

CARACTERIZAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE PLACAS DE REVESTIMENTO EM INDÚSTRIA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO

CHARACTERIZATION OF CERAMIC RAW MATERIALS USED IN THE PRODUCTION OF CERAMIC TILE INDUSTRY IN CABO DE SANTO AGOSTINHO

Renata Arcelino da Silva¹

Verônica Cristhina de Souza Diniz²

RESUMO

As propriedades dos produtos cerâmicos estão diretamente relacionadas às características iniciais das matérias-primas, com isso é de extrema importância seu estudo para que se obtenha um produto final com qualidade. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo identificar a composição e estudar o comportamento físico-mecânico de diferentes matérias-primas utilizadas na produção de cerâmicas de revestimento, possibilitando sua análise e processamento de forma simples, controlada e reproduzível. Foram utilizadas 6 matérias-primas não identificadas, doadas por uma indústria de revestimento cerâmico do Cabo de Santo Agostinho. As amostras foram beneficiadas e caracterizadas por difração de raio X (DRX), espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDX) e granulometria sedimentar. Após as análises, as amostras foram conformadas por prensagem uniaxial e submetidas à queima controlada na temperatura de 1000 °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. A partir dos resultados foi observado que as amostras apresentaram fases cristalinas de caulinita, quartzo, mica e esmectita, além da presença de óxidos alcalinos. Em relação às propriedades mecânicas, as amostras que apresentaram maior índice de plasticidade e resistência mecânica por flexão foram a MP1 e MP6, com valores de 18% e 20,45 MPa, respectivamente. Sendo assim, as matérias-primas analisadas apresentaram características físicas adequadas para serem utilizados em diversas aplicações na indústria de produtos cerâmicos, como por exemplo em placas de revestimento cerâmico.

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

ABSTRACT

Properties of ceramic products are related to initial characteristics of raw materials, so it is important to study them to obtain a quality product. In this study, aimed to evaluate clay composition and study physical-mechanical behavior of different raw materials used in production of ceramic tiles, allowing their analysis and processing in a simple, controlled and

¹ Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho. 2019

² Orientador do Trabalho de Conclusão de Curso em Gestão da Produção Industrial – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho.

standard. Six unidentified raw materials donated by a ceramic coating industry from Cabo de Santo Agostinho were used. The samples were benefited and characterized per X-ray diffraction (XRD), Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and sedimentary particle size. After, raw materials were uniaxial pressing and subjected to controlled burning at 1000 °C/ 1h with rate of 5°C / min. Then, properties were evaluated per of linear shrinkage, water absorption, apparent porosity and flexural strength. The samples presented crystalline phases of kaolinite, quartz, mica and smectite, besides of alkaline oxides. The mechanical properties of samples showed the highest plasticity index (18%) and maximum strength went MP1 and MP6, 18% and 20.45 MPa, respectively. Thus, the raw materials presented physical properties for use in various applications in ceramic tile, such as ceramic.

Keywords: Raw materials, Clay, Ceramic.

INTRODUÇÃO

O setor cerâmico brasileiro tem apresentado significativo aumento de produção nos últimos 15 anos, sendo atualmente o terceiro maior mercado produtor e consumidor do mundo (TEIXEIRA et al., 2018). Dentro desse segmento, o de revestimento cerâmico faz parte dos que mais contribuem no mercado da cerâmica nacional (PADRO; BRESSIANI, 2013), sendo constituído por empresas concentradas nas regiões sul e sudeste, e em expansão no nordeste do país, associada à disponibilidade local de matérias-primas (KOTANI et al., 2019).

A argila é uma dessas matérias-primas que representa um insumo de baixo custo, encontrada naturalmente em grande abundância e usada com frequência na forma como é extraído (CALLISTER e RETHWISCH, 2016). Trata-se de um material natural, formado por grãos terrosos, de granulação fina, inferior a 2 µm, constituída essencialmente de argilominerais, podendo conter quartzo, mica, feldspato, além de matéria orgânica e impurezas (SANTOS, 1989).

As argilas são mineralogicamente formadas por diversos grupos de argilominerais, como exemplo, a caulinita, illita e esmectita que diferem nas estruturas e suas possíveis substituições (OLIVEIRA e HOTZA, 2015). Quimicamente seus principais constituintes são os silicatos de alumínio ou magnésio hidratados, contendo outros elementos como ferro,

potássio, lítio e outros (SOUTO, 2009)

Sua plasticidade assume um papel importante na fabricação de cerâmicas de revestimento, pois relaciona o teor de umidade necessário para preparação das massas cerâmicas (OLIVEIRA e HOTZA, 2015). A presença da estrutura do tipo caulinita, $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, pode favorecer essa plasticidade, pois sua estrutura formada por folhas tetraédricas (Si-O) e octaédricas (Al-O/AlOH), proporcionam a modelagem do corpo cerâmico devido à presença de água que atua como liga para os constituintes no estado verde (ARAÚJO, 2008).

