

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E MECÂNICAS DE MATERIAL ARGILOSO E CERÂMICO DE GOIABEIRAS NO ES – BRASIL

 ¹Elvis Pantaleão Ferreira (IFES), e-mail: elvispf@ifes.edu.br

 ²Alessandra Savazzini-Reis (IFES), e-mail: alessandra.reis@ifes.edu.br

¹Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais

²Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Resumo: A caracterização tecnológica de material cerâmico, fornece informações das propriedades das matérias-primas e sua previsibilidade nos processos de beneficiamento. No Brasil, o estado do Espírito Santo, a fabricação artesanal de utensílios em cerâmica, é uma tradição histórica realizada pelas “paneiras de Goiabeiras” atividade tombada como patrimônio imaterial brasileiro. A pesquisa objetivou apresentar pioneira caracterização tecnológica da matéria-prima argilosa e da panela de barro concebida pelas paneiras, verdadeiras guardiãs de saber centenário. Os resultados obtidos indicaram que a composição mineralógica da matéria-prima apresentou fases predominantes do quartzo, caulinita, muscovita/ilita e hematita; composição química de altas concentrações de Na, K, Ca, Mg e Fe. A caracterização térmica indicou um comportamento de matéria prima caulinítica e a análise da distribuição de tamanho de partículas mostrou domínio da fração areia. A umidade inicial da massa para moldagem apresenta-se em torno de 30%, a umidade de ponto de couro entre 22 a 25 %, a umidade de ponto de osso entre 8 e 10 % e a umidade de queima entre 6 e 8 %. A temperatura de queima *in loco* das panelas variou entre 630 a 750°C. O ensaio de resistência à compressão, as peças queimadas *in loco* apresentaram resistência de 8,04 Mpa. A queima a 800°C em laboratório apresentou leve incremento em torno de 3,5 %, confirmando, portanto, a eficiência da forma de queima tradicionalmente realizado pelos artesãos para aquela condição química-mineralógica da massa argilosa. O uso da solução de tanino, promovem certa impermeabilização da peça cerâmica, contribuindo para redução de absorção de água e porosidade.

Palavras-chave: Argila, artesanato, panela de barro.

CHARACTERIZATION OF PHYSICAL, CHEMICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CLAY AND CERAMIC MATERIAL FROM GOIABERIAS IN ES – BRAZIL

Abstract: The technological characterization of ceramic material provides information on the properties of raw materials and their predictability in processing processes. In Brazil, in the state of Espírito Santo, the artisanal manufacture of ceramic utensils is a historical tradition carried out by the “paneiras de Goiabeiras”, an activity listed as Brazilian intangible heritage. The research aimed to present a pioneering technological characterization of the clay raw material and the clay pot designed by the potters, true guardians of centuries-old knowledge. The results obtained indicated that the mineralogical composition of the raw material presented predominant phases of quartz, kaolinite, muscovite/illite and hematite; chemical composition of high concentrations of Na, K, Ca, Mg and Fe. Thermal characterization indicated a kaolinitic raw material behavior and the analysis of the particle size distribution showed a predominance of the sand fraction. The initial moisture content of the molding mass is around 30%, the moisture content at the leather point is between 22 and 25%, the moisture content at the bone point is between 8 and 10% and the moisture content at the firing point is between 6 and 8%. The firing temperature of the pots *in situ* varied between 630 and 750°C. In the compression resistance test, the pieces fired *in situ* showed a resistance of 8.04 MPa. Firing at 800°C in the laboratory showed a slight increase of around 3.5%, thus confirming the efficiency of the firing method traditionally used by artisans for that chemical-mineralogical condition of the clay mass. The use of the tannin solution promotes a certain waterproofing of the ceramic piece, contributing to the reduction of water absorption and porosity.

Keywords: Clay, handicraft, clay pot.

1. Introdução

A caracterização tecnológica é um instrumento que fornece informações das propriedades das matérias-primas fundamentais para a determinação do potencial de uso e sua previsibilidade nos processos de beneficiamento. A caracterização tecnológica de material cerâmico, por exemplo, envolve a avaliação das propriedades químicas, físicas, mecânicas morfológicas e microestruturais.

Na região sudeste do Brasil, especificamente no estado do Espírito Santo, a fabricação artesanal de utensílios em cerâmica, é uma tradição realizada pelas paneleiras de Goiabeiras na confecção de painéis de “barro”, presente no bairro de mesmo nome, localizado na cidade de Vitória capital do estado. Atividade, que devido a sua salutar importância de significado histórico e cultural, em 2002 foi então tombado como patrimônio imaterial brasileiro, pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN, 2006).

Conforme discutido por Pantaleão *et al.* (2024) o trabalho do artesão envolve não apenas a habilidade manual, mas também o conhecimento sobre os materiais e ferramentas utilizadas em sua atividade, assim utilizando habilidades e técnicas específicas transforma matérias-primas em produtos acabados, desde objetos decorativos, utensílios domésticos, esculturas e até peças de vestuário e joias. São atividades de expressões autóctones que valorizam a cultura local e as tradições, uma vez que muitas técnicas e produtos são específicos de determinadas regiões ou culturas.

Assim, a produção dos utensílios domésticos “de barro” de Goiabeiras como painéis, assadeiras, frigideiras, caldeirão, canecas, entre outros, é um legado da ancestralidade associado a grupos indígenas das culturas Aratu, Tupi-guarani e Una, que povoaram o litoral do estado do Espírito Santo, os quais tinham como uma das características ausência de elementos decorativos em suas peças cerâmicas (IPHAN, 2006; TAUFNER e GARCIA, 2018). A atividade de produção das painéis foi passada por gerações, principalmente femininas, de filhas para netas, sobrinhas e vizinhas. Enquanto aos homens havia a responsabilidade de coletar e transportar matérias-primas, fazer a queima e açoitamento (pintura) nas peças (NICOLE *et al.*, 2012).

O ofício da produção artesanal dos utensílios de barro foi então aprendido por colonos e descendentes de escravos africanos que habitavam as margens do manguezal, na baía de Vitória. Para confecção dos utensílios, a matéria-prima, solo argiloso “o barro” como assim é denominado localmente é historicamente extraído do Vale do Mulembá, atual Parque Natural Municipal Vale do Mulembá, situado no bairro Joana D’arc, em Vitória, distante cerca de 5 Km do bairro de Goiabeiras (TAUFNER e GARCIA, 2018; JESS, 2017).

A técnica e tradição de confecção das painéis de barro e demais produtos similares de Goiabeiras mesmo com o passar dos anos pouco mudou, conservando muitas características até hoje. O fluxo do processo produtivo das painéis de barro apresenta as seguintes etapas: extração da argila – extração do tanino – modelagem – secagem inicial – queima e raspagem – polimento e secagem final – queima e açoitamento (NICOLE *et al.*, 2012). A painel de barro é importante símbolo regional do estado do Espírito Santo, sua comercialização ultrapassa as fronteiras do estado, sendo até negociadas em outros países e muito conhecida por ser nelas que são feitas as típicas “moquecas capixabas”.

A presente pesquisa, objetiva apresentar pioneira caracterização tecnológica da matéria-prima argilosa e da painel de barro concebida artesanalmente pelas paneleiras de Goiabeiras, verdadeiras protagonistas e guardiãs de um saber de várias gerações.

2. Materiais e métodos

A massa argilosa, matéria-prima, utilizada na presente pesquisa, a mesma utilizada na produção das placas de barro, foi coletada diretamente no galpão das panelas, sendo 20,2696 S e 40,3032 W as coordenadas geográficas da localidade, com acesso principal pela avenida Fernando Ferrari, nas proximidades da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES e do Aeroporto Internacional de Vitória – Eurico de Aguiar Salles, em Vitória - ES, (Figura 01).

Foram coletadas amostras da massa argilosa de cinco artesãos, sendo acondicionadas em cápsulas de alumínio devidamente identificadas. Em laboratório foi feita a secagem do material inicialmente ao sol e posteriormente em estufa de renovação e circulação de ar – SL102, a 105°C por 24 horas. Em seguida, os materiais foram desagregados em moimho de rotor com martelo móvel – SL 39 e então passados em peneiras de abertura de malhas conforme a exigência de cada ensaio a ser realizado, onde cada ensaio foi considerado amostra composta.

