

**EFEITOS DA TEMPERATURA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE
MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE CERÂMICAS DE
REVESTIMENTO EM INDÚSTRIA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO – PE**

***EFFECTS OF TEMPERATURE ON MECHANICAL BEHAVIOR OF RAW
MATERIALS USED IN THE PRODUCTION OF CERAMIC COATING TILE IN CABO
DE SANTO AGOSTINHO – PE***

Renata Arcelino da Silva¹
Verônica Cristhina de Souza Diniz²

RESUMO

As propriedades dos revestimentos cerâmicos são dependentes de sua composição química e da microestrutura desenvolvida, principalmente, durante o tratamento térmico a que são submetidos. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo estudar a influência da temperatura de sinterização no comportamento mecânico de matérias-primas cerâmicas com diferentes composições utilizadas em uma indústria de revestimento cerâmico, possibilitando sua análise e processamento de forma simples, controlada e reprodutível. Foram utilizadas 6 matérias-primas argilosas doadas por uma indústria de revestimento cerâmico do Cabo de Santo Agostinho - Pernambuco. Sendo compactados corpos de prova de cada amostra por prensagem uniaxial, em seguida submetidos a sinterização controlada a 1000, 1100 e 1200°C por 1h, com taxa de aquecimento de 5°C/min. Em seguida, foram avaliadas as propriedades tecnológicas de retração linear, absorção de água, porosidade aparente e resistência à flexão. Os ensaios tecnológicos revelaram que a amostra MP5 apresentou resistência mecânica à flexão de 45,27 MPa a 1100°C, associada a uma baixa porosidade (2,34% a 1100°C) e a mínima concentração de trincas internas resultante da baixa retração da peça (6,34% a 1100°C). Sendo assim, as matérias-primas analisadas apresentaram características típicas de materiais que podem ser utilizados na indústria tradicional de revestimento cerâmico.

Palavras-chave: Matérias-primas. Cerâmica. Sinterização.

ABSTRACT

The properties of ceramic tiles are dependent on their chemical composition and on the microstructure developed, mainly during the heat treatment to which they are developed. In this study, aimed to evaluate the influence of temperature on the mechanical behavior of ceramic raw materials of different compositions used in production of ceramic tiles, allowing their analysis and processing in a simple, controlled and standard. Six raw materials donated by a ceramic coating industry from Cabo de Santo Agostinho - Pernambuco were used. Samples of raw material were compacted by uniaxial pressing, then subjected to controlled sintering at

¹ Bacharelada em Engenharia de Materiais - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho. 2021

² Orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Materiais – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho

1000, 1100 and 1200 ° C for 1h, with a heating rate of 5°C / min. Then, properties were evaluated per of linear shrinkage, water absorption, apparent porosity and flexural strength. The samples MP5 showed a good mechanical performance in relation to temperature variation, showed maximum strength, 45.27 MPa at 1100°C, associated with low porosity (2.34% at 1100°C) and the minimum concentration of internal cracks resulting from the low retraction of the part (6.34% at 1100°C). Therefore, the raw materials presented physical properties for use in various applications in ceramic tile.

Keywords: Raw materials. Ceramic. Sintering.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais protagonistas do setor de revestimentos cerâmico conforme o panorama da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica (ANFACER, 2020), ocupando a terceira posição em produção e a segunda em consumo mundial (CABRAL et al., 2019). As indústrias cerâmicas nacionais, buscando permanecer em destaque produtivo, visam manter o desenvolvimento tecnológico e os níveis de conformidade dos seus produtos, utilizando sistemas de qualidade baseado no controle de matérias-primas e de processo da produção (SCHACKOW; CORREIA; EFFTING, 2020). De forma geral, esse seguimento é composto por uma sequência de etapas integradas, desde a escolha da matéria-prima, na etapa de queima da peça até o produto final (SANTOS et al., 2017).

A argila é uma dessas matérias-primas, é definida como um material natural, terroso, de granulação fina, inferior a 2 µm, que quando umedecido com água apresenta plasticidade (BRITO et al., 2015); constituída essencialmente de argilomine-rais, podendo conter quartzo, mica, feldspato, além de matéria orgânica e impurezas (SANTOS, 1989).

As transformações microestruturais que acontecem nessas matérias-primas durante as etapas do processo de obtenção das peças de revestimento, vão desde a mistura dos componentes até a queima, favorecem as reações químicas que corroboram para as mudanças estruturais, proporcionando propriedades nos porce-

lanatos, como alta resistência mecânica, mínima retração, dureza elevada, longa durabilidade e redução das deformações pirolásticas (OLIVEIRA e HOTZA, 2015; SANTOS et al., 2019a).

Na fabricação dos porcelanatos, a queima acontece a temperaturas em torno de 1200°C e de forma rápida com ciclos entre 50 a 70 minutos. Nessa etapa, o controle é ainda mais evidente, pois a produção final requer densificação uniforme, deformações mínimas à alta temperatura e boa resistência mecânica (ZANELLI et al., 2019).

A densificação pode ser atingida durante a formação de ligações sólidas entre as partículas, que reduzem a energia superficial, resultando na diminuição dos contornos de grãos, que conseqüentemente, reduzem os volumes dos poros, levando a uma massa condensada (MUKHERJEE, 2013).

Assim, como os efeitos da densificação, obter uma retração mínima e controlada é importante, pois durante o aquecimento há redução do tamanho de partículas, que caso aconteça de forma brusca, pode ocasionar tensões internas, levando a uma baixa resistência e até na quebra do produto (MEDEIROS et al., 2016).

