagem, que elimina maior parte da água, as peças de cerâmica são submetidas a altas temperaturas e dessa forma àquelas configuram elevada resistência. As temperaturas ultrapassam 800° C (ANICER, 2023).

No Brasil, mais especificamente na Ilha de Marajó no estado do Pará, foi datada por volta de 400 – 1300 dC o início da produção cerâmica. Os índios foram os primeiros povos a trabalharem com a cerâmica e contava com alto nível técnico (mesmo para a época) em que resultava em um material elaborado. A partir daí, deu-se um desenvolvimento no conhecimento, técnica, inovação entre outros. Nos últimos anos, a modernização, a partir da Revolução Industrial, trouxe tecnologias às indústrias de cerâmica no que tange ao melhoramento do processo, aplicação de tecnologias sobre o material, parâmetros de gestão (ANICER, 2023).

O setor de cerâmica possui um leque de segmentos em função dos componentes que participam da cadeia produtiva e um deles é o de cerâmica vermelha, que abrange os materiais utilizados na construção civil (tijolos, telhas, elementos vazados, tubos cerâmicos, lajes, entre outros) de coloração avermelhada. Não obstante a variada produção, cada elemento desse desempenha papel relevante na sua aplicação de modo que entre em harmonia com os demais integrantes perfazendo um conjunto aplicado que resulta em segurança e conforto (ABCERAM, 2022).

Um dos produtos advindos da indústria de cerâmica vermelha é o bloco cerâmico de vedação. Ele compõe a alvenaria que tem por finalidade a resistência ao carregamento da edificação juntamente com elementos estruturais (viga e pilar), trazendo a parede como elemento de dupla função: vedação e resistência. Tais blocos são usados na construção das paredes de vedação. O desempenho do bloco de

vedação depende, além de como vai ser empregado, do tipo de material em que é produzido o elemento porque dessa forma é possível analisar o seu comportamento no processo de manufatura. O produto final necessita estar dentro das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em que perfaz um produto que traz segurança e conforto.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar a matéria prima utilizada na fabricação de bloco cerâmico de vedação extraída de uma jazida localizada na cidade de Miguel Alves – PI.

1.1 JUSTIFICATIVA

Todo produto cerâmico de alvenaria produzido necessita estar em sinergia com as normas da ABNT, que por sua vez rege as diretrizes de fabricação dos produtos. Com base nisso, a peça produzida deve seguir parâmetros, sendo submetida às análises citadas na norma a fim de assegurar que o elemento de vedação esteja compatível com os resultados apresentados na norma regulamentadora.

A ABNT por meio da Norma Brasileira (NBR) de número 15270/2017 exige que o bloco cerâmico de vedação se adeque aos pressupostos desta e um deles cita as características mecânica do bloco, avaliando a resistência à compressão individual. Munido disso, o bloco precisa apresentar o índices irrisórios de defeitos que não comprometam seu comportamento.

Portanto, mediante disto, este trabalho traz a necessidade da caracterização da argila a partir de amostras coletadas porque desta forma é possível levantar dados acerca do comportamento do material nos processos da indústria de cerâmica, bem como prever a presença de defeitos e propor soluções mitigadoras aumentando a qualidade dos blocos cerâmicos de vedação.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Caracterização da matéria-prima utilizada na Cerâmica Santa Vitória, que é uma indústria de cerâmica tradicional localizada na cidade de Miguel Alves, no estado do Piauí.

1.2.2 Específicos

Este trabalho aborda os seguintes objetivos específicos:

- Caracterização química e mineralógica da argila;
- Realizar o ensaio de granulometria;
- Realizar ensaios de caracterização física da argila;
- Realizar ensaios tecnológicos e estruturais no bloco de vedação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O trabalho com a cerâmica data no final do Período Neolítico que vai de 26000 a.C até -5000 a.C. À medida que as civilizações começaram a evoluir, a necessidade por água também veio à tona e com isso foi preciso procurar uma solução para armazená-la bem como mantimentos e, naquela época, a argila era o material que estava disponível. Em contato com uma pequena quantidade de água era possível que o barro adquirisse plasticidade em que permitia a modelagem de inúmeras formas. Foi a partir daí que os primeiros processamentos dos materiais cerâmicos iniciaram (SETZ e SILVA, 2019).

A cerâmica é uma técnica antiga que produz produtos de excelente qualidade, mesmo de maneira artesanal. Porém, com a produção científica e a modernização das fábricas, os processos fabris passaram a gerar produtos com mais qualidade usando menos recursos através de técnicas de gestão. Os primeiros produtos

cerâmicos apresentavam funções simples; atualmente, a partir da modernização do processo produtivo e da caracterização desses, iniciaram o desenvolvimento de materiais cerâmicos inovadores (que são aplicados em diversas áreas) onde deu início à cerâmica avançada, com produtos dotados de alta tecnologia (ALMEIDA *et al.*, 2020; MATENCIO, 2020).

A cerâmica foi utilizada por diversos povos. No Egito, por exemplo, os vasos de cerâmica eram usados para armazenar bebidas, óleos e perfumes para a saudação dos faraós. Já no lado oriental, mais especificamente na China, havia estátuas do Exército de Terracota construídas meticulosamente a partir das expressões dos soldados. Os primeiros trabalhos cerâmicos no Brasil foram desenvolvidos pelos indígenas e aprimorados com a chegada dos portugueses pela introdução do uso do torno. Depois do uso desta tecnologia, as peças confeccionadas apresentavam melhor simetria e acabamento sem requerer muito tempo (SETZ e SILVA, 2019).

Os primeiros objetos advindos da argila tinham um papel representativo das civilizações ao mesmo tempo que marcava a cultura dessa. A ornamentação da argila como artefato cerâmico tinha o intuito de transfigurar, às vezes, figuras de grande poder da época. Na Grécia, a fisionomia dos deuses era reproduzida através de esculturas feitas de argila e desta maneira a figura dos deuses se perpetuava ao longo dos anos. Então, cada civilização tinha uma forma de modelar a argila conforme a época (GARCEZ, 2011).

A argila, matéria-prima da cerâmica, é proveniente das rochas que sofreram alguns processos específicos para forma-la, como por exemplo intemperismo, orogênese, epirogênese e etc. ao passo que, determinado um tipo de rocha submetida a diferentes meios, forma distintos tipos de argila. A definição de rocha pode ser explicada como um agrupamento de minerais oriundos de processos geológicos específicos, constituídos de um ou mais minerais. Já a argila consiste em um sedimento que tem formação por pequenas partículas em torno de 1/256 milímetros de diâmetro e é constituído em sua maior parte por uma mistura de minerais, porém com predominância de um. Estes estão dispostos na forma de sobreposição de lâminas de silicatos de baixa densidade e dureza (BERTOLINO *et al.*, 2009; BRANCO, 2014).

O Brasil possui argila em demasia e de excelente qualidade, no entanto os procedimentos burocráticos ambientais perfaz uma inviabilidade quase concreta. Na

natureza há uma dificuldade de encontrar argila plástica (gorda) ou 100% pura, na maioria das vezes ela vem misturada com outros tipos e materiais indesejados. É de extrema importância o conhecimento da matéria-prima que se deseja utilizar no processo fabril para analisar seu potencial para usos específicos (ARAÚJO, 2020). Ressaltam-se que fatores podem influenciar na qualidade do material extraído e que o transporte dele ao local de armazenamento requer condições adequadas para tal fim.

2.1 Materiais cerâmicos

A presença dos materiais cerâmicos na sociedade data do início da civilização e sua expansão culminou a partir da descoberta do fogo. Os materiais cerâmicos possuem valores estético e industrial: o primeiro envolve o desenvolvimento de peças de caráter estético e o segundo aplicado à engenharia. A cerâmica perfaz a confecção de manufaturados através da argila, com tratamento térmico em elevada temperatura que resulta em peças resistentes (DOBERSTEIN, 2010; ANFACER, 2020).

A argila como principal matéria-prima traz uma infinidade de aplicações no setor da cerâmica vermelha, construção civil, da medicina, automobilístico e outros. São inúmeras variedades de produtos que advém daquela, de forma que sua aplicação também é diversificada. Materiais cerâmicos consistem em compostos formados entre elementos metálicos e não metálicos que, na maioria, são óxidos, carbeto ou nitreto. Possuem rigidez e resistência, além de serem muito duros. No entanto, são frágeis, suscetíveis à fratura e isolantes à passagem de calor e eletricidade (CALLISTER, 2016).

Os materiais cerâmicos têm de uma ampla empregabilidade no setor ceramista, com níveis tecnológicos distintos. São eles: cerâmica vermelha, cerâmica branca (louça sanitária, louça de mesa, isoladores elétricos de baixa e alta tensão) cerâmica avançada, cerâmica artística, cerâmica técnica, materiais refratários, abrasivos, vidro, cimento e cal, cerâmica avançada e finalmente os revestimentos cerâmicos. Todas essas aplicações norteiam e promovem os estudos dos materiais cerâmicos de maneira a exaurir as possibilidades de aplicação. Os materiais cerâmicos também precisam ter boas propriedades mecânicas, resistência à abrasão

e baixa condutividade térmica (OLIVEIRA e HOTZA, 2011; DONDI, RAIMONDO e ZANELLI, 2014).

A cerâmica vermelha é destaque no setor da construção civil que é um dos mercados que mais absorve os produtos cerâmicos. Neste segmento, a alvenaria compõe um dos usos mais típicos dos materiais cerâmicos. O material está presente em mais de 85% de casas ou apartamentos construídos no país. A técnica consiste na sobreposição de blocos ou tijolos que recebem a classificação de estrutural ou vedação. O primeiro trata de blocos que não ocorre a necessidade de pilar ou vigas, além de acelerar o processo de construção. Já o de vedação, são versáteis, flexíveis e facilitam a instalação da parte elétrica e encanação. Não obstante, a confiabilidade em produtos cerâmicos faz parte de todos os estudos a regulamentação pelas normas nacionais (CRUZ, 2022).

É importante destacar que o processo de aperfeiçoamento cerâmico deve ser constante (baseados em estudos científicos), sendo este fundamental à indústria cerâmica com o intuito de aumentar a qualidade e competitividade, pois há o crescimento da produção e otimização da cadeia e uma melhor utilização dos recursos minerais e tecnológicos (VIVONA, 2000).

2.2 Formação das argilas

Os materiais disponíveis na superfície terrestre são, em sua maior parte, oriundos da crosta terrestre. A interação desses com a atmosfera resultam nos produtos do intemperismo e que são fundamentais para diversas atividades como na agricultura, construção civil, exploração de jazidas e outros. Intemperismo consiste em um conjunto de alterações de ordem física e química, desintegração e decomposição, respectivamente, que as rochas sofrem ao atingir à superfície da Terra. Ademais, os produtos desses processos ainda passam por outros que leva à denudação continental em que o aplainamento do relevo (TEXEIRA et al., 2007).

A desintegração dos corpos rochosos é incidida pela variação da temperatura em que, com a dilatação dos minerais constituintes, a dinâmica de contração e expansão permite que esses recebam esforços intermitentes. Com isso, ocorre a fadiga dos minerais que acarreta na desagregação e redução em pequenos

fragmentos de rocha. Outro ponto que culmina na fragmentação das rochas é a cristalização de sais; ao invés de serem lixiviados, eles são trazidos do fundo à superfície e em seguida ficam precipitados após a evaporação da água. Ao entrar processo de cristalização nas fendas, estas aumentam em razão da força de crescimento dos cristais. O congelamento da água representa o aumento o distanciamento molecular que resulta numa força expansiva capaz de quebrar a rocha e é acelerado se o material contiver fendas e diáclases (LEINZ e DO AMARAL, 2003).

Não obstante, os agentes físicos-biológicos como as raízes dos vegetais, provocam o rompimento das rochas, desde que haja a presença de espaços para a penetração do órgão vegetal. No que tange ao intemperismo químico, a principal característica é a reação química entre a rocha e as soluções aquosas diversas. A ação se torna célere quando o intemperismo físico já tenha atuado pois com o tamanho da rocha reduzido facilita o contato dos agentes aquosos ativos no material. Dessa forma, a interação dos elementos presentes na rocha e os agentes a composição da rocha resulta da dissolução ou alteração química (LEINZ e AMARAL, 2003).

O processo do intemperismo é influenciado por fatores que determinam seu grau de alteração. São eles: o clima, relevo, material de origem, tempo e organismo. A atuação do clima é expressada pela variação sazonal de temperatura, distribuição das chuvas, vento e orientação do declive. A água no solo realiza o papel de protagonismo no intemperismo das rochas e transformação dos minerais, atuando na adição ou remoção de materiais no interior do solo. O fator material de origem está relacionado com a derivação daquele tipo de rocha que formou o material da superfície que geralmente leva à suposição da rocha-mãe ser formadora do solo da camada superior. Já o relevo, influencia no regime de infiltração e drenagem das águas pluviais (TEXEIRA et al., 2007; KER et al., 2012).

O fator organismo compreende a fauna e flora desenvolvida no solo que por sua vez atua extraíndo elementos, alterando de forma incipiente as rochas permitindo que sirvam como substrato para outros colonizadores. Ocorre a estabilização quando o substrato (solo) sustentar espécies vegetais superiores. No que diz ao fator tempo, trata-se da escala geológica a fim de situar a idade de formação das rochas, de eventos geológicos que permitiram a modelação da superfície terrestre, bem como formações geológicas (KER et al., 2012).

Os processos pedogenéticos estão correlacionados aos fatores de formação do solo visto que, a atuação do intemperismo sobre a rocha leva à formação do perfil do solo. Este apresenta características que exprimem a morfologia daquele tipo de solo formado sob determinada condição tais como cor, textura, estrutura, espessura de horizontes, granulometria variada, teor de matéria orgânica e etc. A sucessão de fenômenos desde a rocha-mãe ao solo da superfície aborda processos gerais na formação que são divididos em: adição, perda ou remoção, translocação e transformação (SOUZA et al., 2011).

A etapa da adição consiste no aporte externo que entra no corpo do solo, seja ele de origem orgânica ou inorgânica, trazida pela erosão ou pela água de lençol freático. A remoção ou perda é todo componente que sai da estrutura do solo, seja por erosão ou lixiviação. A movimentação de materiais através do perfil do solo, ou seja, o material não é removido do solo, apenas passa de um/uma horizonte/camada para outro (a) e esse processo é denominado de translocação. Já a transformação, trata-se da alteração da natureza do material, seja física, química, biológica ou mineralógica, em que minerais primários darão origem aos minerais secundários, principalmente aos minerais de argila, modificação de compostos orgânicos que foram adicionados ao solo e até mesmo a quebra de rochas e minerais (SOUZA et al., 2011).

2.3 Argilominerais

Os argilominerais são produtos da ação do intemperismo e possuem formação com óxidos e hidróxidos de silício, alumínio, mangânes e ferro. Estão dispostos em camadas de filossilicatos com dimensão coloidal, de alta área específica, capaz de absorver água e expandir e contrair. Quando em contato com a água adquirem plasticidade e podem adsorver íons trocáveis. Os argilominerais, estruturalmente, são classificados em três classes: dimórficos, trimórficos e tetramórficos. A estrutura dimórfica consiste na relação 1:1 que é representada por uma lâmina de tetraedro de silício e uma lâmina de octaedro de alumínio ligadas por pontes de O. O argilomineral mais importante nesse grupo é a caulinita ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$) (REETZ, 2017).