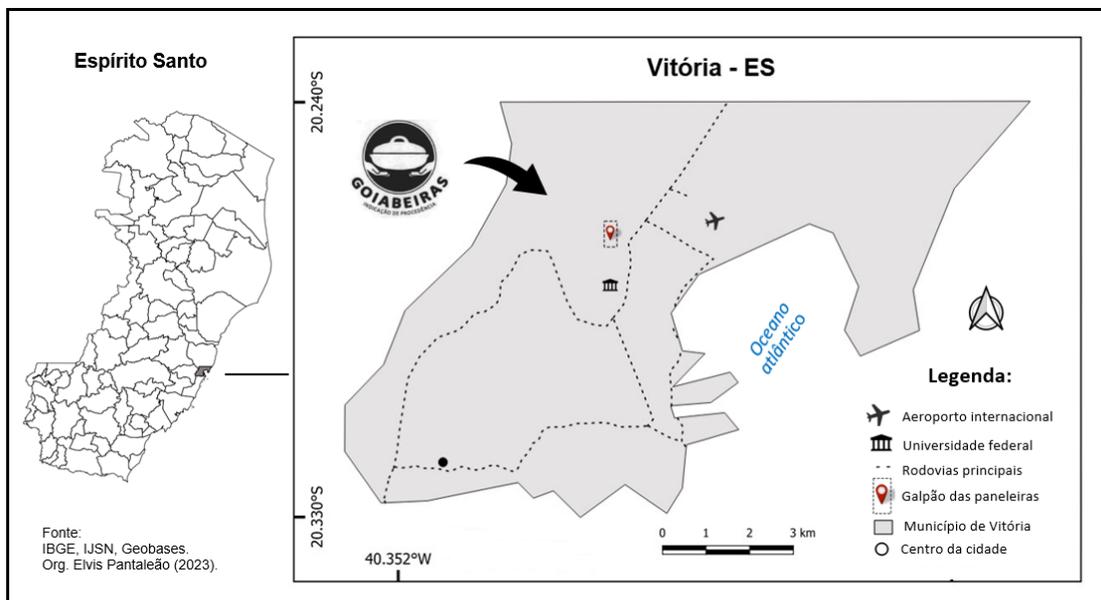


Figura 01 – Localização espacial do galpão das panelas de Goiabeiras.

As peças cerâmicas destinadas aos ensaios de caracterização foram adquiridas diretamente no galpão das panelas. Foram obtidas aleatoriamente 13 unidades de placas já queimadas no local, peças estas expostas para serem comercializadas ao público, e 13 unidades aptas a queima (em laboratório), as peças apresentaram diâmetros na ordem de 180 mm; profundidade de 90 mm; volume de 1.200 cm³.

Concomitantemente foi realizada pesquisa exploratória e qualitativa *in loco* no tocante a confecção das placas, conforme metodologia descrita por Pantaleão *et al.* (2015) em que as circunstâncias foram observadas e registradas na forma como acontecem, mediante contato direto e interativo do pesquisador com a situação objeto de estudo, proporcionando como característica essencial, o enfoque descritivo.

A caracterização da matéria-prima argilosa constou dos ensaios de distribuição de tamanho de partículas, densidade de partículas do solo, Limites de Atterberg, análise termogravimétrica e perda de massa ao fogo. O ensaio da distribuição de tamanho de partículas foi realizado por peneiramento e sedimentação seguindo a NBR 7181 (ABNT, 2016), objetivando quantificar e determinar a distribuição das partículas sólidas constituintes na massa, em frações de areia, silte e argila. O procedimento, baseia-se na

Lei de Stokes, o qual relaciona o diâmetro da partícula com a velocidade de sedimentação em meio líquido, considerando sua viscosidade e temperatura.

A densidade de partículas do solo, também denominada de massa específica real, foi determinada por picnometria conforme a norma NBR 6458 (ABNT, 2016) Considerando a razão entre a massa da substância e o seu volume desconsiderando os poros e os vazios entre as partículas. Os Limites de Atterberg, limite de liquidez e limite de plasticidade determinados conforme a NBR 6459 (ABNT, 2016) e a NBR 7180 (ABNT, 2016), respectivamente. O índice de plasticidade (IP) foi determinado subtraindo-se o valor do limite de liquidez do valor do limite de plasticidade.

A determinação da umidade foi realizada pelo método gravimétrico padrão de estufa, obtendo-se a massa inicial e a massa seca após 24h na estufa a temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ das amostras em laboratório, calculando-se a U% pela relação entre a massa de água e a massa seca medida. Para tanto utilizou-se balança digital com precisão milesimal de 0,001g. A análise termogravimétrica da matéria-prima e do tanino foi realizada em analisador térmico modelo 209 F1 Libra® da Netzsch, em atmosfera com nitrogênio (N_2), sob fluxo de $15 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e taxa de aquecimento a $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$.

A composição mineralógica dos constituintes minerais presentes na amostra do material argiloso foi analisada por Difratomia de Raio X – DRX em difratômetro (Panalytical X'Pert³) com radiação de Cu - $K\alpha$ e 2θ variando de 0° a 100° . Esta caracterização é importante para conhecer a composição dos minerais presentes na amostra, pois conferem características peculiares na massa, conformação, secagem e queima. A caracterização química da argila foi feita por análise por espectrometria de absorção atômica (EAA) no equipamento (Shimadzu Série AA -7800).

O ensaio de perda de massa ao fogo da matéria-prima foi realizado com amostras em triplicata, foram submetidos cerca de 50 gramas de argila passadas em peneira de abertura 10 mesh, submetida a queima em forno tipo mufla, marca Maitec/INTI – modelo ML1.400, com taxa de aquecimento de $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$, patamar a temperatura de 1000°C por 4 horas, após resfriamento em dessecador as amostras tiveram suas massas aferidas para determinar a perda de massa.

As queimas foram realizadas a 500°C e 800°C em forno tipo mufla, marca Maitec/INTI, modelo ML1.400, utilizando taxa de aquecimento de $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$, até atingir a temperatura de patamar, com 60 min de permanência. O resfriamento ocorreu com taxa de $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$, até atingir temperatura ambiente.

As peças queimadas *in loco* e em laboratório foram submetidas aos seguintes ensaios de caracterização tecnológica: absorção de água, retração de secagem e de queima, resistência à compressão e análise morfológica por microscopia óptica e eletrônica. A absorção de água foi determinada inicialmente com as massas secas e depois imergindo as peças cerâmicas em água destilada por 24 horas, após certificar visualmente que as peças estavam isentas de bolhas superficiais foi aferida a massa saturada e a massa imersa, para tanto utilizou-se balança digital com precisão milesimal de 0,001g.

A retração foi avaliada após a secagem e após a queima, a qual relaciona a variação das dimensões da peça após as etapas de secagem e de queima, tal comportamento foi mensurado com o auxílio de paquímetro digital Mitutoyo com faixa de medição de 0 mm a 150 mm, com resolução centesimal de 0,01 mm.

Para a caracterização morfológica realizada por microscopia óptica (MO), foi utilizado estereomicroscópio com câmera digital integrada da marca Leica, modelo EZ4 HD. Foram separadas também amostras para visualização por Microscopia Eletrônica de

Varredura (MEV), e a caracterização semiquantitativa dos elementos químicos presentes na massa argilosa foi feita por mapeamento da Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) utilizando um Microscópio de Varredura VEGA 3LMU Tescan.

O ensaio de resistência à compressão, foi realizado no equipamento INSTRON®, EMIC 23-100, com velocidade de carregamento de 1mm/min. Este é um parâmetro que avalia a resistência mecânica do corpo cerâmico, usualmente utilizado para aferir a máxima capacidade de carga que o material suporta.

3. Resultados e discussão

A análise do DRX mostra a presença de difrações características das fases do quartzo de ficha cristalográfica (ICOD 00.033.1161) em forma de picos agudos e bem evidentes, da caulinita (ICOD 98.008.4263), da muscovita/ilita (ICOD 98.009.1558) e da hematita (ICOD 00-033-0664). A principal impureza predominante na matéria-prima argilosa é o quartzo (SiO_2) ou sílica livre, representado pelos picos agudos e bem evidentes (Figura 02), é o mineral responsável por atuar como material não plástico e inerte durante a sinterização, e também pode ser responsável pela existência de trincas que está associado a sua mudança de fase cristalina com a elevação da temperatura ocasionando pontos de fratura na peça.

