



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

GABRIELLA DA SILVA NASCIMENTO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MINERALÓGICA DE ARGILAS DO POLO
CERÂMICO DE MOJU NO ESTADO DO PARÁ**

Ananindeua- PA
2023

GABRIELLA DA SILVA NASCIMENTO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MINERALÓGICA DE ARGILAS DO POLO
CERÂMICO DE MOJU NO ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de bacharela em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Edemarino Hildebrando

GABRIELLA DA SILVA NASCIMENTO

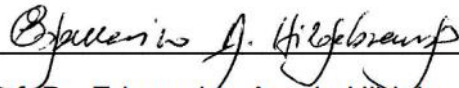
**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MINERALÓGICA DE ARGILAS DO POLO
CERÂMICO DE MOJU NO ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de bacharela em Engenharia de Materiais.

Data de avaliação: 17/10/2023

Conceito: EXCELENTE

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Edemarino Araujo Hildebrando
(FEMat-CAMPANIN-UFPA- Orientador)



Prof. Dr. Deibson Silva da Costa
(FEMat-CAMPANIN-UFPA- Membro interno)



Prof. Dr. Diego Hildebrando dos Santos
(FEI-CABAE-UFPA - Membro externo)

AGRADECIMENTOS

Com imensa gratidão, agradeço a Deus por me conceder saúde e aprendizagem, permitindo que eu enfrentasse os desafios e superasse obstáculos ao longo dessa jornada acadêmica. Em especial, agradeço a proteção durante o período em que eu e minha amada filha morávamos sozinhas enquanto cursava a faculdade.

A minha família, especialmente à minha filha Marjorie, que foi a inspiração e a motivação para que eu não desistisse em nenhum momento. Agradeço também à minha mãe Regiane e ao pai de Marjorie, Fernando, que sempre ofereceram seu apoio incondicional. E aos meus amigos: Luane Luiza, Ingrid Ângelo, Duane Ribeiro, Gabriel Corrêa e Pablo Ortega, que se fizeram presentes de inúmeras maneiras.

Ao meu orientador, Edemarino Hildebrando, sou profundamente grata por sua dedicação e orientação. Seu apoio e sabedoria foram fundamentais para a construção do meu conhecimento acadêmico e para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos laboratórios da UFPA; a Usina de Materiais e o PRODERMA no Campus de Belém, bem como o Laboratório de Caracterização no Campus de Ananindeua, por me permitirem utilizar seu espaço e recursos para realizar os experimentos necessários em minha pesquisa.

À PIBEX-UFPA, sou grata por proporcionar o suporte necessário para a promoção do desenvolvimento deste trabalho, bem como à SAEST-UFPA, que me concedeu auxílio financeiro nos primeiros anos de faculdade e possibilitou que eu chegasse até aqui.

Agradeço também a todos os docentes da FEMAT campus Ananindeua que contribuíram para minha formação acadêmica, e a todas as pessoas que, de alguma forma, somaram positivamente em minha trajetória. Os ensinamentos e encorajamento foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional.

Muito obrigada!

EPÍGRAFE

"O progresso é impossível sem mudança e aqueles que não conseguem mudar suas mentes não podem mudar nada" (GEORGE BERNARD SHAW).

RESUMO

Materiais cerâmicos desempenham um papel essencial em diversas aplicações industriais e do cotidiano. Nesse contexto, a análise realizada neste estudo se concentra em uma categoria específica de materiais cerâmicos conhecida como “cerâmica vermelha” ou “tradicional”. Esses materiais são produzidos em uma região onde a indústria ceramista está em desenvolvimento, no município de Moju, situado no estado do Pará. No decorrer deste estudo, a abordagem metodológica abrangeu tanto experimentos em laboratório quanto pesquisa de campo, foram aplicadas metodologias qualitativas e de revisão bibliográfica, a fim de buscar um melhor desempenho na compreensão das análises realizadas. O objetivo desta pesquisa é fornecer uma análise do cenário cerâmico local, com destaque para a relação entre as matrizes argilosas empregadas e a formulação de novos “*blends*”. Para alcançar esse propósito, foram conduzidas análises nas composições mineralógicas das argilas utilizadas, em suas propriedades tecnológicas e em suas características físicas. Logo, investigou-se as implicações decorrentes da formulação de dois “*blends*” desenvolvidos com essas matérias-primas. Para caracterizar as propriedades tecnológicas, os corpos de prova foram submetidos a ensaios padronizados de acordo com as normas da ABNT/NBR e de autores de referência na área. Ademais, observou-se que o “*blend*” proposto exibe características notáveis, indicando um potencial significativo e apontando para um cenário promissor.

Palavras-chave: Blocos cerâmicos; *Blends* cerâmicos; caracterização de argilas; Desenvolvimento tecnológico.

ABSTRACT

Ceramic materials play an essential role in various industrial and everyday applications. In this context, the analysis conducted in this study focuses on a specific category of ceramic materials known as 'red ceramics' or 'traditional ceramics.' These materials are produced in a region where the ceramic industry is developing, in the municipality of Moju, located in the state of Pará.

Throughout this study, the methodological approach encompassed both laboratory experiments and field research. Qualitative methodologies and literature review were applied to enhance the understanding of the conducted analyses.

The objective of this research is to provide an analysis of the local ceramic landscape, with a particular emphasis on the relationship between the clay matrices used and the formulation of new 'blends.' To achieve this purpose, analyses were conducted on the mineral compositions of the clays used, their technological properties, and their physical characteristics.

Subsequently, the implications resulting from the formulation of two 'blends' developed with these raw materials were investigated. Standardized tests, following the ABNT/NBR standards and guidelines from recognized authors in the field, were employed to characterize the technological properties. Furthermore, it was observed that the proposed 'blend' exhibits notable characteristics, indicating significant potential and pointing towards a promising scenario.

Keywords: Ceramic blocks; Ceramic blends; Clay characterization; Technological development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo de produção da cerâmica vermelha	18
Figura 2 – Estruturas de lâminas tetraedrais e octaedrais	21
Figura 3 – Estrutura da Caulinita através das ligações de hidrogênio.....	22
Figura 4 - Moinho de bolas e peneirador auto. c/ conjunto de peneiras....	23
Figura 5 – DRX da amostra AM1.	30
Figura 6 – DRX da amostra AM2.	31
Figura 7 – DRX da amostra AM3.	32
Figura 8 – DRX da amostra AM4.	33
Figura 9 – Peças cerâmicas após sinterização.....	34
Figura 10 – Gráfico comparativo de Retração Linear de Sinteriz. (RLS)....	35
Figura 11 - Gráfico comparativo de Absorção de Água (AA).	36
Figura 12 – Gráfico comparativo de Porosidade Aparente (PA).	38
Figura 13 - Gráfico comparativo de Massa Específica Aparente (MEA).....	39
Figura 14 - Gráfico comparativo de Tensão de Ruptura a Flexão (TRF).....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos tipos de cerâmicas.....	17
Tabela 2 – Nomenclatura e categorização das amostras.	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PIBEX	Programa Institucional de Bolsas de extensão
SAEST	Superintendência de Assistência Estudantil
UFPA	Universidade Federal do Pará
FEMat	Faculdade de Engenharia de Materiais
DRX	Difratograma de Raios X
RLS	Retração Linear de Sinterização
AA	Absorção de Água
PA	Porosidade Aparente
MEA	Massa Específica Aparente
TRF	Tensão de Ruptura à Flexão
MPa	Mega Pascal

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa	12
1.2 Objetivos	12
1.1.1 Objetivos Específicos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Indústrias ceramistas no estado do Pará	14
2.2 Cerâmica Vermelha	15
2.3 Processo produtivo de cerâmica vermelha	17
2.4 Argilas e argilominerais	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 Matéria-prima.....	23
3.2 Metodologia	24
3.3 Formulações.....	24
3.4 Métodos de determinação de propriedades físicas e tecnológicas .	26
3.4.1 Determinação das propriedades ópticas	26
3.4.2 Retração Linear de Sinterização (RLS)	26
3.4.3 Absorção de Água (AA).....	27
3.4. Porosidade Aparente (PA).....	27
3.4.4 Massa Específica Aparente (MEA).....	28
3.4.5 Tensão de Ruptura à Flexão (TRF).....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 Composição mineralógica.....	30
4.2 Determinação das propriedades físicas e tecnológicas	33
4.4.1 Determinação das propriedades opticas	33
4.2.2 Retração Linear de Sinterização (RLS)	34
4.2.3 Absorção de Água (AA).....	35

4.2.4 Porosidade Aparente (PA)	37
4.2.5 Massa Específica Aparente (MEA)	38
4.3.6 Ensaio de Tensão de Ruptura à Flexão (TRF)	39
5. CONCLUSÃO	42
5.1 Sugestão de trabalhos futuros.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

Moju é um município que está localizado no estado do Pará, catalogado na mesorregião do nordeste paraense, precisamente na microrregião de Tomé-açu (IBGE, 2022). O principal produto manufaturado no polo ceramista deste município são blocos cerâmicos para a construção civil, estes, produzidos por empresas de pequeno e médio porte que atendem principalmente o estado do Pará. Parte das empresas atuantes na região não direcionam suas matérias-primas e produtos a estudos ou ensaios científicos, esta problemática pode gerar impactos negativos no setor, comprometendo a qualidade dos produtos e consequentemente a competitividade das empresas.

O impacto resultante da carência de dados científicos sobre os materiais processados nessas indústrias tende a ocasionar um maior custo de produção e isso está diretamente ligado a configuração destas empresas e o investimento tecnológico feito por elas. A falta de análises e estudos pode resultar ainda em produtos comercialmente inferiores, o que pode afetar negativamente a imagem da empresa perante o mercado e seus consumidores.

A mineração de argila constitui uma atividade econômica geralmente atrelada localmente à sua indústria de transformação. Mas, de modo geral, as minas carecem de investimentos de aprimoramento do sistema de produção (pesquisa mineral, lavra e beneficiamento). A deficiência de capacitação da mão de obra, associada à incipiente tecnologia empregada (equipamentos e processos), reflete-se em carências de padronização e de qualidade das matérias-primas, com consequentes prejuízos na produção cerâmica (CABRAL JUNIOR, *et. al.* 2020).

Para a concretização deste trabalho, foram realizados levantamentos nas indústrias do município. A metodologia utilizada foi a de pesquisa de campo, estando presente neste estudo análises das propriedades físicas, mineralógicas e tecnológicas, estabelecidas pelas normas de especificações brasileiras e autores de referência. Junto a isto, serão discutidas possíveis melhorias em relação às formulações praticadas pelos produtores cerâmicos da região.

1.1 justificativa

A investigação das propriedades físicas e tecnológicas da argila utilizada pelas indústrias ceramistas mojuenses, bem como a confecção de novas formulações (*blends*) propostas para produção de blocos e telhas cerâmicas, é de extrema importância para o avanço técnico/científico do referido setor. Uma vez que, a partir da análise de propriedades é possível compreender melhor a natureza da argila e suas possibilidades de uso na produção de materiais cerâmicos. Com isso, espera-se não apenas contribuir para o conhecimento científico, mas também fornecer informações valiosas para as empresas ceramistas do município de Moju.

Os resultados da pesquisa poderão auxiliar as empresas a aprimorarem seus processos produtivos, por meio do desenvolvimento de dados inéditos expostos neste estudo, será possível uma avaliação mais detalhada do uso do material argiloso pelas indústrias ceramistas, permitindo que eventuais problemas ou limitações sejam corrigidos e melhorados. Isso poderá garantir a qualidade de seus produtos, aumentando sua competitividade no mercado e permitindo a expansão de seus negócios. Além disso, a pesquisa poderá ter impactos positivos em toda a cadeia produtiva da região, promovendo o desenvolvimento econômico e social. Logo, a pesquisa poderá trazer benefícios não só para as empresas, mas também para a economia e a sociedade da região como um todo.