Já as matérias-primas que possuem teor de sílica elevado como o quartzo, que é constituído de um mineral da classe dos silicatos com arranjo tetraédrico do tipo SiO_4 , favorece as propriedades mecânica das peças atuando no preenchimento, na redução da retração, no controle da dilatação e na distorção da peça. É também utilizado para diminuir a plasticidade da mistura e aumentar a permeabilidade da peça crua (ARAÚJO, 2008).

Outras importantes matérias-primas são as que apresentam óxidos fundentes de metais alcalinos como K_2O , Na_2O e CaO , pois favorecem a formação de fase líquida durante a queima e proporcionam a redução da temperatura de consolidação do corpo cerâmico (SILVA et al., 2019). Eles são empregados em proporções diversas para aumentar a velocidade de sinterização e geralmente são pouco plásticos e resistentes a verde (SANTOS, 1989;

GALDINO, 2010).

Todos esses grupos de componentes são oriundos de uma grande variedade de rochas e minerais com determinadas propriedades físicas e químicas que os tornam insumos em processos industriais como matérias-primas e auxiliares nos processos (CAVALCANTE; SAMPAIO; BALTAR, 2008).

Para a produção das placas de revestimentos é realizada uma sequência de etapas físico-químicas a fim de obter produtos com propriedades úteis desejadas tais como: plasticidade, resistência mecânica, baixa absorção de água e retração linear após queima (GOES, 2014). Seus teores composicionais implicam na determinação do processamento das massas, como a secagem e queima, interferindo na qualidade final do produto (EMMERICH e STEUDEL, 2016).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo identificar a composição e estudar o comportamento físico-mecânico de diferentes matérias-primas utilizadas na produção de cerâmicas de revestimento na região do Cabo de Santo Agostinho, possibilitando sua análise e processamento de forma simples, controlada e reprodutível.

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 amostras foram beneficiadas por trituração em gral de porcelana e por peneiramento utilizando peneiras com aberturas de 4,8 mm, 2 mm, 420 µm e 75 µm (ABNT NBR 6457, 2016).

As argilas foram submetidas à caracterização da composição química, estrutural e morfológica por espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDX) (Modelo: EDX 720, marca: Shimadzu),

difração de raios X (DRX) (Modelo: D2, marca: Bruker, com radiação $\text{CuK}\alpha$, detector 55D160, velocidade do goniômetro de 2°/min e passo 0,02°, na faixa de 5 a 60°) e distribuição granulométrica por sedimentação (ABNT NBR 7180, 2016).

As amostras beneficiadas foram conformadas em molde retangular com dimensões de 50 mm 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 temperatura controlada a 1000°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.

Limites de Atterberg: O limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) foram

obtidos de acordo com as normas da ABNT NBR 6459, (2016) e ABNT NBR 7180, (2016), respectivamente. O índice de plasticidade (IP) é o resultado da diferença aritmética entre os limites de liquidez e plasticidade, sendo utilizada a Equação 4 para seu cálculo.