Os argilominerais na classe trimórfica tem como arranjo duas lâminas de tetraedro de silício e uma lâmina de octaedro de alumínio que perfaz a relação 2:1.

Nas entreacamadas, o espaço é ocupado com cátions hidratados e com moléculas de água, pois a espessura é maior do que nos minerais 1:1. A mica ($\text{KAlSi}_3\text{Al}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) é uma precursora na formação de alguns argilominerais do tipo 2:1 se comporta como dioctaedrais (muscovita) em que duas das três cavidades dos octaedros estão ocupadas com cátions, ou trioctaedrais (flogopita) onde os cátions ocupam todas as cavidades e os principais argilominerais 2:1 são a esmectita e a vermiculita. Os argilominerais recebem a classificação em grupos ou famílias em razão da sua composição química e da estrutura cristalina, ou seja, segue conforme a organização das células unitárias diferentes, consoante a Tabela 1 apresenta (ERNANI, 2016; SILVA 2008).

Tabela 1 - Classificação do tipo e grupo dos argilominerais

Elementos predominantes	Tipo	Grupo
Al	1:1	Caulinita
Al	1:1	Serpentinas
Mg, Fe^{2+}	2:1	Talco-pirofilita
SiO_2	2:1	Micas
Al, Mg, Na, Fe^{2+}	2:1	Esmectitas ou Montmorilonita
Mg, Fe^{+2} , Al, Fe^{3+}	2:1	Vermiculita
Mg, Fe, Al	2:1	Clorita
Mg, Al	2:1	Paligorsquita ou sepiolita
Mg, Fe^{+2} , K, Al, Fe^{3+} , Na, Ca	Regularmente interestratificada	Ilita-montmorilonita
Mg, Fe^{2+}	Irregularmene interestratificada	Montmorilonita-vermiculita
Mineralóides	2:7	Alofanos

Fonte: Viott, 2006 (ADAPTADO).

A diversidade de argilominerais é grande e a formação destes varia geoclimaticamente. O grupo da caulinita provém de uma clima tropical úmido, sendo pobre em sílica com uma capa tetraédrica anexa a uma octaédrica. As substituições isomórficas não são muito relevantes, trazendo uma estrutura quase neutra que resulta numa baixa capacidade de troca catiônica. As cargas negativas se encontram nos vértices e bordas do mineral, onde está associada á dissociação dos grupos hidróxidos com baixa capacidade de retenção de água e se tornando plástica para teores de umidade baixo (RODRIGUES, 2018).

Já a esmectita possui muitas substituições isomórficas, liberando muita carga negativa. Com alto poder de retenção hídrica, adquire plasticidade com mais facilidade do que a caulinita. As ilitas são formadas por alumínio, potássio e magnésio. O elemento potássio se fixa entre as camadas de argila que não permite que a expansidade da argila, que pode afetar na sua propriedade física de plasticidade (RODRIGUES, 2018).

Os constituintes dos argilominerais finda como estruturantes os minerais formadores das rochas. A formação deles se dá pelo crescimento de um sólido (cristalização) oriundo de um gás ou líquido, cujo os átomos estão como arranjos cristalinos ordenados. O processo inicia com a formação de cristais microscópicos individuais, com arranjos básicos que se repetem em todas as direções. As faces cristalinas determinam o limite dos cristais. O magma cristaliza os minerais à medida que se resfria. A temperatura ocorre abaixo do ponto de fusão, que às vezes chega a 1000°C, os cristais de silicato (olivina ou feldspato) começam a se formar (PRESS et al., 2006).

A argila é considerada sob dois pontos de vista, um de caráter industrial e o outro especial. O “U. S Bureau of Mines” define a argila industrial como aquela empregada em larga escala por indústrias de processamento químico, como:

- caulim;
- *ball clay* (cerâmica branca);
- argila refratária;
- bentonita;
- argila para fins de construção civil (cerâmica tradicional);

- vermiculita

Há também as argilas especiais que são encontradas em locais restritos e em grande abundância de alto valor comercial devido ao processamento químico pelas quais passaram (COELHO et al, 2007).

Os argilominerais podem ser encontrados sob a forma de produtos resultantes de alteração hidrotermal associados com outros elementos, com exceção do grupo paligorskita-sepiolita. Geralmente, há casos, do arranjo zonal na seguinte ordem: sericita (ilita), caulinita, montmorilonita, clorita. Como a temperatura dos líquidos é superior à do ambiente, a ação de gases quentes, vapor superaquecido ou soluções aquosas quentes, acarreta a modificação das rochas e conseqüentemente na formação dos argilominerais (SANTOS, 1989).

2.4 Caracterização das argilas

A caracterização de qualquer material é de fundamental importância para que seja analisada todas as suas características, sejam elas físicas, mecânicas, estruturais entre outras a fim de, partindo de todo conhecimento, possa ter uma aplicação, podendo ser industrial, tecnológica ou científica. Para isso, faz-se necessário aplicar as técnicas corretas de acordo com o tipo de material no intuito de extrair o máximo de informações e dessa forma aplicar de forma coerente. No que tange às argilas, as características devem ser iniciadas nas jazidas ou em fornecedores. Os ensaios são fundamentais desde o planejamento de uma indústria até a substituição visto que o estudo das matérias-primas irá definir a aplicação bem como a viabilidade da exploração da jazida (ARAÚJO, 2020).

No entanto, além da caracterização inicial, faz-se necessário o processo em todas as fases de processamento até o produto final. Antecedendo a etapa de caracterização, é indispensável que a amostra (matéria-prima) seja refinada gerando as sub-amostras. É primordial que estas estejam alinhadas com cada tipo de caracterização a fim de não haver resultados incoerentes. Com isso, é possível ter uma ampla compreensão do comportamento da matéria-prima em que seja possível a identificação de uma determinada fase no processo de síntese, observar a distribuição dos tamanhos das partículas (SETZ e SILVA, 2019).

São diversos tipos de caracterização em que podemos citar, por exemplo, a microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de raios-x (DRX), fluorescência de raio X (FRX) e análise termogravimétrica (TG). Acrescidas a estas (térmicas, exceto MEV), há também as caracterizações de caráter físico e mecânico. O MEV consiste em um equipamento capaz de produzir imagens de resolução elevadíssima em que apresentam de forma estrutural e química a amostra. Tem como princípio de funcionamento a emissão de feixes de elétrons por intermédio de filamento capilar constituído de tungstênio ou hexaborreto de lantânio (LaB_6) ativado por uma diferença de potência que varia de 0,5 kV a 30 kV. Também é possível ver microestruturas dos materiais cerâmicos após a sinterização (SETZ e SILVA, 2019).

A técnica de DRX perfaz uma investigação da estrutura cristalina a partir da aplicação de raios X. Uma amostra, pulverizada ou policristalina, composta por inúmeras partículas finas com orientação aleatória, é exposta à radiação monocromática que garante que todos os cristais estejam de modo que, ao serem atingidos pelos raios X, com seus planos cristalográficos disponíveis pela difração. O tamanho e a geometria da célula unitária são obtidos através dos picos de difração, enquanto o arranjo dos átomos está associado à intensidade relativa dos picos. O difratômetro é o aparelho que regula a determinação dos ângulos que ocorre a difração (CALLISTER, 2016).

A fluorescência de raios X é uma técnica não destrutiva complementar à difração de raios X que perfaz uma análise quali-quantitativa, aliando a estrutura do material com sua composição, identificando cada elemento e a proporção presente na matéria prima (SANTOS, 1989).

A termogravimetria (TG) decorre da variação de massa de uma amostra devido a uma transformação física ou química em função do tempo ou da temperatura, ou seja, é o processo contínuo que mede a variação (perda ou ganho) de uma substância. TG é amplamente usada em quase todas as áreas da química e campos semelhantes e como há uma importância científica, está sendo voltada na aplicação de materiais da construção civil. A técnica é muito utilizada na caracterização de materiais cerâmicos principalmente porque este é submetido a altas temperaturas de queima que perfaz, às vezes, alteração na estrutura química e por consequência afeta as propriedades físicas. Vale ressaltar que existe vários modelos de equipamentos de

TG e que as características deles são distintas, que traz variedades de operação (MOTHÉ e AZEVEDO, 2009).

DSC é uma técnica que permite a medição da temperatura e o fluxo de calor concatenado com as modificações dos materiais em função da temperatura e do tempo, em que apresenta informações que envolvem processos endotérmicos (absorção de calor), exotérmico (evolução de calor) ou mudanças na capacidade calorífica. A DSC, ao ser aplicada, imprime informações específicas úteis tais como: temperatura e tempo de cristalização, ponto de fusão, oxidação, estabilidade térmica, transição vítrea, cinética de reação entre outros (MOTHÉ e AZEVEDO, 2009).

As caracterizações físicas feitas em matérias primas argilosas trazem uma importância para possível aplicação industrial, sendo feito no material cru, seco ou queimado. Os ensaios desta natureza permitem a adaptação da matéria prima para finalidades específicas, analogias com matérias primas já utilizadas que visa uma substituição, acompanhar e ajustar o processo produtivo cerâmico. Outros benefícios que podem ser citados tais como o ponto ideal da umidade para desenvolvimento da plasticidade, definição da temperatura da queima, o percentual de absorção do material (NETTO, 2019).

Já as caracterizações tecnológicas perfazem os ensaios que condizem com as normas vigentes para aplicação. As normas técnicas regem os limites mínimo e máximo do desempenho dos produtos de tal forma que as indústrias se adequam para atender. Os ensaios que contemplam as propriedades mecânicas são resistência à flexão (RF) ou módulo de resistência à flexão (MRF), carga de ruptura (CR) e ensaio de compressão (EC) (NETTO, 2019).

2.5 Bloco cerâmico de vedação

Os materiais cerâmicos possuem alta relevância no mercado pela sua aplicabilidade na construção civil. São produtos versáteis e com propriedades adequadas de resistência e rigidez e com isso a busca pela melhoria no produto final se torna incessante, que vem por meio da otimização de processo ou pela escolha de uma matéria-prima congruente. Os produtos cerâmicos são classificados em:

cerâmica branca, cerâmica vermelha, materiais de revestimento, materiais refratários entre outros (SEBRAE, 2023).

O setor da cerâmica vermelha tem como mercado a área da construção civil como um dos principais segmentos que demandam produtos cerâmicos. Há uma alta variedade em produtos oriundos da cerâmica tradicional e um dos mais empregados é o bloco de vedação, conforme apresenta a Figura 1. Este bloco compõe a alvenaria que é aplicada em casas e residências juntamente com outros elementos estruturantes, aliando execução e tecnologia (SILVA, 2003).

Figura 1. Bloco de vedação de seis furos.



Fonte: O autor, 2023.

O produto cerâmico estabelece na sua função a separação de ambientes, em especial a parte externa, delimitando o interior e exterior, atuando como barreira ou filtro seletivo de ações intempéricas. Com isso, apresenta certas vantagens como: (i) resistência a ventos, (ii) resistência à infiltração de água, (iii) isolante térmico e acústico, (iv) base para revestimento e (v) adequação e divisão do ambiente (SIQUEIRA e DIAS, 1999).

A alvenaria de vedação tem por fim o fechamento de áreas com o auxílio de vigas e pilares, com o intuito de apresentar estabilidade no sistema vertical. O dimensionamento não deve levar em conta apenas o bloco de vedação por conta que sua finalidade não é ter o comportamento autoportante. Com isso, o bloco apresenta alguns benefícios que permitem sua aplicação, tais como a superfície com ranhuras que facilitam a argamassa aderir de maneira eficaz, menor peso (seis furos é o mais

leve), isolante termoacústico (AZEREDO, 2009). Ademais ao bloco de seis furos, também é produzido o de oito e nove furos cada um dimensões distinta, segundo como demonstra a Figura 2.

Figura 2. Bloco de vedação de oito e nove furos, respectivamente.



Fonte: O autor, 2023.

O emprego desse bloco implica em economia no dimensionamento estrutural-esqueleto que admite o concreto armado com a finalidade de sustentação das paredes, trazendo mais um ponto positivo no orçamento da obra no que tange às fundações. Os blocos de vedação são extrusados (ou verdes), consoante à Figura 3 com dimensões variadas, com disponibilidade no mercado os blocos de seis, oito e nove furos. Há ganhos e inconvenientes entre as variedades de tamanhos do produto cerâmico. Entre os benefícios estão: a dimensão da estrutura, economia de mão-de-obra, economia de argamassa. Por outro lado, os pontos negativos explanados são: pequena resistência à compressão, as faces externas apresentam porosidade insuficiente para revestimentos que faz receber um prévio chapisco de argamassa de cimento e areia, em vãos de portas e janelas se faz necessário blocos comum para remate (AZEREDO, 1977).

Figura 3 – Bloco de vedação seco de oito furos.



Fonte: O autor, 2024.

Com efeito, a produção de bloco cerâmico de vedação esta sujeito às normas que regulamentam a qualidade e aplicabilidade do produto. Um dos principais pontos observados é a resistência à compressão visto que, os calculistas elaboram os projetos com base na alvenaria estrutural. Por isso, as indústrias de cerâmica vermelha se inclinam ao escopo da norma vigente (ABNT NBR 15270/2017) no momento da manufatura do bloco. Os valores seguem o estabelecido pela norma que prediz a média do ensaio com 13 amostras de um lote, em que determina 1,5 MPa de resistência (ANICER, 2020).

2.6 Defeitos em produtos da cerâmica vermelha

A indústria da cerâmica vermelha é responsável pela fabricação de elementos utilizados na construção civil e estes precisam estar dentro do padrão estabelecido pelas normas vigentes. A especificação trata dos requisitos dimensionais, das propriedades físicas e mecânicas em obras de alvenaria com ou sem função estrutural que perfaz critérios de verificação e aceitação dos blocos. Para isso, o bloco não pode apresentar defeitos sistemáticos, como quebras, superfícies irregulares ou deformações que limitem seu emprego na determinada função (ABNT, 2017).

O processo de produção de produtos cerâmicos requer uma alta inspeção nas etapas a fim de garantir a qualidade da peça final. Alguns defeitos vêm na etapa da prensagem devido aos parâmetros de processamento incorreto ou a não

conformidade da matéria prima, que são caracterizados por delaminações (separação das camadas), a inserção de material distinto da matéria prima ocasionando a redução da resistência estrutural. Ocorre que as indústrias não detêm de sistemas de detecção de falhas por ser oneroso, e que resulta numa inspeção de caráter visual que indica apenas uma avaliação superficial (ANDRADE et al., 1998; 1999; EDUARDO, 1999).

Como alternativa de um método para aferição dos defeitos, a técnica de termografia traz o emprego de ensaio não destrutivo. Essa técnica consiste na captura de radiação térmica por meio de um corpo em que uma câmara provida de sensores transformam essa radiação em sinais elétricos. O resultado do processo se dá por uma imagem que representa a quantidade de radiação capturada, convertida em temperatura em determinada região (MALDAGUE, 2001).