1.2 Objetivo Geral

Caracterizar diferentes argilas do polo cerâmico de Moju para a produção de blocos e telhas.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar as propriedades tecnológicas das argilas a fim de verificar sua conformidade com as normas brasileiras;

- Desenvolver novas formulações distintas das atualmente empregadas pelas indústrias ceramistas mojuenses;
- Analisar a composição mineralógica utilizando técnica de difratometria por Raios X (DRX);

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indústrias ceramistas no estado do Pará

Desde 1980 as indústrias ceramistas do estado do Pará já se destacam por exercer uma contribuição significativa na economia de alguns municípios paraenses, sendo estes: São Miguel do Guamá, Inhangapi, Marabá, etc, tanto por produtores informais, quanto por produtores de micro e pequenas empresas (CHAVES, 2019).

Ainda no contexto de 1980, ocorreu a concepção do Programa Pró-Oleiro, que objetivava viabilizar o desenvolvimento do parque industrial do setor oleiro cerâmico do Pará a fim de melhorar a qualidade do produto e elevar potencialmente a produção das empresas atendidas pelo programa (LIRA, 1998).

A importância do programa possibilitou uma produção competitiva com outros estados, haja vista que neste setor a produção ainda se caracterizava por tecnologia rudimentar com processos manuais e organização familiar. Em meados de 1998 o setor oleiro visava dinamizar o processo de produção através da implementação de tecnologias correspondentes à realidade local, logo, agregou-se valor à produção de micro e pequenas empresas (CHAVES, 2019).

Depois de anos de mercado e desenvolvimento do setor, em 2011 a indústria ceramista pôde através do Centro de Educação profissional do SENAI dispor de mão de obra qualificada e de aperfeiçoamentos da cadeia produtiva da cerâmica, por meio do primeiro laboratório de ensaios cerâmicos do Estado do Pará, que visava analisar e/ou avaliar o produto final das indústrias cerâmicas do estado (CHAVES, 2019).

Faz-se necessário ressaltar, que atualmente a indústria ceramista do país detém 1% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, sendo 40% desse montante constituído pela categoria de cerâmica vermelha. Mesmo sendo de grande importância econômica e social, nota-se ainda, que na maioria das jazidas de argilas não são realizados estudos, não havendo, portanto, dados técnicos-científicos que auxiliem sua utilização industrial de maneira que direcionam

racionalmente o processo e a produção (MACEDO, 2008).

Fatores como a abundância de argila nas jazidas contribuem significativamente para o crescimento do setor. Em 2018, o número de cerâmicas e olarias no Brasil era de aproximadamente 5.600 empresas, destas, eram provenientes uma produção mensal de até 2.554.202.00 telhas cerâmicas, e 5.702.479.000 blocos (tijolos). Totalizando um quantitativo de em média 8.256.681.000 mensal de blocos e telhas (IBGE, 2018).

Além dos usos tradicionais das argilas na indústria cerâmica estrutural, também utilizada de matéria-prima para uma grande variedade de produtos, como blocos, tijolos maciços, telhas, tubos e lajotas, esses materiais possuem outras aplicações, como na fabricação de vasos ornamentais, utensílios domésticos, cimento, agregado leve e revestimentos (CABRAL JUNIOR, *et. al.* 2012).

2.2 Cerâmica Vermelha

A cerâmica, cujo nome deriva do grego "kerámos," que significa "terra queimada" ou "argila queimada," representa o material artificial mais antigo fabricado pelo ser humano. Sua notável resistência é frequentemente evidenciada pela recorrência de achados cerâmicos em escavações arqueológicas. Estudos e pesquisas apontam que a produção de cerâmica remonta a um período estimado de 10 a 15 mil anos atrás, destacando assim a longa trajetória da cerâmica na história da humanidade (ANFACER, 2017).

A cerâmica vermelha, usada na confecção de blocos cerâmicos, pode ser composta por dois tipos de argilas: as argilas plásticas, ricas em argilominerais e comumente nomeadas de "fortes" devido à sua alta plasticidade; e as argilas comuns, menos plásticas, utilizadas para controlar propriedades tecnológicas e frequentemente nomeadas de "fracas". A escolha entre esses tipos pode desempenhar um papel crucial na determinação das características finais dos produtos cerâmicos, sendo especialmente relevante para a produção de blocos cerâmicos no setor de cerâmica vermelha (VITÓRIA, 2018).

Quimicamente, os materiais cerâmicos são compostos sólidos constituídos por pelo menos um elemento metálico e um não metálico, ou ainda, dois não metálicos. Sabe-se, que as características dos materiais cerâmicos são em razão de sua natureza química, sua estrutura cristalina ou amorfo, e de diversas transformações decorridas durante todo seu processamento. No processo de fabricação, a massa é umidificada acima do limite de plasticidade (geralmente com mais de 20% de umidade), e processada em misturadores e homogeneizadores, sendo conformadas a seguir em extrusoras (marombas), quando adquirem as suas formas finais (blocos, lajes, lajotas, tubos) ou seguem para prensagem (telhas) ou tornearia (vasos) (CABRAL JUNIOR, *et al.*, 2012).

De modo geral, as argilas são materiais heterogêneos, dado que suas características dependem de sua formação geológica e do local de extração. Quando a utilização destas argilas é para fins industriais, é indiscutível a necessidade de uma caracterização completa para a identificação do tipo de argila e suas propriedades, uma vez que por meio dos dados obtidos com a caracterização, é possível determinar formulações e condições apropriadas (RAMOS, *et al.* 2019).

Seguindo a lógica abordada acima, pode-se concluir que as propriedades do produto têm relação direta com as propriedades iniciais das matérias-primas, tais como granulometria, plasticidade, composição mineralógica, etc. Em países com estudos mais avançados no ramo, já se compreende que as características físicas, químicas e mecânicas dos materiais argilosos são relevantes para o processo e qualidade do produto (RAMOS, *et al.* 2019).

Sendo assim, com base na classificação apresentada na Tabela 1, é possível identificar a categoria à qual a cerâmica vermelha se vincula. Esses materiais são caracterizados por sua coloração avermelhada e têm ampla aplicação na construção civil (SOUZA, 2015).

Tabela 1 – Classificação dos tipos de cerâmicas.

TIPO DE CERÂMICA	PRODUTO
Cerâmica vermelha	Tijolos, telhas, blocos, etc.
Cerâmica branca	Louça sanitária, louça de mesa, isoladores elétricos, dentre outros.
Cerâmica avançada	Biomateriais para implantes, satélites, etc.
Isolantes térmicos	Produtos como vermiculita expandida, sílica diatomácea, diatomito, silicato de cálcio, lã de vidro e lã de rocha.
Materiais de revestimento	Placas cerâmicas de revestimento para paredes, pisos, bancadas, etc. (nomeados de: azulejo, lajota, partilha, etc).
Materiais refratários	Matéria-prima utilizada com finalidade de suportar temperaturas elevadas em condições específicas de processos e de operação de equipamentos industriais.
Vidro, cimento e cal	Segmentos considerados parte da composição cerâmica.

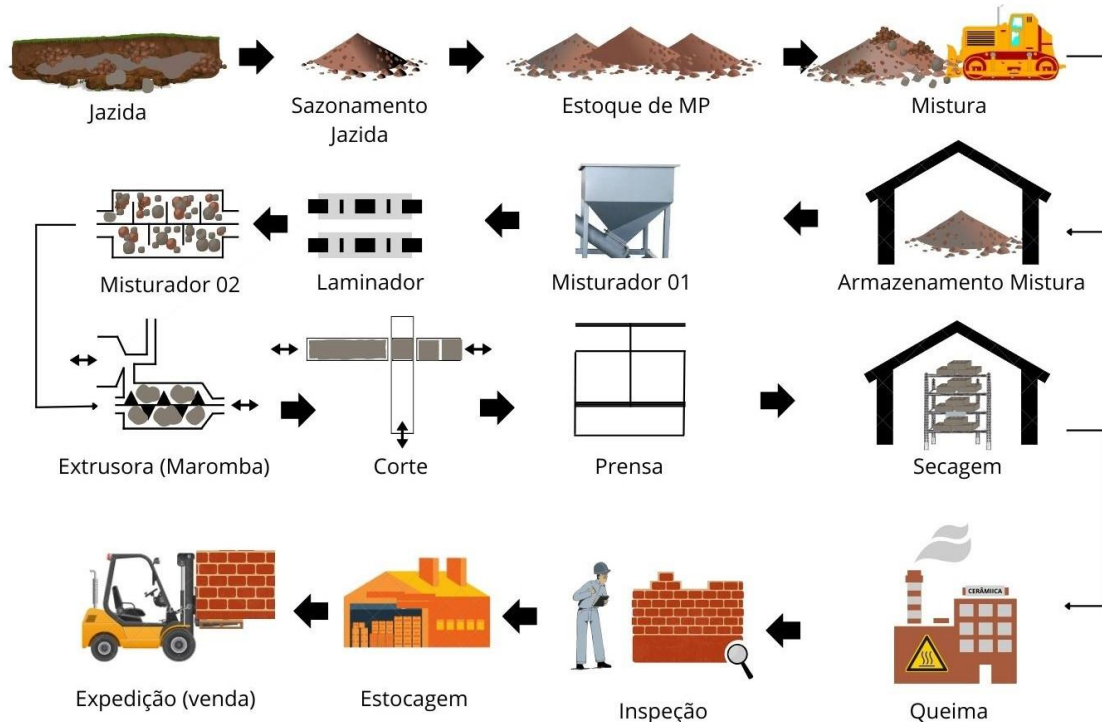
Fonte: Autoria própria, 2023.

2.3 Processo produtivo de cerâmica vermelha

Para que seja possível explorar comercialmente a cerâmica vermelha, faz-se necessário a exploração da argila, esta, é extraída de jazidas e encaminhada ao sazonalamento. Após estes dois segmentos, a massa cerâmica é destinada a linha de produção com a finalidade de originar tijolos, blocos cerâmicos e telhas. Geralmente, o processo para transformar argila em produtos de cerâmica vermelha consiste em cinco fases, sendo estas: a extração e a composição da argila, a moldagem e o corte, a secagem e por fim, a queima. A seguir, na Figura

1, é possível visualizar o fluxograma de todo o processo.

Figura 1 – Fluxograma do processo de produção da cerâmica vermelha



Fonte: Autoria própria, 2023.

Quanto às jazidas, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) determina para os ceramistas que o limite das escavações para a extração de argila dos barreiros seja de 1,60m de profundidade, pois as análises dos técnicos do IBAMA revelam que essa profundidade não é danosa para os lençóis freáticos (CORDOVIL; *et. al.* 2011).

O sazonalamento é onde o material fica em “descanso”, período necessário para que a matéria-prima fique mais homogênea e estável, por meio de processos físico-químicos, como a decomposição de material orgânico, dissolução de sais, e desagregação de aglomerados. O sazonalamento deve ser realizado a céu aberto com cada tipo de argila, que pode ser separada em porções específicas ou em camadas, em forma de “sanduíche”, em períodos que variam de dias, meses ou anos, isso vai depender das características das matérias-primas (FERREIRA, 2023).

Em relação à mistura, esta formulação da massa é feita geralmente de forma empírica pelo ceramista, envolvendo a mistura de uma argila “forte”, caracterizada pela alta plasticidade, granulometria fina e composição essencialmente de argilominerais, com uma argila “fraca”, rica em quartzo e menos plástica, que pode ser caracterizada como um material redutor de plasticidade e que permite a drenagem adequada das peças nos processos de secagem e queima (CABRAL JUNIOR, et. al. 2008).