$$IP = LL - LP \quad (4)$$

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

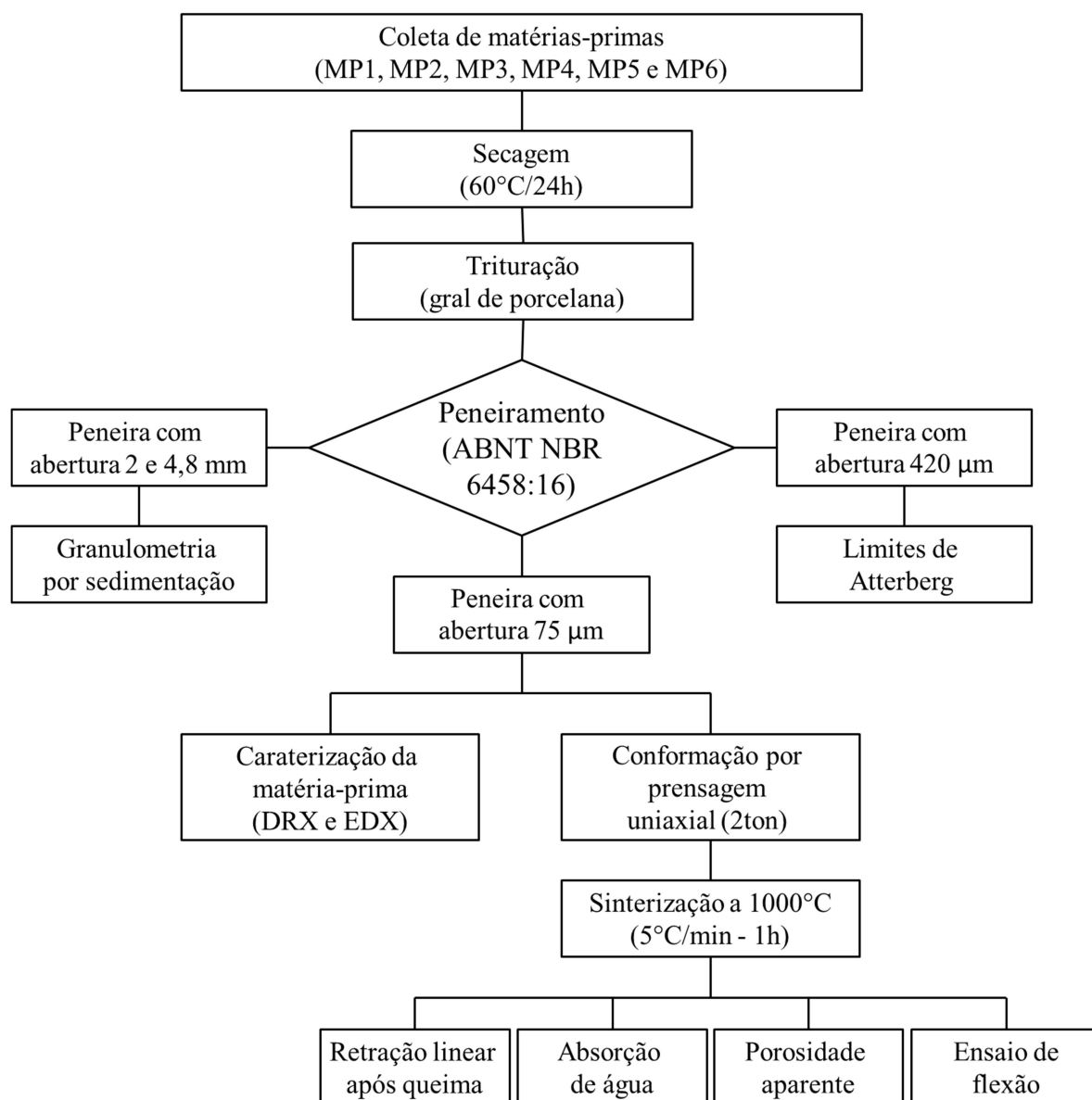


Figura 1: Fluxograma do procedimento experimental adotado

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 ilustra os resultados de difração de raios X das matérias-primas estudadas. Foram observadas as seguintes fases mineralógicas: caulinita, quartzo, esmectita e mica de acordo com as fichas cristalográficas ICSD n° 68698, ICSD n° 162490, JCPDS n° 831808 e JCPDS n° 13-0135, respectivamente.

Para todas as amostras foram observadas a presença da fase da caulinita. Segundo MORENO et al., (2016), a caulinita ocorre nas maiorias das matérias-primas cerâmicas e é gerada a partir da alteração supérgena dos feldspatos e da illita, a qual remove parte dos elementos fundentes aumentando a refratariedade, porém possibilita a desagregação do material, a diminuição da granulometria e o aumento da plasticidade, aspecto essencial para a conformação do material e para as reações de sinterização.

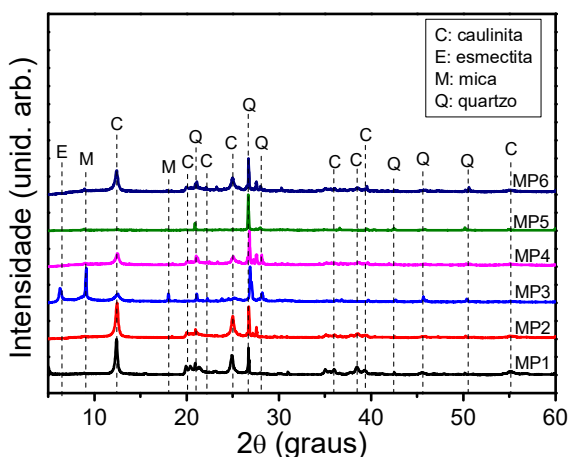


Figura 2: Difratoogramas de raios X das matérias-primas cerâmicas.