Após a queima, as peças tornam-se resistentes e suas propriedades mecânicas e químicas superiores a do material a cru, esse comportamento pode ser derivado da presença de óxidos alcalinos na massa, que proporcionam a formação de fase vítrea durante a queima, ocasionando bom preenchimento, além de formar pontos

eutéticos com temperaturas de fusão mais baixas e acelerar o processo de sinterização (LIVRAMENTO et al., 2017).

Além dos óxidos alcalinos, a presença do quartzo é importante pois auxilia na vitrificação, afetando a morfologia e a distribuição da porosidade e impedindo a coalescência dos poros (REINOSA; CAMPO; FERNÁNDEZ, 2015). Ademais, a reação no estado sólido entre a caulinita e a alumina em temperaturas acima de 1000 °C origina a mulita, que se apresenta em uma estrutura interconectada na forma de agulhas e dispersas no meio da fase vítrea (CARVALHO et al., 2020), podendo formar barreiras que estagnam o processo de retração e proporcionam o aumento da resistência mecânica (SILVA et al., 2019a).

Dessa forma, estas transformações de fases indicam que ocorre uma evolução microestrutural paralela ao aumento de temperatura, a partir do início da junção dos grãos de feldspato e quartzo dispersos, que vão formando uma matriz de grãos finos que acomoda os argilominerais e a porosidade, resultando num material de propriedade superior (ZANELLI et al., 2019).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo estudar a influência da temperatura no comportamento mecânico de matérias-primas cerâmicas com diferentes composições utilizadas em uma indústria de revestimento situada no Cabo de Santo Agostinho, possibilitando sua análise e processamento de forma simples, controlada e reproduzível.

METODOLOGIA

Matérias-primas argilosas não identificadas (MP1, MP2, MP3, MP4, MP5 e MP6) foram doadas pela empresa Pamesa Brasil S. A., indústria do setor de revestimento cerâmico situado na cidade do Cabo de Santo Agostinho - PE. As caracterizações quanto a estrutura cristalina, composição química e caracterização física dessas amostras antes

do tratamento térmico já foram reportadas por SILVA e DINIZ (2019). Sendo esse trabalho uma continuação das análises dessas matérias-primas após tratamento térmico.

As argilas foram conformadas em uma matriz de aço com cavidade retangular de dimensões 50 x 15 mm, por prensagem uniaxial com carga de 2 toneladas em uma prensa hidráulica (Modelo: CT-335, marca: Servitech).

Após a conformação, os corpos de prova foram sinterizados em temperaturas controladas a 1000, 1100 e 1200°C por 1h, com taxa de aquecimento de 5°C/min em forno mufla (Modelo: f3000, marca: EDG).

As propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova sinterizados foram avaliadas por ensaios tecnológicos, sendo eles:

Retração linear de queima (R_l): obtida pela variação linear dos corpos de prova através das medidas do comprimento inicial (L_i) antes da queima (50 mm) e o comprimento final (L_f) após queima (JUNG et al., 2012). Calculado através da Equação 1,

$$R_l (\%) = \left(\frac{L_i - L_f}{L_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

Absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA): foram obtidos pelo método de imersão em água, valendo-se do princípio de Arquimedes. Foi utilizada uma balança de precisão de quatro dígitos, na qual foi acoplado um sistema de medida de massa imersa. Onde, M_s foi a massa seca da amostra (g) após queima, M_u a massa úmida da amostra (g) após ela ter permanecido imersa em água destilada durante 24 horas e M_i foi a massa da amostra (g) imersa em água. Os cálculos dessas propriedades foram determinados pelas Equações (2) e (3).

$$AA (\%) = \left(\frac{M_u - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (2)$$

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

Ensaio de flexão em três pontos: utilizando uma máquina universal de ensaios mecânicos (Modelo WDW100 EB 100KN, marca: Time Group) operando a uma

velocidade de 0,5 mm/min (MEDEIROS et al., 2017); a resistência mecânica dos corpos de prova sinterizados foi avaliada através da medida do módulo de ruptura à flexão.

O fluxograma do procedimento experimental utilizado no trabalho está ilustrado na Figura 1.

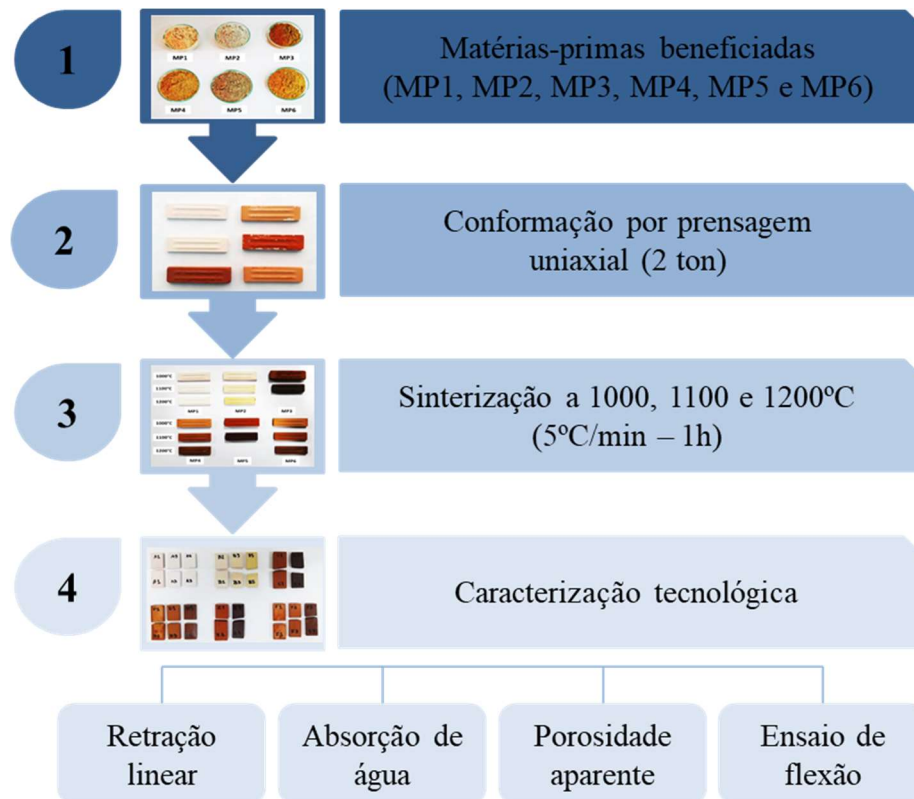


Figura 1: Fluxograma do procedimento experimental adotado.