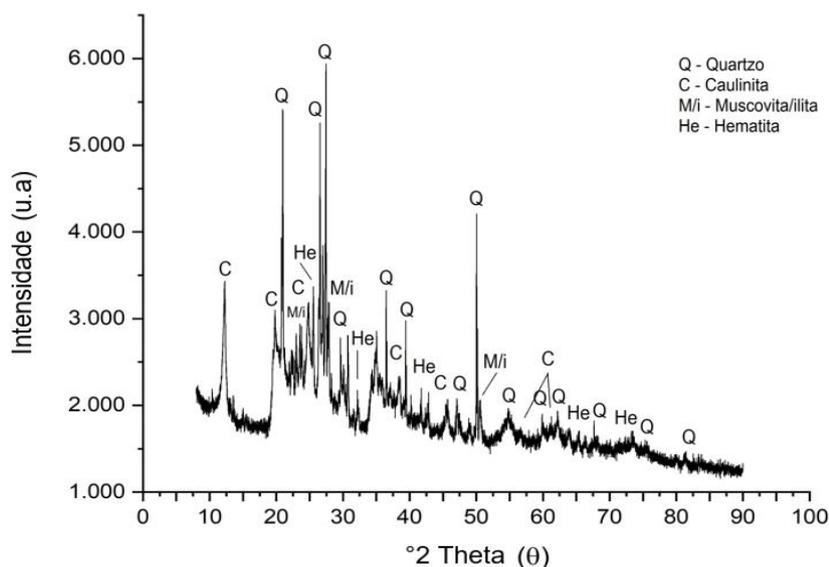


Figura 02 – Análise da argila por difração de raios X.

A caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) apresentou-se com um dos argilominerais presentes na massa argilosa (Figura 02). Em geral, são provenientes da decomposição de rochas feldspáticas e sedimentares. A caulinita é o principal representante dos argilominerais do tipo 1:1, possui estrutura filossilicatada, formado pelo empilhamento regular de lâminas de tetraedros de Si e octaedros de Al (ZARONI, 2022). Melo e Alleoni (2009) comentam que nos minerais do grupo caulinita é comum a presença de Ti, em teores inferiores ao Fe, haja vista, a afinidade de associação do Ti aos minerais 1:1, por substituição isomórfica; adsorção às cargas negativas superficiais ou por recobrimento dos minerais por partículas de anatásio (TiO_2). A caulinita também pode ser caracterizada por seu comportamento refratário (SOUZA *et al.*, 2004).

Na amostra também foram registradas difrações características de minerais micáceos muscovita/ilita, os quais possuem estrutura 2:1, qualificada também por serem argilominerais não-expansíveis, são os minerais com K^+ mais comuns nos solos em condições tropicais, comumente presente em sedimentos (Thompson e Ukrainczyk, 2002). Podem atuar como fundentes devido a presença de óxidos alcalinos em sua estrutura (ROCHA *et al.*, 2004; RACANELLI *et al.*, 2020). Também foram observados picos da hematita, mineral rico em óxido de ferro responsável pela coloração avermelhada das peças após a etapa de queima.

A Tabela 01 apresenta a análise da composição química da matéria-prima argilosa, por Espectrometria de Absorção Atômica (EAA). A análise apresenta destaque para as altas concentrações dos metais alcalinos: sódio com 210 mg/Kg e potássio com 79 mg/Kg; e dos metais alcalinos terrosos: cálcio e magnésio com cerca de 1.320 e 316 mg/Kg, respectivamente, há também alta concentração de ferro 446 mg/Kg.

Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Zn	K^+	Fe	Cu^{2+}	Mn^{2+}	M.O. ⁽¹⁾	CTC ⁽²⁾
1.322,64	316,05	210,0	6,8	79,0	446,0	0,7	39,0	0,9	12,4

Tabela 01 – Análise química por EEA do solo (mg/Kg). Nota: ⁽¹⁾ dag/Kg; ⁽²⁾ cmol./dm³.

As altas concentrações dos metais alcalinos e alcalinos terrosos (Na, K, Ca e Mg) são importantes constituintes para a massa cerâmica, por serem formadores de óxidos fundentes, contribuindo efetivamente na etapa de queima para a formação de fase líquida reduzindo a porosidade das peças com a consolidação das partículas. A alta concentração de sódio (Na^+), está relacionado as proximidades da área de extração da argila com o litoral e da zona lagunar nas proximidades da área. A alta concentração dos demais elementos acredita-se estar relacionado a gênese dos solos da região.

A capacidade de troca de cátions – CTC, a qual apresentou valor de 12,4 cmol./dm³, diz respeito a soma total de cátions trocáveis/retidos à superfície da argila ou húmus em condição permutável. A CTC juntamente com a Matéria Orgânica – M.O., sinaliza o grau de agregação do solo, que influencia em importantes propriedades como na estrutura, regime hídrico e por sua vez na consistência (El Boukili *et al.*, 2021).

Na Figura 03, a seguir, é apresentada a caracterização semiquantitativa dos elementos químicos presentes na massa argilosa por mapeamento da Espectroscopia por Energia Dispersiva – EDS. A partir dela foi feita a Tabela 02 com a quantificação dos elementos, do espectro de leitura da caracterização semiquantitativa da massa argilosa, uma vez que, cada elemento tem uma assinatura de absorção e emissão.

Elementos	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Cu	Ti
%	59,17	0,24	0,63	7,59	16,08	1,26	0,26	4,97	0,69	0,53

Tabela 02 – Composição química semiquantitativa por EDS da massa argilosa.

A composição semiquantitativa (Figura 03; Tabela 02) obtida por EDS da massa argilosa corrobora com os valores obtidos pela análise por Espectrometria de Absorção Atômica (EAA) apresentando destaque para os picos das concentrações dos metais alcalinos e alcalinos terrosos e do ferro, que são elementos fundentes. Os compostos de

ferro quando na etapa de queima (atmosfera oxidante) da peça cerâmica convertem em hematita (Fe_2O_3) responsável por conferir a coloração avermelhada na peça queimada.

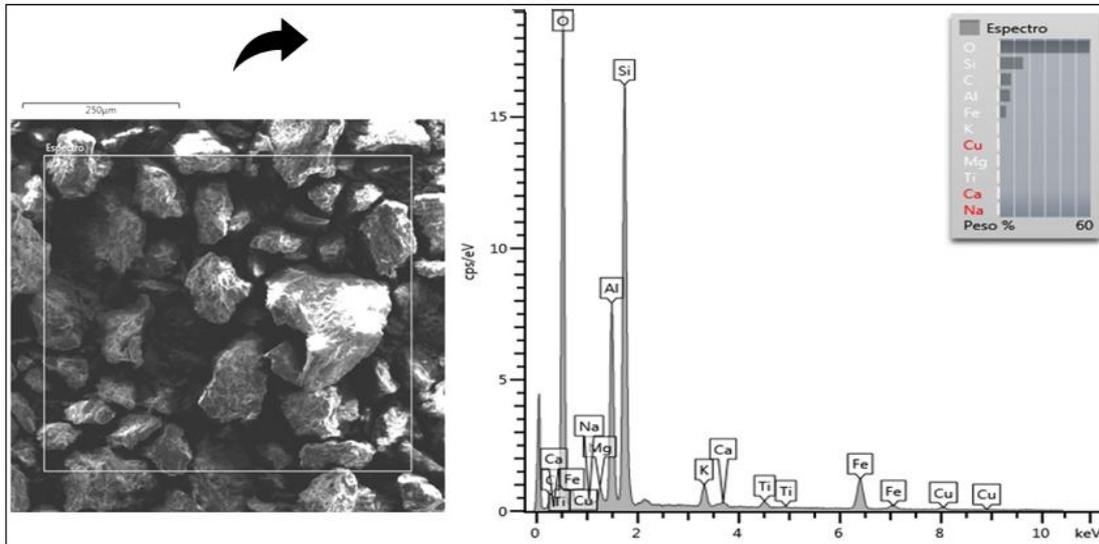


Figura 03 – Espectro por EDS da massa argilosa.

A caracterização térmica da massa argilosa é apresentada a seguir na Figura 04. A matéria-prima apresenta três eventos térmicos bem definidos, o primeiro com ocorrência por volta dos 200°C está associado a liberação da água higroscópica presente nas intercâmbios dos argilominerais. O segundo evento que ocorre entre 200 a 350°C é atribuído à desidratação da gibbsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), processo de decomposição de matéria orgânica e sulfetos, assim como esse intervalo compreende também a transformação da goethita ($\alpha\text{-FeO(OH)}$) em hematita (Fe_2O_3) que é o óxido de ferro mais estável. Por fim, o último evento compreendido por volta de 500°C registra a desidroxilação da caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), em que ocorre perda das hidroxilas da estrutura da argila, ocasião em que ocorre a perda irreversível da plasticidade e a sequência da formação da metacaulinita.