As quantificações das fases cristalográficas das matérias-primas cerâmicas estão apresentadas na Tabela 1.

Como já evidenciado no DRX, a partir da Tabela 1 foi possível observar que as amostras MP1, MP2, MP4 e MP6, apresentaram em sua estrutura cristalina predominância da fase caulinita, com percentual da fase de 76,9; 75,4; 65,7 e 53,9%, respectivamente. Contudo, a amostra MP5 apresentou um menor percentual de 4,9% da fase.

É possível verificar a partir das composições químicas das matérias-primas cerâmicas obtidas por EDX na Tabela 2, que as amostras MP1, MP2, MP4 e MP6 apresentaram teores de sílica e alumina semelhantes, justificado pelo elevado teor de caulinita presente na sua estrutura, essa semelhança é devido a característica da estrutura do filossilicato dioctaédrico do tipo 1:1 formado por tetraedros de sílica (SiO_4) e folhas octaédrica de alumínio (Al_2O_3) (CARTAXO et al., 2016).

Contudo, quantidades mais elevadas de óxido de silício foram percebidas nas matérias-primas MP3 e MP5, que pode estar associado ao elevado percentual de quartzo presente em suas estruturas, comprovando a quantificação de fases cristalinas apresentada na Tabela 1 e os difratogramas de raios X (Figura 2), onde se observa uma intensidade mais elevada e perceptível do pico do mineral de quartzo em detrimento dos picos característicos da caulinita nessas respectivas amostras.

Segundo MEDEIROS et al., (2017), a sílica pode ser proveniente da camada tetraédrica do argilomineral caulinita e dos

Tabela 1- Quantificação das fases cristalinas das matérias-primas cerâmicas.

Amostras	Fase cristalina (%)			
	Caulinita	Quartzo	Mica	Esmectita
MP1	76,9	23,0	0,0	0,0
MP2	75,4	24,5	0,0	0,0
MP3	30,9	37,8	21,9	9,3
MP4	65,7	34,2	0,0	0,0
MP5	4,9	95,1	0,0	0,0
MP6	53,9	46,1	0,0	0,0

Tabela 2 - Composição química (% em massa) das matérias-primas cerâmicas.

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	Outros
MP1	49,26	42,42	1,99	0,51	0,48	0,17	0,45	3,78	0,94
MP2	51,56	40,72	2,75	1,19	1,44	0,00	1,95	0,00	0,39
MP3	55,36	24,09	9,87	2,46	4,24	1,11	1,18	1,40	0,29
MP4	51,16	35,35	6,45	1,04	3,12	0,29	2,02	0,00	0,57
MP5	67,95	19,00	4,45	2,17	3,77	1,23	0,89	0,00	0,54
MP6	49,48	36,24	7,74	1,32	2,34	0,35	1,64	0,00	0,89

minerais acessórios como mica, feldspato e quartzo em sua forma natural mais pura, o que também explica a presença de sílica das argilas cauliniticas MP1, MP2, MP4 e MP6.

Maiores teores de óxidos alcalinos foram observados nas amostras MP1, MP3 e MP5. As contribuições alcalinas são constituídas, em sua maioria, pela presença do óxido de sódio (Na₂O) em torno de 3,78% para a amostra MP1 e óxido de potássio (K₂O) em torno de 4,24% e 3,77% para as amostras MP3 e MP5, respectivamente.

A presença desses óxidos pode favorecer a formação de fase vítrea durante a queima, proporcionando bom preenchimento, além de formar pontos eutéticos com temperaturas de fusão mais baixas que podem acelerar o processo de sinterização (LIVRAMENTO et al., 2017).

Óxidos alcalinos podem estar associados à formação do caulim, pois este é formado pela alteração de silicatos de alumínio, particularmente dos feldspatos, que apresentam em sua composição óxidos de potássio, sódio e cálcio (ARAÚJO et al., 2012).

A Figura 3 ilustra os testes de cores das amostras antes e depois do beneficiamento e após queima. Pode ser observado que as amostras MP1 e MP2 apresentaram coloração clara após queima, rósea e creme-clara, respectivamente, típicos de argilas cauliniticas e *ball clay*, que são aplicadas no processamento cerâmico devido sua boa plasticidade (SANTOS, 1989). Em contra partida, as demais amostras apresentaram coloração avermelhada/marrom sendo justificada pela maior presença de óxido de ferro

(Fe₂O₃ ≥ 4,45%) nas suas composições (Tabela 2).