Com o uso do laminador é possível diminuir a granulometria da massa, completar a homogeneização e cortar a massa em lâminas, este processo pode ser acompanhado de britadores, posteriormente a argila pode ser misturada novamente e encaminhada ao processo de extrusão, que se baseia em forçar a massa a passar, sob pressão, através de um bocal apropriado (BASTOS, 2003).

A extrusão pode ser uma etapa intermediária do processo de formação. Em seguida essa coluna é cortada, obtendo-se desse modo peças como tijolos vazados, blocos, tubos e outros produtos de formato regular, como no caso de alguns tipos de isoladores elétricos (OLIVEIRA, 2008). Após esta etapa, as peças moldadas são encaminhadas para o processo de secagem.

Segundo Souza (2003), a secagem de uma peça moldada consiste na remoção do líquido, geralmente água. Trata-se de uma etapa decisiva, na qual a retração volumétrica que ocorre simultaneamente à perda de água requer uma série de cuidados para evitar que ainda nesta etapa apareçam trincas irreversíveis nas peças moldadas.

Dando continuidade ao processo, são executadas a expedição, armazenagem e inspeção, estas, realizadas para garantir a qualidade das peças e encaminhá-las ao processo de queima. Segundo Santos (2006), é durante o processo de queima, também conhecido como cozimento ou cocção, que os blocos cerâmicos adquirem as propriedades finais. Trata-se da fase em que ocorrem as transformações físico-químicas (variações da estrutura química e cristalina) e mecânicas (dilatação, porosidade e resistência mecânica), sofridas pelas argilas devido à ação do fogo.

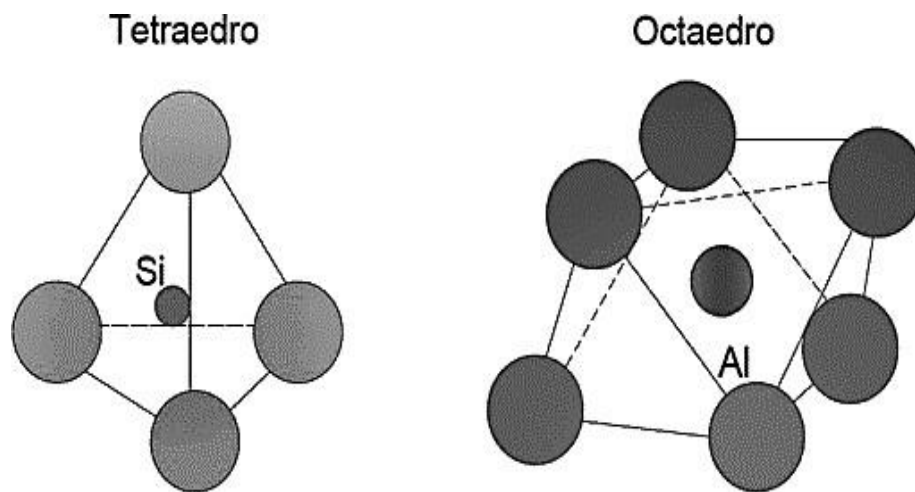
2.4 Argilas e argilominerais

A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade. Todas as argilas são constituídas por argilominerais, que são compostos quimicamente por silicatos hidratados de alumínio e ferro, contendo ainda certo teor de elementos alcalinos terrosos. Além dos argilominerais, as argilas, geralmente contêm matéria orgânica, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais (SOUZA, 1989).

Os argilominerais são caracterizados como silicatos de alumínio hidratado, no entanto, podem sofrer substituições por compreenderem pequenas proporções de elementos alcalinos (tais como: K, Na e Li) e alcalinos terrosos (tais como: Ca e Mg) (ALMEIDA, 2017).

Estes, possuem estruturas acamadas que são desenvolvidas por lâminas tetraedrais ou de Si e O, ou ainda de Al, associadas através de lâminas octaédricas. Estas estruturas, expõem-se em arranjos hexagonais que ocasionam importante influência nas características da rocha. Sendo estas: textura, permeabilidade, dentre outros. Na Figura 2 pode-se observar as estruturas citadas (ALMEIDA, 2017).

Figura 2 – Estruturas de lâminas tetraedrais e octaedrais.



Fonte: SILVA, 2013.

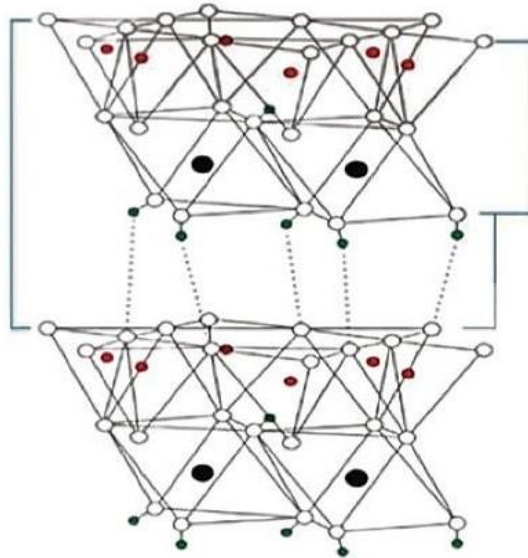
Interessantemente, estas estruturas são capazes de desenvolver minerais com uma lâmina de tetraedral ligada a uma lâmina octaedral, ademais, o Si pode sofrer uma substituição isomórfica pelo $Al^{+3}Fe^{+2}$ e Fe^{+3} no tetraedro e entre Al e o Fe^{+2} , Fe^{+3} , Ti^{+4} , Cr^{+3} , Mn^{+2} , Zn^{+2} , Li^{+2} e Mg^{+2} no octaedro (ALMEIDA, 2017).

Desta forma, são minerais formados pelo empilhamento regular de camadas (ou folhas) de tetraedros de sílica (SiO_2 - camada "T") sobre camadas octaédricas de alumínio ($Al_2(OH)_6$ - camada "O"). Podem ocorrer dois tipos de arranjos nos argilominerais: bilamelar (1:1 ou sequências do tipo "T-O") ou trilamelar (2:1 ou sequências "T-O-T"). Neste último caso, a estrutura contempla um espaço para a instalação de sucessivas camadas iônicas, onde podem se alojar diversos tipos de elementos (Na, K, Ca, Li etc.) ou moléculas de água (VICTORIA, 2018).

Os argilominerais são distribuídos em diferentes grupos, e apenas alguns são utilizados como componentes de argilas industriais, incluindo a caulinita, montmorilonita, talco, vermiculita e amianto crisotila, como destacado por Coelho et al. (2007). De acordo com Caglar et al. (2013), a estrutura da caulinita é composta por uma folha tetraédrica de silício coordenado a átomos de oxigênio

e uma folha octaédrica de alumínio coordenado a oxigênio e grupos OH. A Figura 3, conforme mencionado por Magriotis et al. (2010), ilustra a disposição dos átomos de alumínio e oxigênio na estrutura da caulinita.

Figura 3 – Estrutura da Caulinita através das ligações de hidrogênio.



Fonte: CHENG et al, 2012.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

As amostras de argilas *in natura* utilizadas para a dinâmica deste trabalho foram coletadas no município de Moju, este, localizado na mesorregião do nordeste paraense, especificamente na microrregião de Tomé-açu. O beneficiamento do material iniciou-se na secagem a 100 °C por 24 horas utilizando uma estufa da marca QUIMIS, posteriormente, o material foi desagregado por 15 minutos em um moinho de bolas da marca ROMAX, Figura 4 (a). Consecutivamente foi realizado o peneiramento automático durante 5 minutos utilizando as peneiras de abertura nº 60/80/100 *tyler* e o agitador de peneiras da marca PRODUTESTE Figura 4 (b).

Figura 4 - Moinho de bolas (A) e peneirador automático com conjunto de peneiras (B).



Fonte: Autoria própria, 2023.

3.2 Metodologia

Após o beneficiamento da argila, foram iniciados os processos de conformação e sinterização do material, estes, consistem na confecção e queima dos corpos de prova. A confecção se iniciou com a umidificação da argila beneficiada a fim de produzir uma massa semi-seca, esta, umidificada com uma massa d'água que corresponde de 8% a 12% do seu peso total (Mensurados em uma balança analítica nas instalações da usina de materiais). Feito isso, a mesma foi depositada em um molde metálico retangular com dimensões de 10,0 x 5,0 x 1,0 cm e encaminhada para a prensagem uniaxial automática na prensa da marca NOWAK, onde foram submetidos a carga de 10 toneladas.

Após a prensagem do material no molde foi realizada a ejeção dos corpos de prova a fim de encaminhá-los para secagem em estufa com temperatura de 100 °C por 24 horas, tendo como propósito eliminar a água adicionada na etapa de conformação para conduzi-los a sinterização, realizada em forno JUNG modelo JC 16513, em temperatura de 900 °C por 2 horas. Importante destacar que essa temperatura é próxima da comumente empregada em estudos de caracterização de argilas da região norte.

No processo de sinterização ocorre o desenvolvimento de importantes características, tais como a reorganização da estrutura e a diminuição ou eliminação dos poros ocasionada pelo transporte de material para o interior do produto (densificação). É importante elencar ainda, que após a queima (sinterização) os corpos de prova têm suas dimensões e peso novamente mensurados, com o propósito de serem caracterizadas algumas das propriedades físicas através de cálculos pré-determinados na literatura (FERREIRA, 2017).

3.3 Formulações

A elaboração de blends pelos ceramistas geralmente envolvem as misturas de duas argilas distintas. Uma delas é uma argila "forte", caracterizada pela alta plasticidade, granulometria fina e composição essencialmente de argilominerais. A outra argila é caracterizada como "fraca", pois dispõe de abundância de quartzo e menor plasticidade, atuando como um agente redutor

de plasticidade, favorecendo o processo adequado de saída de água das peças durante a secagem e queima (CABRAL JUNIOR et al, 2005). Nesta etapa do processo, é importante que se tenha conhecimento dos elementos que compõem a massa cerâmica, para assim determinar a melhor proporção na formulação destes artefatos.

Neste trabalho, foram estudadas seis amostras, sendo que apenas duas delas foram formuladas com argilas de diferentes categorias, denominadas "fraca" e "forte", cujas nomenclaturas foram atribuídas pelas empresas fornecedoras. Vale ressaltar que a argila do tipo "forte" foi coletada próxima às margens do rio Moju por uma das indústrias, enquanto a outra realizou a coleta dentro de suas dependências.

A proporção estabelecida para a execução das formulações neste trabalho foi de 70% de uma argila classificada pelos produtores como "argila forte" e 30% de outra argila identificada por eles como "argila fraca", a mesma formulação para os dois *blends* é justificada pela coleta feita em diferentes terrenos e em razão da utilização dos ceramistas - ou seja, nomeadas de acordo com a categorização do produtor. Todas as amostras foram nomeadas conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Nomenclatura e categorização das amostras.

AMOSTRAS	INFORMATIVOS
AM1	<i>“material proveniente das dependências da empresa 1”</i>
AM2	<i>“material proveniente das dependências da empresa 1”</i>
AB1	<i>“Blend formulado a partir de AM1 e AM2”</i>
AM3	<i>“material proveniente das margens do rio Moju, utilizado pela empresa 2”</i>
AM4	<i>“material proveniente das dependências da empresa 2”</i>
AB2	<i>“Blend formulado a partir de AM3 e AM4”</i>

Fonte: Autora, 2023.