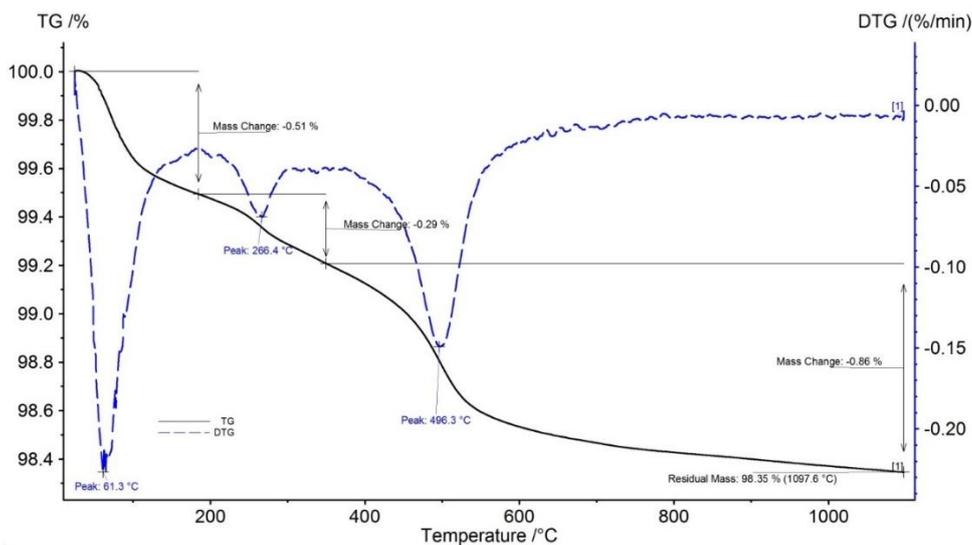


Figura 04 – Análise termogravimétrica da matéria-prima argilosa.

Na Figura 05 é apresentada a caracterização termogravimétrica do comportamento da combustão do tanino analisado em forma de pó. O primeiro evento por volta de 150°C evidencia a perda de massa associada a evaporação da água, o segundo evento compreende o processo endotérmico (devolatilização) momento em que ocorre a maior taxa de liberação de calor e portanto, maior perda de massa, conforme observado na figura, fenômeno que comumente ocorre em temperaturas menores que 700°C envolvendo reações de craqueamento térmico. O terceiro e quarto eventos a 800°C compreendem a degradação da hemicelulose e celulose, que são componentes da holocelulose, e por fim temos a degradação das cadeiras moleculares da lignina. No estágio final ocorre uma estabilização da perda de massa por volta de 1.100°C, momento em que resta apenas a massa de sólido remanescente, denominado temperatura de burnout.

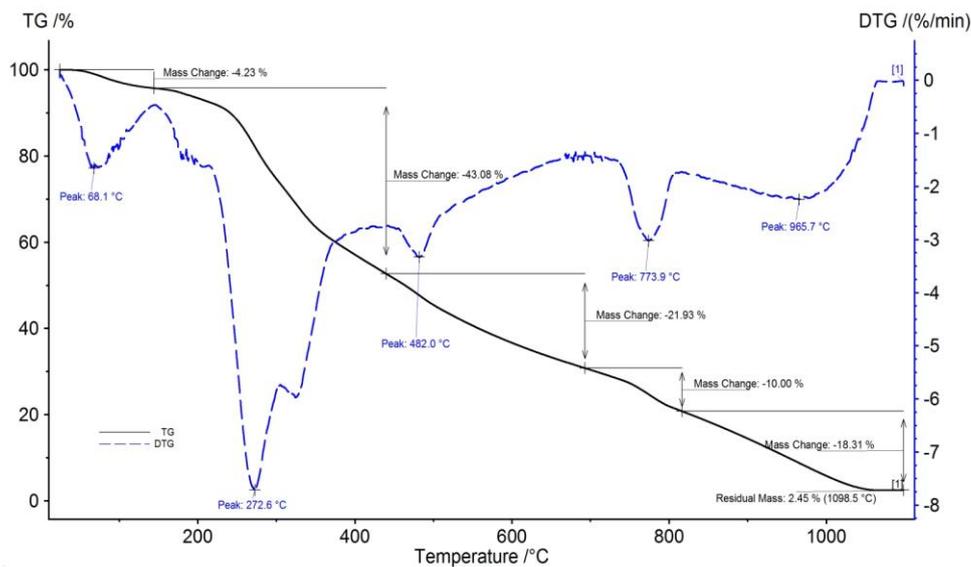


Figura 05 – Análise termogravimétrica do tanino.

A distribuição de tamanho de partículas do solo, densidade de partículas e densidade aparente são apresentadas na Tabela 03. Observa-se que a matéria-prima apresenta constituição com cerca de 51% de grãos maiores que 20 µm (areia), seguida de silte com 11%, sendo a fração argila representando aproximadamente 38%. Essa grande presença da fração areia a qual é constituída por grãos de quartzo (SiO₂), foi também diagnosticada na análise da composição mineralógica realizada por Difratomia de Raio X – DRX, isso retrata como é constituída a matriz do solo. Na massa cerâmica os grãos de quartzo são importantes para diminuir/ajustar a plasticidade, controlar a retração de secagem e de queima promovendo a estabilidade dimensional da peça, além de proporcionar uma maior macro porosidade, facilitando a secagem do material cerâmico confeccionado pela facilidade de saída da água.

Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Dp (g/cm ⁻³)	Ds (g/cm ³)	P. F (%)
x >20µm	2 < x ≤ 20 µm	x ≤ 2 µm			
51,33%	11,05	37,62	2,75	1,38	4,13

Tabela 03 – Caracterização física da matéria-prima argilosa. Nota: Dp – densidade de partículas; Ds – densidade aparente; P.F – perda ao fogo.

Cabe ressaltar que a quantidade e o tamanho das partículas de quartzo na massa influenciam negativamente o produto, podendo ser um fator potencializador da origem de trincas, como discutido a diante. Em síntese, a análise da distribuição de partículas (Figura 03) mostrou que as massas estudadas são granulometricamente formadas com predomínio das frações areia e argila, o que colabora para maior sinterabilidade durante a etapa de queima, devido à maior reatividade das partículas.

A densidade de partícula, que representa a composição da fração sólida do solo revela um solo com predominância de constituintes minerais de quartzo e presença de elementos de densidade maior como a presença de compostos de ferro. Por fim, a matéria-prima revelou baixa perda ao fogo – PF o que sinaliza realmente a presença de maior concentração da fração areia, ou seja, maior composição na massa de sílica livre, óxido de silício (SiO₂).

Na (Tabela 04) são apresentados os limites de Atterberg da matéria-prima. Conforme classificação de Caputo (1988) a matéria-prima apresenta-se como altamente plástica, uma vez que, o autor classifica os solos com (IP ≤7) como fracamente plásticos, medianamente plásticos (7 < IP < 15) e com (IP ≥ 15) como altamente plásticos.

LL (%)	LP (%)	IP (%)	Classificação
37,04	20,36	16,68	altamente plástica

Tabela 04 – Limites de Atterberg da matéria-prima.

Durante o processo de moldagem das peças para confecção das placas de barro há quatro teores de umidade da massa argilosa que ocorrem nas etapas de fabricação da placa até a etapa de queima, denominação utilizada entre os artesãos como ponto de moldagem, ponto de couro ponto de osso e ponto de queima. Os valores de umidade de cada etapa são atribuídos empiricamente mediante experiência dos artesãos e fazem parte do acervo de conhecimento empírico obtido ao longo do tempo. Almejando determina-los, amostras foram coletadas *in loco*, e realizados ensaios em laboratório para aferição da umidade em cada etapa, conforme apresentado na (Figura 07).

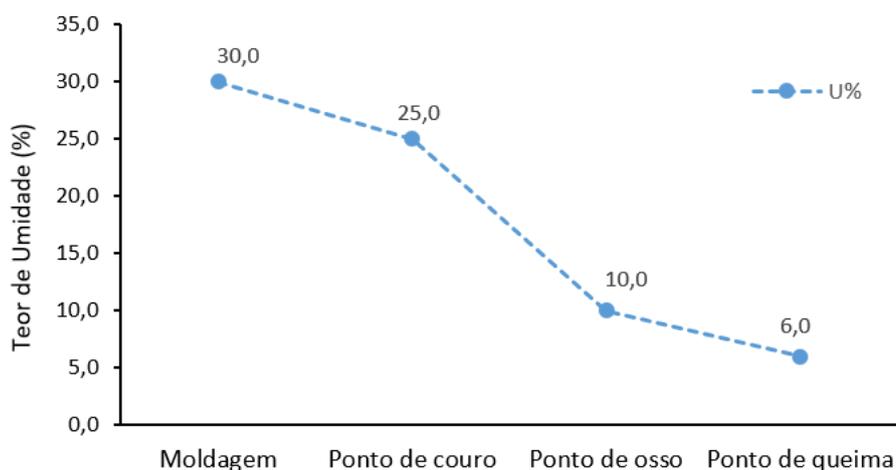


Figura 07 – Diferentes umidades para trabalhabilidade da peça até a queima.