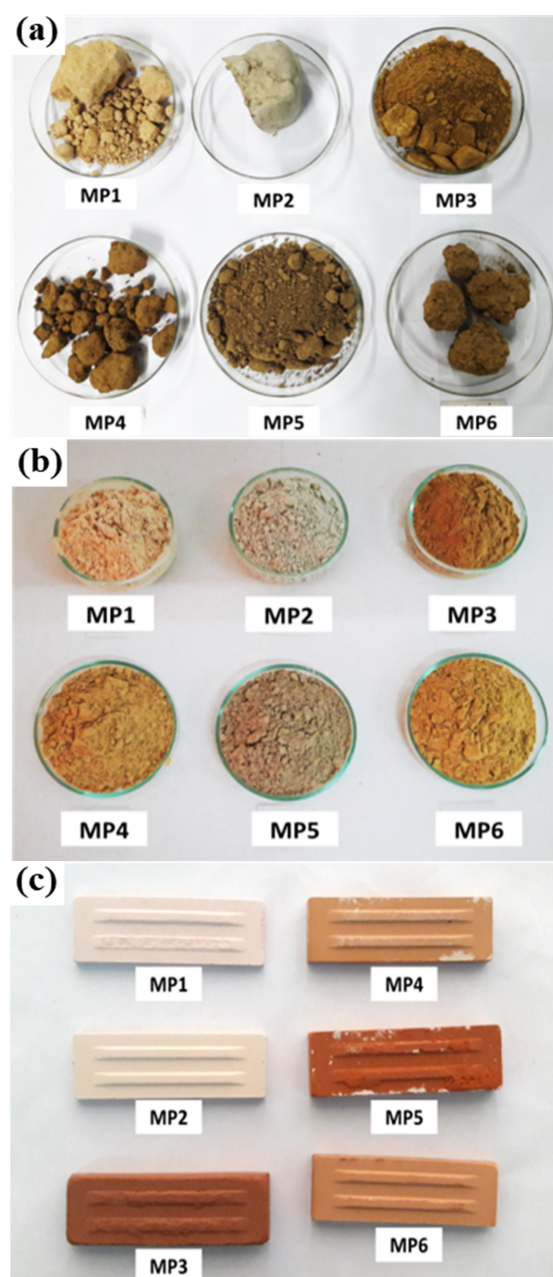


Figura 3: Análise de cor das amostras (a) brutas, (b) beneficiadas em peneira com abertura de 75 µm e (c) após queima a 1000°C. Fonte: Autoria própria.

A Figura 4 apresenta as curvas granulométricas das matérias-primas cerâmicas e a Tabela 3 traduz o que pode ser visto nessas curvas, como as frações dos tamanhos das partículas das amostras. Os limites de Atterberg também são expostos na Tabela 3.

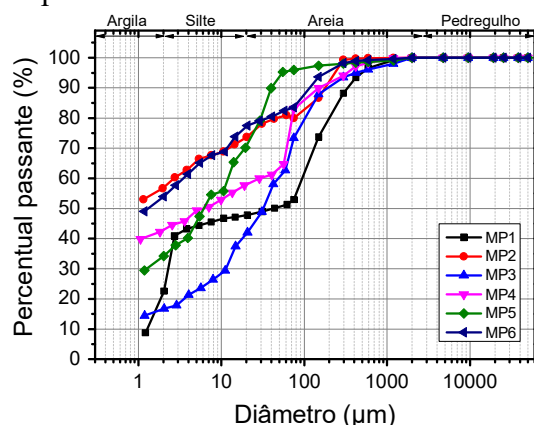


Figura 4: Distribuição granulométrica das matérias-primas cerâmicas após secagem e desagregação.

De acordo com a Figura 4 e Tabela 3, as amostras MP2, MP4 e MP6 apresentaram maior percentual de distribuição de partícula inferior a 2 μm ($x \leq 2\mu\text{m}$), a MP5 exibiu maior contribuição da fração intermediária ($2 < x \leq 20\mu\text{m}$) e em contrapartida, MP1 e MP3 são mais grosseiras ($x > 20\mu\text{m}$).

A distribuição granulométrica das matérias-primas podem interferir significativamente sobre a plasticidade da massa, no preenchimento do molde e no empacotamento do sistema (SANTOS et al., 2017).

Partículas finas contribuem para a plasticidade das massas cerâmicas, como

foi visto nas amostras MP2, MP4 e MP6, que devido a maior contribuição da fração argilosa, e consequentemente maior reatividade, proporcionaram índices de plasticidade mais altos, esse comportamento também foi observado por SILVA et al., (2018), quando avaliaram massas cerâmicas para grés sanitários.