No entanto, quando a peça apresenta algum defeito durante ou após o processo fabril é válido investigar as causas do defeito. Pelo fato dos materiais cerâmicos serem de natureza cristalina, seus principais (e mais comuns) defeitos são de caráter cristalino. Um material cristalino traz consigo uma organização de átomos ou íons que se repete ao longo de uma cadeia de grandes distâncias atômicas em que há ligação entre os átomos vizinhos. Cada estrutura pode ser subdividida em células unitárias que condiz com representação dos átomos no cristal. A ligação entre os átomos ou íons nos materiais cerâmicos, que é predominantemente iônica ou iônicas com algum resquício covalente, leva a cerâmica ser composta de pelo menos dois elementos. Os íons metálicos (cátions) doam seus elétrons (positivos) de valência para os íons não-metálicos (ânions), os quais apresentam carga negativa (CALLISTER, 2002).

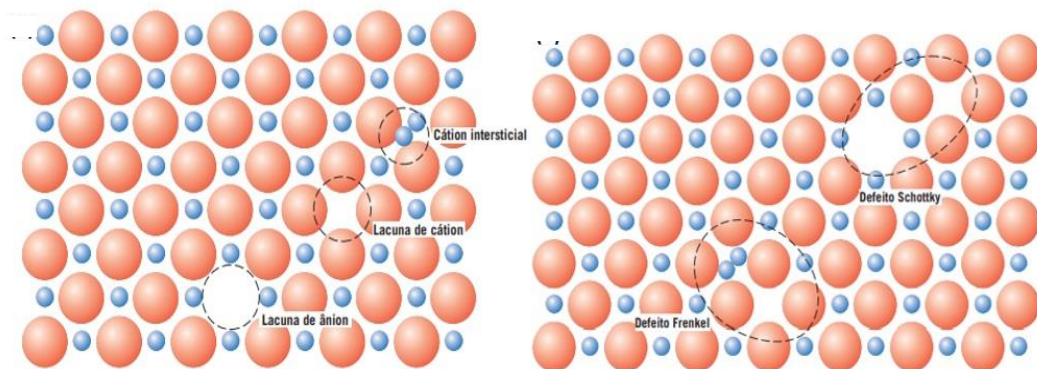
Os defeitos que atacam os compostos cerâmicos envolve os átomos estruturais. Essa falha pode estar alocada nos interstícios ou lacunas (Figura 4a), onde cada elemento que forma o material cerâmico pode ser afetado em ambos os locais. Porém, o ânion formador possui raio atômico maior e por consequência o ajuste no espaço dos interstícios gera efeito de deformação substancial nos íons vizinhos. Os defeitos nos materiais cerâmicos são de natureza atômica e uma expressão muito utilizada que designa os tipos e as concentrações é chamada de estrutura de defeitos. Nesta, a eletroneutralidade deve ser mantida pois as cargas positivas se igual às negativas. Contudo, a imperfeição que ocorre está caracterizada num par de composto que abrange uma lacuna de cátion e um cátion intersticial. A esse fenômeno

é dado o nome de defeito de Frenkel que como base o deslocamento de um cátion na posição normal em direção ao interior de um sítio intersticial, sem haver a alteração de carga (CALLISTER, 2002).

O defeito de Schottky é conhecido por estar presente em materiais do tipo AX que consiste na composição de uma lacuna de cátion e uma lacuna de ânion. Essa imperfeição foi criada a partir da remoção do cátion e ânion do interior do cristal para uma superfície externa tendo em vista que para cada cátion há uma coluna que corresponde a uma de ânion e a neutralidade da carga do cristal é mantida. Dessa forma, a formação de defeitos Frenkel ou Schottky (Figura 4b) não resulta em problemas, dada a circunstância da razão de cátions e ânions (CALLISTER, 2016).

Além dos defeitos citados, um outro tipo de anomalia que pode ser formado está baseado na influência da temperatura. Os íons presentes no sólido iônico absorvem a energia externa, que sucede deslocamentos na parte do interior do retículo e nisso os defeitos pontuais aumentam de forma recorrente (VIANA, 2020).

Figura 4. Representação dos defeitos de lacunas e interstícios e defeitos Schottky e Frenkel.



Fonte: CALLISTER, 2016.

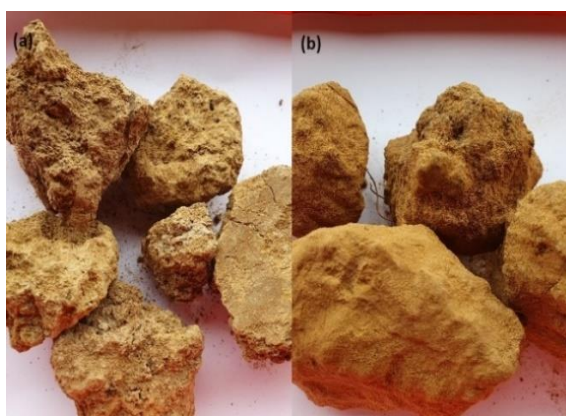
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização da matéria prima

Para a realização deste trabalho, foi utilizado dois tipos de argila de uma indústria de cerâmica vermelha localizada no município de Miguel Alves, estado do Piauí. Segundo a classificação de Koppen, o município possui um clima do tipo 'Aw' de clima tropical com inverno seco com precipitação variando de 750 mm a 1800 mm e temperatura média do mês mais frio acima de 18 °C (MEDEIROS, CAVALCANTE e DUARTE, 2020).

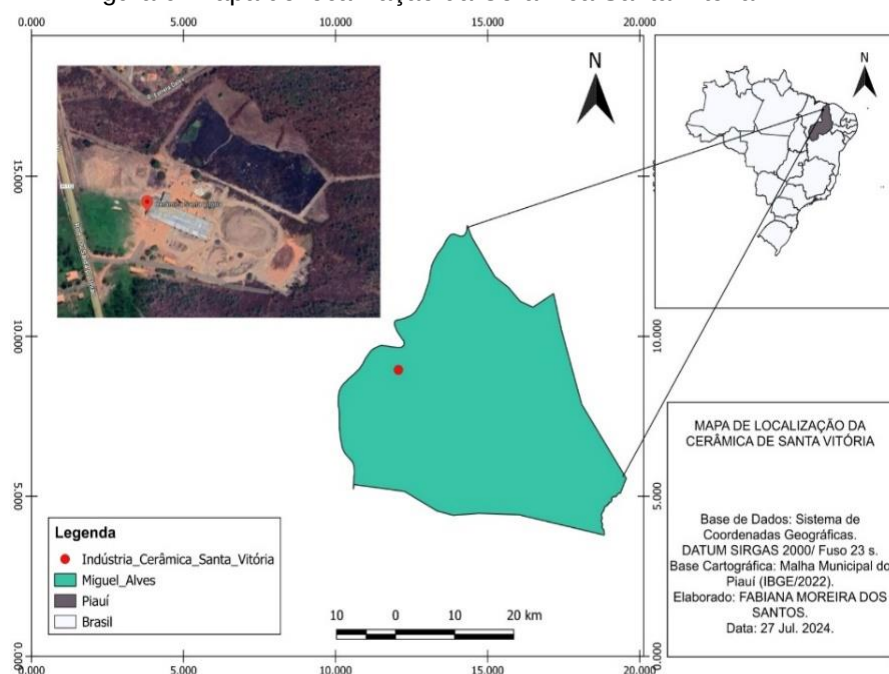
A matéria-prima compõe o processo produtivo para a confecção de blocos de vedação. Trata-se de dois tipos de argila: uma plástica ou “gorda” e não-plástica ou “magra” que são misturadas para formar o traço. A argila gorda é um tipo de material que tem alta plasticidade, com granulometria fina e composta majoritariamente por argilominerais; a argila magra apresenta baixa plasticidade, com alto teor de quartzo que auxilia na plasticidade do material. Nem sempre é possível explorar uma argila pura ou altamente plástica e que, na maioria dos casos, ocorre a adição de argila de baixa plasticidade (magras) às massas cerâmicas. A coleta aconteceu à campo no depósito da indústria. A Figura 5 apresenta a localização da indústria (MOTTA, ZANARDO e JUNIOR, 2001.; ARAÚJO, 2020).

Figura 5 - Foto da argila gorda e argila magra, respectivamente.



Fonte: O autor, 2023.

Figura 6. Mapa de localização da Cerâmica Santa Vitória.



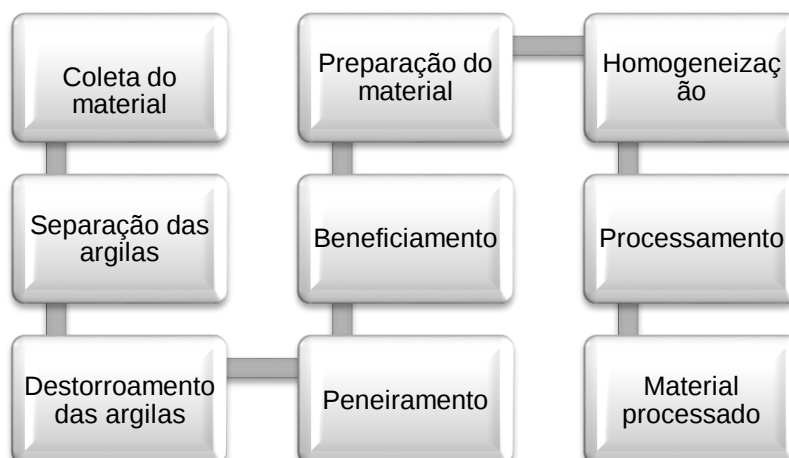
Fonte: O autor, 2024.

A Cerâmica Santa Vitória é uma indústria do ramo da cerâmica tradicional com atuação no mercado piauiense de produtos cerâmicos. Possui dois centros de produção, um no município de União e o outro na cidade de Miguel Alves. A empresa fabrica inúmeros produtos que são absorvidos pelo mercado, principalmente por Teresina-PI, que concentra obras de edificações nas quais necessitam de produtos de qualidade e confiança reconhecida pelo mercado. Não obstante, os produtos são avaliados conforme as normas regulamentadoras que exigem um material final que dê segurança e conforto.

2.2 Etapas do processamento do material

A metodologia aplicada foi baseada em normas que trazem os procedimentos nos quais a matéria prima foi submetida e com isso se deu todo o processo de caracterização dessa, adicionando etapas de refinamento ao material. O fluxograma da Figura 7 apresenta os procedimentos que foram realizados. As etapas representaram o aprimoramento da amostra para os ensaios, e em alguma dela, foi necessário realizar a distinção da granulometria com o propósito purificar a amostra.

Figura 7 – Fluxograma das etapas da metodologia da pesquisa



Fonte: O autor, 2023.

3.3 Preparação das amostras

Com o intuito de obter informações sobre a matéria-prima, uma etapa inicial precisou ser realizada, que é a amostragem. Esta corresponde a uma porção da matéria-prima de uma grande quantidade desta.

Para a obtenção das amostras, o material coletado no campo foi disposto sobre lonas separadas por conta dos dois tipos de argila, com o objetivo de perder umidade. Posteriormente, para redução do tamanho do material bruto foi necessário fazer o destorroamento com o equipamento moinho de martelo da marca TRAPP afim de facilitar as etapas seguintes. Em seguida, o material processado no moinho de bolas e foi peneirado em instrumentos de aberturas distintas conforme a norma ABNT NBR NM ISO 3310-2. A Figura 8 ilustra o equipamento destorroador. As amostras foram submetidas ao processo de peneiramento.

Figura 8 - Equipamento destorroador de material.



Fonte: O autor, 2023.

3.3.1 Preparação da formulação

A formulação prevê a quantidade de material que vai ser usado para confeccionar os corpos de prova. Nesta etapa é importante ter conhecimento das características da matéria-prima empregada com o intuito de formar uma massa cerâmica que apresente ponto de umidade adequado para conformação na prensa.

Na etapa da formulação, ocorre a mistura dos dois tipos de argila: a gorda e a magra, conforme a Figura 9. Essa mistura é essencial pois ocorre que, o uso de 100% de um tipo de argila, não é recomendado devido as características não atenderem aos requisitos de uma boa conformação e também há dificuldade de encontrar jazidas com argila pura. Para tanto, os percentuais de cada matéria prima devem estar em sinergia.

As formulações propostas tiveram como base o que é empregado na indústria de cerâmica vermelha, respeitando de cada tipo de argila. Para cada formulação foi utilizado aproximadamente 3600 g de matéria-prima adicionando 20% de água com base na massa, produzindo ao todo aproximadamente 330 corpos de prova que foram submetidos aos ensaios. A Tabela 2 apresenta as formulações propostas, incluindo duas formulações testemunhas.

Figura 9. Argila gorda e magra peneirada.



Fonte: O autor, 2023.

Tabela 2 - Formulações dos corpos de prova.

Formulação (100%)	Argila Gorda (%)	Argila Magra (%)
F1 (fábrica)	50	50
F2 (proposta I)	60	40
F3 (proposta II)	40	60
F4 (testemunha I)	100	0
F5 (testemunha II)	0	100

Fonte: O autor, 2024.

Logo após a elaboração das formulações, os corpos de provas foram confeccionados para serem submetidos às análises pertinentes. O ensaio de granulometria é relevante pois permite obter a característica dos constituintes das argilas. Ela infere nas propriedades do material tal como a porosidade, plasticidade, empacotamento de grãos, resistência mecânica, estabilidade do produto final entre outros. A partir deste ensaio, foi possível avaliar de forma quantitativa o diâmetro das partículas, bem como também o comportamento da argila nas fases de conformação e secagem e o grau de sinterização. O procedimento metodológico tem como base a ABNT NBR 6457/2016 que determina o processo do ensaio granulométrico.

3.3.2 Confeção dos corpos de prova

A preparação dos corpos de prova seguiu a norma regulamentadora da ABNT NBR 10611/2011, que orienta as dimensões dos corpos de prova para o ensaio, de acordo com as Figuras 10 e 11. O corpo de prova com dimensão de 8 x 1 x 1 cm foi confeccionado na prensa do Laboratório de Controle Técnico da Indústria de Cerâmica Tradicional, conforme a Figura 12. Em seguida, os corpos de prova foram colocados em temperatura ambiente para equilíbrio de umidade durante 48 h e logo levados à estufa em temperatura de 110° C por 24 h.

Figura 10. Corpos de provas conformados.



Fonte: O autor, 2024.

Figura 11. Representação em 3D do corpo de prova.



Fonte: O autor, 2024.

A queima dos corpos de prova se deu no forno que pertence ao Instituto Federal do Piauí, conforme a Figura 13. Após esta etapa, os corpos de prova foram resfriados para que fosse possível manipulá-los e dessa maneira obter informações de peso, dimensões e ensaios físicos e tecnológicos.

Figura 12. Prensa hidráulica.



Fonte: O autor, 2023.

Figura 13. Forno laboratorial do IFPI..



Fonte: O autor, 2024.

3.4 Caracterizações das matérias primas

3.4.1 Análise física

3.4.1.1 Distribuição granulométrica

A granulometria consiste em uma das premissas mais importantes dos materiais argilosos. Ela traz informações prévias do material, como a porosidade, a plasticidade, o fator de empacotamento dos grãos, a densidade entre outros.

Essa análise prevê na separação das partículas de acordo com o tamanho para a confecção da curva granulométrica. Esta curva é de suma importância em diversas áreas da engenharia para quantificar os agregados. A norma que norteia o procedimento do ensaio granulométrico é a ABNT NBR NM 248 que precede das regras para determinação do tamanho das partículas.

