

Potencialidade das matérias-primas argilosas extraídas do município de Russas, CE: análises químicas, térmicas e tecnológicas

Potentiality of clay raw materials extracted from the municipality of Russas, CE: chemical, thermal and technological analysis

Rafaella Cavalcante Regis 
Kéren Pereira Lima 
Elisson Bezerra de Oliveira 
Rogério Cavalcante Regis 
Cândido Jorge de Sousa Lobo 
Antônio Eduardo Bezerra Cabral 
Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira 

Resumo

A indústria de cerâmica vermelha movimenta a economia do Baixo Jaguaribe cearense, em especial o Arranjo Produtivo Local da Cerâmica Vermelha de Russas. Matérias-primas abundantes, baixos custos e ampla capacidade produtiva caracterizam esta indústria. Este estudo examina os materiais argilosos utilizados nas cerâmicas locais, avaliando suas propriedades e condições de processamento, a fim de confirmar sua potencialidade na indústria cerâmica. As características químicas, térmicas e tecnológicas foram investigadas usando diversas técnicas, incluindo espectroscopia de energia dispersiva (EDS), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise termogravimétrica/ térmica diferencial (TG/DTA). Os dados obtidos apontam altos níveis de sílica, alumina e óxido de ferro, que conferem a tonalidade vermelha, juntamente com óxidos fundentes, que tendem a reduzir a refratariedade. Os resultados corroboram a adequação desses materiais para produtos cerâmicos, particularmente aos submetidos ao processo de extrusão, com aplicações industriais voltadas para telhas e tijolos.

Palavras-chave: Cerâmica vermelha. APL de cerâmica de Russas. Argila.

Abstract

The red ceramic industry drives the economy of the Lower Jaguaribe region in Ceará, especially the Russas Red Ceramic Local Production Arrangement. Abundant raw materials, low costs, and large production capacity characterize this industry. This study examines the clay materials used in the local ceramics, assessing their properties and processing conditions to confirm their potential in the ceramic industry. Chemical, thermal, and technological characteristics were investigated using various techniques, including energy-dispersive spectroscopy (EDS), scanning electron microscopy (SEM), and thermogravimetric/differential thermal analysis (TG/DTA). The obtained data indicate high levels of silica, alumina, and iron oxide, which give the red color, along with fluxing oxides, which tend to reduce refractoriness. The results support the suitability of these materials for ceramic products, particularly those subjected to the extrusion process, with industrial applications aimed at tiles and bricks.

Keywords: Red pottery. Russas red ceramics APL. Clay.

¹Rafaella Cavalcante Regis

¹Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - CE - Brasil

²Kéren Pereira Lima

²Universidade Federal do Ceará
Russas - CE - Brasil

³Elisson Bezerra de Oliveira

³Universidade Federal do Ceará
Russas - CE - Brasil

⁴Rogério Cavalcante Regis

⁴Universidade Federal do Ceará
Russas - CE - Brasil

⁵Cândido Jorge de Sousa Lobo

⁵Universidade Federal do Ceará
Russas - CE - Brasil

⁶Antônio Eduardo Bezerra Cabral

⁶Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - CE - Brasil

⁷Ricardo Emílio Ferreira
Quevedo Nogueira

⁷Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - CE - Brasil

Recebido em 28/02/24

Aceito em 29/04/24

Introdução

A Indústria de Cerâmica Vermelha é o segmento responsável pela produção de materiais de cor avermelhada, como telhas, blocos e tubos cerâmicos, os quais compõem um setor fundamental na construção civil brasileira. Essa esfera é majoritariamente composta por micro e pequenas empresas, muitas das quais se caracterizam por não terem um modelo organizacional bem definido e dependem da demanda por matéria-prima mineral (argila) em grandes quantidades. Nesse contexto, estima-se que, em nível nacional, existam aproximadamente sete mil olarias e cerâmicas de pequeno e médio porte, gerando 293 mil empregos diretos e cerca de 900 mil empregos indiretos (ANICER, 2019).

No âmbito do Ceará, Russas é um município brasileiro localizado na mesorregião do Baixo Jaguaribe (Figura 1), destacando-se como um polo econômico com o crescente desenvolvimento de seus serviços e a expansão das indústrias. Russas é reconhecida como a localidade que concentra a maior atividade no ramo das indústrias cerâmicas no estado, com 87 empresas de cerâmica (ICET, 2022). A produção média corresponde a 76.000 milhões de peças por mês, nas quais cerca de 3.200 empregos diretos são oferecidos (INT, 2012).

Os Arranjos Produtivos Locais (APLs) correspondem a aglomerações de empresas que operam em torno de uma atividade produtiva principal e que têm a capacidade de desenvolver redes colaborativas, fortalecendo a competitividade e fomentando a inovação e a interação entre as empresas (Cabral Junior *et al.*, 2019).