A umidade inicial da massa para moldagem apresenta-se em torno de 30%, a umidade de ponto de couro entre 22 a 25 %, a umidade de ponto de osso entre 8 e 10 % e a

umidade de queima entre 6 e 8 % conforme representado na Figura 07. O ponto de moldagem, ponto de couro, ponto de osso e ponto de queima, são terminologias utilizadas para se referir a diferentes etapas do processo de concepção das panelas. Ponto de moldagem é o processo inicial para conformar a panela; ponto de couro momento onde a panela já conformada é alisada com um pedaço de couro para fazer o acabamento, sobretudo na borda; ponto de osso é o momento do alisamento da panela com uso seixo rolado e por fim o ponto de queima, momento que antecede a sinterização, denominado localmente de queima.

Quando a peça não está na umidade adequada para a queima e há necessidade de destina-la ao processo de queima, uma estratégia utilizada pelos artesãos, é coloca-las dispostas em volta da fogueira para perder umidade e então em seguida proceder a queima. Como já relatado anteriormente, estes momentos de variação de umidade são percebidos pela experiência e habilidade dos artesãos.

A seguir, são apresentados exemplares de panelas, (A) queimada *in loco* com aplicação de tanino, e (B) queimadas em laboratório a 500°C e 800°C, sem aplicação de tanino.



Figura 08 – (A) peça queimada *in loco* e (B) queimadas em laboratórios.

As peças queimadas em laboratório apresentaram retração de 7,12 % e 7,94 %, quando sinterizadas a 500°C e 800°C respectivamente, não sendo possível realizar este ensaio na peça queimada *in loco*. Contudo, mediante termômetro infravermelho com mira laser, foi possível aferir a temperatura da fogueira onde as peças são queimadas, que variou de 630°C a 750°C, onde as peças são mantidas por cerca de 30 a 60 minutos.

De fato, com o registro dessas temperaturas de queima, é possível conferir tratamento térmico as peças, mediante aglutinação e adesão dos grãos pelo efeito do aquecimento, condicionando certa resistência mecânica as peças, embora não garanta uniformidade de queima, quando comparado ao processo de sinterização em laboratório com forno tipo mufla. Adiante, nas (Figuras 17 A, B), são apresentados exemplares de peças com queima adequada, conforme demonstrado durante o ensaio de absorção de água.

Quanto ao ensaio de resistência à compressão, as peças queimadas *in loco* apresentaram resistência de (8,04 Mpa), sendo cerca de 25% maior quando comparadas com aquelas sinterizadas em laboratório a 500°C (6,08 Mpa), confirmando portanto que a queima *in loco* (em fogueira) produz resultado eficaz. A queima a 800°C em laboratório apresentou leve incremento em torno de 3,5 % na resistência à compressão (8,33 Mpa), devido a melhor uniformidade de queima, maior aglutinação e adesão dos grãos, e consequente redução da porosidade, conforme será discutido a seguir.

Apesar do ensaio de resistência à compressão ser usualmente empregado na construção civil, optou-se por aplicar este ensaio nesta pesquisa, por entender que tal informação é

importante para conhecer a máxima capacidade de carga que este material cerâmico pode suportar, uma vez que as placas de barro sofrem comumente choques entre as peças no cotidiano durante o preparo de alimentos, limpeza, entre outros.

É possível que o incremento de resistência à compressão das peças submetidas a queima *in loco*, também esteja associada ao emprego do uso do tanino, que pode contribuir para maior aglutinação das partículas, o qual elevou a resistência a ruptura quando comparada a sinterização a 500°C. Diante dos resultados coletados, é possível inferir que a queima *in loco* juntamente com o emprego do tanino promovem resistência equivalente a das peças sinterizadas em laboratório a 800°C, assim, conferindo a peça queimada *in loco* boa capacidade de carga.

Durante a pesquisa, em visitas *in loco* fragmentos da casca do vegetal *Rhizophora mangle*, utilizado pelos artesãos para extração de tanino para tingir as peças, foram coletadas, para o preparo da solução em laboratório. Para tanto, adicionou-se 100 gramas da casca fragmentados em pedaços com cerca de 3 cm de diâmetro em 250 ml de água que ficou em repouso, observou-se que no 5º dia a água ficou completamente de tom avermelhado (Figura 09).

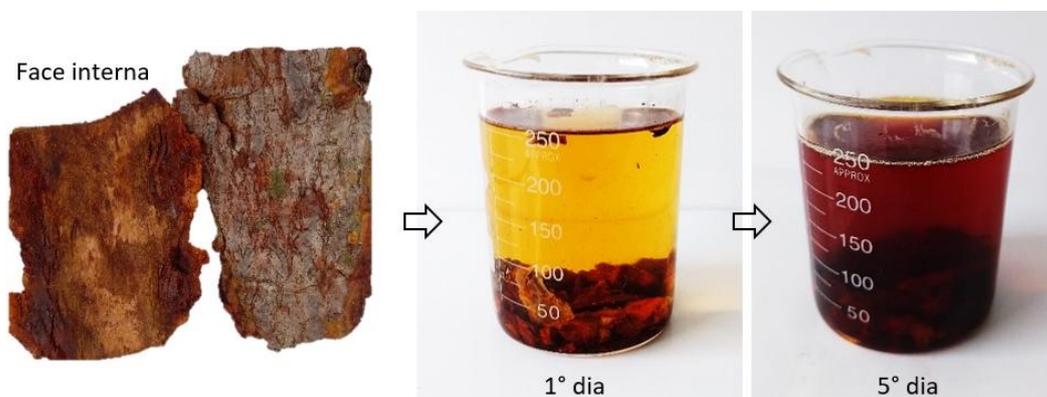


Figura 09 – Cascas do *Rhizophora mangle* e extração do tanino.

Ressalta-se que embora se tenha preparado uma concentração de 400 g/L, essa proporção não é seguida no cotidiano dos artesões, pois estes preparam empiricamente a solução, colocam certa quantidade de casca do *Rhizophora mangle* em água e deixam descansar (“de molho”) por 4 a 5 dias, portanto não seguem qualquer metodologia.

Registrou-se *in loco* que as peças quando são submetidas ao tingimento com tintura de tanino apresentam temperatura da superfície na ordem de 250°C a 300°C, esta elevada temperatura, faz com que o líquido seja rapidamente assimilado pela peça, havendo redução de oxigênio e promovendo carbonização da peça, momento em que confere coloração preta a panela e além de contribuir como selante.

Nas (Figuras 10 e 11) são apresentadas micrografias por microscopia óptica das superfícies interna e externa das peças queimadas em laboratório a 500°C e 800 °C. A seta cor azul indica exemplar de grão de quartzo; seta cor laranja, sinalizam a presença de porosidade, seta core avermelhada esta associada a minerais ferruginosos e a seta cor cinza sugerem a presença de minerais micáceos.

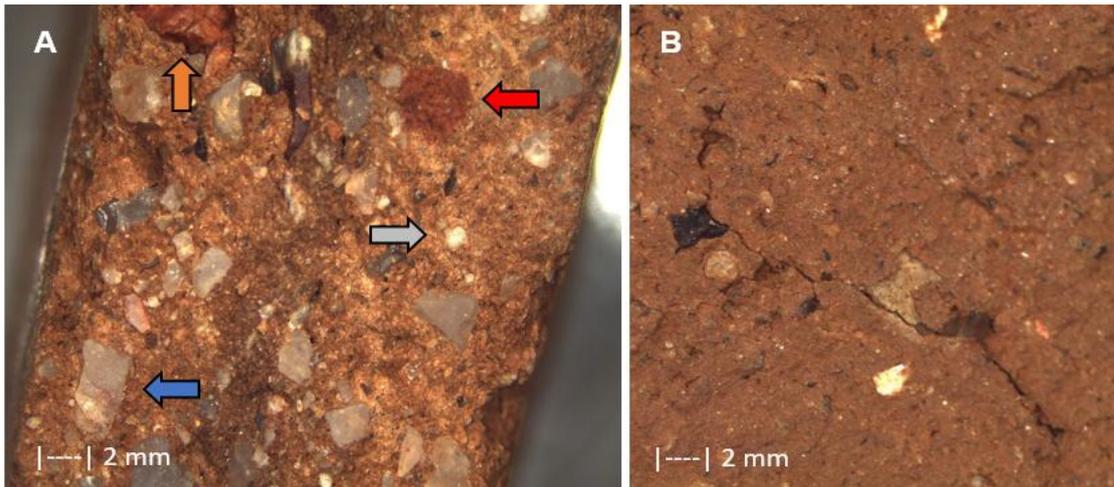


Figura 10 – Micrografias em superfície interna (A) e externa (B) queimada a 500°C. Nota: seta azul = grão de quartzo, seta laranja = porosidade, seta vermelha = minerais ferruginosos, setas cinza = minerais micáceos.