3.4 Métodos de determinação de propriedades físicas e tecnológicas

3.4.1 Determinação das propriedades ópticas

A composição mineralógica das argilas utilizadas no processo cerâmico pode influenciar significativamente as propriedades cromáticas do material resultante. Alguns argilominerais, como a hematita, pode durante o processo de sinterização oxidar, levando a uma mudança na tonalidade final das peças. Além disso, a temperatura e o tempo de sinterização também podem influenciar na intensidade da coloração final. Ferreira (2023), defende que a coloração avermelhada é resultado da ação de minerais portadores de compostos de ferro entre eles a goethita ($\alpha - FeO(OH)$), ferrihidrita ($Fe^5HO^84H^2O$), lepidocrocita ($\gamma - FeOOH$), hematita ($\alpha - Fe^2O^3$), responsáveis por esta pigmentação.

3.4.2 Retração Linear de Sinterização (RLS)

A retração em blocos cerâmicos deve respeitar uma margem de 6%, uma vez que o tamanho do material é sujeito a mudanças de acordo com as reações ocorridas na cadeia produtiva deste (CARNEIRO, 2012).

Com o objetivo de mensurar e controlar tal aspecto, foram determinados o comprimento inicial e o comprimento final (verificado após a sinterização). Posteriormente, foram realizados os cálculos de Retração Linear de Sinterização (RLS), este, determinado utilizando a seguinte equação:

$$RLS = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100(\%) \quad (1)$$

onde:

L_0 = Comprimento inicial do corpo de prova (cm)

L_1 = Comprimento final do corpo de prova (cm)

3.4.3 Absorção de Água (AA)

A absorção de água é a razão entre a massa de água nos poros para a massa do produto queimado, é uma função fundamental do comportamento de sinterização e de qualidade da cerâmica que estão diretamente relacionadas com a porosidade residual aberta (CHEN; et al., 2013). Quanto menor for a porosidade do artefato cerâmico e menor for sua absorção d'água, melhores serão determinadas propriedades, algumas importantes como a resistência mecânica (VAZ, 2013).

Os corpos de prova foram submetidos à verificação de seus pesos após o processo de sinterização onde encontravam-se devidamente secos, seguidamente, foram imersos em água a fim de determinar o peso do material úmido (etapas necessárias para utilizar a fórmula com os parâmetros corretos). De acordo com a Norma Brasileira NBR 15270-1: 2017 a porcentagem de absorção de água aceitável é de 8% a 25% em blocos cerâmicos, já para telhas, a normatização brasileira NBR 15310/2009 determina que a porcentagem máxima admissível para absorção de água em telhas é de 20%. Este percentual pode ser calculado quando aplicada a seguinte equação:

$$AA = \frac{M_U - M_S}{M_S} \times 100(\%) \quad (2)$$

Onde:

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

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

3.4.4 Porosidade Aparente (PA)

A porosidade em um material cerâmico tende a ser menor à medida que a temperatura de queima aumenta devido à densificação que ocorre durante a sinterização fechando os poros, diminuindo a porosidade (DUTRA, SILVA & VARELA, 2008). Para determinar a porosidade aparente, as massas dos corpos de prova foram mensuradas em três condições: seco, úmido e imerso. Após este período em imersão, as informações coletadas dessas massas foram aplicadas na seguinte equação:

$$PA = \frac{M_u - M_S}{M_u - M_i} \times 100(\%) \quad (3)$$

onde:

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

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

M_i = Massa do corpo de prova imerso por 24 horas após a queima (g)

3.4.5 Massa Específica Aparente (MEA)

A massa específica aparente, que estabelece a densidade do artefato cerâmico, está diretamente ligada à sinterização das peças. Conseqüentemente, as peças moldadas com amostras de maior especificidade aparente tendem a apresentar uma maior densificação (SANTIS, et al. 2013).

Assim como as outras propriedades físicas e tecnológicas citadas acima, a massa específica aparente pode ser estabelecida quando os dados fornecem peso úmido, imerso e seco, para serem devidamente aplicados na equação abaixo:

$$MEA = \frac{M_S}{M_U - M_i} (g/cm^3) \quad (4)$$

onde:

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

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

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

3.4.6 Tensão de Ruptura à Flexão (TRF)

O ensaio foi conduzido no equipamento Intermetric iM-50, utilizando o software Tesc versão 7.00 e seguindo o método de ensaio de flexão com extensômetro até a ocorrência da ruptura. Essa abordagem viabilizou as análises sobre os corpos de prova estudados.

Para determinar a propriedade mencionada neste tópico, aplicou-se a seguinte equação:

$$TRF = \frac{3P \times L}{2b \times h^2} \quad (5)$$

Onde:

TRF = Tensão de Ruptura a Flexão (kgF/cm^2);

P = Carga aplicada (KgF);

L = Distância entre os apoios (cm);

b = Largura (cm);

h = Altura (cm);

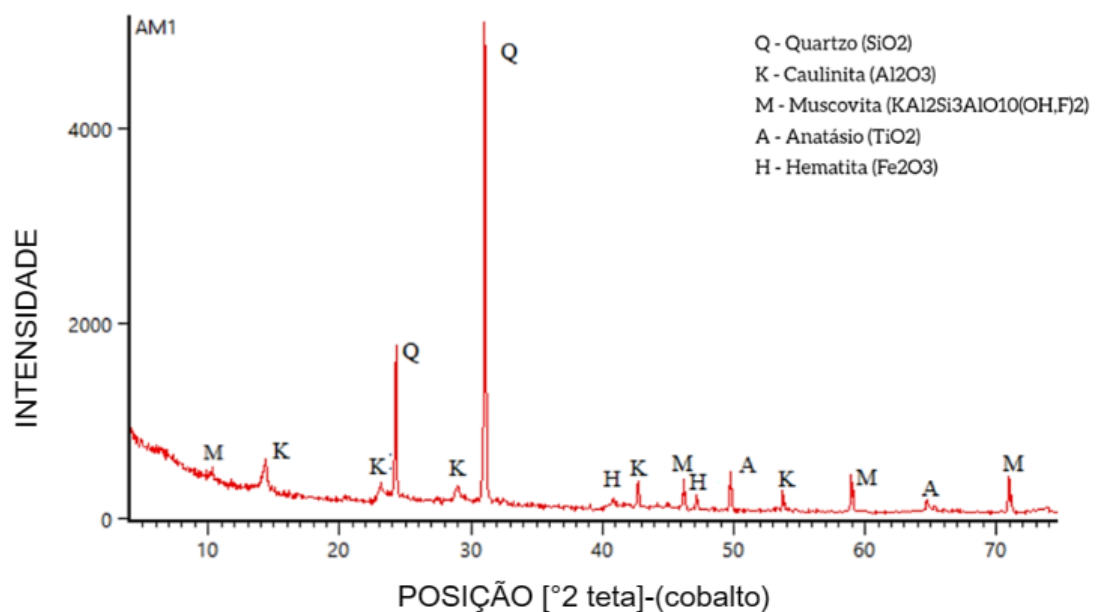
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Composição mineralógica

Para análise da composição mineralógica, utilizou-se a Difração de Raios-X (DRX), uma vez que ao analisar os padrões fornecidos por esta técnica, é possível quantificar a quantidade de cada fase cristalina com base na intensidade dos picos de difração. Isso não apenas ajuda na identificação dos minerais, mas também fornece informações quantitativas valiosas sobre a composição mineralógica de uma amostra, contribuindo para uma compreensão mais completa de sua natureza e características.

Neste estudo, foram conduzidas quatro análises utilizando a massa proveniente da etapa de beneficiamento como amostra para técnica de difratometria de raios X (DRX). Os resultados obtidos indicam que a amostra AM1 apresentou maior intensidade de quartzo e caulinita em comparação com outros argilominerais, como muscovita, anatásio e hematita, que manifestaram intensidade menor. Essa diferença sugere uma maior presença e/ou maior cristalinidade dos minerais quartzo e caulinita na amostra, conforme mostrado na Figura 5.

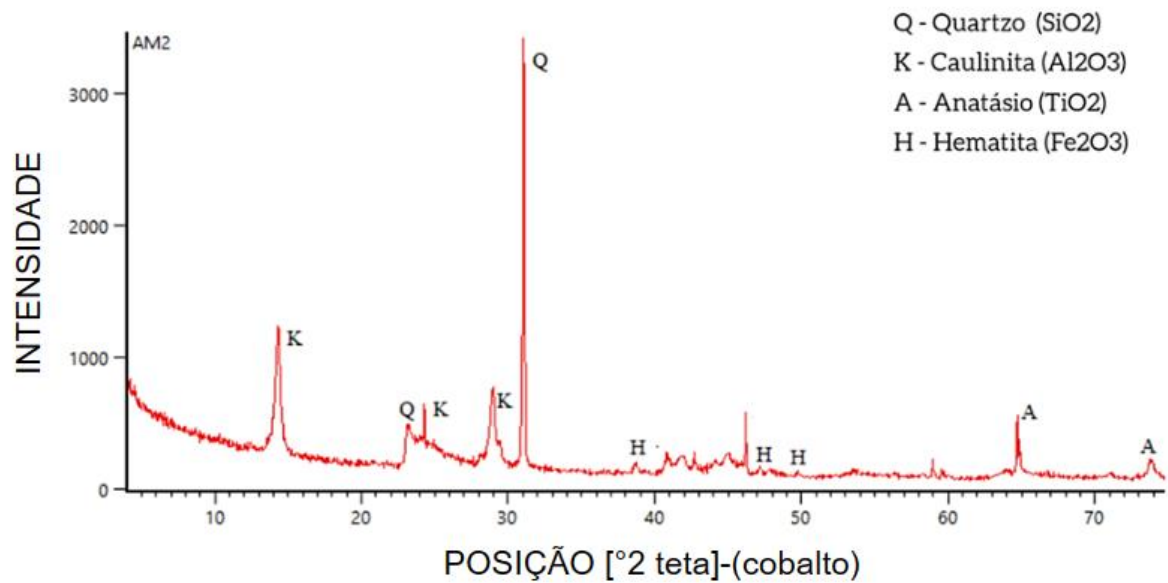
Figura 5 – DRX da amostra AM1.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Através da análise da amostra AM2, foi notada a presença significativa de picos de caulinita e quartzo, como evidenciado na Figura 6. Esses resultados indicam que a amostra possui características para atuar como um agente redutor de plasticidade.

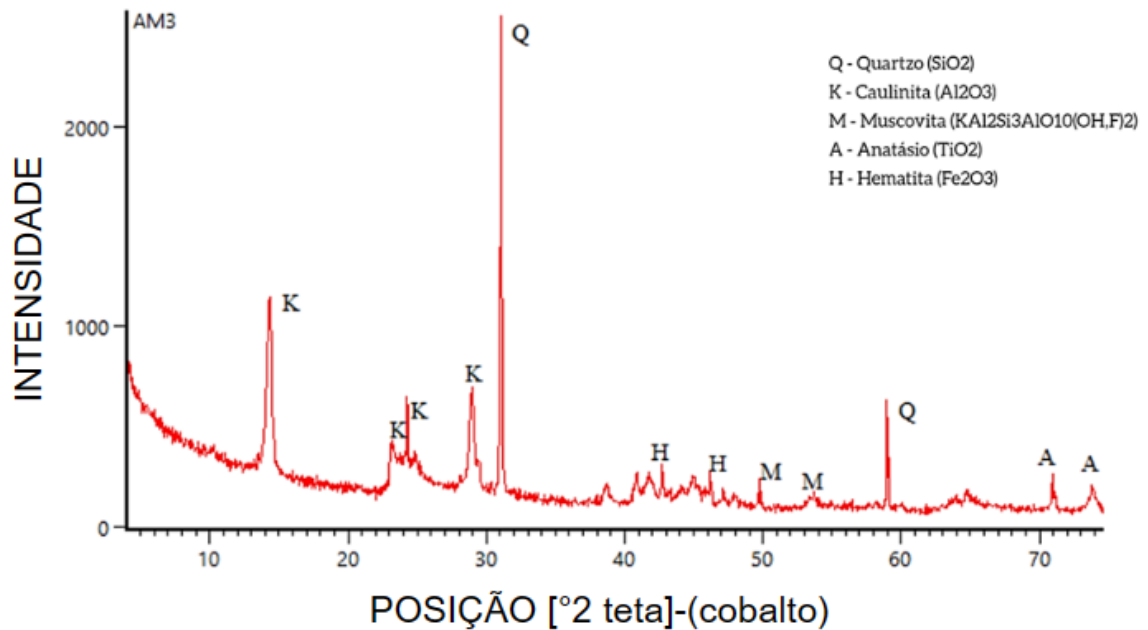
Figura 6 – DRX da amostra AM2.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A Figura 7, referente à amostra AM3 apresenta características semelhantes às amostras anteriores, com picos de quartzo e caulinita em maior intensidade. Além desses minerais, outros argilominerais também estão presentes em menor escala.