O APL de Cerâmica Vermelha de Russas, por sua vez, é um tipo único de organização econômica e teve seu funcionamento iniciado por volta do ano de 2004. Atualmente, esse APL conta com a participação de 115 empresas entre os quatro municípios congregados: Russas, Limoeiro do Norte, Alto Santo e Quixeré (ICET, 2022). Essa iniciativa foi desenvolvida com o objetivo de promover o processo de organização do setor, por meio do aprimoramento tecnológico e fortalecimento da gestão empresarial vigente, visando contribuir para a consolidação e crescimento da economia regional (Rodrigues Neto; Mota, 2016).

Como parte integrante do sistema, diversas áreas produtivas dessa matéria-prima não são devidamente estudadas, ou seja, não possuem dados técnico-científicos suficientes para orientar sua aplicação industrial da forma mais racional e otimizada, considerando também a história cultural da gestão familiar na região (El Ouahab *et al.*, 2019; Nunes; Barreto, 2019).

Em conformidade com os avanços tecnológicos crescentes, bem como progressivo interesse pelas propriedades e aspectos relacionados ao uso de argilas na construção civil, é relevante identificar plenamente o tipo de argila e suas propriedades, a fim de estabelecer as formulações e condições de processamento mais apropriadas para obtenção de um determinado produto, a depender da sua finalidade (Brito *et al.*, 2015; Diao, Diagne, Dia, 2021; Moutou, 2018).

Figura 1 - Localização do município de Russas no Estado do Ceará



Fonte: ICET (2023).

Regis, R. C.; Lima, K. P.; Oliveira, E. B. de; Regis, R. C.; Lobo, C. J. de S.; Cabral, A. E. B.; Nogueira, R. E. F. Q.

Regis, R. C.; Lima, K. P.; Oliveira, E. B. de; Regis, R. C.; Lobo, C. J. de S.; Cabral, A. E. B.; Nogueira, R. E. F. Q.

Em geral, as argilas são materiais muito heterogêneos, cujas características dependem da fragmentação das rochas, que têm formação geológica e localização de extração diferente. É considerado um material terroso, com granulação pequena, constituída essencialmente de argilominerais como caulinita, illita e esmectitas, além de comumente conter outros minerais (quartzo, mica, hematita, entre outros), matéria orgânica e impurezas (Santos; Castilho; Costa, 2021; Silva; Pereira, 2021).

Os argilominerais são os minerais que compõem as argilas e fornecem a elas características específicas importantes para seu uso na indústria, como plasticidade, porosidade, compactação, resistência mecânica após a secagem e queima (ABCERAM, 2021).

Portanto, tendo em vista a heterogeneidade da matéria-prima, o conhecimento específico das características desses materiais para extração do seu máximo potencial tecnológico, de forma a poupar esforços e economia de recursos, torna-se essencial e ocorrerá mediante a caracterização do mineral. Através dela, agrega-se o valor acadêmico e comercial, fundamental para que haja a garantia de segurança e conformidade com os padrões de qualidade estabelecidos, bem como uso otimizado do recurso mineral (Macedo *et al.*, 2008).

Metodologia

As argilas estudadas (Figura 2) são oriundas da jazida localizada no município de Russas, região do baixo Jaguaribe do Estado do Ceará. O material cedido pela empresa colaboradora Cerâmica Kappa corresponde às matérias-primas utilizadas na massa cerâmica, cuja formulação de massa consiste na adição de argila gorda e argila magra.

Diante disso, coletou-se cerca de 20 kg das matérias-primas para caracterização dos materiais, no qual foram retiradas diretamente do depósito ao ar livre da empresa e encaminhadas ao Laboratório de Materiais Cerâmicos da Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, para realização dos ensaios.

As amostras coletadas foram previamente secas à temperatura ambiente e, em seguida, posto em estufa a 60 °C durante 24 horas. Posteriormente, o material passou pelo processo de quarteamento para obter uma amostra representativa e destorroada manualmente com o auxílio de almofariz e pistilo.

Para análise das argilas por DRX foi necessário tratamento adicional de pipetagem, com intuito de se obter um concentrado mais representativo dos argilominerais presentes na amostra, facilitando assim a identificação das fases minerais. Os difratogramas de Raios-X das amostras foram obtidos por meio do equipamento PANalytical X'Pert PRO, nas seguintes condições de operação: radiação com tubo de cobalto (30 kV/ 40 mA), leitura de 2θ variando de 3° a 50°, com o passo de 0,013°. A identificação das fases cristalinas foi realizada utilizando o Software X'pert High Score Plus e a base de Dados PDF-2.