Porém, a amostra MP1 apresentou maior índice de plasticidade ($IP = 18\%$) exibindo uma distribuição granulométrica com 53% de fração arenosa ($x > 20\mu\text{m}$), o que difere do esperado. Esperava-se que esta amostra, com essa faixa granulométrica, não possuísse plasticidade satisfatória. Com isso, pode-se afirmar que o fator composição química foi preponderante ao fator distribuição de tamanho de partícula, uma vez que essa amostra apresentou o maior percentual da fase da caulinita, o que lhe conferiu um maior índice de plasticidade.

Os argilominerais do tipo caulinita são responsáveis pela alta plasticidade das massas cerâmicas, uma vez que suas pequenas partículas são envelopadas por água adsorvida em sua superfície, proporcionando um efeito lubrificante entre elas (SANTOS et al., 2012).

As amostras MP3 e MP5 apresentaram menores índices de plasticidade (4 e 8%), o que pode estar relacionado com a distribuição granulométrica, já que essas exibiram respectivamente o maior percentual da fração arenoso e siltosos. Além disso, essas amostras exibiram a presença majoritária do mineral quartzo que podem ter

Tabela 3 - Frações granulométricas dos tamanhos de partícula e limites de Atterberg (LL - liquidez e LP plasticidade) e índice de plasticidade (IP) das matérias-primas cerâmicas.

Amostra	Distribuição de tamanho de partícula (%)			Limites de Atterberg (%)		
	Argila (%) $x \leq 2\mu\text{m}$	Silte (%) $2\mu\text{m} < x \leq 20\mu\text{m}$	Areia (%) $x > 20\mu\text{m}$	LL	LP	IP
MP1	22	25	53	44	26	18
MP2	57	17	26	48	34	14
MP3	17	25	58	33	29	4
MP4	44	15	41	43	32	11
MP5	34	36	30	28	20	8
MP6	54	23	23	52	35	17

contribuído para esse comportamento. Segundo SANTOS et al., (2016), materiais que apresentam IP entre 1 e 7% são considerados fracamente plásticos, de 7 a 15% são medianamente plásticos e acima de 15% altamente plásticos. De acordo com essa classificação, a amostra MP3 é plasticamente fraca, MP2, MP4 e MP5 apresentam plasticidade mediada e MP1 e MP6 são altamente plásticas ($IP > 15\%$).

GOES et al., (2014), também mostrou que as argilas caulínicas apresentam valores de índice de plasticidade que variam entre 5 a 22%, dessa maneira MP1, MP2, MP4, MP5 e MP6 podem apresentar características de argilas caulinitas de alta e média plasticidade que podem ser utilizadas para produção de peças pelos processos de prensagem e extrusão dentro do intervalo observado para cerâmica vermelha (BENNOUR et al., 2015; e SANTOS et al., 2017).

Apesar da amostra MP5 estar na faixa aceitável, esta apresentou índices de plasticidades mais baixos devido à presença da sílica na sua estrutura, assim como a MP3, entretanto sua presença na massa cerâmica pode colaborar para o aumento da resistência mecânica e diminuição de retração de queima do corpo cerâmico, formando o chamado esqueleto do corpo cerâmico junto a óxidos alcalinos terrosos durante a formação de fase líquida (SANTOS et al., 2012)

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios tecnológicos de retração linear (RT), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e módulo de ruptura à flexão

(MRF) sinterizados a 1000°C , das matérias-primas cerâmicas.

Na retração linear após queima, três fenômenos diferentes aconteceram: as amostras MP1, MP2, MP4 e MP6 apresentaram retração elevada, a amostra MP5 apresentou retração mínima e a MP3 expansão linear (MP3). Essas duas últimas situações podem estar atreladas à presença dos óxidos alcalinos e da sílica.

Segundo SANTOS et al., (2012), relataram que a ação fundente desses óxidos proporciona a diminuição de retração de queima do corpo cerâmico, acontecendo a densificação dos materiais mediante a formação de fases vítreas (fluxo viscoso), já a presença da sílica mantém a forma estrutural regulando a viscosidade e conservando a retração das matérias-primas durante a formação de fase líquida.

Em relação às matérias-primas de elevada retração, MP1, MP2, MP4 e MP6, presume que durante a queima ocorra à saída da água e matéria orgânica que proporcionaram vazios e ao longo da sinterização possibilita o fechamento desses poros e possíveis retrações.