Figura 7 – DRX da amostra AM3.

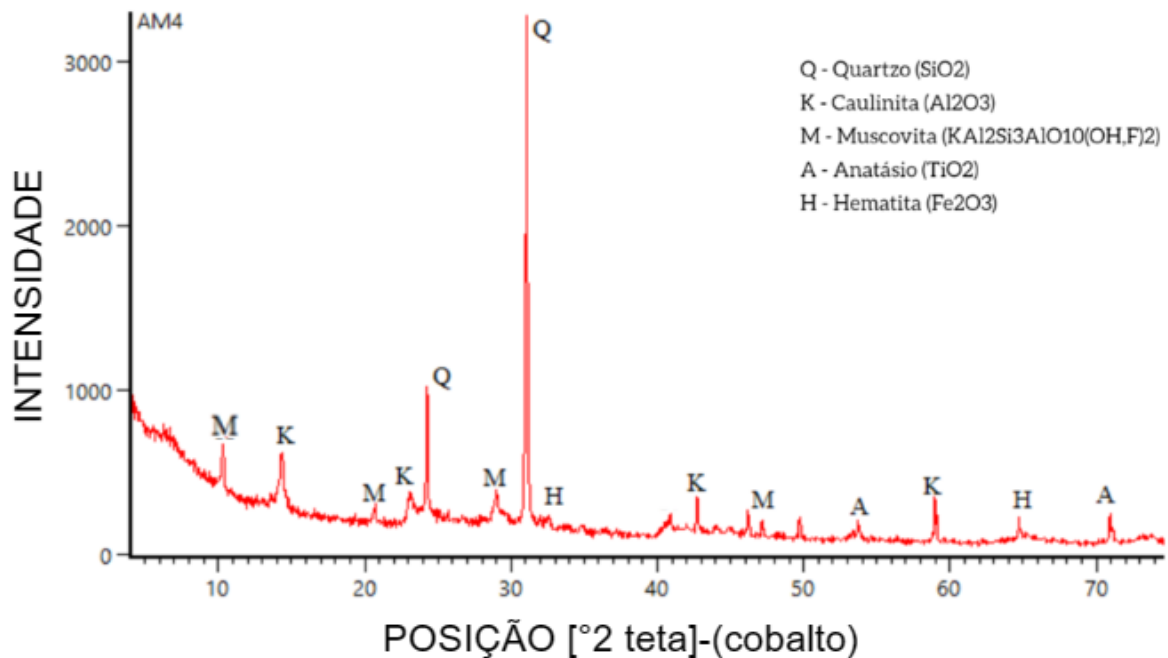


Fonte: Autoria própria, 2023.

Embora seja possível observar picos acentuados de caulinita na amostra em questão (AM3), é importante notar que o quartzo também está presente em proporção similar de intensidade de pico. A discussão sobre as propriedades tecnológicas será abordada mais detalhadamente nas seções dedicadas aos resultados e análises dessas propriedades.

Ao analisar a amostra AM4, é possível notar, como ilustrado na Figura 8, a presença de um pico acentuado de quartzo, em maior proporção em relação aos demais minerais identificados. Essa predominância do quartzo pode afetar algumas propriedades tecnológicas do material, em especial a propriedade mecânica.

Figura 8 – DRX da amostra AM4.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Após, a realização das análises das quatro amostras, verificou-se uma possível discrepância entre o tipo de amostras cedidas e o informado no momento da coleta. Poque, como podemos verificar, houve a suspeita de que durante o processo de obtenção da amostra possa ter ocorrido uma inexatidão involuntária por parte da indústria. Tal constatação reforça a necessidade de um controle mais rigoroso em todo o processo de extração, a fim de garantir a veracidade das informações fornecidas e evitar possíveis equívocos.

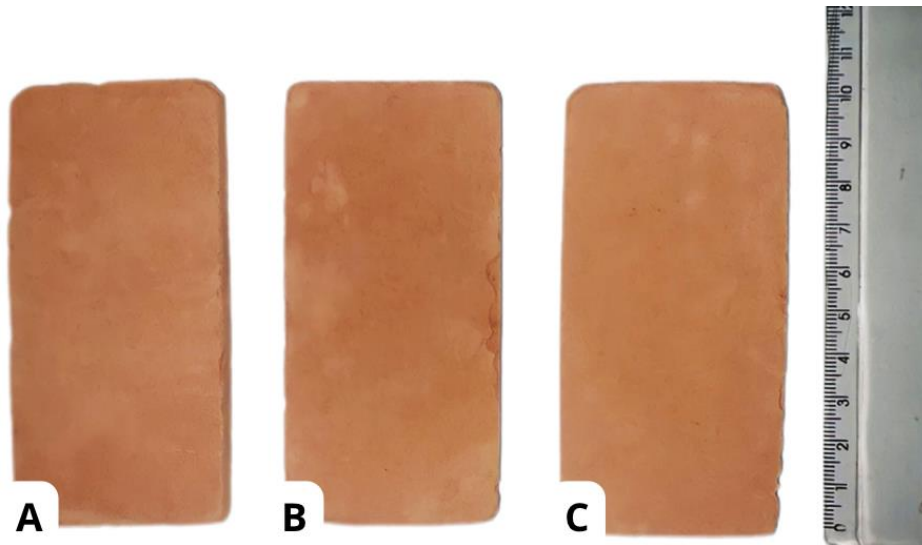
4.2 Determinação das propriedades físicas e tecnológicas

4.2.1 Determinação das propriedades ópticas

Na análise da coloração das peças cerâmicas, é imperativo levar em consideração que as variações na tonalidade podem estar intrinsecamente relacionadas à presença de minerais em sua composição, além da possibilidade de

manifestação de tonalidades decorrentes de processos de oxidação durante o ciclo de sinterização. Na Figura 9, estão representadas três peças cerâmicas após o processo de sinterização, originadas de diferentes tipos de argila: A, que é do tipo "forte"; B, do tipo "fraca"; e C, um blend resultante da combinação das argilas A e B.

Figura 9 – Peças cerâmicas após sinterização.



Fonte: Autoria própria, 2023.

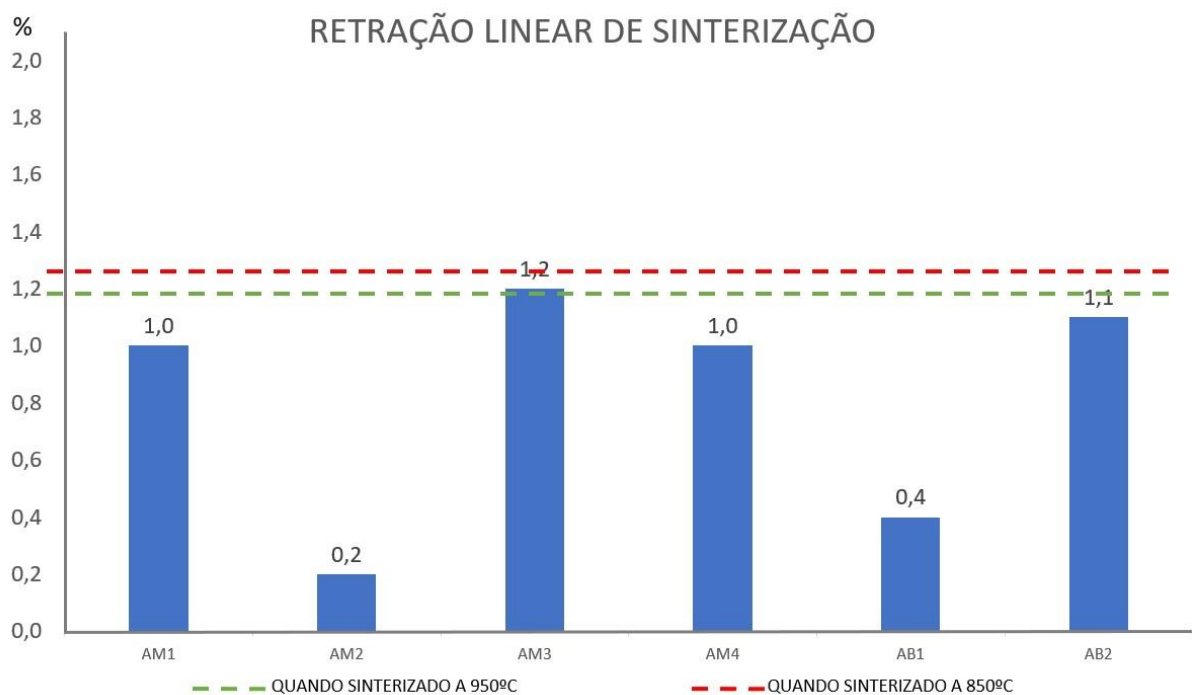
A caracterização das propriedades físicas e tecnológicas podem ser determinadas por meio da resolução das equações expostas nos tópicos anteriores. Aspectos como a espessura, a densidade, a retração, a absorção de água e a porosidade dos corpos de prova analisados foram dispostos a seguir.

4.2.2 Retração Linear de Sinterização (RLS)

Em seus estudos, Cardoso (2018) avaliou uma argila oriunda da região metropolitana de Belém - PA, esta, apresentou uma retração linear de sinterização de 1,19% para a temperatura de 850 °C e 1,21% para a temperatura de 950 °C. Os corpos de provas analisados por este trabalho apresentaram boa estabilidade dimensional, a variação encontrada foi entre 0,35% e 1,15% quando sinterizados a 900°C pelo período de 2 horas.

Em outras palavras, as massas cerâmicas tiveram uma variação mínima em sua dimensão, o que é uma característica positiva para esse tipo de material, assim sendo, as amostras de Moju estão de acordo com o estabelecido pelo órgão de normatização brasileira e próximas do resultado de Cardoso (2018). Conseqüentemente, as amostras do polo ceramista mojuense atendem os padrões da região paraense.

Figura 10 – Gráfico comparativo de Retração Linear de Sinterização (RLS).



Fonte: Autoria própria, 2023.