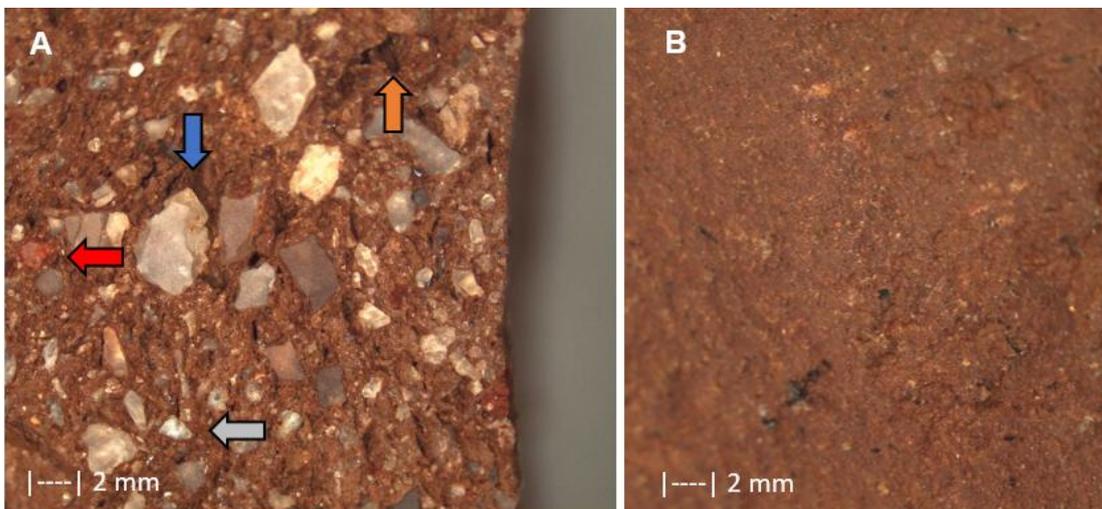


Figura 11 – Micrografias em superfície interna (A) e externa (B) queimada a 800 °C. Nota: seta azul = grão de quartzo, seta laranja = porosidade, seta vermelha = minerais ferruginosos, setas cinza = minerais micáceos.

As micrografias com a letra (A) representam corte transversal da parte interna. Conforme já apontado pela análise da distribuição de tamanho de partículas e discutido anteriormente, a massa cerâmica tem quantidade significativa da fração areia, a qual é constituída predominantemente por quartzo, conforme observado e registrado nas micrografias (Figura 10 e 11). As micrografias com a letra (B) registram a superfície externa das peças, observa-se que quando queimadas a 800°C apresentam superfície mais compacta, o qual está associada a maior união das partículas e conseqüente redução de porosidade por haver possivelmente maior formação da fase líquida pelo incremento de temperatura.

As micrografias da microscopia eletrônica de varredura – MEV da secção interna da peça queimada *in loco* é apresentada na (Figura 12), observa-se a presença notável de poros, os quais estão associados aos vazios dominantes, gerando macroporos (setas brancas) resultante da granulometria grosseira da matéria-prima, conforme discutido anteriormente, proporcionando uma acomodação e empilhamento irregular dos grãos.

Registra-se que a microporosidade (setas azuis) presente também pode esta associada a degradação de material orgânico, uma vez que, o aumento da temperatura provoca volatilização dos resíduos orgânicos presentes na massa argilosa.

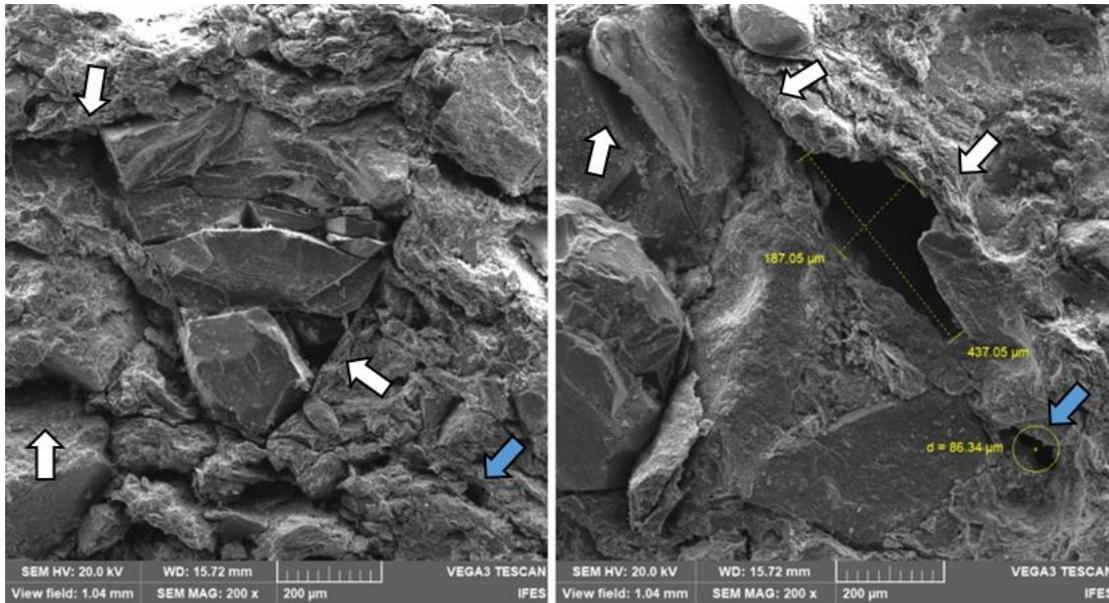


Figura 12 – Micrografias de MEV na peça após a queima *in loco*.

Durante a etapa da queima *in loco* é comum peças descartadas por motivos de trincas. Quando estas são pequenas os artesãos no momento da retirada das peças do fogo, rapidamente com um bastão de argila “tampa” a trinca, ou seja, fazem o reparo da trinca na tentativa de aproveitar aquela peça. Porém, quando são observadas trincas grandes ou até mesmo quando a trinca promove desprendimento, estufamento, placas soltas e expõem a matéria-prima, a peça é então descartada. Na (Figura 13) é apresentada micrografia realizada por microscopia óptica com aumento de 200x, em que é observado detalhe de peça cerâmica (tampa de panela, sem o emprego do tanino) danificada por trinca, ocasionada por grãos de quartzo (setas cor preta).

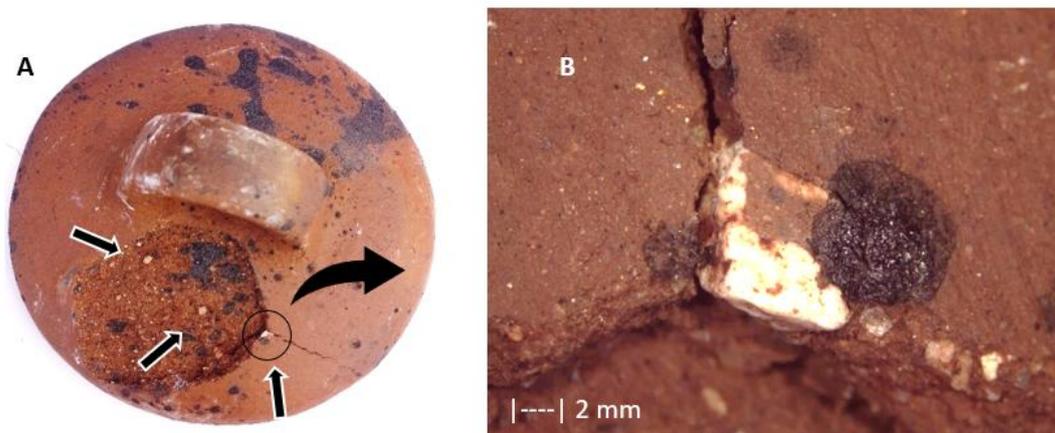


Figura 13 – (A) Tampa danificada; (B) detalhe ampliado da trinca por microscopia óptica.

Trincas em cerâmica vermelha, podem ser originadas pelo excesso de umidade da peça cerâmica ao ser submetida a queima, haja vista a “expulsão” abrupta da massa de água,

provocando a formação de trincas. Outro fator é relacionado o efeito da inversão polimórfica do quartzo- α para quartzo- β que ocorre do por volta de 573°C, que é acompanhada por um acréscimo de volume das partículas que é reversível, assim sua expansão e contração volumétrica, podem contribuir na formação de fissuras e trincas, como foi observado na Figura 13 (ABADIR *et al.*, 2002; BRAGANÇA e BERGMANN, 2004). O surgimento de trincas ocasionado pela presença do quartzo é possível ocorrer em massa argilosa diante da presença de grãos acima de 30 μm , partículas mais finas, são capazes de contribuir para o aumento da resistência mecânica, contudo com incremento de absorção de água (KOBAYASHI *et al.*, 1992).