O embasamento do ensaio de granulometria é citado no item 3.3.1. A amostra empregada foi umidificada, granulada e homogeneizada por 24 horas e pesada 100 g. Essa massa foi submetida à mesa agitadora da marca Lucadema (Figura 11) durante 10 minutos dentro de um conjunto de peneiras com aberturas distintas (#60, #80, #100, #140, #200, #270, #325 e fundo). Nessa etapa, a tampa foi colocada sobre a primeira peneira para não ter perda de massa. Ao final, as massas foram coletadas que ficaram retidas em cada abertura de peneira e pesadas (NETTO, 2019).

Após o processo finalizar, a massa retida, incluindo o fundo, em cada malha, foi pesada e anotada para a confecção do gráfico.

Figura 14. Mesa agitadora.



Fonte: O autor, 2024.

3.4.1.2 Teor de resíduo

A análise de resíduo nas argilas permite quantificar as impurezas presentes, que no caso representam os minerais não plásticos. Por meio desse ensaio, é possível estimar o comportamento da matéria prima nas fases de conformação e secagem, esta última é tida como uma das principais dentro do processo de manufatura.

Nesta etapa, 100 g de material foi submetido à peneira de abertura #325 sob corrente de água para que os grânulos mais finos fossem descartados na lavagem. A lavagem perdurou até o momento que a corrente hídrica saísse incolor, caracterizando que todo material passante saiu. Após esse procedimento, o material foi pesado e levado à estufa por 2 h e sujeito à análise de FRX. O resultado deste ensaio é expresso na Equação 2.

$$R = \frac{Mr}{Mt} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: R é o resíduo retido, Mr é a massa de resíduo seco por peneira e Mt é a massa total de resíduo seco

3.4.1.3 Massa Específica Aparente – MEA

O material argiloso é poroso. Alguns tipos de argilas possuem maior volume de poros; outras, menor volume. A MEA é o resultado entre a massa de um sólido seco e o volume aparente. Este volume consiste no volume ocupado por ele mesmo mais o volume ocupado pelos poros, que são oriundos da má distribuição granulométrica. Os vazios afetam o fator de empacotamento da mistura dos grãos.

O ensaio é embasado na ANBT NBR 6458/1984 que determina a Massa Específica, a Massa Específica Aparente e Absorção de Água. O resultado é expressado pela Equação 2 em grama por centímetro cúbico (g.cm⁻³).

$$MEA = \frac{Ms}{Mu - Mi} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde: M_s é a massa do corpo de prova seco após a queima, M_u é a massa do corpo de prova úmido após a queima e M_i é a massa do corpo de prova imerso após a queima

3.4.1.4 Plasticidade das argilas

A matéria prima cerâmica é classificada segundo sua plasticidade. É por meio dessa propriedade que é avaliado o comportamento plástico do material que contém argilomineral que, na presença de água e na aplicação de uma força, o material se deforma sem se romper e ao mesmo tempo retém essa deformação do tipo plástica, quando a força é retirada. A organização da estrutura cristalina das argilas em filossilicatos que na presença de água podem ser conformados motivo pelo qual uma folha desliza sobre a outra sob uma tensão aplicada.

A plasticidade é afetada por alguns fatores tais como: a presença de matéria orgânica, distribuição granulométrica, a presença de minerais não plásticos, a forma e estrutura cristalina dos argilominerais entre outros. Esta propriedade possui alta relevância para os processos cerâmicos, pois a argila tem papel cimentante. Essa propriedade também se relaciona ao MRF e a RL que fornecem um embasamento da plasticidade das argilas no tocante à conformação das peças. Então, a plasticidade deve ser adequada para facilitar a etapa de conformação das peças cerâmicas.

Para avaliar a plasticidade dos dois tipos de argilas, foi utilizado o método de Atterberg que está versado nas normas da ABNT NBR 7180 e 6459. Nesse método, a amostra empregada foi submetida a três distintas condições plásticas e que foram avaliadas as seguintes características: água de amassamento, água de esfarelamento e limite de liquidez.

Para as três circunstâncias, obteve-se 700 g de material para ser passado na peneira de # 80. Foi adicionado água de forma gradual ao material passante até atingir o estado plástico, com boa trabalhabilidade. Ao fim, o material foi colocado num saco plástico por 24 h para homogeneização.

3.4.1.4.1 Água de amassamento

Consiste no ensaio em que a água é adicionada ao material até adquirir a plasticidade adequada (sem grudar e apresentar rachaduras). Foi pesado aproximadamente 60 g de material e colocado em cápsula para secar em estufa por 24 h, a 110°C. Ao final, todo material foi pesado para calcular a umidade por meio da Equação 3

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

Figura 15. Amostra do ensaio de água de amassamento.



Fonte: O autor, 2024.

Onde: % U para AA é a porcentagem de umidade para a água de amassamento, Ms é a massa sec e Mu é a massa úmida

3.4.1.4.2 Água de esfarelamento

Trata-se da quantidade mínima de água na qual a argila priva sua plasticidade, chegando a se quebrar. O ensaio foi executado três vezes, pesando 10 g de material para moldar a uma forma cilíndrica com 3 mm e 100 mm, diâmetro e comprimento, respectivamente, como ilustra a Figura 13(a) e 13(b). Quando o cilindro atingiu o gabarito, sem se fragmentar, o material foi amassado novamente e os procedimentos precedentes foram repetidos até que o material não conseguisse ser moldado.

Posteriormente, cada material foi levado à estufa na temperatura de 110°C por 24 h. O resultado foi expressado através da Equação 4.

$$AE = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad \text{Eq. 4}$$

Onde: % U para AE é o percentual de umidade para água de esfarelamento, Ms é a massa seca e Mu é a massa úmida.

Figura 16. Amostras do ensaio antes e após para água de esfarelamento.



Fonte: O autor, 2024.

3.4.1.4.3 Limite de liquidez

O limite de liquidez perfaz a quantidade máxima de água que um material argiloso tolera, na estabilidade do estado plástico. Quando o percentual de umidade é maior, a argila se transforma em suspensão fluida. Para o ensaio, foi usado 300 g de material umidificado e homogeneizado e colocado no aparelho de Casagrande. O material foi conformado na concha em uma espessura de 10 mm e sem a presença de ar no material, como mostra Figura 17. Com o auxílio do cinzel curvo ilustrado na Figura 18, o material sobre a concha foi dividido em duas partes, abrindo uma ranhura no meio. O procedimento é feito a partir do número de golpes, no qual o contador é girado no sentido anti-horário e assim é contabilizado o número de voltas até as duas partes se juntarem na porção inferior da concha.

A norma instrui o número de golpes para cada repetição, que varia de 35 a 15 para o primeiro golpe; no segundo, entre 28 a 30 golpes. No terceiro golpe, fica abaixo

de 20 golpes e no quarto e quinto golpe inferior a 15 golpes. Em cada golpe é adicionada uma quantidade de água destilada que varia de 2 a 5 mL

Depois, com o cinzel reto apresentado na Figura 18, a massa das duas partes que se uniram foi retirada e colocada em um cadinho, ilustrado assim na Figura 17. Esse processo foi repetido por cinco vezes e em cada repetição foi adicionado água destilada. A percentagem da umidade para o limite de liquidez foi calculada pela Equação 5.

$$U = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad \text{Eq. 5}$$

Onde: % U para LL é o percentual de umidade para limite de liquidez, Ms é a massa seca e Mu é a massa úmida.

Figura 17. Aparelho de Casagrande com argila e amostra da ranhura.



Fonte: O autor, 2023.

Figura 18. Cinzel curvo e reto.



Fonte: O autor, 2024.

3.4.1.5 Retração linear

Este ensaio físico avalia o dimensionamento da peça, tanto na secagem quanto na queima. O dimensionamento das peças é reduzido devido ao encolhimento das massas argilosas quando perdem umidade nas etapas de secagem e queima. Há três tipos de retração linear. A primeira está ligado à secagem onde a peça perde a água de conformação. Já a segunda, está relacionada à queima que ocorre pela eliminação dos constituintes das massas cerâmicas, como matéria orgânica, água de constituição e grupos químicos. A retração linear total resulta da somatória da retração linear de secagem e de queima.

O ensaio foi realizado nos corpos de prova na etapa de secagem e da queima. Primeiramente, os corpos de prova verdes foram medidos (C x L x A) nas condições pré-queima e na fase pós-queima. Com o auxílio de um paquímetro, de acordo com a Figura 19, os corpos de prova foram aferidos e depois calculada a retração linear de cada para o cálculo da média usando a Equação 6.

$$\%RLt = \frac{Cu - Cq}{Cu} \times 100 \quad \text{Eq. 6}$$

Onde: Cu é o comprimento do corpo de prova úmido, em cm, e Cq é o comprimento do corpo de prova queimado, em cm

Figura 19. Paquímetro com corpo de prova seco



Fonte: O autor, 2024.

3.4.1.6 Módulo de Resistência à Flexão – MRF

Todo material cerâmico é avaliado em laboratório para atestar suas propriedades. O MRF é definido pela força aplicada por unidade de área para o rompimento de um corpo, na qual a força é expressa em kgf.cm^{-2} ou Mpa (N.mm^{-2}). É basicamente a resistência que o material oferece quando uma força é aplicada.

Para a realização do ensaio, os corpos de prova queimados foram submetidos ao flexímetro, que é a máquina que confere a resistência do material conformado. Os resultados foram dispostos em uma tabela para a confecção dos gráficos que foram gerados por meio da Equação 7. Para efeito deste ensaio, a máquina de universal de ensaio foi empregada da marca EMIC DL 20000, com capacidade de carga de 20000 kgf e com faixa de programação de carregamento de 0,01 a 500 mm.min^{-1} .

$$MRF = 3PL/2BH^2 \quad \text{Eq. 7}$$

Onde: MRF é o módulo de resistencia a flexão, P é a carga atingida no momento da ruptura (kgf), L é a distância entre os apoios do corpo de prova, B é a largura do corpo de prova e h é a altura do corpo de prova.

Figura 20. Máquina universal de ensaio de resistência.



Fonte: O autor, 2024.

3.4.1.7 Perda ao Fogo – PF

Para o material cerâmico adquirir resistência é fundamental a queima. Por se tratar de uma material natural, ocorre a presença de indesejados (impurezas) que possuem certa significância. A eliminação das impurezas decorre da queima que, por processos físico-químicos, sofrem degradação ocasionando a perda de massa.

A perda ao fogo é o valor de massa perdido devido ao aumento da temperatura durante a etapa da queima, pela presença de compostos nesses materiais. Essa perda representa uma redução da amostra inicial. Para análise, os corpos de prova foram queimados em três temperaturas distintas 850°, 900° e 950°C. Para as três temperaturas de tratamento térmico, o patamá de queima foi de 30 min, a uma taxa de aquecimento de 10°C.min⁻¹ e, com base na temperatura, o forno atingia o patamá em 85, 90 e 95 minutos. Os corpos de provas, ilustrado na Figura 21, foram pesados antes e após a queima e os resultados aplicados na Equação 8 para gerar o gráfico.

$$PF = \frac{Ms - Mq}{Mq} \times 100 \quad \text{Eq. 8}$$

Onde: PF é o percentual de perda ao fogo, Ms é a massa seco do corpo de prova a 110°C e Mq é a massa queimada do corpo de prova

Figura 21. Corpo de prova queimado.



Fonte: O autor, 2024.

3.4.1.8 Absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente

Por meio dos ensaios deste sub-tópico, foi possível analisar as matérias primas quanto à presença de poros. É descrito que o volume de um poro pode ser ocupado por água quando há tempo suficiente para ocorrer. A absorção de água é a quantidade de umidade absorvida pelo material que fornece indícios da porosidade deste, sendo que uma estrutura porosa resulta em alta absorção de água e um corpo compacto possui baixa capacidade de absorver água.

A porosidade aparente consiste na relação entre o volume de poros abertos do material com e o volume aparente (poros fechados e abertos) dele. Já a massa específica aparente é traduzida entre a massa do material e o seu volume aparente. Estes testes são importantes para controlar o processo produtivo até o produto acabado já que, o percentual de umidade é um ponto crítico na secagem e queima.

Para os ensaios, foram coletados fragmentos dos corpos de prova do experimento de MRF e pesados (massa seca). Posteriormente, esses pedaços foram imersos no tanque termostático com água fervente, com duração de 2 h a partir da fervura. Após o término, os fragmentos pertencentes ao mesmo corpo de prova foram pesados e mantidos em água fria para ser anotada a massa imersa. Com o auxílio de um pano, o excesso de água foi retirado e novamente pesado com o intuito de obter a massa saturada. Sucendendo ao processo, foi calculado os percentuais de AA, PA e MEA através das Equações 9, 10 e 11 para absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente, respectivamente.

$$AA \% = \frac{Mu - Ms}{Mu} \times 100 \quad \text{Eq. 9}$$

Onde: AA é a porcentagem de absorção de água, Mu é a massa do corpo de prova saturado e Ms é a massa seco do corpo de prova queimado.

$$PA \% = \frac{Pu - Ps}{Pu - Pi} \times 100 \quad \text{Eq. 10}$$

Onde: a PA é o percentual de porosidade aparente, Mu é a massa do corpo de prova saturado, Ms é a massa seco do corpo de prova queimado e Mi é a massa do corpo de prova imerso em água.

$$MEA \% = \frac{Ms}{Mu-Mi} \times 100 \quad \text{Eq. 11}$$

Onde: MEA é a massa específica aparente, Ms é a massa seca do corpo de prova queimado, Mu é a massa do corpo de prova saturado e Mi é a massa do corpo de prova imerso.

3.4.2 Análise mineralógica

Para determinação da caracterização da mineralogia das argilas, a matéria prima foi analisada pelo equipamento de DRX, onde é aplicado feixes de raios X na estrutura cristalina do material e estes sofrem difrações em direções específicas.

Anterior à análise, as amostras foram secas em estufa a 110 °C por 24 h e moídas no moinho de bolas até passar na abertura de malha de 325 mesh. O equipamento utilizado é pertence à marca Shimadzu, modelo XRD-6000 com tubo de Cu, pertencente ao LabMat. A avaliação das fases levou em consideração a comparação dos picos gerados no difratograma com cartas padrões cadastradas no ICDD (Internacional Center for Diffraction Data).

O método de difratograma tem como base a relação da radiação empregada com comprimento de onda λ e a composição atômica do material com distribuição regular cujo plano cristalino com distância d , funcionando como uma rede de difração (Eq. 1) que produz valores de interferência de ordem n para os ângulos θ que satisfaçam a relação de Bragg (FERNANDES, 2005).

$$n\lambda = 2d \sin(\theta) \quad \text{Eq. 12}$$

Onde: λ é o comprimento de onda, d é a distância entre os planos cristalinos e θ é o ângulo de Bragg.

Os resultados das análises de DRX foram tratados no software *Origin* e a identificação das fases cristalinas do material se deu em outro programa que complementa o resultado do anterior, que é o *High Score*. A Figura 22 mostra o equipamento que realizou a análise.

Figura 22 - Equipamento de difratograma de raios-X.



Fonte: O autor, 2024.

3.4.3 Análise química

A matéria prima teve sua composição por meio da técnica de Fluorescência de raios X por energia dispersa. A determinação dos componentes se deu de maneira quantitativa e qualitativa. Nesta análise, o equipamento empregado foi o Espectrômetro por Fluorescência de Raio X da marca Panalytical, modelo Epsilon 30, conforme da Figura 23.