Fonte: A autora.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 ilustra os testes de cores das amostras em diferentes temperaturas, 1000, 1100 e 1200°C, exceto para as amostras MP3 e MP5 a 1200°C, pois apresentaram aspecto fundente e vitrificado, ocasionando a junção da peça ao suporte de queima ilustrado na Figura 3.

As amostras MP1 e MP2 apresentaram coloração clara após queima, rósea e creme-clara, respectivamente, típicos de argilas caulínicas e *ball clay*, que são aplicadas no processamento cerâmico devido sua alta plasticidade (SANTOS, 1989).



Figura 2: Análise de cor das amostras após queima a 1000, 1100 e 1200°C.

Fonte: A autora.

Por outro lado, as demais amostras exibiram uma coloração mais avermelhada, característica de matérias-primas que apresentam ferro em sua composição, como reportado por SILVA e DINIZ (2019). Indicando que após a queima, a coloração vermelha é presente, principalmente devido à oxidação do composto de ferro que ao final apresenta-se sob a forma de óxido férrico (SILVA et al., 2018).

A cor da matéria-prima após queima é um dos principais indicativos para onde esse insumo pode ser aplicada no processo das placas de revestimento. Principalmente, em etapas como a da esmaltação, que fornecem efeitos estéticos a peça como brilho e cor, podendo ser classificados como transparentes e brilhantes, opacos (mates) ou brancos (BERNARDINI et al., 2020).

Em relação aos corpos-de-prova exibidos na Figura 3 das amostras MP3 e MP5, mostram o aspecto visual vitrificado. Essa aparência pode ser influenciada pela quantidade de óxidos fundentes presentes nessas amostras.

SILVA e DINIZ (2019) relataram que as amostras MP3 e MP5 apresentaram um somatório dos óxidos alcalinos com maior percentual, 9,21 e 7,17%, respectivamente, o que pode ter provocado a vitrificação das peças, Tabela 1. Segundo KOTANI et al., (2019), essa vitrificação, podem estar relacionadas à redução de viscosidade na fase líquida, causada pela maior concentração de óxidos alcalinos, que positivamente reduziu a temperatura de sinterização das peças.

SANTOS et al., (2016) mostrou que

matérias-primas com aspectos mais densos, evidenciam a formação de fase líquida e promovem a redução do volume de poros, mostrando a importância da combinação das quantidades de óxidos de alcalinos e do tamanho das partículas.

A Tabela 2 apresenta os resultados numéricos dos ensaios tecnológicos (retração linear, absorção de água e porosidade aparente) das matérias-primas quando submetida a diferentes temperaturas (1000, 1100 e 1200°C), e a Figura 4 ilustra a representação gráfica do comportamento deste efeito.

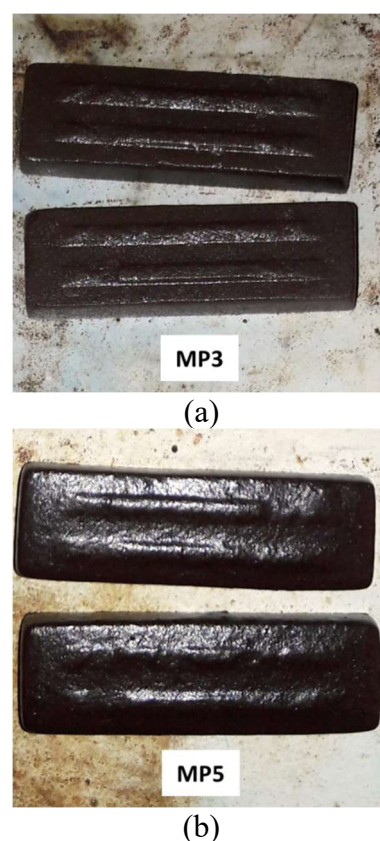


Figura 3. Matérias-primas após sinterização 1200°C. Fonte: A autora.

Tabela 1. Composição química (% em massa) das matérias-primas cerâmicas.

Amostras	MgO	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	Óxidos fundentes (MgO + K ₂ O + CaO + Na ₂ O)
MP1	0,51	0,48	0,17	3,78	4,94
MP2	1,19	1,44	0,00	0,00	2,63
MP3	2,46	4,24	1,11	1,40	9,21
MP4	1,04	3,12	0,29	0,00	4,45
MP5	2,17	3,77	1,23	0,00	7,17
MP6	1,32	2,34	0,35	0,00	4,01

Tabela 2. Resultados dos ensaios tecnológicos sinterizados a 1000, 1100 e 1200°C, de retração linear (RT), absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA) das matérias-primas.