A composição química e a morfologia das matérias-primas foram determinadas, respectivamente, por Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDS) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O ensaio foi realizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Geologia da Universidade Federal do Ceará, campus do PICI, utilizando o microscópio eletrônico de bancada HITACHI TM 3000 adicionado ao EDS SWIFT ED 3000.

Figura 2 - Amostras de (a) argila gorda, (b) argila magra e (c) mistura de argila gorda e magra



As matérias-primas foram avaliadas termicamente por meio de análises de TG (Termogravimetria) e DTA (Análise Térmica Diferencial), realizadas simultaneamente no equipamento modelo STA 449 F3 Jupiter do fabricante alemão NETZSCH, a uma taxa de 10°C/min em atmosfera de nitrogênio, aquecimento da temperatura ambiente até 1000 °C, disponível no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFC.

As distribuições granulométricas das argilas foram identificadas por técnicas de peneiramento e sedimentação usando dispersor e defloculante, de acordo com as normas NBR 6457-16 e NBR 7181-16 (ABNT, 2016a; ABNT, 2016d). O índice de plasticidade das argilas foi definido de acordo com as normas NBR 6459-16 e NBR 7180-16 (ABNT, 2016b; ABNT, 2016c) para cálculo dos limites de Atterberg.

Resultados e discussões

Os difratogramas obtidos a partir da análise das argilas mostram características semelhantes, conforme apresentados nas Figuras 3 e 4.

Os argilominerais identificados nas amostras foram pertencentes aos grupos da esmectita, mica e caulinita, e os minerais não argilosos encontrados foram o quartzo e feldspato.

A Figura 3 ilustra o difratograma referentes à argila gorda. A nontronita, pertencente ao grupo das esmectitas, ocorre sob a fórmula química $(\text{Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_5(\text{OH})\text{H}_2\text{O}$ e distância interplanar $d(001)$ em torno 13,9 Å. A caulinita aparece com sua fórmula química expressa por $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$, $d(001)$ igual a 7,1Å, podendo estar associada ao quartzo. A illita, relativo ao grupo das micas, ocorre sob a fórmula empírica expressa por $\text{Al}_3\text{H}_2\text{KO}_{12}\text{Si}_3$, com o pico característico $d(001)$ em torno de 10Å.

A Figura 4 apresenta o difratograma referente à argila magra. O grupo da esmectita é marcado pela presença da nontronita, que ocorre sob a fórmula química $(\text{Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_5(\text{OH})\text{H}_2\text{O}$ e $d(001)$ em torno 13,9 Å. A caulinita aparece na forma de nacrita com sua fórmula química expressa por $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$, $d(001)$ igual a 7,1Å. O grupo das micas aparece na forma de muscovita sob a fórmula empírica expressa por $\text{Al}_3\text{H}_2\text{KO}_{12}\text{Si}_3$, com o pico característico $d(001)$ em torno de 10,1Å.

A Tabela 1 apresenta os percentuais coletados das medições de Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDS) das amostras de argila gorda e argila magra. O resultado indica que a composição básica das amostras estudadas é formada majoritariamente por sílica, alumina e óxido de ferro, característico de matérias-primas usadas na indústria de cerâmica vermelha.

Figura 3 - Difratograma da argila gorda: N - nontronita, I - illita, C - Caulinita, Q - Quartzo e O - ortoclásio