Figura 23 - Equipamento de fluorescência de raios-X.



Fonte: O autor, 2023.

3.4.4 Análise térmica

Nesta análise, a amostra foi submetida ao procedimento de ensaio térmico. A Termogravimetria analisa a perda ou ganho de massa em função da temperatura, em uma taxa de aquecimento constante. Quando um material cerâmico está sob uma temperatura de 1000°C, há algumas mudanças em suas características que refletem nas propriedades do produto final, sem alterar a composição química do produto. Uma das principais alterações é a decomposição de carbonatos e a oxidação da matéria orgânica.

Com o propósito de analisar termicamente as matérias primas, o equipamento utilizado foi o Analisador Termogravimétrico TGA 51H da marca Shimadzu que pode ser observado na Figura 24, no qual a massa foi de 15 mg passada na peneira de abertura de 325 mesh, a uma taxa de aquecimento de 12,5°C.min⁻¹, entre 27°C e 1000°C.

Figura 24 - Equipamento de termogravimetria.



Fonte: O autor, 2023.

3.4.5 Análise de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)

A técnica da microscopia eletrônica por varredura se baseia em feixes de elétrons para a obtenção de imagens detalhadas da superfície do material. O feixe de elétrons incide numa camada metálica superficial que a torna condutora, perfazendo que o feixe de elétrons entre em interação com a superfície da amostra, emitindo feixes secundários que são capturados para a formação da imagem.

Esta técnica permite uma ampliação maior da estrutura, em que podem ser percebidos detalhes nanométricos e estruturas subcelulares. Para a realização deste procedimento, as argilas foram peneiradas na abertura abaixo de #200 mesh e analisadas no aparelho da marca TESCAN, modelo VEGA4 LMS, que pertence ao laboratório do departamento de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal da Paraíba.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos procedimentos metodológicos, seguindo a ordem adotada na construção da caracterização da matéria-prima.

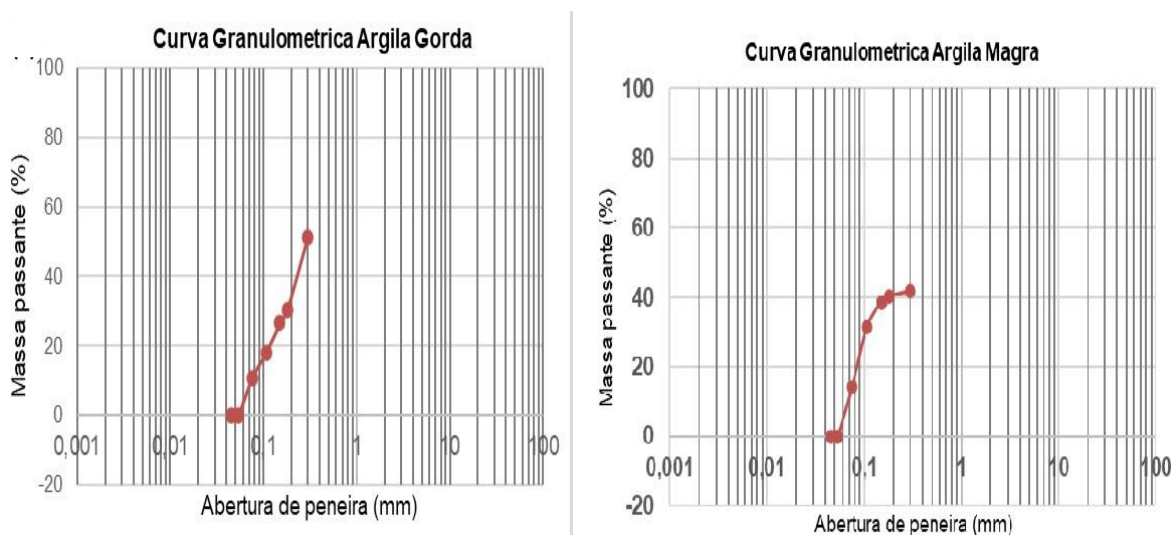
4.1 Análises físicas

4.1.1 Distribuição Granulométrica

A Figura 25 apresenta o gráfico dos resultados do ensaio de peneiramento das argilas gorda e magra. É possível observar que houve diferença na distribuição granulométrica de ambas as argilas, inferindo que as partículas apresentaram tamanhos distintos.

Na comparação dos gráficos, a argila gorda foi a que mostrou maior percentual de massa passante entre as aberturas de 0,01 a 1 mm que corresponde às aberturas de 50 a 80 mesh, respectivamente. Com isso, a abertura de 50 mesh foi que reteve mais percentual, seguida pela de 80 mesh e 270 mesh, em que esta traz uma norma que consiste num valor abaixo para a fração arenosa. Segundo a ABNT NBR 6502 (2022), a fração arenosa está na faixa limítrofe compreendida de 0,06 mm a 2 mm.

Figura 25. Curva granulométrica da argila gorda e da argila magra.



Fonte: O autor, 2024.

Na Figura 25 é apresentado a curva granulométrica da argila magra com destaque para a abertura de 50 mesh que reteve 49,31% da massa utilizada para o ensaio, seguida pelo fundo e a abertura de 200 mesh, que retiveram 15,19% e 14,63%, respectivamente. Através do gráfico e da Tabela 3 é possível observar também que o a abertura de 325 mesh não indicou nenhum percentual de massa retida, inferindo que o material apresenta uma característica predominante de argila gorda, que é o teor significativo de material passante na abertura de 0,045 mm. A Tabela 3 e 4 apresentam os valores dos ensaios de granulometria.

Tabela 3 - Granulometria da argila gorda.

Abertura peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida em cada peneira
0,3	41,82	42,14
0,18	18,02	18,16
0,15	3,35	3,38
0,106	7,26	7,32
0,075	6,25	6,30
0,053	9,14	9,21
0,045	0,13	0,13
Fundo	13,26	13,36

Fonte: O autor, 2024.

Tabela 4. Granulometria da argila magra.

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida em cada peneira
0,3	48,56	49,31
0,18	1,37	1,39
0,15	1,44	1,46
0,106	5,95	6,04
0,075	14,41	14,63
0,053	11,79	11,97
0,045	0	0,00
Fundo	14,96	15,19

Fonte: O autor, 2024.

4.1.2 Teor de resíduos

Na Tabela 5 é apresentado os dados referentes ao teor residual das matérias primas utilizadas. A partir da observação da tabela, a argila gorda apresentou menor percentual de resíduo, diferentemente da argila magra que teve valores significativos. A presença da fração residual na matéria prima argilosa está ligada ao material não-plástico que, em sua maior parte, é de natureza arenosa, a qual é confirmada pela análise de FRX do resíduo presente na Tabela 8.

Tabela 5. Teor residual das argilas

Amostra	Resíduo (%)	
	Argila Gorda	Argila Magra
1	0,75	14,28
2	0,91	18,1
3	5,15	30,97
Média	0,91	18,1

Fonte: O autor, 2024.

A areia, que tem como principal constituinte o quartzo, é misturado à massa cerâmica em até 15% da massa total com o intuito de regular a plasticidade. A presença de areia na indústria da cerâmica tradicional discorre pontos maléficos e benéficos. Negativamente a presença da areia traz custos de manutenção dos equipamentos devido ao desgaste das peças nas etapas de preparação da massa e de sua extrusão e redução da resistência nos blocos. No bloco extrusado e seco, a baixa aderência às partículas argilosas resulta em peças com resistência reduzida. Pelo lado positivo, a presença da areia promove uma melhor trabalhabilidade da massa em razão da característica não-plástica, auxilia na secagem e pode até atenuar a absorção de água após a queima, segundo Pracidelli e Melchiades (1997).

4.1.3 Plasticidade das argilas

A Tabela 6 apresenta os resultados para os ensaios de plasticidade realizados nas matérias primas. Os resultados contemplaram os três procedimentos metodológicos para a determinação da plasticidade. De acordo com Macedo (1997), os valores sugeridos para a cerâmica tradicional varia de 30 a 60% para limite de liquidez, de 15 a 30% quando se trata do limite de plasticidade e para o índice de plasticidade fica entre 10 a 30%.

Tabela 6 - Resultado da plasticidade das argilas

Argila	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade
<i>Argila Gorda</i>	40,35	30,9	9,45
<i>Argila Magra</i>	24,29	20,4	3,89

Fonte: O autor, 2024.

Em face aos resultados obtidos, as duas argilas analisadas não apresentaram valores dentro da faixa recomendada por Santos (1989), que traz como faixa ideal entre 10 a 30% para índice de plasticidade com emprego na indústria de cerâmica vermelha, na produção de blocos cerâmicos. Porém a argila gorda teve um resultado

acima do mínimo. Segundo a classificação Jenkins, a argila gorda apresentou um comportamento medianamente plástico, enquanto a argila magra recebeu a classificação de fracamente plástica, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7. Tabela de Jenkins.

Classificação	Índice de Plasticidade - IP
Fracamente Plástico	$1 < IP < 7$
Medianamente Plástico	$7 < IP < 15$
Fortemente Plástico	$IP > 15$
ARGILA	
Gorda	9,45
Magra	3,89

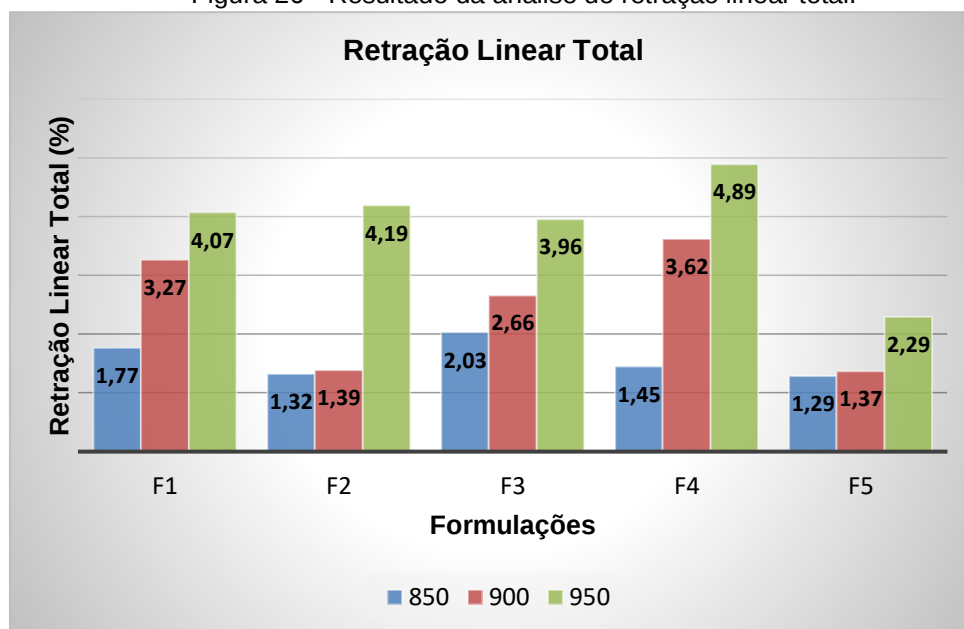
Fonte: O autor, 2024.

Já para o ensaio de limite de liquidez, apenas a argila gorda apresentou valor dentro do recomendado devido suas propriedades de retenção de água em razão da grande superfície específica, que requer mais cautela na etapa de secagem e queima evitando assim trincas e empenamentos das peças cerâmicas. A presença de muscovita promoveu com a alta plasticidade, visto que é um filossilicato que absorve água entre as camadas, com alta tendência de causar imperfeições na peça final (REIS, 2016). A argila magra apresentou valor abaixo de 25% que pode estar relacionado com o alto teor de SiO_2 que influencia na propriedade de plasticidade, tendo o quartzo em maior proporção na fração silte e areia (PRADO, 2011).

4.1.4 Retração Linear – RL

Denominada também de contração linear, a retração linear versa sobre as variações das dimensões das peças cerâmicas nas etapas de secagem e queima, que somadas resulta na retração linear total. Na Figura 26, podem ser verificados os resultados desse ensaio.

Figura 26 - Resultado da análise de retração linear total.



Fonte: O autor, 2024.

Os valores de retração apresentados acima variam de 1,29 % a 4,89% sendo que na temperatura de 950° C foi que apresentou os maiores valores em todas as formulações. As etapas de secagem e tratamento térmico condizem nas fases mais vitais no processo fabril devido às aquisições de características que os materiais cerâmicos adquirem para seu futuro uso, em decorrência de fenômenos físico-químicos durante essas.

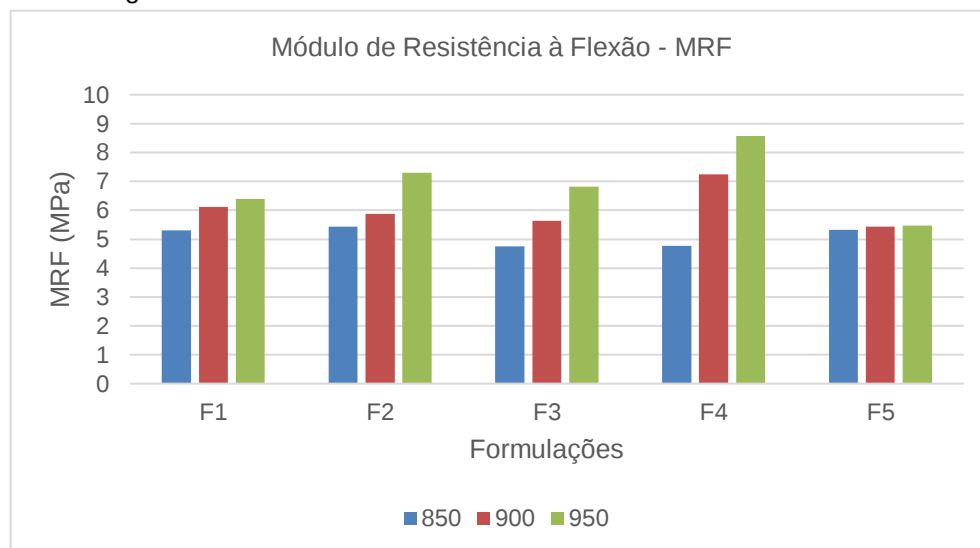
A literatura traz que os valores de retração linear não podem ultrapassar 7,96%, retificando os resultados encontrados no ensaio de retração linear (VIEIRA *et al.*, 2000). Para aplicação na cerâmica vermelha o limite máximo é de 12%, que perfaz um comportamento dentro do estabelecido por Santos (1989) para as cinco formulações. Vale ressaltar que as formulações testemunhas apresentaram excelentes resultados, porém no processo de manufatura não é recomendado o uso de 100% de apenas um tipo de argila.

A relação do aumento da temperatura com o comportamento dos corpos de prova causa a perda da água livre, pois na intervenção térmica há perdas de compostos estruturais e agrupamentos de moléculas que resulta na compactação da peça, redução dos poros e da imperfeição, gerando um aumento na densidade do material (JUNG *et al.*, 2012).

4.1.5 Módulo de Resistência à Flexão – MRF

A Figura 27 tem os resultados do ensaio de ruptura à flexão de três pontos. A partir da observação dos resultados, foi possível compreender que os valores estão na faixa de 4,76 a 8,58 MPa.

Figura 27 - Resultado da análise de resistência à flexão.



Fonte: O autor, 2024.