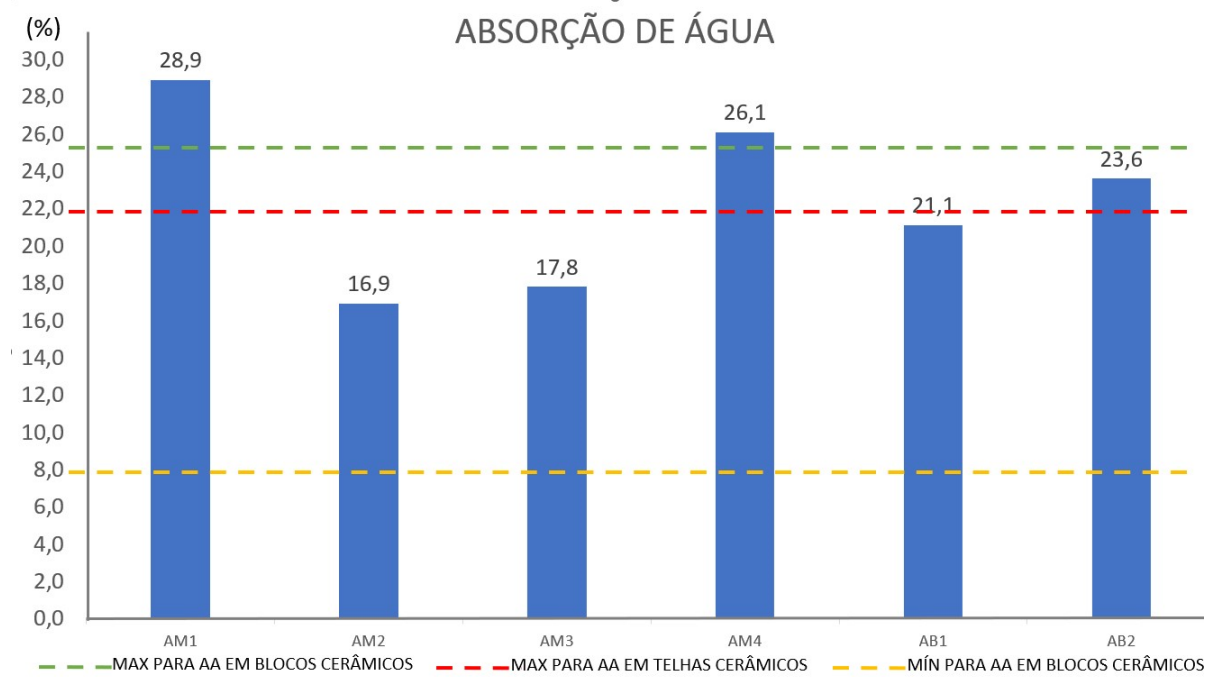
4.2.3 Absorção de Água (AA)

A absorção de água deve ser cuidadosamente estudada, pois ela é fator determinante para diversas propriedades das peças cerâmicas. Nesse sentido, sabe-se que quanto menor for a porosidade de um material cerâmico melhor serão as seguintes propriedades: resistência mecânica, resistência ao desgaste, resistência ao gelo e ao degelo e resistência química (SOBREIRA, et. al. 2022).

Compreender a NBR 15575/2013 é imprescindivelmente relevante para as discussões em torno das propriedades tecnológicas da cerâmica vermelha, uma vez

que o alto índice de absorção pode interferir na vida útil da construção e na segurança estrutural dos blocos cerâmicos e telhas, estes, previstos pela NBR 15575/2013, logo, o gráfico da Figura 11 busca exemplificar quais amostras estão dentro das determinações exigidas pelo órgão de normatização brasileira.

Figura 11 - Gráfico comparativo de Absorção de Água (AA).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Com exceção das amostras AM1 e AM4, todos os demais resultados obtidos no ensaio de absorção de água se enquadram no estabelecido para blocos cerâmicos. Sendo, apenas as amostras AM2 AM3 e AB1 estão de acordo com os parâmetros da norma brasileira para telhas.

As formulações dos blends demonstraram bons resultados e estão em total conformidade com a normativa brasileira para absorção de água em blocos cerâmicos. Esse notável alinhamento com o padrão pré-estabelecido é um indicativo sólido da qualidade das peças e atesta o compromisso com a excelência e a segurança dos produtos, garantindo que a característica de absorção de água seja consistente e confiável. Ademais, a utilização de porcentagens pré-determinadas para os blends pode ser aplicada como estratégia altamente benéfica, uma vez que possibilita um controle de qualidade padronizado, assegurando a uniformidade, precisão na produção. Esses resultados refletem em materiais de alto desempenho,

satisfazendo plenamente as necessidades do mercado e promovendo a evolução e a excelência no setor cerâmico.

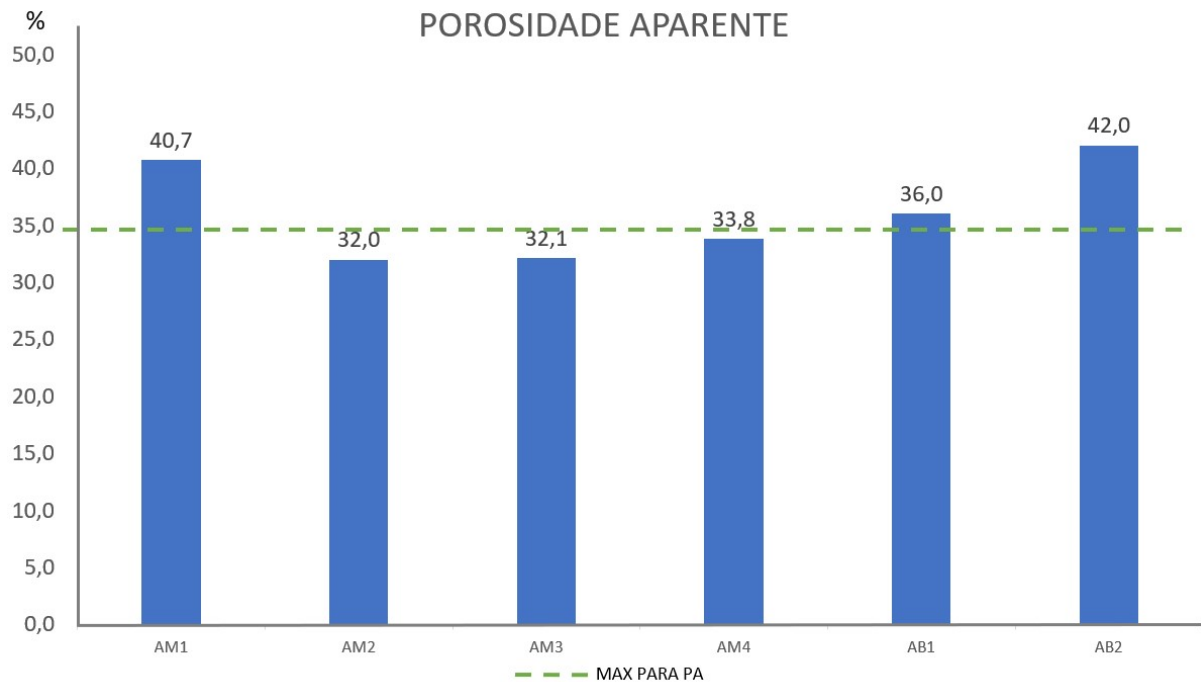
As indústrias ceramistas em questão se dedicam a confecção exclusiva de blocos cerâmicos. Esses blocos são sinterizados a uma temperatura superior à utilizada nos corpos de prova deste trabalho. Logo, se os corpos de prova elaborados fossem submetidos a mesma temperatura de sinterização empregada pelas indústrias, é plausível que os resultados fossem ainda mais satisfatórios. Essa constatação ressalta o potencial do material em alcançar um desempenho ainda melhor quando produzido em escala industrial, o que poderia resultar em peças de maior qualidade e eficiência. Esta característica para Santos (1989), é significativa pois o tempo e a temperatura de queima podem definir diferentes reações que podem vir a ocorrer nas matérias-primas durante o ciclo de queima, já que a ação do calor durante o processo de queima, gera uma série de reações físico-químicas, diretamente dependentes da temperatura, dentro da massa cerâmica da argila.

4.2.4 Porosidade Aparente (PA)

Nos estudos conduzidos por Santos (1989), um dos experimentos foi realizado sob as mesmas condições de temperatura e pressão utilizadas na fabricação dos corpos de prova neste trabalho. Neste experimento, foi observada uma porosidade aparente de 36,4%.

Para Rakhila (2018) a porosidade é o parâmetro mais importante para as propriedades cerâmicas, pois influencia a resistência, absorção de água e a permeabilidade da cerâmica. Podem ser considerados parâmetros aceitáveis para cerâmica vermelha porosidades abaixo dos valores máximos de 35% para temperaturas entre 900 à 950°C. Portanto, observa-se Figura 12 os valores encontrados através do teste de porosidade aparente nas massas cerâmicas denominadas AM2; AM3 e AM4 estão de acordo com a literatura.

Figura 12 – Gráfico comparativo de Porosidade Aparente (PA).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Racanelli et. al. (2020) analisou dois tipos de argilas da região de São Miguel do Guamá – PA, entre as temperaturas de 850 e 950 °C as amostras de argila pura apresentaram porosidade aparente média de 33,5 % para argila forte e 30% para argila fraca. Logo, é admissível que para porosidade aparente a argila oriunda de Moju – PA analisada está de acordo com os padrões do estado do Pará.

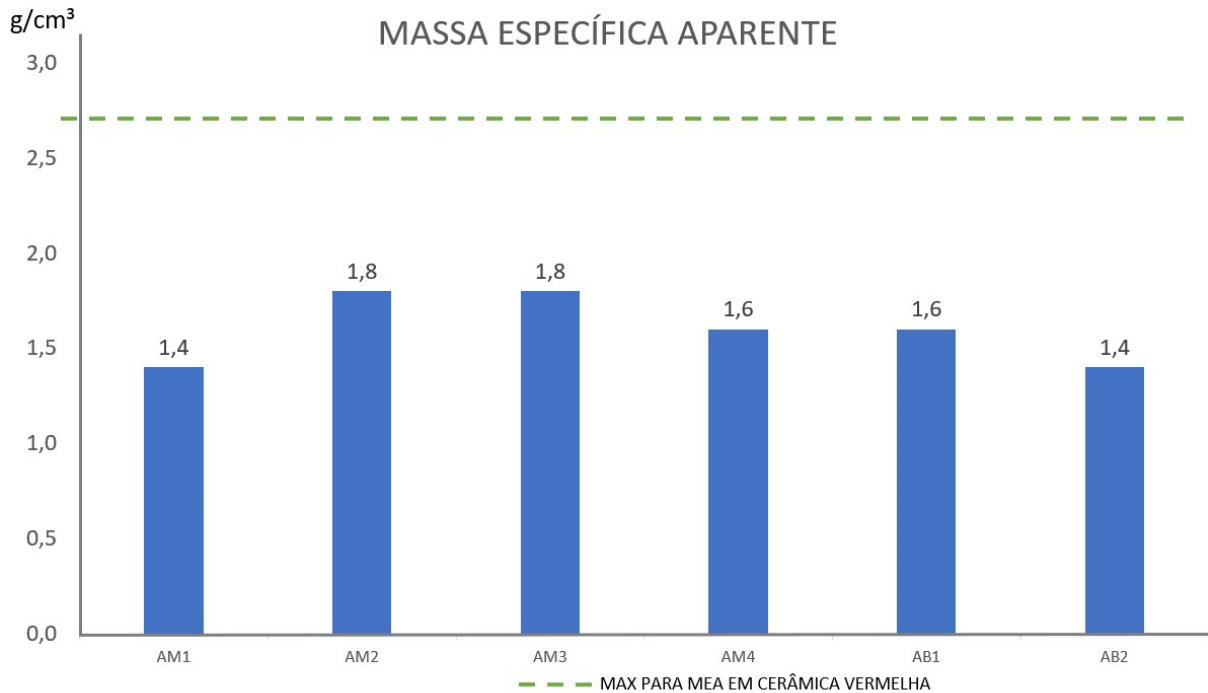
4.2.5 Massa Específica Aparente (MEA)

Para Santos (1989) a massa específica aparente permitida para cerâmica vermelha deve ser inferior a 2,7 g/cm³, sendo assim, os dados obtidos na Figura 13 revelam que todas as amostras estão dentro do valor estabelecido. Ademais, estão próximos aos resultados de Racanelli et al (2020).

Os valores inferiores ao permitido acontecem devido a um empacotamento das partículas durante a etapa de conformação, o que contribui para o fechamento da porosidade aberta durante a sinterização. Esse fator pode favorecer a melhoria das propriedades tecnológicas do produto acabado

Racanelli et. al. (2020). Consequentemente, o material analisado tende a se enquadrar em todos os requisitos exigidos pelo órgão de normatização brasileira.