As Figuras 14A e 14B apresentam micrografias por microscopia óptica em superfície de panela que recebeu tratamento com tanino. A solução de tanino empregada nas peças pelos artesãos promove um certo selamento das trincas e poros, conforme demonstrado a seguir. A seta cor azul indica exemplar de grão de quartzo; setas cor branca, indicam película de tanino cobrindo a superfície; e setas cor laranja, sinalizam a presença de porosidade.

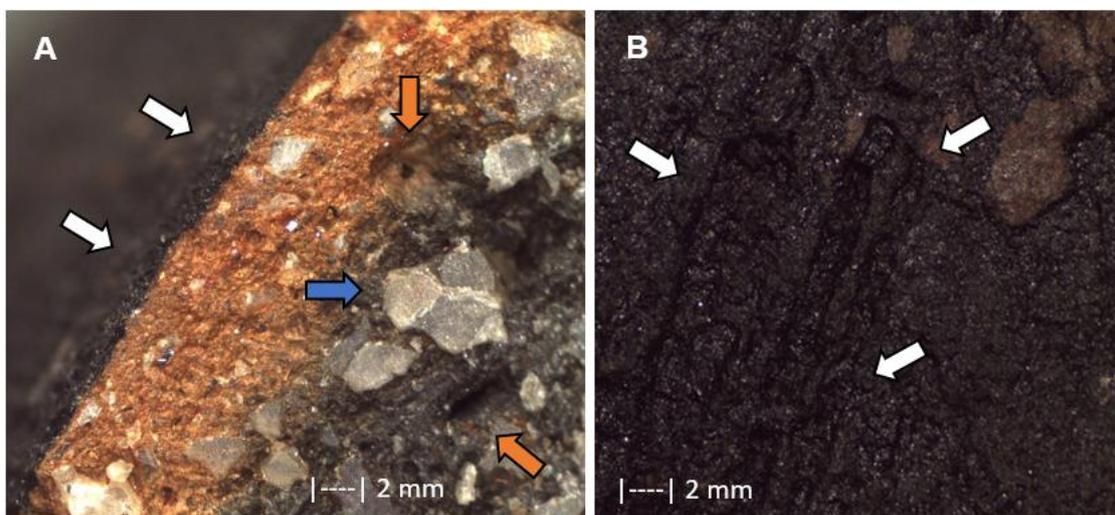


Figura 14 – Micrografias por microscopia óptica em peças cerâmicas. Nota: seta azul – grão de quartzo, seta branca – tanino, seta laranja – porosidade

Na (Figura 14A) em corte transversal é observado a presença de uma fina película de tanino revestindo a superfície da peça, e na parte interior registra-se com maior evidência a presença de grãos de quartzo, partículas de tons esbranquiçadas de várias granulometrias e a presença de macro e microporos conforme discutido anteriormente. Na (Figura 14B) observa-se cavidades na superfície cobertas pela solução de tanino.

Na (Figura 15) observa-se em imagens de alta ampliação e resolução originada da transcodificação da energia emitida por elétrons por Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV, o comportamento de superfícies de peças cerâmicas tingida com tanino e sem o emprego do tanino. Registra-se que o emprego da solução de tanino na superfície da peça promove um certo selamento das fissuras e poros (Figura 15A). Por sua vez, sem o tratamento com o tanino (Figura 15B), as fissuras são expostas e evidentes e, portanto, tornando a peça, mais susceptível a absorção de água, assim como contribuindo para a fragilidade da peça.

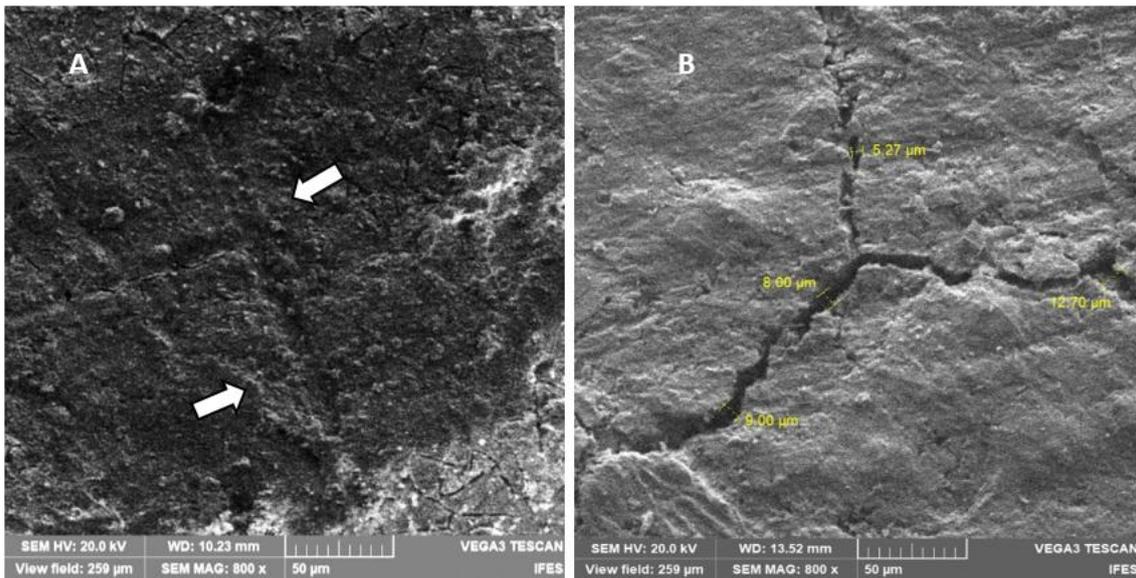


Figura 15 – Micrografias de MEV em superfície de peças cerâmica com aplicada de tanino (A); superfície sem tanino (B).

Na (Figura 16) é apresentado os ensaios de absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA) em peças após o processo de queima no local, e em laboratório a 500°C e 800°C. Essas avaliações são importantes por estar relacionadas a um certo indicativo do percentual de poros abertos existentes no material cerâmico sobretudo quando destinado ao uso na culinária, o qual está diretamente associado a facilidade de higienização, resistência do produto, bem como à capacidade de transferência de calor por condução térmica do material.

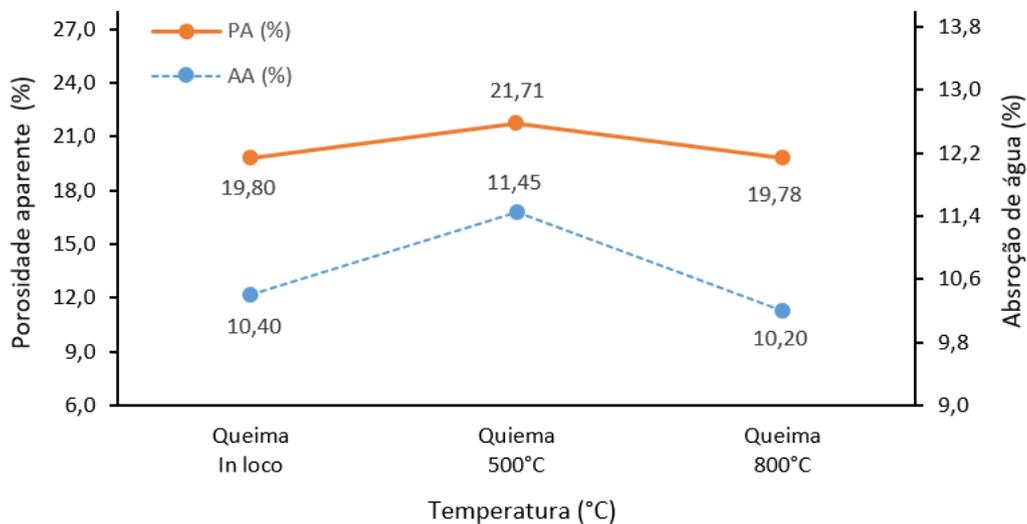


Figura 16 – Absorção de água e porosidade aparente após as queimas.

Analisando a Figura 16, observa-se que valores menores de absorção de água e de porosidade aparente para as peças queimadas *in loco*, quando comparadas com as peças sinterizadas em laboratório a 500°C e 800°C. Acredita-se que a aplicação da solução de tanino nas peças, contribuiu para impermeabilização e conseqüente promovendo redução na porosidade, além de potencializar certa aglutinação dos constituintes da massa argilosa. As peças queimadas a 800°C apresentaram menor teores de absorção de

água e porosidade aparente devido ao incremento da temperatura, promover maior fase líquida, diminuindo a temperatura de fusão pela atuação dos óxidos fundentes densificando o material, o que diminui a porosidade e absorção de água, o que faz aumentar a resistência do material, conforme discutido anteriormente.