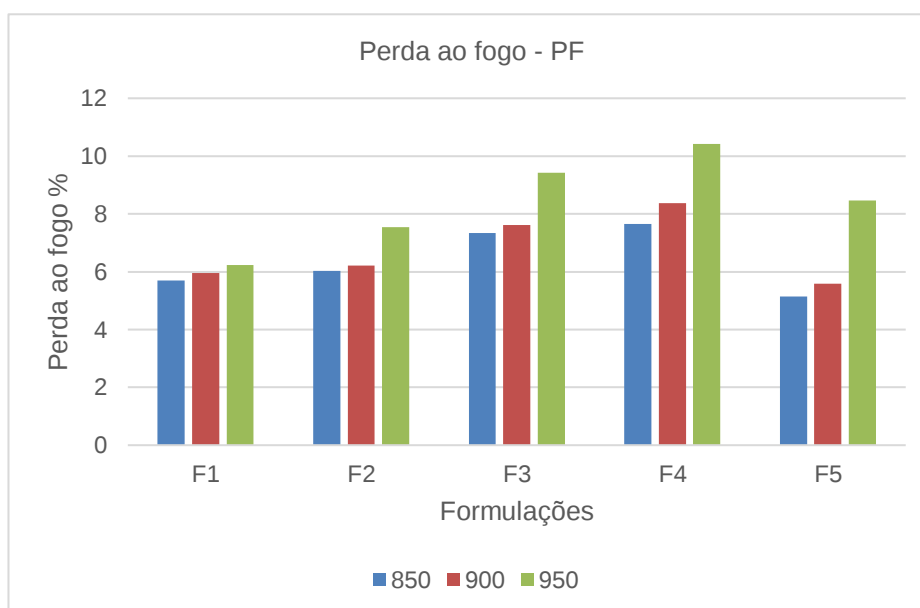
A partir da análise do gráfico, à medida que a temperatura do processo térmico aumentava o valor da resistência mecânica crescia. Esse crescimento paralelo se deve à elevação da densidade dos corpos de prova em decorrência da coesão das partículas. Em temperaturas de tratamento térmico para fins industriais ocorre a redução dos poros pela saída da água, eliminação de carbonatos, matéria orgânica e outros componentes.

A base científica menciona que o valor da resistência mecânica após a queima é de 5,5 MPa para emprego na produção de blocos cerâmicos. Já a ABNT NBR 15270 (2017) regulamenta que a resistência deve estar entre 1,5 a 3,0 MPa. Todas as formulações apresentaram valores satisfatórios para emprego na construção civil. A formulação F4 foi a que apresentou maior valor na temperatura de 900° e 950° C, no entanto das formulações F2 e F3 tiveram resultados dentro do padrão se comparado com a formulação padrão (F1).

4.1.6 Perda ao Fogo – PF

Com base na Figura 28, a análise de perda ao fogo dos corpos de prova teve como resultado valores entre 5,15 a 10,42%. Destaca-se também o aumento do valor paralelo às temperaturas da técnica térmica utilizada. Os valores de perda ao fogo estão relacionados à perda de material constituinte e carbonização da matéria orgânica durante a etapa de queima em razão do aumento da temperatura, resultando num bom material com porosidade adequada (SANTOS, 1975). No decurso de perda ao fogo, as reações químicas sucedem levando à formação de novos compostos que influem nas propriedades finais do produto cerâmico (DIAS, 2011).

Figura 28 - Resultado da análise de perda ao fogo.



Os resultados presentes na Figura 28 estão dentro do recomendado por Santos (1989), que são ratificados por Melo et al., (2010) que propôs o valor de 4,3% para peças da cerâmica tradicional quando submetidas ao procedimento térmico. Consequentemente, os valores de perda ao fogo estão condizentes no que diz à aplicação na cerâmica vermelha que combinados com outras características garante que o produto final tenha dimensões e aplicabilidade satisfatória.

4.1.7 Absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente

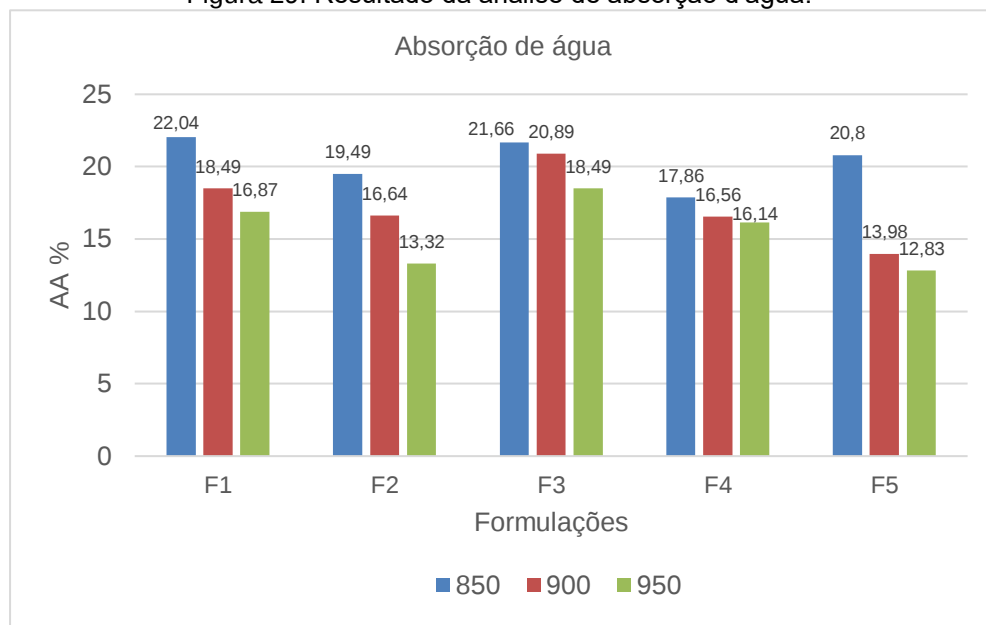
Na Figura 29 é possível observar o gráfico do ensaio de absorção de água para os corpos de prova. Todas as formulações avaliadas tiveram seus valores dentro do padrão normatizado pela ABNT NBR 15270-1 (2017), que indica valores de absorção de água de 8 a 22%. Destaca-se a formulação F1 na temperatura de 850° C que teve valor de 22,04% e na mesma temperatura todas as formulações apresentaram os maiores valores de absorção de água.

A relação absorção de água e temperatura é inversamente proporcional com base no gráfico da figura, pois à medida que a temperatura aumenta o percentual de absorção de água diminui. A temperatura de tratamento térmico empregado dentro da indústria de cerâmica vermelha está entre 800° a 1000° C e com base nos resultados de absorção de água todas as formulações propostas apresentaram valores dentro na norma, bem como a formulação padrão (F1) está inserida na faixa de valores recomendados.

Os resultados do ensaio de porosidade aparente podem ser observados na Figura 30. Os valores para essa caracterização variam de 23,92% a 31,49%. conforme Santos (1989), para blocos cerâmicos o valor de porosidade aparente é de 20%, contudo é notável observar que para todas as formulações propostas que ocorreu uma redução do percentual com o aumento da temperatura devido à redução dos espaços porosos (PINHEIRO e HOLANDA, 2010).

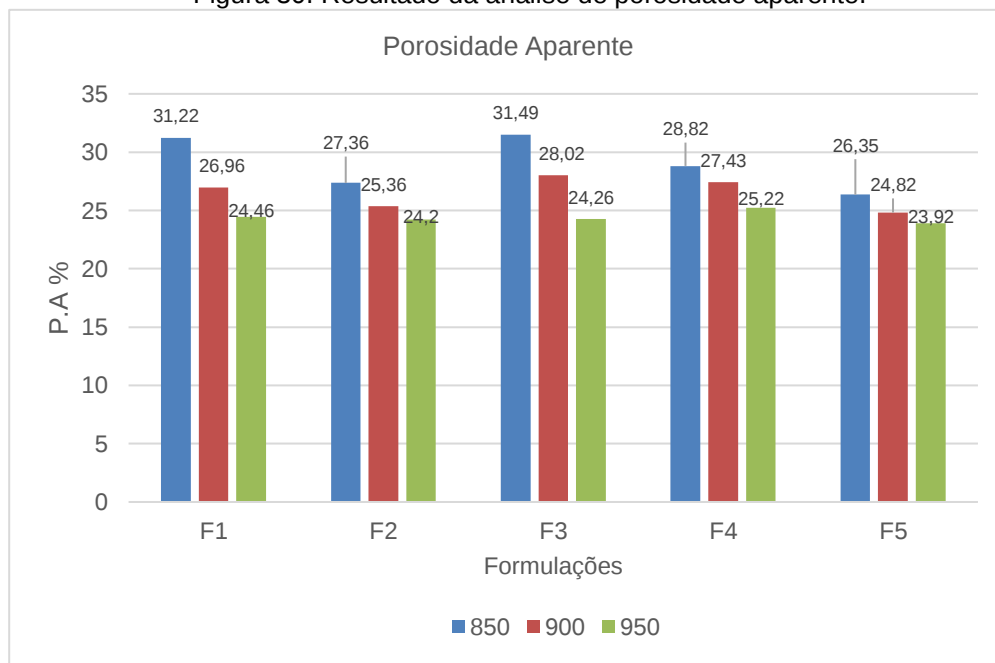
A temperatura de 850° C foi a que apresentou os maiores valores de porosidade aparente nas formulações F3, F1 e F4 (testemunha). Já na temperatura de 950° C, que é comumente empregada, os valores de porosidade aparente se mostraram dentro do recomendado por Santos (1989). Para a fabricação de blocos cerâmicos de vedação a porosidade aparente não requer valores irrisórios, entretanto não pode apresentar percentuais altos, pois podem influenciar na redução da resistência mecânica motivo o qual os poros têm o comportamento de concentradores de tensão.

Figura 29. Resultado da análise de absorção d'água.



Fonte: O autor, 2024.

Figura 30. Resultado da análise de porosidade aparente.

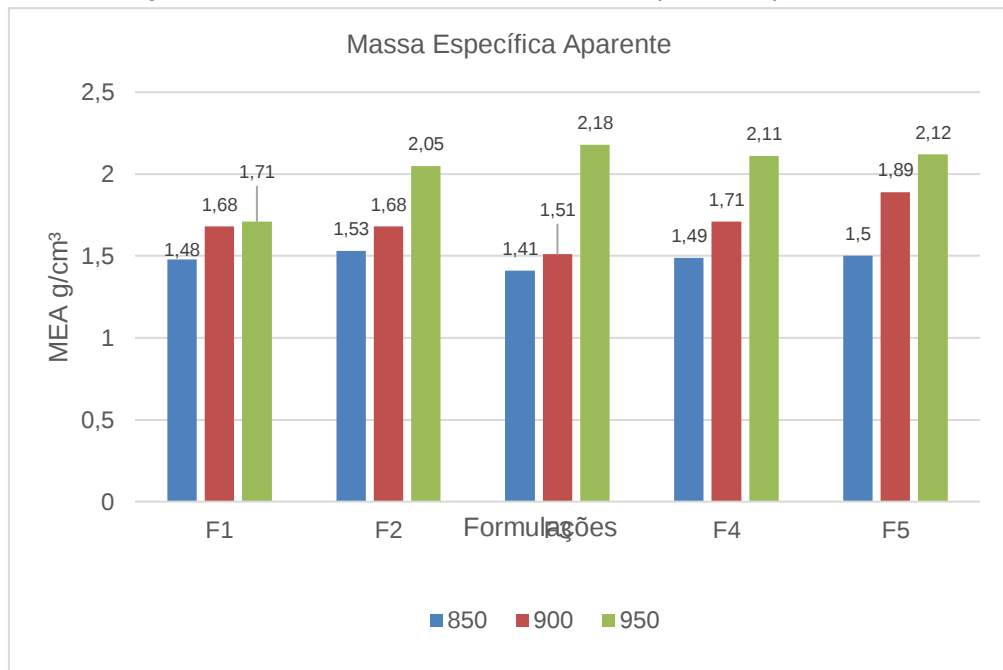


Fonte: O autor, 2024.

A Figura 31 ilustra os valores da análise da massa específica aparente dos corpos de prova com valores variando de 1,41% a 2,18%. Em todas as formulações propostas houve um crescimento da densificação quando relacionado com o aumento da temperatura promovendo uma redução da área de superfície específica e resultando em materiais com resistência mecânica adequada (PINHEIRO, 2010).

Todas as formulações, incluindo as testemunhas, apresentaram resultados dentro do recomendado que, portanto, devem estar entre 1,3 a 2,1 g.cm⁻³ quando é para uso na cerâmica vermelha. A formulação (padrão) foi a que apresentou os valores mais próximos do mínimo sugerido.

Figura 31. Resultado da análise da massa específica aparente.

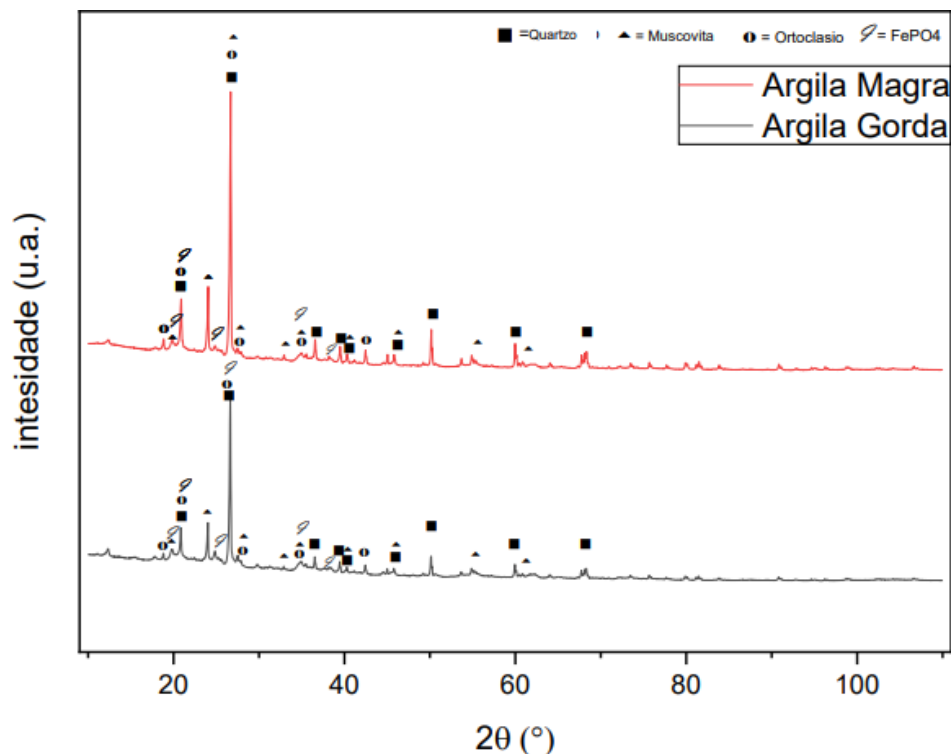


Fonte: O autor, 2024.

4.2 Análise mineralógica

Na Figura 32 é apresentado os resultados das análises do difratograma da argila gorda e magra. Ambas as argilas manifestaram padrões similares para o ortoclásio (KAlSi_3O_8) e quartzo (SiO_2). Contudo, as fases cristalinas na argila gorda foi identificado fosfato de ferro (FePO_4) e muscovita ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$); já a argila magra foi encontrado feldspato potássico ($\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$).