Figura 13 - Gráfico comparativo de Massa Específica Aparente (MEA).



Fonte: Autoria própria, 2023.

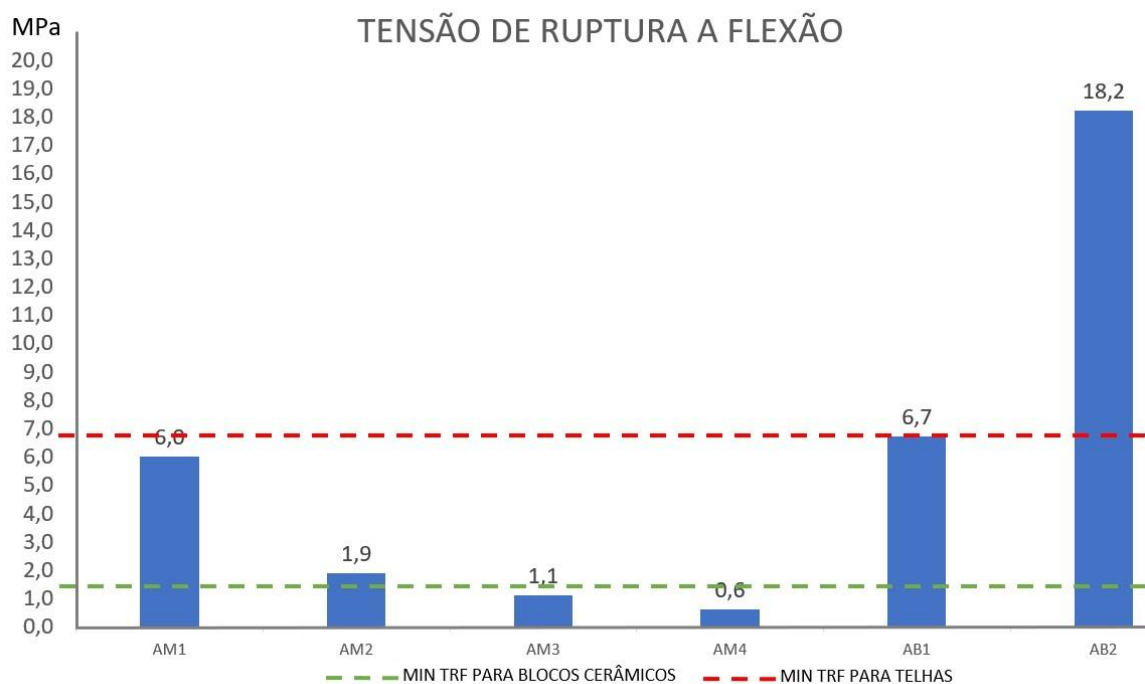
4.2.6 Ensaio de Ruptura à Flexão (TRF)

A NBR 15270-1:2017, referente aos blocos cerâmicos e telhas utilizados na construção civil, estabelece criteriosamente os valores para resistência mecânica em amostras com formato de bloco cerâmico, que são classificados em categorias. O valor mínimo permitido para resistência mecânica em blocos cerâmicos é de 1,5 MPa. Em contrapartida, para telhas, o valor admissível varia de 6,8 a 9,8 MPa, sendo estabelecido um valor máximo de 12,7 MPa, levando em consideração o tipo específico de telha.

Esses parâmetros normativos são fundamentais para garantir a qualidade e a segurança dos materiais utilizados na construção, assegurando que cada produto esteja em conformidade com os requisitos técnicos e de desempenho

necessários para sua aplicação adequada na construção civil. A norma reforça a importância de atender a esses critérios, o que contribui para a padronização e a confiabilidade dos produtos disponíveis no mercado, além de proporcionar uma base sólida para o desenvolvimento e aprimoramento contínuo do setor cerâmico. Na Figura 14, apresenta-se uma comparação entre os valores obtidos e o valor normativo estabelecido.

Figura 14 - Gráfico comparativo de Tensão de Ruptura a Flexão (TRF).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Quando comparado os resultados obtidos no ensaio de tensão de ruptura a flexão com a literatura, observa-se que os valores obtidos pelas amostras AM1 AM2 AB1 e AB2 estão análogos aos de Racanelli et al (2020), quando aplicada a temperatura de 850 °C. Interessantemente, ela discorre em seu trabalho, que as maiores resistências ficaram com as composições em que há mistura do material entre Argila Forte e Argila Fraca. No contexto do presente trabalho, é possível inferir que, caso uma temperatura de sinterização mais elevada fosse adotada, melhores resultados poderiam ser obtidos. A sinterização é um processo fundamental na produção de materiais cerâmicos, e a variação da

temperatura pode influenciar diretamente as propriedades finais dos corpos cerâmicos. Assim, ao considerar uma temperatura mais alta, é plausível que as propriedades mecânicas, a densidade e a resistência do material poderiam ser aprimoradas, proporcionando peças cerâmicas de maior qualidade, ampliando suas aplicações.

Vale ressaltar que as amostras AM3 e AM4, individualmente, não apresentaram resultados dentro do esperado e em conformidade com a normativa brasileira para blocos cerâmicos. No entanto, ao formular um blend combinando essas amostras, foi possível obter um resultado satisfatório que atendeu aos requisitos estabelecidos pela norma. Essa abordagem demonstra a importância e a eficácia da utilização de blends de diferentes materiais cerâmicos para alcançar propriedades desejadas e garantir a conformidade dos produtos com os padrões regulatórios. A formulação de blends pode ser uma estratégia valiosa na indústria cerâmica, permitindo a otimização de características e o desenvolvimento de materiais com alto desempenho.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu a obtenção de dados científicos atuais significativos acerca das propriedades físicas, tecnológicas e mecânicas das argilas utilizadas no polo ceramista do município de Moju, localizado no estado do Pará. Através da análise de difração de raios X (DRX), foi possível compreender com maior precisão a constituição mineralógica das matérias-primas analisadas. É importante ressaltar, no entanto, que ao realizar análise de DRX, nem todas as amostras apresentaram características que a qualificam de acordo com as denominações repassadas pelas indústrias cerâmicas, ou seja, uma das amostras consideradas como do tipo “forte” foi caracterizada como sendo do tipo “fraca”.

Além disso, é importante ressaltar que argilas consideradas "fracas" também são comercializadas pelos polos ceramistas e podem ter potencial de uso em algumas aplicações. Portanto, a avaliação do desempenho das formulações a partir dessas argilas é fundamental para verificar se atendem aos parâmetros estabelecidos pelos órgãos de normatização brasileira, garantindo assim a qualidade e segurança dos produtos cerâmicos produzidos, evitando possíveis problemas que possam comprometer a competitividade do setor cerâmico local. Dessa forma, o estudo contribui para a compreensão da viabilidade de uso dessas argilas em aplicações industriais e para a melhoria dos processos de produção cerâmica no situado município.

Através das caracterizações realizadas e da exploração dos dados coletados por essas análises, torna-se evidente a perspectiva promissora de que tais informações podem impulsionar significativamente o progresso das indústrias envolvidas. Essa análise de dados pode resultar em ganhos substanciais, incluindo melhorias na economia e eficiência na produção, garantia da qualidade e um melhor desempenho do produto. Isso demonstra a importância crucial da análise e caracterização de dados para o sucesso e inovação nas operações industriais nestas indústrias cerâmicas.

5.1 Sugestão de trabalhos futuros

- Avaliar a influência do aumento de temperatura de sinterização nas formulações dos *blends*;
- Análise de fluorescência de raios-X para avaliação das argilas e formulações de *blends*;
- Avaliação da viabilidade econômica do *blend* proposto por meio de análise financeira.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR. 15.270-2. **Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação**, 2017.

ALMEIDA, P. L. T. **Cálculo da porosidade: Identificação do argilomineral**. Dissertação de Mestrado em Geofísica, Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém – PA, 2017. Disponível em: < http://200.239.66.58/jspui/bitstream/2011/11869/1/Dissertacao_CalculoPorosidadeIdentificacao.pdf >. Acesso em: 10 de novembro de 2021.

Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica – ANFACER. 2017. Disponível em <<https://www.anfacer.org.br/história-da-ceramica>>. Acesso em: 30 Out. De 2023.

BARRETO, C. **Cerâmica e complexidade social na Amazônia antiga: uma perspectiva a partir de Marajó**. In.: PEREIRA, E.; GUAPINDAIA, V. (orgs.). Arqueologia Amazônica. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. 2010. p.193 - 212.

BASTOS, F. A. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto**. Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.

BETINI, G. D. **Inovação na tecnologia de produtos de cerâmica vermelha com uso de chamote em São Miguel do Guamá**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém – PA, 2007. Disponível em: < <https://ppqec.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2007/danielebetini.pdf.pdf> >. Acesso em: 11 de novembro de 2021.

CABRAL JUNIOR, Marsis.; *et. al.* **Estudo estratégico da cadeia produtiva da indústria cerâmica vermelha no estado de São Paulo: Introdução a indústria de cerâmica vermelha**. Revista da ANICER. São Paulo – SP, 2020.

CABRAL JUNIOR, Marsis.; *et. al.* **A indústria da cerâmica vermelha e o suprimento mineral no Brasil: desafios para o aprimoramento da competitividade**. Revista Cerâmica Industrial. São Paulo – SP, 2012. Disponível em: < <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876574a7f8c9d6e028b47bc/pdf/ci-17-1-5876574a7f8c9d6e028b47bc.pdf> >. Acesso em: 10 de novembro de 2021.

CABRAL JUNIOR, Marsis C. *et. al.* **Argila para Cerâmica Vermelha**. Rev. Rochas e Minerais Industriais - CETEM. 2ª edição, São Paulo – SP, 2008.

CABRAL JUNIOR, Marsis C. *et al.* **Argilas para Cerâmica Vermelha**. Rochas e Minerais Industriais - CETEM, p. 538-596. São Paulo - SP, 2005.

CAGLAR, B.; ÇIRAK, C.; TABAK, A.; AFSIN, B.; EREN, E. **Covalent grafting of pyridine-2-methanol into kaolinite layers.** Journal of Molecular Structure, vol. 1032, p. 12-22, 2013. Disponível em: < [Structural characterization of kaolinite-nicotinamide intercalation composite - ScienceDirect](#) >. Acesso em: 18 de março de 2023.

CARDOSO, A. C. **Avaliação da incorporação do rejeito de minério de cobre em massas argilosas para a produção de cerâmica vermelha.** Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Pará. Belém - PA. 2018.

CARGNIN, M.; SOUZA, S.M.A.G.U. de; SOUZA, A.A.U. de; DE NONI JR, A. **Determinação de parâmetros cinéticos da sinterização de revestimentos cerâmicos de monoqueima do tipo BIIa.** Revista Cerâmica, São Paulo, v.57, n.344, p.461-466, out./nov./dez. 2011.

CARNEIRO, I. **Comparativo entre diferentes métodos de determinação da retração linear de placas cerâmicas.** 1º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense, SICT-Sul, 2012. Disponível:<<https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/623/442>> Acesso em: 30 de março de 2022.

CHAVES, A. D. **Pequenas empresas no setor mineral do estado do Pará e as ações do estado.** XIII Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Campinas – SP, setembro de 2019. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Debora-Chaves/publication/335977981_Pequenas_Empresas_no_Setor_Mineral_do_Estado_do_Para_e_as_acoes_do_Estado/links/5d889e7a299bf1996f951a1a/Pequenas-Empresas-no-Setor-Mineral-do-Estado-do-Para-e-as-acoes-do-Estado.pdf >. Acesso em: 17 de outubro de 2021.