Os resultados de absorção de água após queima indicaram valores próximos para dois grupos de matérias-primas, grupo 1: MP1, MP2 e MP3 e o grupo 2: MP4, MP5 e MP6. No primeiro grupo a absorção foi crescente na ordem MP2, MP1 e MP3. A amostra MP3 apresentou elevada absorção de água, mas pode ser reduzida com o aumento da temperatura durante o processamento como mostrado nos trabalhos de KOTANI et al., 2019 que

Tabela 4: Resultados dos ensaios tecnológicos sinterizados a 1000°C de retração linear (RT), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e módulo de ruptura a flexão (MRF) das matérias-primas cerâmicas.

Amostras	RT (%)	AA (%)	PA (%)	MRF (MPa)
MP1	4,20	23,63	138,67	9,09
MP2	3,69	22,38	121,63	10,14
MP3	-0,60	25,98	40,70	1,30
MP4	5,13	15,03	19,71	11,07
MP5	1,65	15,53	36,69	6,97
MP6	4,95	16,22	38,84	20,45

atingiu a estabilidade entre as temperaturas de 1100 a 1300°C., indicando o alcance do ponto de sinterização da composição de materiais cerâmicos; MEDEIROS et al., 2017 também observou que o aumento da temperatura proporciona redução significativa da absorção de água, sendo explicado pela presença de óxidos fundentes (Fe_2O_3 e K_2O), que durante a queima favorece o preenchimento dos poros.

O segundo grupo, MP4, MP5 e MP6, com absorção próxima de 15%, são coerentes com os valores geralmente aceitos na prática industrial como apontado nos trabalhos de DONDI, (2006) e SILVA et al., (2018) que apresentaram absorção considerada ótima na temperatura de 1000°C, com uma faixa de 12 a 16% de absorção de água para cerâmicas monoporosas, mas dependendo da temperatura de queima podem chegar a valores inferiores a 3% de absorção para o grés, no intervalo de 1100 a 1200°C normatizado, ou até valores mais baixos de 0,5% e assim ser classificados como porcelanato (ABNT NBR 13818, 1997).

Os resultados de porosidade aparente, Tabela 4, corroboram com os de absorção de água. As amostras MP1 e MP2 apresentaram maiores valores de porosidades em relação às demais amostras, podendo estar associada à elevada quantidade de poros formados pela eliminação de água e liberação de matéria orgânica durante a queima. Além disso, a temperatura de queima pode ter sido ineficiente para ocorrer o fechamento e/ou redução da porosidade aberta nas amostras. As demais matérias-primas apresentaram valores de porosidades menores e consequentemente maior densificação.

Em relação à resistência à flexão, a amostra MP6 apresentou valor de 20,45 MPa, podendo ser atribuído a baixa absorção de água, baixa porosidade aparente e elevado teor na fração argilosa, $x \leq 2 \mu\text{m}$ (54%), a quantidade elevada de partículas em dimensões inferiores a $2 \mu\text{m}$, indica aumento da reatividade, que acelera

a cinética das reações e favorece o processo de difusão que dita as transformações de fase que contribuem para melhor desempenho mecânico (SILVA et al., 2019). Em contra partida, a amostra MP3 foi a que apresentou menor desempenho mecânico, podendo estar relacionada por se tratar da amostra que apresentou menor valor de índice de plasticidade.

De forma geral, as amostras apresentaram contribuição significativa de acordo com norma para placa de revestimento (ABNT 13818, 1997), apresentando características importantes como resistência mecânica (mesmo em temperatura de queima inferior), baixa absorção de água, baixa porosidade, índice de plasticidade dentro do padrão e baixas retração linear.

Entretanto, as amostras MP3 e MP5 apresentaram baixo módulo de ruptura, mas poderão contribuir para a diminuição da retração linear após queima devido à presença do quartzo na sua estrutura, além dos teores mais elevados de óxidos alcalinos que contribuirão no fator de fusibilidade da massa.

CONCLUSÕES

- As amostras apresentaram características de argilas caulinitas, com presença de fases cristalinas de caulinita e quartzo, além da presença de óxidos alcalinos.
- Em relação às propriedades mecânicas, as amostras que apresentaram maior índice de plasticidade e resistência mecânica por flexão foram a MP1 e MP6, com valores de 18% e 20,45 MPa, respectivamente.
- As argilas com predominância da fração de quartzo, apesar do baixo desempenho na resistência à flexão, apresentaram menores retrações lineares após queima.
- A temperatura de queima pode ter sido ineficiente para ocorrer o fechamento

e/ou redução da porosidade nas amostras.

- As matérias-primas analisadas apresentaram características físicas adequadas para serem utilizados em diversas aplicações na indústria de produtos cerâmicos, como placas de revestimento cerâmico.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6457. Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 2016.