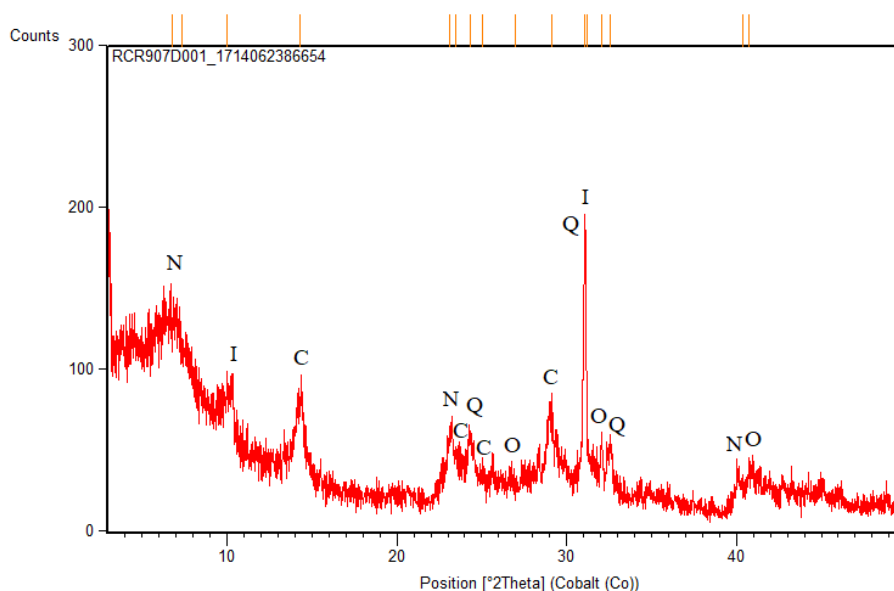
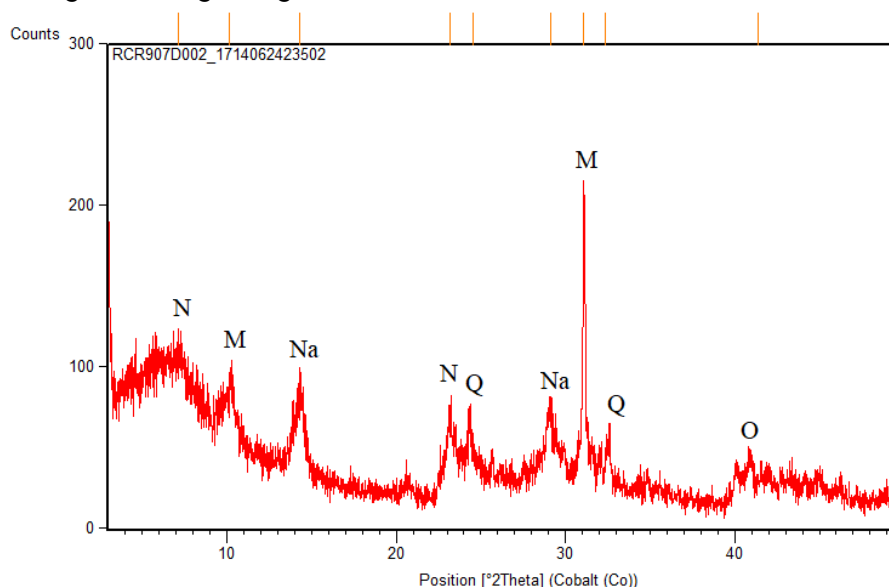


Figura 4 - Difratoograma da argila magra



Nota: Legenda:

N - nontronita;
M - muscovita;
Na - Nacrita;
Q - Quartzo; e
O - ortoclásio.

Tabela 1 - Valores de EDS das amostras de argila gorda e argila magra (% em massa)

Amostra	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	K ₂ O (%)	FeO (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)
Argila gorda	2,417	23,395	46,822	4,488	22,969	-	-
Argila magra	2,724	22,182	51,079	4,743	16,136	1,313	1,824

Conforme a Tabela 1, o teor de óxido de silício (SiO₂) varia entre 46 e 51%, estando associado à presença de silicatos e sílica livre (quartzo, feldspato, mica, entre outros). O óxido de alumínio (Al₂O₃), em sua maior parte disponível na forma combinada, varia entre 22 e 23% e contribui para a formação dos argilominerais, como a caulinita. A presença de argilominerais que contém alumina aumenta a plasticidade da argila e confere um produto mecanicamente resistente (Diao; Diagne; Dia, 2021).

O óxido de magnésio (MgO), o óxido de potássio (K₂O) e o óxido de cálcio (CaO) são agentes fundentes que contribuem para a formação da fase líquida durante o processo de queima e são responsáveis pela vitrificação dos materiais cerâmicos. Os altos teores de óxido de ferro (FeO) variam entre 16 e 22%, conferindo ao material uma cor avermelhada e refratariedade reduzida. A presença de óxidos alcalinos e alcalino-terrosos propicia o aumento da resistência mecânica dos tijolos e leva a uma temperatura de sinterização mais baixa (Brito *et al.*, 2015; Macêdo *et al.*, 2011; Rehman; Ahmad; Rashid, 2020).

A Figura 5 apresenta as análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e Espectroscopia por dispersão de elétrons (EDS) da argila gorda no estado natural (a) e da argila magra (b). As análises demonstram uma morfologia característica de argilominerais do tipo illita, caulinita e nontronite, confirmando os resultados expostos no DRX.

A Figura 6 mostra as curvas de distribuição do tamanho de partículas das matérias-primas. Observa-se que o teor de "fração argila", associada ao tamanho de partícula inferior a 0,002 mm, é de 36% para a amostra de argila gorda, 17% para a argila magra e 29% para a massa composta pela mistura de argila gorda e argila magra (MAGM).