Amostras	Temperatura (°C)	RT (%)	AA (%)	PA (%)
MP1	1000	4,20	23,63	138,67
	1100	7,23	16,53	25,29
	1200	9,69	11,44	23,35
MP2	1000	3,69	22,38	121,63
	1100	9,60	10,58	42,00
	1200	11,85	5,59	15,25
MP3	1000	-0,60	25,98	40,70
	1100	10,01	0,79	10,67
	1200	10,44	-	-
MP4	1000	5,13	15,03	19,71
	1100	9,16	7,43	15,00
	1200	10,81	4,56	5,31
MP5	1000	1,65	15,53	36,69
	1100	6,34	0,23	2,38
	1200	9,27	-	-
MP6	1000	4,95	16,22	38,84
	1100	9,51	8,27	9,92
	1200	11,62	3,47	7,03

Fonte: A autora.

Dentre as matérias-primas, fixando a temperatura em 1200°C, a amostra MP5 apresentou a menor retração (9,27%), esse efeito pode ser resultante do maior teor de sílica na sua composição, já que a fase cristalina do quartzo atua nas propriedades estruturais, fazendo com que os óxidos fundentes percorram os poros sem que haja grandes deformações. Essa mesma amostra, apresentou aspecto visual vitrificado, Figura 3(b), resultante da cooperação entre a presença de partículas de quartzo e de óxidos fundentes na peça. SANTOS et al., (2019) mostrou em seu trabalho que a presença de partículas finas de quartzo, favorece a dissolução na fase líquida formada em altas temperaturas, fazendo com que a viscosidade aumente, implicando em menores deformações originadas no corpo.

Em contrapartida, a amostra de maior retração foi a MP2 (11,85% a 1200°C), sendo essa uma argila com características *ball clay*, podendo apresentar alto grau de matéria orgânica como descrito no trabalho de SILVA e DINIZ, (2019). Durante o processo de

sinterização, acontecem transformações físico-químicas, desde a eliminação de água na sua estrutura até a eliminação total dos componentes orgânicos, dessa forma uma amostra com elevada quantidade de matéria orgânica, pode eliminar carbonáceos, proporcionando a perda de massa e consequentemente a redução brusca da peça. No trabalho de ZACCARON et al., (2020) isso aconteceu através das variáveis do processo, tais como perda de água associada a hidróxidos, água de constituição de argilominerais e eliminação da matéria orgânica durante o tratamento térmico.

Menores teores de absorção de água a 1100°C foram observados nas amostras MP3 e MP5, 0,79% e 0,25%, respectivamente, associando ao aspecto vitrificado apresentado. Indicando que próximo a temperatura de 1200°C a absorção de água pode chegar a valores próximos de zero. Sendo essa colaboração decorrente da junção dos grãos de feldspato (óxidos fundentes) e quartzo (sílica) dispersos, que formam uma matriz de grãos finos acomodando os argilominerais nos interstícios porosos, resultando em um

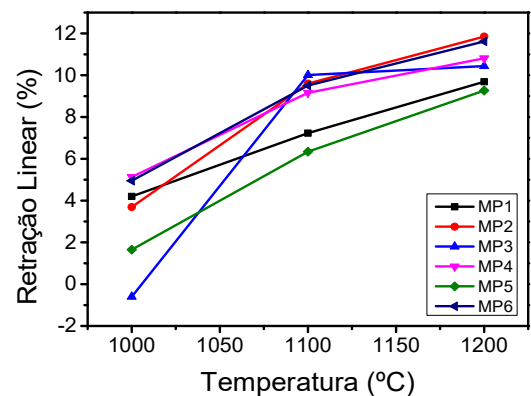
material de propriedade superior (ZANELLI et al., 2019), favorecendo o fechamento dos poros devido a uniformidade da vitrificação do corpo. Por outro lado, a presença em maior quantidade de óxido de silício nas amostras, proporcionou na maior estabilidade térmica e dimensional devido ao seu elevado ponto de fusão (KOTANI et al., 2019), o que colaborou também para a redução da retração linear.

A amostra que apresentou maior absorção de água foi a MP1 (11,44% a 1200°C), de aparência semelhante a um caulim rosa, Figura 1. MAGRINI et al., (2017) mostrou em seu trabalho que matérias-primas como o caulim não costumam apresentar aspecto fundente, podendo ocorrer uma sinterização incipiente em temperaturas mais elevadas em torno de 1350 °C, com aspecto visual opaco. Dessa forma, é possível que essa absorção de água seja resultante da sinterização inicial e que em temperaturas mais elevadas os poros presentes podem ser diminuídos e conseqüentemente reduzida a absorção de água.

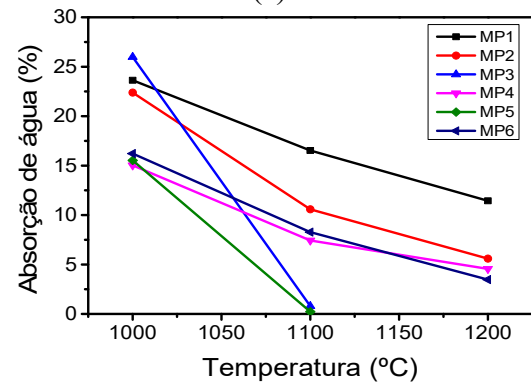
Os resultados de porosidade aparente, mostram que as componentes MP1 e MP2 exibiram alto grau de porosidade em 1000°C, com valores respectivos de 138,63 e 121,63%. Segundo TORRES et al., (2015), matérias-primas cerâmicas a 1000 °C apresentam uma má compactação na superfície da peça, contribuindo para a presença de poros entre os grãos. Entretanto, essa porosidade diminui com o aumento da temperatura, 1200 °C, resultados que também foram verificados em outras fontes de análise, (BET), apresentando um menor volume de poros.