Figura 32 - Difratoograma de raios-X das argilas gorda e magra.



Fonte: O autor, 2024.

A aparência mineralógica das argilas se deve provavelmente às localizações das jazidas, que se localizam próxima uma da outra com diferença que a argila gorda é extraída mais adjacente às áreas de várzeas. Os picos mais hegemônicos se referem ao quartzo que é um constituinte presente no solo e tem natureza não-plástica e é inerte durante a sinterização das peças cerâmicas.

O ortoclásio ou feldspato potássico foi o componente identificado nos dois tipos de argila. Conforme Norton (1973), o feldspato potássico pode ser usado para a indústria da cerâmica tradicional, em que é ratificado por Codeiro (2012) que se trata de um excelente fundente, observado o teor de ferro. Na produção de bloco cerâmico o feldspato colabora por ter um comportamento fundente, atenuando a temperatura de fusão (SOUSA, 2012).

A presença de picos intensos de quartzo na análise de DRX valida os resultados de óxido de silício expostos nas análises de FRX. A sua presença no processo fabril de blocos cerâmicos de vedação controla a propriedade de plasticidade da massa cerâmica que coopera na conformação da peça na etapa de extrusão, secagem e atua como material poroso para a saída de gases no decorrer

do tratamento térmico, entretanto é um material inerte durante a queima (CROZETTA *et al.*, 2016; VIEIRA e PINHEIRO, 2011).

O pico de fosfato de ferro encontrado na argila gorda confirma a presença do elemento na matéria prima, que atesta a colocação avermelhada no produto final, tratando-se de uma das características padrão da cerâmica vermelha, como pode ser observado na Figura 21. Não obstante, o teor de ferro foi superior a 20% na análise de FRX. Outro componente encontrado foi o argilomineral muscovita. Pertencente ao grupo das micas cristalizadas que está associado ao quartzo, ocorrendo em solos de regiões tropicais (SHAEFER *et al.*, 2008) e possui textura lamelar que pode provocar o surgimento de defeitos nas peças cerâmicas (VIEIRA e PINHEIRO, 2011).

4.3 Análise química

A Tabela 8 apresenta as composições químicas das argilas, que foram determinadas através de análise de fluorescência de raios-X. Os resultados elencam que a composição das argilas é, em sua maior parte, por SiO_2 e Al_2O_3 , compostos que têm associação com componentes estruturais dos argilominerais, feldspato e quartzo. Geralmente, a massa cerâmica é formada por argila, quartzo e feldspato, organizando assim um material triaxial com a função de proporcionar e regular a plasticidade, a fundência e a refratariedade (SANCHEZ-MUÑOZ *et al.*, 2002; SALES JÚNIOR, 2012).

Tabela 8. Resultado da análise de FRX das argilas.

Componente químico	Argila gorda	Argila magra
	Teor	Teor
MgO	0,7	0,5
Al_2O_3	20,3	12,2
SiO_2	60,7	74,6
P_2O_5	0,3	0,3
K_2O	3,5	3,4
CaO	0,5	0,5
Fe_2O_3	11,9	6,2
Outros	2,1	2,3

Fonte: O autor, 2024.

A argila magra apresentou o maior percentual de SiO_2 (74,6%), enquanto a argila gorda foi de 60,73%. Um alto percentual de dióxido de silício pode promover baixa resistência mecânica do produto nas etapas de extrusão, secagem e queima. Todavia, a presença é necessária para auxiliar na etapa de secagem do material. O comportamento do Al_2O_3 foi o inverso, na argila gorda foi de 20,3% e na magra 12,21%. Santos (1989) recomenda que o teor de óxido de alumina para uso na cerâmica vermelha esteja na faixa de 6,8% a 38,0%, o que corrobora o resultado encontrado.

O teor de óxido de ferro encontrado nas argilas variaram de 6,18% a 11,9%, para a argila magra e gorda, respectivamente. Quando o teor de Fe_2O_3 é superior a 7% implica que o material cerâmico irá ter a coloração avermelhada, após a intervenção térmica. A intensidade da coloração é paralela à concentração do composto no material, visto que a argila gorda teve maior percentual. Além do óxido de ferro, outros óxidos foram identificados em quantidade mínima que participa no processo de fabricação, que atuam na formação da fase líquida e também como fundentes durante a etapa térmica.

Os resultados da análise de FRX do resíduo são listados na Tabela 9. Em ambas as argilas, o dióxido de silício e o óxido de alumina tiveram os maiores valores, com 90,82% e 80,01% e 4,58% e 5,63% para argila magra e gorda, respectivamente. O valor obtido dos compostos citados justifica os teores presentes nas argilas segundo a Tabela 7, em que retrata a prova de constituição do material que é prevalecentemente por areia (SiO_2).

Tabela 9. Resultado da análise de FRX dos resíduos das argilas.

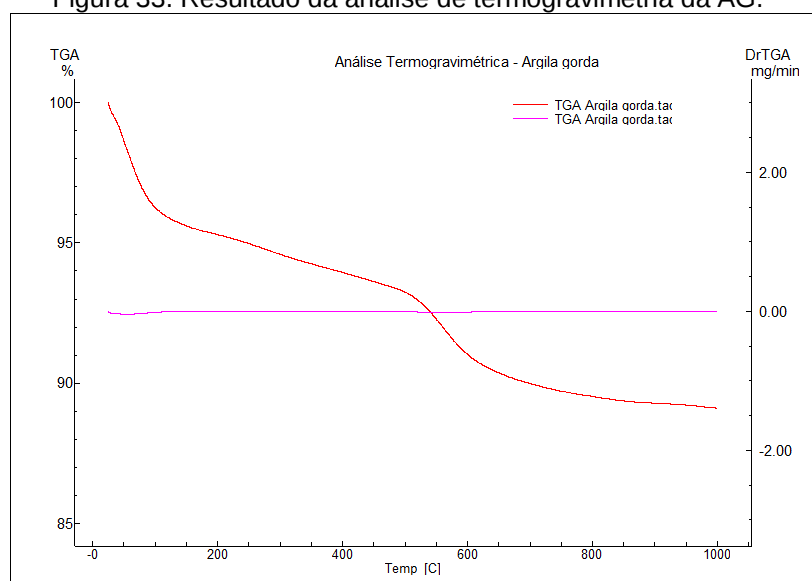
Componente químico	Argila gorda	Argila magra
	Teor	Teor
Al_2O_3	5,6	4,6
SiO_2	80,0	90,8
P_2O_5	0,2	0,1
K_2O	2,1	2,0
CaO	0,3	0,3
Fe_2O_3	11,0	1,9
Outros	0,8	0,3

Fonte: O autor, 2024.

4.4 Análise Térmica

A Figura 33 apresenta os resultados referentes à análise térmica de termogravimetria da argila gorda. Pode ser observado que nos dois tipos de argila houve perda de massa, no entanto, a argila gorda apontou maior percentual de perda que foi de 11% enquanto a argila magra foi aproximadamente de 5%. A partir do gráfico da argila gorda é possível verificar três pontos de perdas de massa acentuados entre as temperaturas de 100° C e 600° C que podem ter conexão com a perda de água livre, degradação da matéria orgânica e desidroxilação dos agrupamentos OH⁻ presente na estrutura cristalina do material.

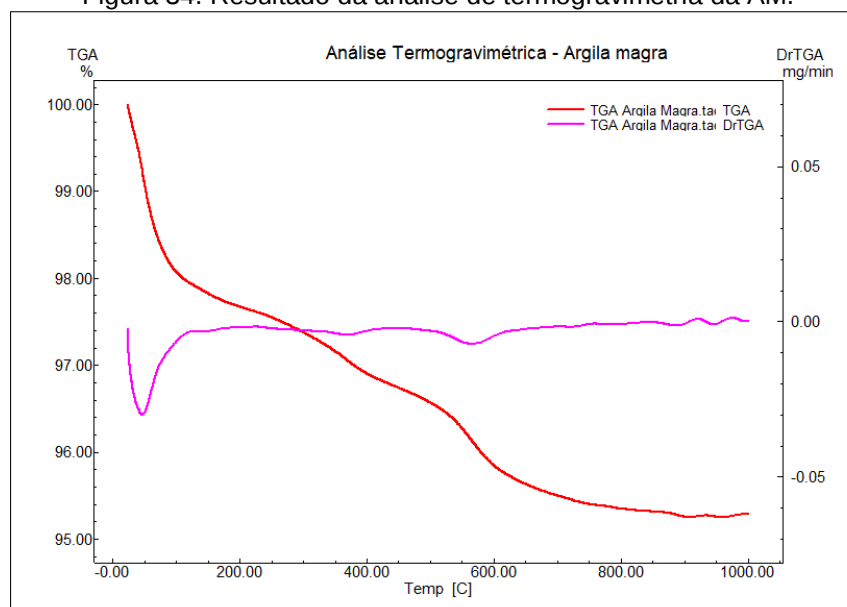
Figura 33. Resultado da análise de termogravimetria da AG.



Fonte: O autor, 2024.

A Figura 34 ilustra a análise termogravimétrica da argila magra. A argila magra teve um comportamento termogravimétrico similar, onde também apresentou três pontos de massa que estão ligados à água livre presente no material cerâmico, à matéria orgânica porque se trata de uma material heterogêneo constituído de três fases e à água de constituição que se faz presente nos interstícios lamelares da matéria-prima.

Figura 34. Resultado da análise de termogravimetria da AM.



Fonte: O autor, 2024.

Os picos endotérmicos em ambas as argilas tem correlação a uma perda de massa que está ligada à água adsorvida na superfície dos argilominerais, resultado semelhante encontrado no estudo de Kieufack *et al.*, (2023). Tais comportamentos foram observados no trabalho de Rat *et al.*, (2023) que apresentou picos associados à perda de massa de água livre e da intercamada dos filossilicatos, também apontou picos associados à desidroxilação ou perda de material constituinte de minerais de argila do grupo da mica e eliminação da matéria orgânica.

Arianpour e Arianpour (2022) apontou em seu trabalho que ocorreu perda de massa nas argilas a 200°C pela desidratação do material e remoção dos grupos hidroxilas e volatilização de material orgânico, devido a argila ser um material heterogêneo composto de diversas fases, que possui diversos comportamentos conforme mudança de fase. Egole *et al.*, (2024) observou um comportamento similar em seu trabalho relacionado à primeira queda de massa condiz com a perda de água absorvida e água intercalar. Ele também observou que acima de certas temperaturas, ocorre a quebra de componentes estruturais, incluindo os grupos hidroxila.

4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

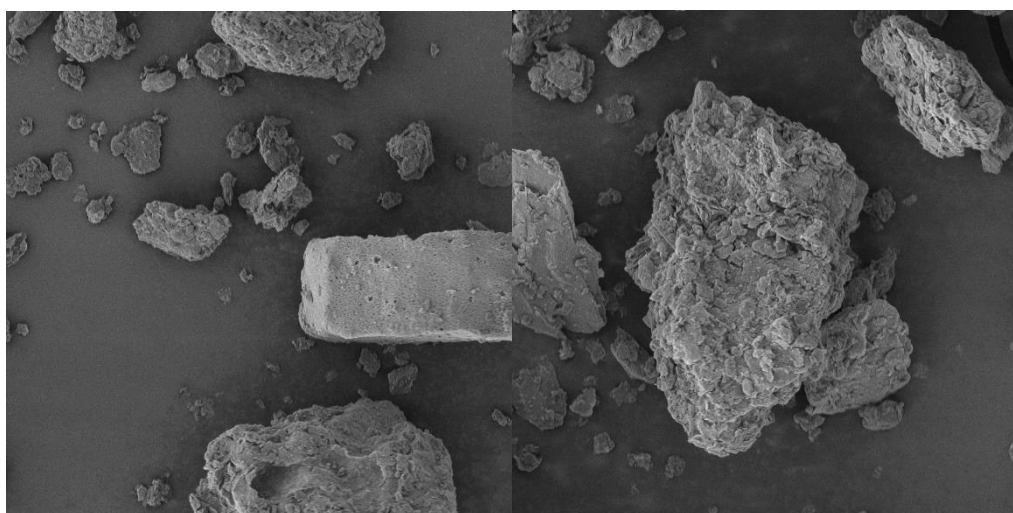
As Figuras 35 e 36 apresentam as análises nanométricas visual das argilas gorda e magra. Ambas as argilas possuem estrutura semelhante, porém cada argila difere nos graus de esferecidade, arredondamento dos grãos e estrutura.

As argilas foram processadas no moinho de bolas e em decorrência disso é possível verificar uma perda de brilho do material, assim como Santos, França e Ogasawara (2010) apontaram em seu experimento. A maneira que o material foi processado pelo equipamento promoveu a quebra do material, porém a delaminação foi afetada, com exceção da argila magra na Figura 36.

Como pode ser ilustrado na Figura 35, o argilomineral muscovita presente na argila gorda possui uma morfologia lamelar, característica típica dos minerais pertencentes ao grupo da mica. Santos, França e Ogasawara (2010) determinaram que a estrutura lamelar dificulta a moagem por atrito, pois é preciso que ocorra a delaminação, além da quebra de partículas. Souza *et al.*, (2024) apontaram que a estrutura da muscovita é do tipo lamelar. Paula e Rocha (2021) também inferiram características da muscovita como um arranjo laminar. Monsorens *et al.*, (2017) concluíram que a estrutura do argilomineral moscovita é classificado como lamelar.

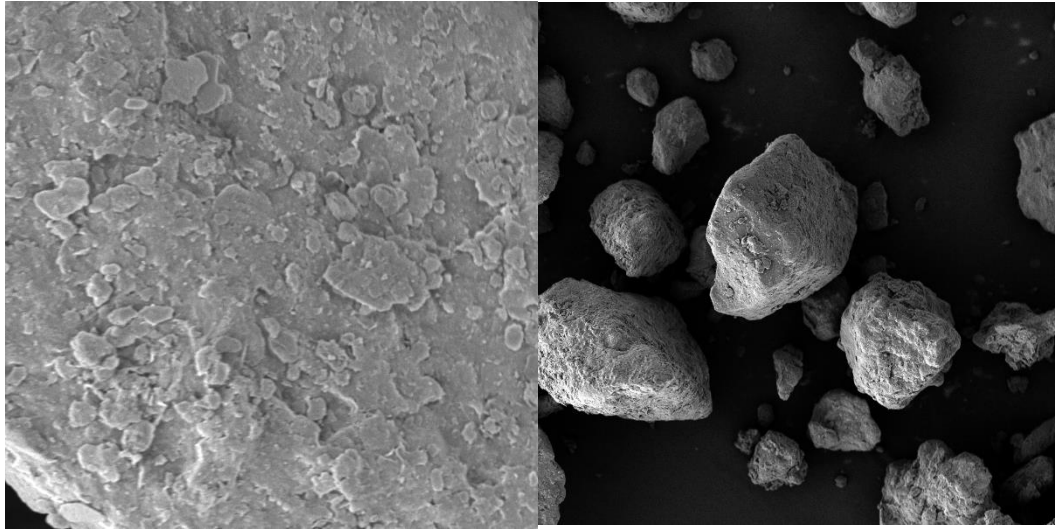
O feldspato presente na argila magra apresenta características de filamentos pontiagudos, assim como apresentado no estudo de Bardhan *et al.*, (2019), como mostra a Figura 36.