Durante o ensaio de absorção de água, algumas peças obtidas da queima *in loco* apresentaram evidências de queima não uniforme ou em temperatura e tempo inadequado. Algumas peças após o ensaio de absorção de água, apresentaram certo estufamento, soltando placas e expondo a matéria-prima, sendo possível observar a olho nú a presença dos minerais, com destaque para os grãos de quartzo (Figuras 17 A, B).



Figura 17 – Exemplo de panela de barro com problemas na etapa de queima.

Acredita-se que o episódio pode estar relacionado a ineficiente sinterização em que a peça foi submetida, ou seja, a panela pode ter tido um dos lados submetido a uma menor temperatura e/ou menor tempo ao fogo, ocorrendo uma queima parcial, desta forma não permitindo a ocorrência completa dos processos de transformação química pelas reações térmicas, e assim fragilizando a resistência e diminuindo a durabilidade da peça, é possível também que tenha havido aderência não eficiente do tanino na peça, isto acontece quando a peça é “açoitada” em baixa temperatura não permitindo uma adequada fixação da solução na peça e uma ineficaz impermeabilização.

Contudo, é possível que com o uso da panela de barro diariamente no fogo em ambiente doméstico, possa dificultar este processo de estufamento, uma vez que a temperatura do fogão vai cada vez mais fixando a solução do tanino na cerâmica, e com isso, ficando cada vez mais aderida a panela, e assim sendo possível retardar o aparecimento de tais avarias.

4. Conclusões

A composição mineralógica da matéria-prima argilosa das panelas de barro capixabas apresentou arranjos estruturais predominantes das fases do quartzo com picos agudos e bem evidentes, além de caulinita, muscovita/ilita e hematita. A composição química, por espectrometria de absorção atômica revelou altas concentrações dos metais alcalinos sódio (Na) e potássio (K) e dos metais alcalinos terrosos cálcio (Ca) e magnésio (Mg), assim como alta concentração de ferro (Fe) corroborando, com o mapeamento da composição química semiquantitativa realizada por Espectroscopia por Energia Dispersiva – EDS.

A caracterização térmica da massa argilosa revelou massa cerâmica de comportamento caulínica. A análise da distribuição de tamanho das partículas revelou um solo com

predomínio da fração areia, e baixa perda ao fogo. Considerando os limites de Atterberg, a matéria-prima apresenta massa argilosa classificada como altamente plástica. Quanto a umidade para trabalhabilidade na peça até o ponto de queima, esta apresentou, umidade inicial para moldagem em torno de 30 a 35 %, a umidade de ponto de couro entre 22 a 25 %, a umidade de ponto de osso entre 8 e 10 % e a umidade de queima entre 6 e 8 %.

A temperatura de queima das panelas *in loco* variou de 630°C a 750°C, em ciclos de 30 a 60 minutos. As peças cerâmicas queimadas *in loco* apresentaram ligeira redução de absorção de água e porosidade aparente quando comparadas com as peças sinterizadas a 800°C em laboratório. Sinalizando, portanto, que as peças sinterizadas *in loco* apresentam equivalência ao tratamento térmico quando feito em forno tipo mufla nessa temperatura. Outro fator que pode ter contribuído na impermeabilidade da panela é o uso da solução de tanino, que promove certa impermeabilização da peça cerâmica.

Por fim, pode-se dizer que a técnica e tradição de confecção das panelas de barro de Goiabeiras mesmo com o passar dos anos, são preservados até os dias atuais com a modelagem manual da panela, o uso do barro como matéria-prima e a aplicação do tanino. Confirma-se com esse trabalho a importância de conhecer e caracterizar os produtos concebidos por meio do saber centenários das paneleiras capixabas.

Agradecimentos

A todos que contribuíram para a realização desta pesquisa, ao IFES, SINDICER e SENAI-ES pela oportunidade do uso do laboratório de tecnologia em cerâmica.

Referências

ABADIR, M.F., SALLAM, E.H., BAKR, I. M. *Preparation of Porcelain Tiles from Egyptian Raw Materials. Ceramics International.* Volume 28, Issue 3, 2002.

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 6458.** Solo – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8mm – *Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*, 2016.

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 6459.** Solo - *Determinação do Limite de liquidez*, 2016.

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 7180.** Solo - *Determinação do Limite de plasticidade*, 2016.

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 7181.** Solo – *Análise granulométrica*, 2016.

BRAGANÇA, S. R., BERGMANN, C. P. Aspectos teóricos e práticos sobre a resistência mecânica de porcelanas. *Revista Cerâmica*, n° 50 (2004) 145-155.

CAPUTO, H. P. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A., 1988. 225p.

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. *Ofício das paneleiras de Goiabeiras*. Livro de registro dos saberes. Disponível em << <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Paneleiras%20de%20Goiabeiras.pdf>

f>>Acesso em 13 de setembro de 2024.

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. *Ofício das Paneleiras de Goiabeiras*. Brasília, DF: Iphan, (Dossiê Iphan; 3), 2006. 70 p.

JESS, J. *A tradição das panelas de barro de Goiabeiras – ES*. (jan/2017) Caixa colonial. Disponível em: <<<https://caixacolonial.club/blog/tradicao-das-panelas-de-barro-de-goiabeiras-es-248/>>>. Acesso em 06 de janeiro de 2025.

KOBAYASHI, Y.; OSAMU, O.; YASUO, O.; KATO, E. *Effect of Firing Temperature on Bending Strength of Porcelains for Tableware*. Journal of the American Ceramic Society, v. 75, n. 7, pág. 1801-1806, 1992.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F (Ed.). *Química e Mineralogia do Solo*. Parte I – Conceitos básicos. SBCS – Viçosa/MG, 1381 p., 2009.

NICOLE, B. C.; NASCIMENTO, J. C.; MARQUES, M. S.; COSTA, M. H. T.; PEREIRA, P. H. M.; PRADO, R. V.; CALOTI, V. A. *As paneleiras de Goiabeiras e a arte de fazer panela de barro – Ensaio etnográfico sobre a cultura do barro*. Revista Simbiótica, Ufes, vol. único, n.01. p16-52, junh/2012.

PANTALEÃO, E. F.; BRITO, L. T. L.; CAVALCANTI, N. B.; ROLIM NETO, F. C. *Cisternas de produção para melhoria da qualidade de vida no Semiárido do estado de Pernambuco*. Revista Verde. vol. 10., nº 4, p. 13 - 19, out-dez, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v10i4.3613>

PANTALEÃO, F. S.; FERREIRA, E. P.; SCALZER, S. Z.; FERREIRA, E. P.; SANTOS, M. M.; NOBRE, M. D. *Confecção de panelas de barro em goiabeiras no Espírito Santo: patrimônio imaterial brasileiro*. Revista Ifes Ciência. Volume 10 / Número 1 / Ano 2024 – p. 01-13.

PEROTA, C.; DOXSEY, J. R.; BELING NETO, R. A. *Técnicas de Confecção de Panelas de Barro*. In: *As paneleiras de Goiabeiras 1997*. Agosto/2012 Disponível em << <https://www.morrodomoreno.com.br/materias/tecnicas-de-confeccao-de-panelas-de-barro.html>>>. Acesso em 12 de maio de 2023.

RACANELLI, L. A.; CÂNDIDO, V. S.; SOUZA, J. A. S.; CARDOSO, D. N. *Caracterização e estudo das propriedades físicas, químicas e mecânicas das argilas caulínicas da região Nordeste do Estado do Pará*. Revista Matéria. V.25, n.01, ISSN 1517-7076, artigo e-12593, 2020.

ROCHA, F. N.; SUAREZ, P. A. Z.; GUIMARÃES, E. M. *Argilas e suas aplicações em utensílios e materiais cerâmicos*. Rev. Virtual Quim., 2014,6(4), 1105-1120.

SEGOV/SUB-COM. Secretaria de Governo e Comunicação – Prefeitura de Vitória. *Parque Vale do Mulembá*. Disponível em << <https://www.vitoria.es.gov.br/segov>>>. Acesso em 08 de maio de 2023.

SOUZA, E. T. A.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. *Revestimento cerâmico com granito e argila caulínicas*. Cerâmica 50 (314), Jun 2004.

TAUFNER, F.; GARCIA, M. *Turismo Vitória*. Vila Velha/ES: Editora Cidadania, 2018, 40p.

THOMPSON, M. L.; UKRAINCZK, L. *Micas*. In **DIXON, J. B.; SCHULZE, D. G. eds.** *Soil mineralogy with environmentam applications*. Madison, Soil Science Society of America. 2002, p. 431-466.