Por outro lado, a amostra MP5 exibiu uma redução de porosidade acentuada em temperaturas inferiores a 1200°C. Segundo TEMGA et al., (2019) a densificação é um parâmetro determinante que afeta as propriedades dos produtos cerâmicos. Isso se deve a formação progressiva de fases como anortita, mulita,

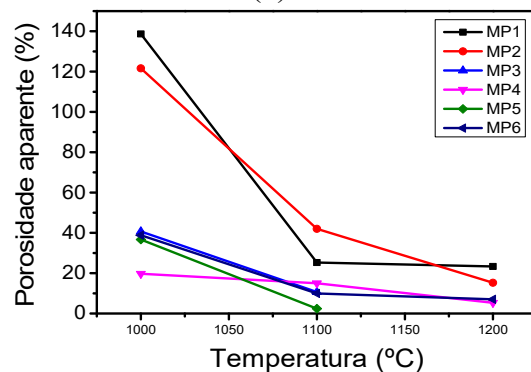
espinélio e entre outras, que auxiliam a reforçar as propriedades mecânicas dos materiais e à formação da fase vítrea que preenche a porosidade aberta (BENNOUR et al., 2015). A densificação da argila vermelha é influenciada pelas fontes de fundentes como K_2O , Na_2O e Fe_2O_3 , que favorecem a formação da fase vítrea. O rearranjo dos minerais argilosos liberam elementos fundentes, que podem ter contribuído para a rápida vitrificação (BOUSSEN et al., 2016).



(a)



(b)



(c)

Figura 4. (a) retração linear de queima, (b) absorção de água e (c) porosidade aparente. Fonte: A autora.

Avaliando o comportamento das matérias-primas com o aumento da temperatura, Figura 4, em relação a retração linear, pode ser observado que as amostras apresentaram uma relação diretamente proporcional ao aumento da temperatura, sendo um indicativo do êxito da sinterização das peças, ocorrendo devido a formação da fase líquida favorecida pela presença de óxidos fundentes nas amostras, ocasionando a coalescência dos poros, e consequentemente, a redução dos vazios, conferindo boa resistência mecânica aos produtos (BOULINGUI et al., 2015).

A amostra MP3 apresentou uma variação na retração linear mais pronunciada no intervalo de 1000-1100°C, indicando a sinterização líquida a partir de 1000°C, enquanto na faixa de 1100-1200°C apresentou uma estabilidade dimensional na curva, podendo estar associada a sinterização completa da peça. Por outro lado, as amostras restantes, apresentaram uma retração de menor variação na primeira faixa do gráfico (1000-1100°C), porque nessa temperatura, as cerâmicas vermelhas são sinterizadas principalmente pelo mecanismo de sinterização de estado sólido. Já em temperaturas mais elevadas são sinterizadas, predominantemente, por fluxo viscoso. Isso explica os maiores valores de contração linear a 1200°C (BARRETO; DA COSTA, 2018).

Já em relação aos dados da absorção de água há uma relação inversa com a temperatura. A literatura aponta (TEIXEIRA et al., 2018) que fenômenos como esse acontecem durante a sinterização, devido ao fechamento dos poros abertos, que minimizam a entrada de água nesses poros, tornando a peça mais inerte a absorção de água. Dessa forma,

tende a diminuir quando existe a densificação do material, pois está diretamente relacionada com a porosidade: quanto maior a quantidade de poros no material, maior será a capacidade do mesmo absorver água (RODRIGUES et al., 2014).

Como visto nos trabalhos de (MEDEIROS et al., 2017; SANTOS et al., 2019b; SILVA et al., 2019b; ZACCARON et al., 2020) há uma relação direta entre a absorção de água e a porosidade aparente da peça, sendo considerada a redução da porosidade com a aumento da temperatura, fundamentando o que foi visto também em relação a retração e a absorção de água, estando a sinterização reduzindo a presença dos poros nas peças.

Analisando o gráfico da porosidade aparente, no intervalo de 1000-1100°C as amostras MP1 e MP2 apresentaram uma variação mais pronunciada em relação as outras amostras, que praticamente se mantiveram constante entre 1000-1200°C. No trabalho de SILVA e DINIZ, (2019) essas amostras, MP1 e MP2, apresentaram maiores teores da fase caulinita, 76,9 e 75,4% respectivamente, que pode ter induzido a presença de vazios durante as transformações térmica no processo de queima.

TORRES et al., (2015), mostrou em seu trabalho que pequenas quantidades da fase caulinita reduz a absorção de água e consequentemente a porosidade, e durante as transformações térmicas, pode provocar o encolhimento linear da amostra, em contrapartida o crescimento dos grãos de mulita impede esse processo em temperaturas mais elevadas.

A Tabela 3 apresenta os resultados numéricos do módulo de resistência à ruptura dos corpos de provas das matérias-

Tabela 3. Resultados numéricos do módulo de ruptura à flexão das matérias-primas estudadas.

Temperatura (°C)	Módulo de ruptura à flexão (MPa)					
	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6
1000	9,09	10,14	1,30	11,07	6,97	20,45
1100	20,31	35,73	32,19	31,49	45,27	36,39
1200	29,78	40,48	-	36,62	-	44,64

Fonte: A autora.

primas quando submetida em diferentes temperaturas (1000, 1100 e 1200°C), e a Figura 5 ilustra a representação gráfica do comportamento deste efeito.

Dentre as amostras, a MP5 foi a que apresentou maior módulo de ruptura a flexão, 45,27 MPa em uma temperatura ainda intermediária, 1100°C. Há indicação que esse desempenho mecânico esteja associado, a baixa porosidade (2,34% a 1100°C) e a mínima concentração de trincas internas resultante da baixa retração da peça (6,34% a 1100°C).