ABNT NBR 6459. Solo - Determinação do limite de liquidez. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 2016.

ABNT NBR 7180. Solo - Determinação do limite de plasticidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 2016.

ABNT NBR 13818. Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 1997.

ARAÚJO, J. F. A influência da adição de caulim, quartzo e feldspato potássico na formulação de massas cerâmicas para telhas: Modelo Estatístico. Dissertação (mestrado). UFRN, Natal, 2008.

ARAÚJO, I. O., SOUZA, A. G., SANTOS, I.M. G., NASCIMENTO, M. R. Caracterização química de caulins de Junco do Seridó-PB. Cerâmica industrial, v. 17, n. 2, 2012.

BECKER, E. Utilização de caulim ativado em substituição a argila ball clay em engobe de revestimento cerâmico. Dissertação (mestrado). Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014.

MAHMOUDI, S., SRASRA, E., HATIRA, N., BOUSSEN, S., OUAJA, M. ZARGOUNI, F. Identification and traditional ceramic application of clays from the Chouamekh region in south-eastern Tunisia. Applied Clay Science, v. 118, p. 212–220, 2015.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 9. ed., 2016.

CARTAXO, J. M. BASTOS, P. M., SANTANA, L. N. L., MENEZES, R. R., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C. Estudo de novas ocorrências de argilas plásticas (ball clays) do nordeste do Brasil para uso em cerâmicas refratárias. Cerâmica, v. 62, 2016.

CAVALCANTE, P. M. T.; SAMPAIO, J. A.; BALTAR, C. A. M. ROCHAS & MINERAIS INDUSTRIAIS: Uso e especificações. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

DONDI, M. Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos: Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados. Cerâmica Industrial, v. 11, n. 3, 2006.

EMMERICH, K.; STEUDEL, A. Análise Térmica de Matérias-primas Argilosas. Cerâmica Industrial, v. 21, n. 2, mar. 2016.

GALDINO, J. N. Influência do Teor e da Granulometria da Calcita e da Temperatura de Sinterização no Desenvolvimento de Massa Cerâmica Para Revestimento Poroso. Tese (doutorado), UFRN, Natal, 2010.

GOES, J. R. Modelos de previsão de propriedades para revestimento cerâmico usando planejamento fatorial. Tese (doutorado), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.

GOES, J. R. AZEVEDO, T. F., DUTRA,

- T. X. C., SANTOS, V. B., SEVERINO, J. B., BARRETO, L. S. Avaliação da potencialidade de argilas da formação geológica Calumbi e Riachuelo em Sergipe para aplicação em revestimento cerâmico. *Cerâmica*, v. 60, p. 211–217, 2014.
- 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, 2012.
- 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, 2019.
- 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. 33-44, 2017.
- 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.
- MOTTA, J. F. M., CABRAL, M., TANNO, L. C., ZANARDO, A. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte II: Os Minerais Industriais e as Massas da Cerâmica Tradicional. *Cerâmica Industrial*, v. 1, n. 7, 2002.
- OLIVEIRA, A. P. N. de; HOTZA, D. Tecnologia de fabricação de revestimento cerâmicos. 2. ed. Florianópolis-SC: Editora UFSC, 2015.
- PADRO, U. S.; BRESSIANI, J. C. Panorama da Indústria Cerâmica Brasileira na Última Década. *Cerâmica Industrial*, v. 18, n. 1, 2013.
- SANTOS, C. P., 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, 2016.
- SANTOS, C. V. P., SILVA, A. R., GUIMARÃES, M. A. S., FAGURY, E., RABELO, A. A. Índice de Plasticidade e Análise Racional de Argilas de Marabá (PA) para Avaliação das Zonas de Extrusão. *Cerâmica Industrial*, v. 17, n. 2, 2012.
- SANTOS, P. S. Tecnologia de Argilas. São Paulo: Edgar Blücher, 1989. v. 1
- 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.
- 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, p. 69–78, 2018.
- SILVA, R. H. L., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C., SANATANA, L. N. L., NOBREGA, A. C. V., MENEZES, R. R. Uso de diopsídio em massas cerâmicas para grés sanitários. *Cerâmica*, v. 65, p. 1–12, 2019.
- SOUTO, F. A. F. Avaliação das características físicas, químicas e mineralógicas da matéria-prima utilizada na indústria de cerâmica vermelha nos

municípios de Macapá e Santana-AP. 2009. Dissertação (Mestrado), UFPA, Belém, 2009.

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. 5, jun. 2018.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem 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 Matérias Cerâmicos (UFRPE/UACSA) pela execução do trabalho experimental.