Figura 35 - Resultado do MEV da argila gorda.



Fonte: O autor, 2024.

Figura 36 - Resultado do MEV da argila magra.



Fonte: O autor, 2024.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível concluir que:

- Os dois tipos de argila apresentaram componentes químicos semelhantes mineralogicamente, apesar de que na análise química apontar que são matérias-primas diferentes. Isso pode estar ligado à proximidade do local de exploração das argilas;
- Todas as formulações propostas manifestaram valores de MRF dentro do recomendado pela norma, porém a F4 a 950° C foi a que teve maior valor. A formulação 2 e 3 também mostraram percentuais dentro do padrão;
- Apenas a argila gorda apresentou um limite de liquidez dentro do padrão. Para o limite de plasticidade, ambas estão na faixa recomendada e para o índice de plasticidade a argila gorda é classificada como medianamente plástica, enquanto a argila magra é fracamente plástica;
- No ensaio de perda ao fogo, os resultados ficaram dentro do recomendado, que pode ser relacionado com os resultados de absorção de água que, quanto maior a temperatura de intervenção térmica, menor foi o valor de absorção;
- Na porosidade aparente, apenas na temperatura de 950° C que os valores ficaram dentro do recomendado. No ensaio de massa específica aparente, todas as formulações apresentaram resultados excelentes e a formulação F1 foi a que teve valor mais próximo do percentual mínimo recomendado.
- De modo geral, as formulações F1, F2 e F3 demonstraram valores dentro do estabelecido para a cerâmica vermelha;

SUGESTÕES

Como sugestão a fim de complementar os estudos das matérias primas, aplicar tratamento estatístico e realizar o difratograma das formulações antes e após a intervenção térmica, além de comparar resultados baseados na atualização da norma NBR 15270/2023 e fazer as devidas intervenções de acordo com as mudanças.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, K. S. de; SOARES, R. A. L.; MATOS, J. M. E. de. Efeito de resíduos de gesso e de granito em produtos da indústria de cerâmica vermelha: revisão bibliográfica. **Matéria** (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 25, n. 1, p. 1-14, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0893>.
- Andrade, R.M., Paone, N., Revel, G.M., 1998, “Non Destructive Thermal Detection of Delamination in Ceramic Tile”, **Proc. ENCIT** 98, Rio de Janeiro, pp. 727-731.
- ARAÚJO, A. C. P. **Uma década da indústria de cerâmica vermelha no Brasil: na visão de Antônio Carlos Pimenta Araújo**. 1. ed. Rio de Janeiro:WalPrint, 2020.
- ARIANPOUR, A. Ç.; ARIANPOUR, F. Characterization, technological properties and ceramic applications of Kastamonu alluvial clays (Northern Turkey) in building materials. **Construction and Building Materials**, Volume 356, November 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129304>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM. Informações técnicas – definição e classificação. Disponível em: <https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em: 12 de setembro de 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, NBR 6457, Rio de Janeiro, 2016. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Análise granulométrica, NBR 7181, Rio de Janeiro, 2018. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Componentes cerâmicos – blocos e tijolos para alvenaria, NBR 15270, Rio de Janeiro, 2017. 55 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Determinação da dureza total – Método titulométrico do ETDA-Na, NBR 12621, Rio de Janeiro, 1992. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Determinação de alcalinidade – Métodos potenciométrico e titulométrico, NBR 13736, Rio de Janeiro, 1996. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Determinação de alcalinidade em água – Método por titulação direta, NBR 5762, Rio de Janeiro, 1977. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Determinação do limite de liquidez, NBR 6459, Rio de Janeiro, 2017. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Determinação do limite de plasticidade, NBR 7180, Rio de Janeiro, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio, NBR 16097, Rio de Janeiro, 2012. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Determinação do pH – Método eletrométodo, NBR 9251, Rio de Janeiro, 1996. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Peneira de ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 2: Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada, NBR NM ISO 3310-2, Rio de Janeiro, 2010. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Solos e rochas – Terminologia, NBR 6502, Rio de Janeiro, 2022. 40 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA – ANICER. A resistência dos blocos e tijolos cerâmicos estruturais. Disponível em: <https://revista.anicer.com.br/a-resistencia-dos-blocos-e-tijolos-ceramicos-estruturais/>. Acesso em: 23 de dez de 2023.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA - ANICER. Alvenaria de vedação. Disponível em: < <https://revista.anicer.com.br/alvenaria-de-vedacao/>>. Acesso em: 16 de dez. de 2023.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA – ANICER. Cerâmica: a mais antiga das indústrias. Disponível em: < https://www.anicer.com.br/wp-content/uploads/2024/03/Relatorio_2023.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2024.

Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos – ANFACER. Louças Sanitárias e Congêneres. História da Cerâmica. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/historia-da-ceramica>. Acesso em: 15 de dez. de 2023.

- AZEREDO, H.A de. **O edifício e sua cobertura**. São Paulo: Edgar Blucher, 1977.
- AZEREDO, H.A. **O edifício até sua cobertura**. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- BARDHAN, S *et al.*, Microstructure and Dielectric Properties of Naturally Formed Microline and Kyanite: A Size-Dependent Study. **Crys. Growth Des.**, 19 (2019). <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.9b00480>.
- BERTOLINO, L. C et al., Geologia. In: ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B da. **Manual de agregados para construção civil**. 2009.
- BRANCO, P de M. Minerais argilosos. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Minerais-Argilosos-1255.html>. Acesso em: 12 de setembro de 2022.
- BRASIL. **Manual prático de análise de água**. 1ª ed. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.
- BRASIL. **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2013. 150 p.
- CALLISTER JR., W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- COELHO, A. C. V.; SANTOS, P. S.; SANTOS, H. S. Argilas Especiais: o que são, caracterização e propriedades. **Química Nova**. vol. 30, nº 1. São Paulo – SP, Janeiro/Fevereiro, 2007.
- CORDEIRO, T.S. Desenvolvimento de esmalte com matérias-primas cruas [Relatório]. – Santa Catarina: Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2012.
- CROZETTA, J. R et al., Influência da Granulometria na Plasticidade e Retração de Secagem das Argilas. **Cerâmica Industrial**, Cocal do Sul, v. 21, n. 1, p. 1-9, fev. 2016.
- CRUZ, C. **A cerâmica e suas aplicações**. Disponível em: <https://revista.anicer.com.br/a-ceramica-e-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 16 de dez. de 2023.
- De Andrade, R.M., Esposito, E., Paone, N., Revel, G.M., 1999, “Non-destructive Techniques for Detection of Delamination in Ceramic Tiles: a Laboratory Comparison

between IR Thermal Cameras and Laser Doppler Vibrometers”, In: “Non-destructive Evaluation of Aging Materials and Composites III”, G.Y. Baaklini, C.A. Lebowitz, E.S. Boltz, Editors, Proceedings of SPIE, Vol. 3585, pp. 367-377.

DIAS, C.A.C.M. Reciclagem de lama de alto forno em cerâmica vermelha. Rio de Janeiro, 2011. 142p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2011.

DOBERSTEIN, A.W. O Egito Antigo. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2010.

DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Clays and bodies for ceramics tiles: Reappraisal and technological classification. **Applied Clay Science**, vol. 96, July 2014, p. 91-109. <https://doi.org/10.1016/j.clays.2014.01.013>.

EGOLE, C.P *et al.*, Experimental characterization of two clay deposits blended with feldspar and quartz for building services and refractory applications. **Journal of African Earth Sciences**. Volume 218, October 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2024.105373>.

ERNANI, P. R. **Química do solo de disponibilidade de nutrientes**. 2. ed. – Lages: O Autor, 2016. 256 p.

GARCEZ, L. R. N. **Cerâmica**. Centro Universitário Leonardo da Vinci: Indaial, Grupo UNIASSELVI, 2011, 192 p.

JUNG, M *et al.*, Comparativo entre diferentes métodos de determinação da retração linear de placas cerâmicas. **Rev. Técnico Científica (IFSC)**, v. 3, n. 1, 2012.

KER, J. C.; CURI N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG, SBCS, 2012. 343p.

KIEUFACK, E *et al.*, Mineralogical and physico-chemical characterization of alluvial clays from Bamendou-Balessing (West Cameroon): Suitability for ceramics. **Construction and Building Materials**, Volume 407, 1 December 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133396>.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. do. **Geologia geral**. 14. ed. rev. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2003.

MACEDO, R.S. Estudo das matérias-primas e tijolos furados produzidos no Estado da Paraíba. Campina Grande, 1997. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências e Tecnologia.

MALDAGUE, X. Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

MATENCIO, T. Importância dos materiais cerâmicos na nossa sociedade. **Revista Matéria**, Minas Gerais, v. 25, n. 1, p. 1-2, 2020.

MEDEIROS, R.M.; CAVALCANTI, E.P.; DUARTE, J.F.M. Classificação climática de Koppen para o estado do Piauí – Brasil. **Revista Equador (UFPI)**, Vol. 9, Nº 3, p.82-99. 2020.

MELO, M.S.; MELO, T.F.S.; CHINELATTO, A.S.A.; CHINELATTO, A.L.; FERNANDES, L.A.; GUIMARÃES, G.B. Caracterização de argilas da Depressão do Piraí e da Bacia de Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Geociências**, volume 40 (1), 2010.

MONSORES, K.G.C.; FRANÇA, S.C.A.; MORAES, L.S.; SANTOS, S.F. Materiais compósitos a base de PP e muscovita. **Revista Iberoamericana de Polímeros Y Materiales**, Volumen 18 (6), Noviembre de 2017.

MOTHÉ, C. G.; AZEVEDO, A. D de. **Análise térmica de materiais**. São Paulo: Artliber, 2009.

MOTTA, J.F.M.; ZANARDO, A.; JUNIOR, M.C. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. **Cerâmica Industrial**, 6 (2) Março/Abril, 2001.

NETTO, R.C.B. Ensaaios cerâmicos. - São Paulo: SENAI-SP Editora, 2019.

NORTON, F.H. Introdução à tecnologia cerâmica. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1973.

OLIVEIRA, A.P.;HOTZA, D. Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos. Florianópolis: Editora UFSC, 2011.

PAULA, R.T.; ROCHA, G.C. Caracterização Física e Mineralógica de Materiais Intempéricos na Área Urbana de Juiz de Fora – MG, através de Análise Macroscópica,

Difratômetro de Raios-X (DRX) e Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.03, 2021.

PINHEIRO, B.C.A.; HOLANDA, J.N.F. Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha. **Cerâmica** **56**: 237-243. 2010.

PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F.G. Importância da composição granulométrica das massas para cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 1/2, p. 31-35, 1997.

PRADO, C.M de O. Caracterização química e mineralógica das argilas utilizadas na produção de cerâmica vermelha no Estado de Sergipe. 62 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Sergipe. 2011.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2006.

RAT, E *et al.*, Characterization, thermal and ceramic properties of clays from Alhabia (Almería, Spain). **Ceramics Internacional**, Volume 49, Issue 9, Part B, May 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.05.328>.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p.

REIS, E.P dos. Estudo de adição de finos de rocha na fabricação de blocos e tijolos de vedação do extremo sul da Bahia. 189 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra. 2016.

RODRIGUES, R. A. S. **Ciência do solo: morfologia e gênese**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.

SALES JÚNIOR, J.C.C. Estudo da massa cerâmica triaxial visando à otimização do ciclo de queima da indústria de cerâmica estrutural. 155 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra. 2012.

SANCHEZ-MUÑOZ, L.; CAVA, S. da S.; PASKOCIMAS, C.A.; CERISUELO, E.; LONGO, E.; CARDA, J.B. Influência da composição das matérias-primas no processode gresificação de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica** **48**, (307), Jul/Ago/Set, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132002000300006>.

SANTOS, P de S. **Ciência e Tecnologia das Argilas**. 2. ed. rev. amp. São Paulo: Blucher, 1989.

SANTOS, P.S. Tecnologia das argilas. São Paulo: Editora Edgard Blucher, Vol. 1-2, 1975.

SANTOS, S.F.; FRANÇA, S.C.A.; OGASAWARA, T. Beneficiamento da mica da Região Borborema-Seridó. II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, 2010.

SEBRAE (org.). Construção civil: veja as tendências cerâmicas para 2023. 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/construcao-civil-vejaas-tendencias-ceramicas-para> 2023, e9c50c8c450d5810VgnVCM1000001b00320aRCRD. Acesso em: 22 de setembro de 2023.

SETZ, L. F.G.; SILVA, A. C da. **O processamento cerâmico sem mistério**. São Paulo: Blucher, 2019. 256 p.

SHAEFER, C.E.G.R.; GILKES, R.J.; FERNANDES, R.B.A. EDS/SEM study on microaggregates os Brazilian Latosols, in relation to P adsorption and clay fraction attributes. **Geoderma**, 123. p. 69-81, 2004.

SILVA, M.M.A. Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação. São Paulo, 2003. 167p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

SIQUEIRA, F.S. Fº.; DIAS, E.M. **Racionalização da construção**: produção de fachadas e impermeabilização. Distrito Federal: CREA/DF, 1999.

SOUZA, V.C. Plano de Pesquisa da Empresa Micromil-Micronização e Moagem LTDA [Relatório]. – Forquilha, 2012.

SOUZA, E. R de.; TAVARES, B. S.; PAIVA, C. T de.; SOUZA, R. V. C. C de.; CARVALHO, V. S de. **Pedologia e Edafologia**. Recife: IFPE, 2011. 94 p.

SOUZA, F.R.; FERNANDES, R.N.; LIBANO, E.V.D.G.; FRANÇA, S.C.A.; SANTOS, S.F. Efeito do tratamento ultrassônico em mica muscovita. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 5, 2024.

TEXEIRA, W.; FAIRCHILD. T. R.; TOLEDO, M. C. M de.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2007. 624p.

VIANA, W. Química Geral e Ciências dos Materiais: materiais cerâmicos, poliméricos e compósitos. Disponível em: https://catalogcdns3.ulife.com.br/content-cli/ENG_QUICIM_20/unidade_4/ebook/index.html#section_1. Acesso em: 24 de dez de 2023.

VIANA, W. Química Geral e Ciências dos Materiais: Materiais Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos. Disponível em: https://catalogcdns3.ulife.com.br/content-cli/ENG_QUICIM_20/unidade_4/ebook/index.html#section_1. Acesso em: 16 de dez. de 2023.

VIEIRA, C.M.F.; PINHEIRO, R.M. Avaliação de argilas cauliníticas de Campos dos Goytacazes utilizadas para a fabricação de cerâmica vermelha. **Cerâmica** 57, 2011. 319-323.

VIEIRA, C.M.F.; HOLANDA, J.N.F.; PINATTI, D.G. Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes-RJ. **Cerâmic**, [S.L.], v. 46, 2. 297, p. 14-17, mar. 2000. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132000000100003>.

VIOTTI, G. C de. A. **Desenvolvimento e caracterização de argilas organofílicas para uso em alimentação animal como adsorvente inativador de micotoxinas: Alflatoxina B₁ e Fumonisina B₁**. Florianópolis, 2006. 216 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina. 2006.

VIVONA, D. Visão, Desafios e Novos Rumos da Cerâmica de Revestimento. **Cerâmica Industrial**, 5 (2) Março/Abril, 2000.