CORDOVIL, G. V.; NAHUN, J. S. **Indústrias cerâmicas e desenvolvimento territorial em São Miguel do Guamá, PA.** Rev. entre-lugar. Dourados, Mato Grosso do Sul. 2011.

COLLATTO, D. **Utilização de resíduo proveniente da estação de tratamento de efluentes de indústrias de papel como matéria-prima na fabricação de cerâmica vermelha.** Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM. Porto Alegre. 2008.

COELHO, A. C. V. et al. **Argilas especiais: o que são, caracterização e propriedades.** Química Nova, São Paulo, vol. 30, 2007. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/qn/a/q5WkDyK8Lt4JWBMZ7dZKTVH/> > Acesso em: 17 de março de 2023.

CHEN, Y. et al. Preparation and characterization of red porcelain tiles with hematite tailings. **Construction And Building Materials**, China, v. 38, p.1083-1088, 2013.

DE NONI JR, A.; MODESTO, C. O.; OLIVEIRA, A.P.N.; HOTZA, D. **Modelagem matemática aplicada ao controle de variação dimensional de placas cerâmicas de monoqueima do grupo BIIa**. In: 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2005, São Pedro. Anais 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Pedro, jun. 2005.

ROM, C. D.; DIAS, A. B. **Sazonalidade e a indústria de cerâmica vermelha**. Fundação Joaquim Nabuco. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324916861_Sazonalidade_e_a_industria_de_ceramica_vermelha. Acesso em: 01 de abril de 2022.

DUTRA, R.P.S., SILVA, J.B., VARELA, M.L., Et. al. **Avaliação da Potencialidade de Argilas do Rio Grande do Norte, Brasil**. Parte-II: Propriedades Tecnológicas. *Cerâmica Industrial*, 13(1-2), 47-50, 2008.

FERREIRA, E. B. **Sinterização ou queima dos materiais cerâmicos**. Universidade de São Paulo, 2017. Disponível em: < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4931639/mod_resource/content/1/3-Materiais%20Cer%C3%A2micos%20-%20Sinteriza%C3%A7%C3%A3o%20ou%20Queima.pdf >. Acesso em: 27 de abril de 2023.

FERREIRA, E. P. et. al. **Diagnóstico da indústria de cerâmica vermelha de São Roque do Canaã, ES. Re.** *Cerâmica Industrial*, vol. 28. Disponível em < <https://doi.org/10.4322/cerind.2023.022> >. Acesso em 30 de outubro de 2023.

HOTZA, D. **Etimologia e uso em diferentes línguas de alguns termos técnicos empregados na fabricação cerâmica tradi-cional**. *Revista Cerâmica Industrial*. Santa Catarina – SC, agosto de 2007. Disponível em: < <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657307f8c9d6e028b471c/pdf/ci-12-4-587657307f8c9d6e028b471c.pdf> >. Acesso em: 18 de outubro de 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Censo Brasileiro de 2017**. Belém: 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tabela 6705** (Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividade e os produtos) - Indústria. 2018.

KINGERY, W. D. *et. al.* **Introduction to ceramics**. Editora Jonh Wiley & Sons. New York – NY, 1976.

LIRA, S. B. (Coord.). **Polo Oleiro Cerâmico de Abaetetuba: expansão e crise**. Belém – PA, Vol. 1, Universidade Federal do Pará (UFPA), NUMA, POEMA, IDESP, 1998.

MACEDO, S. R. *et. al.* **Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha.** Revista Cerâmica. Campina Grande – SP, vol. 54, pág. 411 a 417, 2008. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/ce/a/N3MLsnTPzCKxKWY6rQtnt7w/?lang=pt&format=pdf> >. Acesso em: 1 de novembro de 2021.

MAFRA, A.T.. **Proposta de indicadores de desempenho para a indústria de cerâmica vermelha.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis/SC, Março de 1999, 113p. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/80555/144667.pdf?sequence=1&isAllowed=y/>>. Acesso em 01 de abril de 2022.

MELCHIADES, F.G. *et. al.* **Controle dimensional e do formato de revestimentos cerâmicos.** Parte I: Dimensões. Revista Cerâmica Industrial, São Paulo, v.6, n.5, p.27- 33, set./out. 2001.

MONTEIRO, F. M. *Et Al.* **Estudo da influência granulométrica nas propriedades dos produtos cerâmicos do município de Boa Saúde – RN.** In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 66., 2011, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos [...]. Rio de Janeiro: ABM, 2011. p. 3196-3206. Disponível em: < [ABM Proceedings - ESTUDO DA INFLUÊNCIA GRANULOMÉTRICA NAS PROPRIEDADES DOS PRODUTOS CERÂMICOS DO MUNICÍPIO DE BOA SAÚDE – RN](#) >. Acesso em: 17 de março de 2023.

MÜLLER, L.E.; SOARES, J.M.D.; PINTO, C. A. M. *et al.*, **Curso Básico de Cerâmica Vermelha Estrutural.** Santa Maria – RS,1990.

OLIVEIRA, M, C. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Branca e de Revestimento.** FIESP, 2008.

OSHIMOTO, E.; THOMAZ, E. **Materiais Cerâmicos para Construção Civil.** São Paulo: Universidade de São Paulo (USP), 1990.

PRACIDELLI, S.; MELCHIADES G. F. **Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha.** Revista Cerâmica Industrial. São Carlos – SP, vol. 2, pág.

31 a 35, 1997. Disponível em: < <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587656fc7f8c9d6e028b45e7/pdf/ci-2-1-2-587656fc7f8c9d6e028b45e7.pdf> >. Acesso em: 8 de novembro de 2021.

PRADO, A.C. A. *Et. Al.* **Influência da distribuição granulométrica na estabilidade dimensional de placas cerâmicas de base vermelha.** Rev. Cerâmica, vol. 54. 2008. Disponível em: < [SciELO - Brasil - Influência da distribuição granulométrica na estabilidade dimensional de placas cerâmicas de base vermelha Influência da distribuição granulométrica na estabilidade dimensional de placas cerâmicas de base vermelha](#) >. Acesso em: 29 de abril de 2023.

RACANELLI, L. A. Et Al. **Caracterização e Estudo das Propriedades Físicas, Químicas e Mecânicas das Argilas Cauliníticas da Região Nordeste do Estado do Pará.** *Matéria* (Rio de Janeiro) [online]. 2020, v. 25, n. 1 <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0919>.

RAKHILA, Y., EZZAHI, A., ELMCHAOURI, A. AND MESTARI, A. **Synthesis and Characterization of a Red Clay Based New Composite Ceramic Material.** *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 2018, 8, 295-310. doi: 10.4236/ampc.2018.87020.

RAMOS, S. O. Et. Al. **Caracterização de argilas de novos jazimentos situados em Parelhas/RN, Brasil, visando aplicação na indústria cerâmica.** *Rev. Matéria*, vol. 24 Nº 2, Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0667>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

ROCHA, F. N.; SUAREZ, P. A. Z.; GUIMARÃES, E. M. **Argilas e suas aplicações em utensílios e materiais cerâmicos.** *Revista virtual de química*. Brasília – DF, vol. 6, pág. 1105 a 1120, abril de 2014. Disponível em: < <http://static.sites.sbgq.org.br/rvq.sbgq.org.br/pdf/v6n4a21.pdf> >. Acesso em: 16 de outubro de 2021.

SANTOS, J. E. De C. Dos. **Avaliação do Controle Estatístico de Processo das Indústrias Cerâmicas da Região Metropolitana de Curitiba com base nos Índices de Capacidade.** 132f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

SANTOS. P.S. **Clay Science and Technology**, V. 1, Ed. Edgard Blücher Ltda, S. Paulo, SP (In Portuguese). 1989.

SANTIS, B. C. Et. Al. **Caracterização de massas cerâmicas do estado de S. Paulo para produção de agregados leves para concreto.** *Rev. Cerâmica*, vol. 59. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132013000200002> . Acesso em 1 de abril de 2022.

SEI, J., TOURÉ, A. A., FOURCADE, J. O., et al., “**Caracterização de argilas cauliníticas da Costa do Marfim (África Ocidental)**”, *Applied Clay Science*, v. 27, n. 3, pp. 235-239, 2004.

SOBREIRA, P. J. M.; MIRANDA, D. P. **Relação entre absorção de peças cerâmicas medidas pelos métodos fervura e a vácuo.** *Revista Cerâmica Industrial*. João Pessoa - PB, 2022. Disponível em: < <https://doi.org/10.4322/cerind.2022.001> >. Acesso em 30 de julho de 2022.

SOUZA S. P. **Ciência e Tecnologia de Argilas**, Edgard Blücher LTDA, Vol. 2 Ed. Vol.1,1989.

SOUZA, B. R. C.; *et. al.* **Análise de viabilidade econômica para implantação de um secador de tijolos em uma cerâmica em campos dos Goytacazes/RJ.** IV Encontro Fluminense de Engenharia de Produção. Volta Redonda – RJ, 2013. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/11457545-Analise-de-viabilidade-economica-para-implantacao-de-um-secador-de-tijolos-em-uma-ceramica-em-campos-dos-goytacazes-rj.html> >. Acesso em: 11 de novembro de 2021.

SOUZA, G. P.; Et. Al. **Análise mineralógica de argilas sedimentares brasileiras usadas em cerâmica vermelha.** Rev. Cerâmica, Vol. 51, pág. 381-386 . 2005.
SOUZA, M. **Cerâmica: a mais antiga das indústrias.** Revista Anicer. Rio de Janeiro – RJ, vol. 96, outubro de 2015. Disponível em: < <https://www.anicer.com.br/revista-anicer/revista-96/historia/#> >. Acesso em: 17 de outubro de 2021.

SOUZA, J. V. **Estudo e Desenvolvimento de Alternativas para o aproveitamento de Resíduo das Indústrias de Revestimentos Cerâmicos.** São Paulo. 2003.

SILVA, S. M. Et. Al. **Caulinita: estrutura cristalina, técnicas físicas de estudo e adsorção.** Scientia Amazonia, vol. 2, n. 3. P. 54-70, 2013. Disponível em: < (PDF) [Caulinita: Estrutura cristalina, técnicas físicas e estudo de adsorção \(researchgate.net\)](#) >. Acesso em: 26 de Abril de 2023.

SILVEIRA, G. C. L.; Et. Al. **Avaliação do mineral caulinita presente em argilas portuguesas para uso em grês porcelanato.** 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais – CBECiMAT, Natal – RN, 2016. Disponível em: < [48069726.pdf \(iaea.org\)](#) >. Acesso em: 26 de Abril de 2023.

VALE, A. S.; *et. al.* **A minimização dos impactos ambientais causados pela produção de cerâmica vermelha com utilização da análise racional para formulações de massa.** Revista Cerâmica Industrial. Rio Grande do Norte – RN, 2006. Disponível em: < <https://ceramicaindustrial.org.br/article/5876572d7f8c9d6e028b470a/pdf/ci-11-5-5876572d7f8c9d6e028b470a.pdf> >. Acesso em: 10 de novembro de 2021.

VAZ, E. D. J. **Aplicação de revestimentos cerâmicos aderentes.** 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Técnico Lisboa, Lisboa, 2013.

VIEIRA, C. M. F.; Et. Al. **Características e efeito da fração granulométrica <2 µm no comportamento de queima de uma argila.** Rev. Cerâmicas, vol. 53, pág. 249-254. Campos dos Goytacazes – RJ, 2007. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/ce/a/nTspvzxc3QWVQqsX6qnmqWH/?format=pdf&lang=pt> >. Acesso em: 15 de março de 2023.

VICTORIA, A. M. **Recursos minerais para a indústria cerâmica e vidreira.** Recursos Minerais de Minas Gerais. 2018. Disponível em: <

<http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/gemas-e-minerais-raros/> >. Acesso em: 30 de outubro de 2023.