Em contrapartida, a amostra MP1 mostrou menor valor de módulo de flexão acima de 1000°C, associado ao excesso de poros na peça. Esse resultado, também foi revelado na maior absorção de água e porosidade aparente. Reduzindo a aplicação dessas matérias-primas na atuação mecânica devido as falhas imprevisível durante carregando, tornando a porosidade um fator crítico na avaliação mecânica (PAGANO et al., 2020).

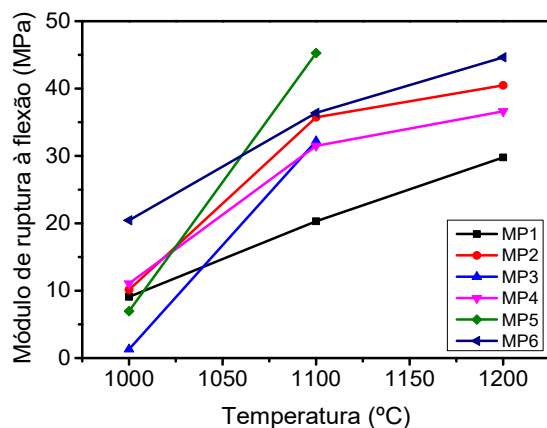


Figura 5. Módulo de ruptura à flexão das matérias-primas analisadas em 1000, 1100 e 1200°C. Fonte: A autora.

Nota-se que com a evolução da temperatura de sinterização, Figura 5, houve também o aumento na resistência mecânica, que pode estar associado à redução da porosidade e à formação de poros mais regulares (MILAK et al., 2019), associado ao recobrimento desses poros, como visto nos resultados de absorção de água e porosidade aparente, Figura 4(b) e 4(c), revelando que a resistência mecânica

de um produto pode ser dependente da sua microestrutura e, principalmente, da distribuição e tamanho dos defeitos presentes (DEMARCH et al., 2019).

A porosidade residual influencia negativamente no comportamento mecânico das peças por dois fatores primordiais: a presença de poros reduzem a área de seção transversal quando aplicado uma carga e atuam como concentradores de tensão, uma vez que facilitam o início das trincas e com isso, uma possível fratura (CALLISTER e RETHWISCH, 2016)

As amostras MP3 e MP5 apresentaram um aspecto visual de queima vitrificada, prejudicando o andamento das caracterizações tecnológicas em 1200°C. Entretanto, os resultados abaixo de 1100°C dessas amostras apresentaram bom desempenho mecânico, podendo estar associando a presença de possíveis componentes alcalinos que contribuíram no bom preenchimento das peças.

De modo geral, as matérias-primas exibiram um comportamento significativo e dentro dos padrões normatizados para placa de revestimento (ABNT 13818, 1997) utilizado na indústria cerâmica, sendo visível que o uso de temperaturas mais elevadas, contribuem para desenvolvimento de propriedades físicas, como aumento da resistência mecânica, sendo essa propriedade associada a baixa absorção de água, porosidade e conseqüentemente na redução de defeitos relacionados a retração das peças após processamento.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Os corpos-de-prova das amostras MP3 e MP5 vitrificaram na temperatura de 1200°C, proporcionando o uso de materiais com formação de pontos eutéticos mais baixos.

Em 1100°C foi atingido resistência mecânica elevada (45,27 MPa), contribuindo para a redução de gastos energéticos durante o processo de queima de peças cerâmicas.

A formação do fluxo viscoso

colaborou para redução dos poros na eliminação de compostos orgânicos, favorecendo a estabilidade dimensional, variando de 9 a 11%.

As matérias-primas estudadas apresentaram desempenho satisfatório quanto ao aumento da temperatura, que podem acelerar o processo de sinterização, adequados para serem utilizados em diversas aplicações na indústria de produtos cerâmicos, como placas de revestimento cerâmico.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES ANFACER. Ceramics of Brazil. **A indústria brasileira de revestimentos cerâmicos**, 2020. 100p. Disponível em: https://anfacerblob.blob.core.windows.net/anfacermkt/anfacer/site_anfacer/ANFACER_Portfolio2019.pdf. Acesso em: 9 fev. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13818**: Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- BARRETO, I. A. R.; DA COSTA, M. L. Sintering of red ceramics from yellow Amazonian latosols incorporated with illitic and gibbsitic clay. **Applied Clay Science**, v. 152, p. 124–130, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.11.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169131717305008>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- BENNOUR, A., MAHMOUDI, S., SRASRA, E., HTIRA, N. Composition, firing behavior and ceramic properties of the Sejnène clays (Northwest Tunisia). **Applied Clay Science**, v. 115, p. 30–38, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.07.025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez19.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S016913171530048X?via%3Dihub>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- BERNARDINI, L. P., MELO, A. R., CAMPOS, D. P., NEVES, J. R. S., COELHO, J. L., FARACO, M. N. S. Valorização dos finos de carvão vegetal no desenvolvimento de frita cerâmica para formulação de engobe. **Cerâmica industrial**, v. 25, n. 1, p. 43–60, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2019.024>. Disponível em: <https://www.ceramica industrial.org.br/article/10.4322/cerind.2019.024/pdf/ci-25-1-43.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- BOULINGUI, J. E., NKOUMBOU, C., NJOYA, D., THOMAS, F., YVON, J. Characterization of clays from Mezafé and Mengono (Ne-Libreville, Gabon) for potential uses in fired products. **Applied Clay Science**, v. 115, p. 132–144, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.07.029>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez19.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0169131715300521?via%3Dihub>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- BOUSSEN, S., SGHAIER, D., CHAABANI, F., JAMOSSI, B., BENNOUR, A. Characteristics and industrial application of the Lower Cretaceous clay deposits (Bouhedma Formation), Southeast Tunisia: Potential use for the manufacturing of ceramic tiles and bricks. **Applied Clay Science**, v. 123, p. 210–221, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.01.027>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez19.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0169131716300291?via%3Dihub>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- BRITO, I. P., ALMEIDA, E. P., NEVES, G. A., MENEZES, R. R., SILVA, V. J., SANTANA, L. N. L. Avaliação de novos depósitos de argilas do Estado da Paraíba visando sua aplicação como matérias-primas cerâmicas. **Cerâmica**, v. 61, n. 360, p. 391–398, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613601926>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v61n360/0366-6913-ce-61-360-00391.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.