Figura 5 - Micrografias MEV e EDS das amostras de (a) argila gorda e (b) argila magra

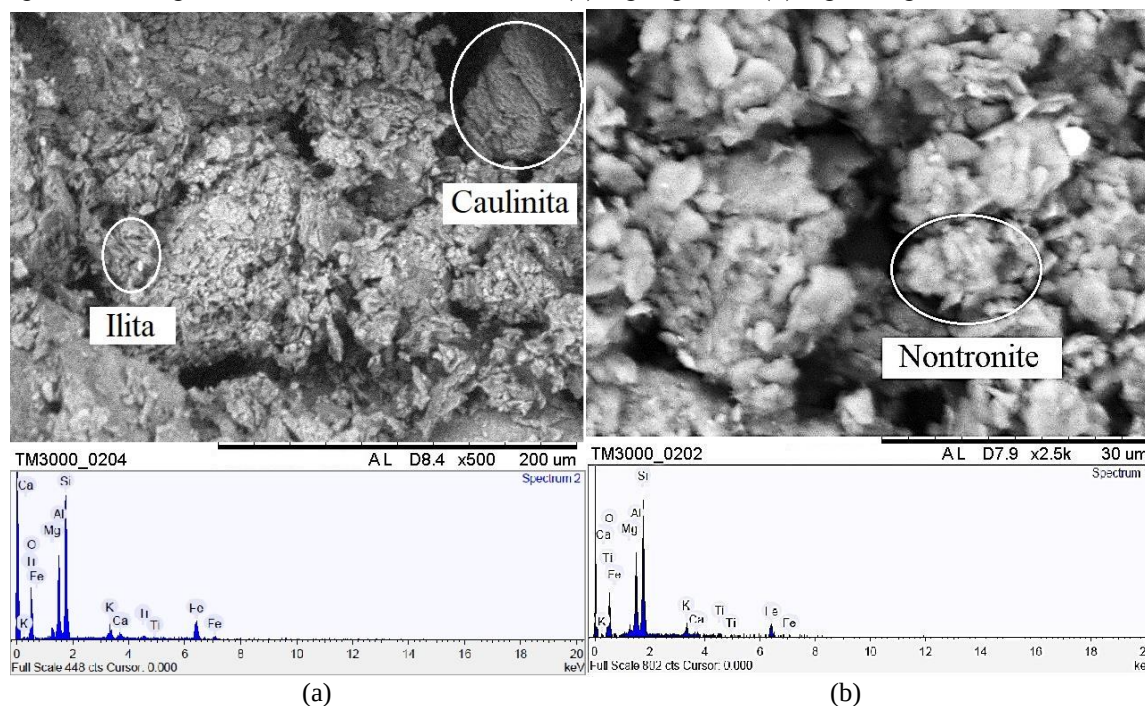
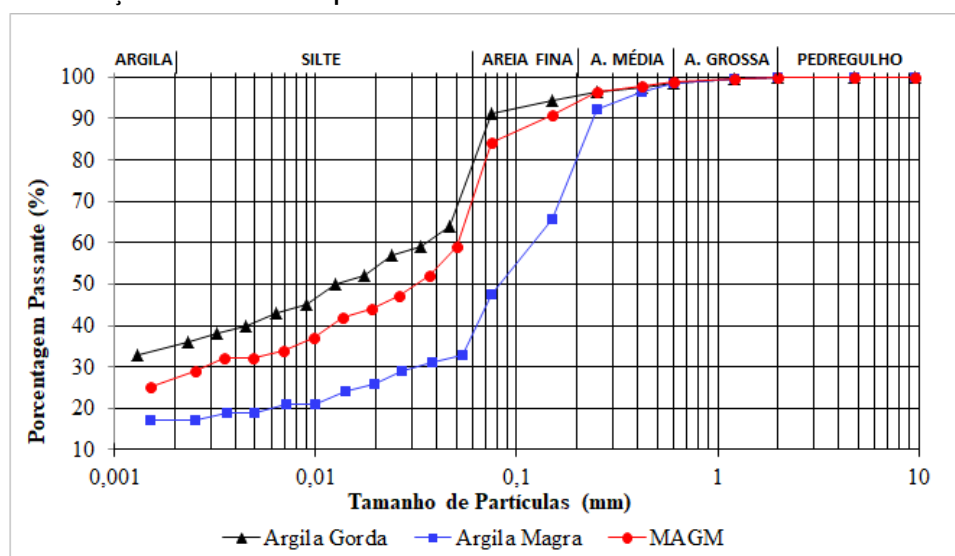


Figura 6 - Distribuição de tamanho de partículas das amostras



A Tabela 2 apresenta a classificação das amostras de acordo com a porcentagem de diâmetros dos grãos. As partículas de argila são menores que 2 μm , o que confere uma área de superfície específica muito grande, proporcionando-lhes uma grande capacidade de adsorver água, bem como outras substâncias. Essa grande superfície adsorvente, formada pelas partículas de argila, permite a moldagem da mistura em sua forma úmida, de forma a ser obtida uma massa coesa de acordo com o processo gradual de secagem (Brady; Weil, 2010).

A classificação das propriedades do solo adequadas para a produção de cerâmica vermelha é realizada de acordo com o diagrama de Winkler, no qual relaciona o tamanho de partícula das misturas com as diferentes aplicações (Djeran-Maigre *et al.*, 2023; Mesrar *et al.*, 2021).

A Figura 7 mostra o Diagrama de Winkler aplicado aos valores de granulometria obtidos na Tabela 2. A amostra de argila gorda apresenta maior potencial para a produção de telhas, e a massa composta pela mistura das argilas gorda e magra (MAGM) apresentou melhores resultados para a produção de tijolos

furados. A argila magra está fora das áreas identificadas, caracterizando um ponto de descontinuidade cuja plasticidade deve ser ajustada antes do uso.

O comportamento plástico das matérias-primas foi definido mediante a determinação dos limites de consistência de Atterberg. A Tabela 3 apresenta os limites de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade. A argila gorda possui um alto nível de plasticidade e, portanto, é classificada como muito plástica, enquanto a argila magra possui plasticidade média. A massa cerâmica usada na fabricação de blocos e telhas cerâmicas, formada pela adição de argila gorda e magra, alcança o resultado desejado: obtenção de uma massa menos plástica, quando comparada à argila gorda.

A plasticidade é um dos parâmetros mais importantes para a fabricação de produtos cerâmicos argilosos, havendo a relação entre os limites de Atterberg obtidos e o prognóstico de extrusão, mediante a tabela de trabalhabilidade de Bain e Highly (1979). Considerando o diagrama de trabalhabilidade exposto na Figura 8, a argila investigada está localizada dentro da região de extrusão ótima, implicando em um material com boas propriedades plásticas de moldagem (Rat *et al.*, 2023).

O limite de plasticidade da argila gorda foi de 17,76%, correspondendo à quantidade de água necessária para que a matéria-prima atinja a consistência plástica, permitindo a sua formação por extrusão. O índice de plasticidade foi de 18%, e está associado à quantidade máxima de água que pode ser acrescentada à argila, a partir de seu limite de plasticidade, de modo que ela mantenha o aspecto plástico (Moreno-Maroto; Alonso-Azcaratey, 2018). De maneira semelhante, a massa composta pela argila gorda e magra apresentou altos níveis de plasticidade.

A argila magra está em uma zona de extrusão aceitável, com um limite de plasticidade de 22,79%, necessitando de mais água que a argila gorda e a MAGM para que atinja a consistência plástica, entretanto, também possibilita a extrusão. O índice de plasticidade encontrado é de 10,65%, sendo associado à máxima quantidade de água que pode ser absorvida de modo a manter a consistência plástica, considerando seu limite de plasticidade de 34,4%.

A Figura 9 apresenta o comportamento térmico das amostras por meio das técnicas termoanalíticas de Termogravimetria (TG) e Análise Térmica Diferencial (DTA). Os resultados indicam uma perda de massa de 9,56% e 8,62% entre 30 °C e 1000 °C para as amostras de argila gorda e argila magra, respectivamente.

Tabela 2 - Classificação das amostras de acordo com o diâmetro dos grãos

Amostra	Argila < 2µm	Areia > 20µm	Silte 2-20 µm
Argila gorda	36	31	33
Argila magra	17	62	21
MAGM	29	36	35