- CABRAL JÚNIOR, M., AZEVEDO, P. B. M., CUCHIERATO, G., MOTTA, J. F. M. Estudo Estratégico da Cadeia Produtiva da Indústria Cerâmica no Estado de São Paulo: Parte II – Indústria de Revestimentos. **Cerâmica industrial**, v. 24, n. 2, p. 13–21, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2019.010>. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2019.010/pdf/ci-24-2-13.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 912p.
- CARVALHO, R. S., SILVA, V. J., NÓBREGA, R. B., LIRA, H. L., SANTANA, L. N. L. Fabrication and characterization of dielectric ceramics using alumina and aluminosilicates. **Cerâmica**, v. 66, n. 377, p. 56–64, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132020663772808>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v66n377/1678-4553-ce-66-377-56.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- DEMARCH, A., WATERKEMPER, A., PASINI, D., ZANELATTO, F., RUZZA, S. Análise da nova metodologia da ISO 10545 para determinação da carga de ruptura e resistência a flexão de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica industrial**, v. 24, n. 3, p. 35–39, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2019.016>. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2019.016/pdf/ci-24-3-35.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- JUNG, M., CAMISA, I. S., ALBANAZ, I., PEREIRA, S. L. S., CARGNIN, M. Comparativo entre diferentes métodos de determinação da retração linear de placas cerâmicas. **Rev. Técnico Científica**, v. 3, n. 1, p. 242–251, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rte/article/viewFile/623/442>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- KOTANI, T., NAKACHIMA, P. M., FERREIRA, L. L. H. C., PEREIRA, A. L. Matérias-primas do Planalto de Poços de Caldas: Alternativas ao Caulim e ao Feldspato na formulação de Porcelanas e materiais de Revestimento. **Cerâmica Industrial**, v. 24, n. 2, p. 45–50, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2019.009>. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2019.009/pdf/ci-24-2-45.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- LIVRAMENTO, A., NAZÁRIO, M. M., DOMINGOS, R. A., NONI, A., TASSI, R., CARGNIN, M. Reformulação de Massas para Pavimentos Cerâmicos Fabricados pelo Processo de Monoqueima. **Cerâmica Industrial**, v. 22, n. 5–6, p. 33–40, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2017.027>. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2017.027/pdf/ci-22-5-6-33.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- MAGRINI, A. CABRAL JUNIOR, M., CAMARGO, A. C., TANNO, L. C. Argilas e Caulim da Região de Cunha - SP: Características Tecnológicas e Estéticas para a Cerâmica Artística. **Cerâmica Industrial**, v. 22, n. 5/6, p. 19–26, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2017.026>. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2017.026/pdf/ci-22-5-6-19.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- MEDEIROS, R. R. GONÇALVES, W. P., CARTAXO, J. M., FERREIRA, H. S., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C. Influência do uso de resíduo de quartzito na expansão por umidade de massas de revestimentos cerâmicos planos. **Cerâmica**, v. 63, p. 134–142, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633662105>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v63n366/1678-4553-ce-63-366-00134.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- MEDEIROS, S. G., Dutra, R. P. S., Grilo, J. P. F., Martinelli, A. E., Paskocimas, C. A., Macedo, D. A. Preparação de compósitos

- alumina-mulita de baixo custo via sinterização reativa entre uma argila caulínica da Paraíba e hidróxido de alumínio. **Cerâmica**, v. 62, n. 363, p. 266–271, v. 62, p. 266–271, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132016623631992>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v62n363/1678-4553-ce-62-363-00266.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- MILAK, G. B., NAZARIO, B. I., INNOCENTINI, M. D. M., RAUPP-PEREIRA, F., MONTEDO, O. R. K. Efeito da temperatura de sinterização e da adição de fibras poliméricas em cerâmica porosa obtida a partir de resíduos do processo Kraft. **Cerâmica Industrial**, v. 65, p. 416–425, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132019653752685>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v65n375/1678-4553-ce-65-375-416.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- MUKHERJEE, S. **The Science of Clays: Applications in Industry, Engineering and Environment**. India: Springer, 2013. 335p. DOI: 10.1007 / 978-94-007-6683-9. Disponível em: <https://www.springer.com/gp/book/9789400766822>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- OLIVEIRA, A. P. N. de; HOTZA, D. **Tecnologia de fabricação de revestimento cerâmicos**. 2. ed. Florianópolis-SC: Editora UFSC, 2015. 124p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187929>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- PAGANO, E.; CHINELATTO, A. S. A.; CHINELATTO, A. L. Freeze casting process for the generation of graded porosity in Al₂O₃ ceramics. **Ceramics**, v. 66, n. 377, p. 63–73, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132020663772690>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v66n377/1678-4553-ce-66-377-65.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- REINOSA, J. J.; CAMPO, A. del; FERNÁNDEZ, J. F. Indirect measurement of stress distribution in quartz particles embedded in a glass matrix by using confocal Raman microscopy. **Ceramics International**, v. 41, n. 10, Part A, p. 13598–13606, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.07.155>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884215014455?via%3Dihub>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- RODRIGUES, L. dos S. SILVA, J. C., ANGÉLICA, R. S., RABELO, A. A., PORTUGAL FAGURY, R. L. R., FAGURY NETO, E. Avaliação tecnológica de cerâmicas tradicionais incorporadas com rejeito do minério de manganês. **Cerâmica**, v. 60, p. 580–585, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-6913201400040018>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-6913201400040018&script=sci_arttext&lng=pt. Acesso em: 9 fev. 2021.
- SANTOS, C. P. et al. OLIVEIRA, H. A., OLIVEIRA, R. M. P. B., MACEDO, Z. S. Caracterização de argilas calcárias utilizadas na produção de revestimentos cerâmicos no Estado de Sergipe - Brasil. **Cerâmica**, v. 62, n. 362, p. 147–156, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132016623621983>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v62n362/1678-4553-ce-62-362-00147.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- SANTOS, L. R., NASTRI, S., ZENATTI, S., LOT, A. V., MELCHIADES, F. G., BOSCHIB, A. O. A evolução da deformação piroplastica de porcelanatos durante a queima. **Cerâmica Industrial**, v. 21, n. 3, p. 27–34, 2019a. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2019.015>. Disponível em: <https://www.ceramica industrial.org.br/article/10.4322/cerind.2019.015/pdf/ci-24-3-27.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- SANTOS, L. N. R. M., SILVA, J. R. S., CARTAXO, J. M., MOTA, M. F., NEVES, G. A., MENEZES, R. R. Cerâmicas porosas de mulita obtidas por freeze-casting. **REMAP**, v. 14, n. 3, p. 112–117, 2019b.

Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/725/493>. Acesso em: 9 fev. 2021.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de Argilas**. São Paulo: Edgar Blücher, 1989. v. 1, 440p.

SANTOS, R. C. SILVA, T. R., NEVES, G. A., MACEDO, R. S., MENEZES, R. R., SANTANA, L. N. L. Interação entre características de argilas e parâmetros de processamento sobre propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos. **Cerâmica**, v. 63, p. 361–368, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132017633672126>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v63n367/1678-4553-ce-63-367-00361.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.

SCHACKOW, A.; CORREIA, S. L.; EFFTING, C. Influence of microstructural and morphological properties of raw natural clays on the reactivity of clay brick wastes in a cementitious blend matrix. **Cerâmica**, v. 66, n. 378, p. 154–163, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132020663782852>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v66n378/1678-4553-ce-66-378-154.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.

SILVA, A. L., LUNA, C. B. B., CHAVES, A. C., NEVES, G. A. Avaliação de novos depósitos de argilas provenientes da região sul do Amapá visando aplicação na indústria cerâmica. **Cerâmica**, v. 64, n. 369, p. 69–78, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132018643692275>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v64n369/1678-4553-ce-64-369-69.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.

SILVA, R. A., DINIZ, V. C. de S. **Caracterização de matérias-primas cerâmicas utilizadas na produção de placas de revestimento em indústria do Cabo de Santo Agostinho**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, 2019.

SILVA, R. H. L., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C., SANTANA, L. N. L., NÓBREGA, A. C. V., MENEZES, R. R. Uso de dióxido de silício em massas cerâmicas para grés sanitários. **Cerâmica**, v. 65, n. 373, p. 1–12, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132019653732443>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v65n373/1678-4553-ce-65-373-1.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.

TEIXEIRA, G. T., WATERKEMPER, A., BERNARDIN, A. M., PELISSER, F., ROMAN, H. R., ANTUNES, E. G. P. Resistência de Aderência à Tração de Placas Cerâmicas, com Variação da Expansão por Umidade e Absorção de Água, Utilizando Simples e Dupla Colagem. **Cerâmica Industrial**, v. 23, n. 2, p. 22–30, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2018.012>. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2018.012/pdf/ci-23-2-22.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2021.

TEMGA, J. P., MACHE, J. R., MADI, A. B., NGUETNKAM, J. O., BITOM, D. L. Ceramics applications of clay in Lake Chad Basin, Central Africa. **Applied Clay Science**, v. 171, p. 118–132, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.02.003>. Disponível em: <https://www-science-direct.ez19.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S016913171930033X?via%3Dihub>. Acesso em: 9 fev. 2021.

TORRES, H. S. S.; VARAJÃO, A. F. D. C.; SABIONI, A. C. S. Technological properties of ceramic produced from steatite (soapstone) residues–kaolinite clay ceramic composites. **Applied Clay Science**, v. 112–113, p. 53–61, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.04.016>. Disponível em: <https://www-science-direct.ez19.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0169131715001532?via%3Dihub>. Acesso em: 9 fev. 2021.

ZACCARON, A., FERNANDES, P., NANDI, V. S., ROSSO, F. Incorporação de escória de alto forno a carvão vegetal em massa de cerâmica vermelha. **Cerâmica**

Industrial, v. 25, n. 1, p. 34–42, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2019.018>. Disponível em: <https://www.ceramica industrial.org.br/journal/ci/article/doi/10.4322/cerind.2019.018>. Acesso em: 9 fev. 2021.

ZANELLI, C., ARDIT, M., CONTE, S., SOLDATI, R., CRUCIANI, G., DONDI, M. Sinterização de porcelanatos com fluxo viscoso: Uma revisão. **Cerâmica Industrial**, v. 24, n. 2, p. 7–12, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2019.007>. Disponível em: <https://www.ceramica industrial.org.br/article/doi/10.4322/cerind.2019.007>. Acesso em: 9 fev. 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a empresa Pamesa Brasil S/A pela doação das matérias-primas. Aos Laboratórios: Síntese de Materiais Cerâmicos, (UFCG/UAEMa), Mecânica dos Solos (UFRPE/UACSA) e de Materiais Cerâmicos (UFRPE/UACSA) pela execução do trabalho experimental.