Figura 7 - Diagrama de Winkler

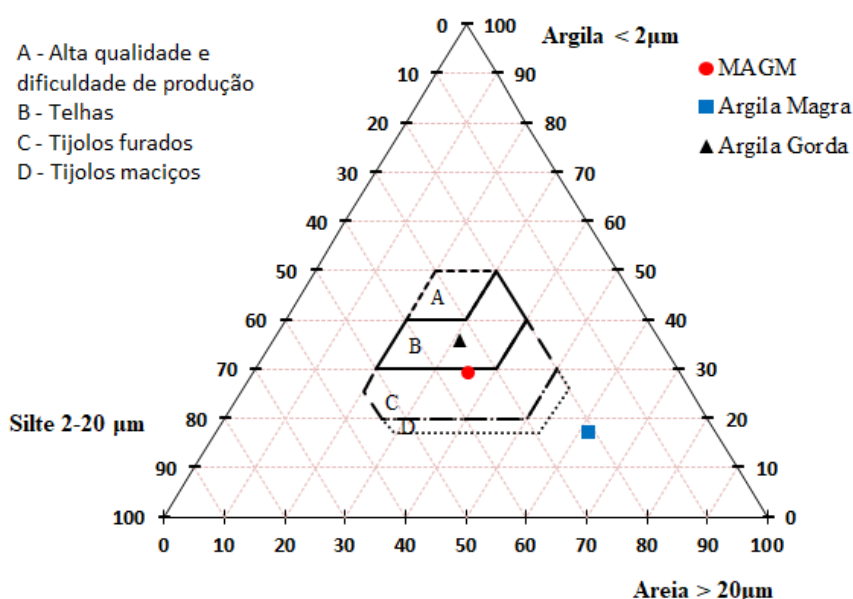


Tabela 3 - Limites de consistência de Atterberg das matérias-primas

Amostra	Limite de liquidez (LL %)	Limite de plasticidade (LP %)	Índice de plasticidade (%)	Classificação
Argila gorda	34,40%	17,76%	18,00%	Muito plástico
Argila magra	33,44%	22,79%	10,65%	Plasticidade média
MAGM	32,65%	16,95%	15,70%	Muito plástico

Figura 8 - Limites de Atterberg de acordo com a projeção de Bain e Highly (1979)

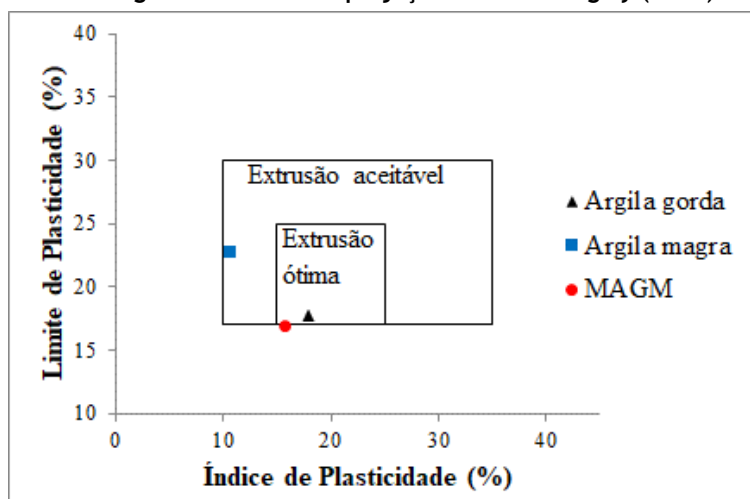
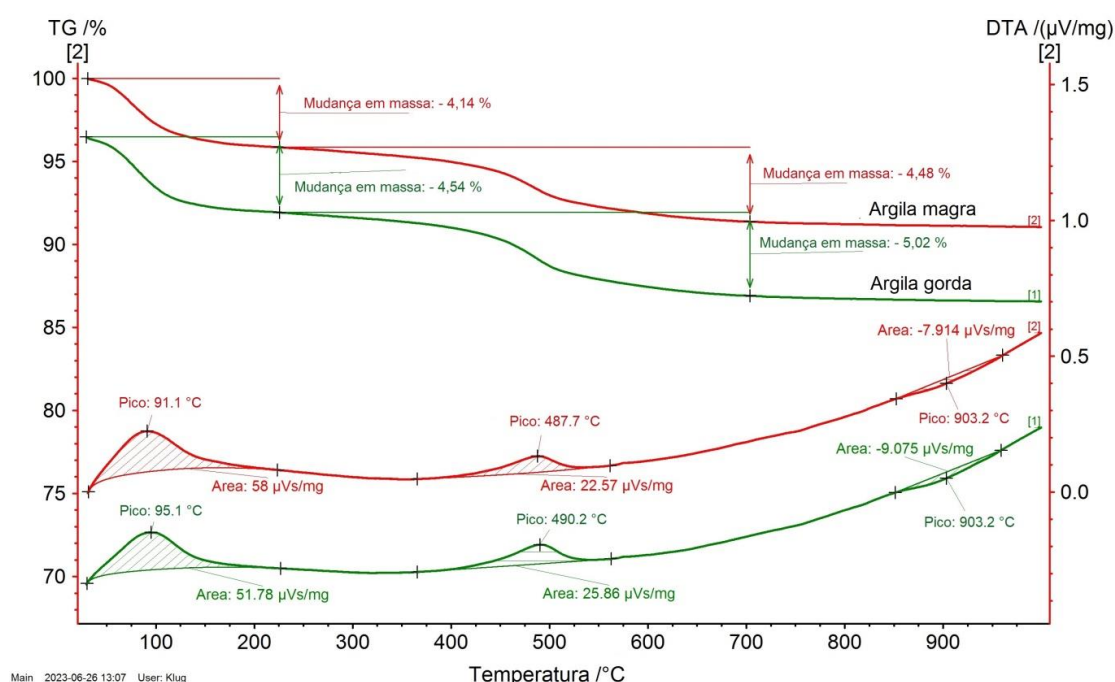


Figura 9 - TG/DTA das amostras de argila gorda e argila magra



Analisando o gráfico apresentado na Figura 9, a perda de massa de 4,54% da argila gorda e 4,14% da argila magra são referentes à perda de água de hidratação, em virtude da evaporação da água de umidade, entre 0° e 230 °C com pico endotérmico em aproximadamente 95° e 91 °C. Entre 230° e 680 °C há um segundo pico de perda de massa da argila gorda e magra de, respectivamente, 5,02% e 4,48%, associados à perda de água estrutural dos argilominerais, transição da caulinita para metacaulinita e possível oxidação da matéria orgânica, com picos endotérmicos em aproximadamente 490 °C e 487 °C (Rat *et al.*, 2023; Sousa, 2017).

Entre 680° e 1000 °C não ocorre perda significativa de massa, porém é verificado um pico exotérmico em aproximadamente 903 °C, em ambos os materiais, indicando a formação de uma nova fase, por meio da recristalização e formação da mulita (Okada; Otsuka; Ossaka, 1986).

Conclusão

A compreensão das características das matérias-primas utilizadas nas massas de cerâmica vermelha é essencial para o entendimento do processo de fabricação desses produtos, assim como para antecipar as propriedades que irão adquirir. Além disso, permite prever o potencial de utilização desse material de forma racional e otimizada, dentro das normas de qualidade existentes.

O estudo indica que as matérias-primas são constituídas predominantemente por sílica e alumina, com uma presença significativa de óxido de ferro contribuindo para a coloração vermelha após a queima. Além disso, a identificação de óxidos fundentes enfatiza sua influência na redução da refratariedade do material.

Os parâmetros físicos dos limites de consistência apontam que a amostra de argila gorda apresenta alta plasticidade com capacidade de extrusão ótima. Por outro lado, a amostra de argila magra apresenta média plasticidade com potencial de extrusão dentro dos limites aceitáveis.

Mediante análise da distribuição granulométrica e aplicação do diagrama de Winkler, ferramenta poderosa para a determinação destas composições, constata-se que as amostras estão dentro do intervalo indicado para sua utilização em produtos da cerâmica vermelha de alta qualidade. Seu potencial de utilização está orientado para produção de aplicações industriais como telhas e tijolos cerâmicos

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Informações técnicas:** definição e classificação. 2021. Disponível em: <https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** solo-determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** determinação da análise granulométrica dos solos. Rio de Janeiro, 2016d.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Dados do setor.** 2019. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>. Acesso em: 15 dez. 2023.
- BAIN, J. A.; HIGHLEY, D. E. Regional appraisal of clay resources: challenge to the clay mineralogist. **Developments in Sedimentology**, v. 24, p. 437-446, 1979.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elements of the nature and properties of soils:** upper saddle river. New Jersey: Pearson Education International, 2010.
- BRITO, I. P. *et al.* 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.
- CABRAL JUNIOR, M. *et al.* Estudo estratégico da cadeia produtiva da indústria cerâmica no estado de são paulo: parte I: introdução e a indústria de cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 24, n. 1, p. 20-34, 2019.
- DIAO, I.; DIAGNE, M.; DIA, I. Characterization of fired clay bricks for an economic contribution of the exploitation of thick clay deposit. **Materials Sciences and Applications**, v. 12, p. 389-416, 2021.
- DJERAN-MAIGRE, I. *et al.* A relevant characterization of Usumacinta river sediments for a reuse in earthen construction and agriculture. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 125, e-104317, 2023.
- EL OUAHABI, M. *et al.* Moroccan clay deposits: physico-chemical properties in view of provenance studies on ancient ceramics. **Applied Clay Science**, v. 172, p. 65-74, 2019.
- INSTITUTO CENTRO DE ENSINO TECNOLÓGICO. **Fichas técnicas dos arranjos produtivos locais do Estado do Ceará.** Fortaleza: CENTEC, 2023.

INSTITUTO CENTRO DE ENSINO TECNOLÓGICO. **Identificação, mapeamento e caracterização estrutural de arranjos produtivos locais por região de planejamento no Estado do Ceará**. Fortaleza: CENTEC, 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. **Panorama da indústria de cerâmica vermelha no Brasil**. EELA/INT. Rio de Janeiro: INT, 2012.

MACÊDO, A. N. *et al.* Comportamento de blocos cerâmicos estruturais produzidos a partir da mistura de lama vermelha e argila. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 25–36, out./dez. 2011.

MACEDO, R. S. *et al.* Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 54, p. 411-417, 2008.

MESRAR, L. *et al.* Engineering properties of dredged sediments as a raw resource for fired bricks. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 80, n.3, p. 1-16, 2021.

MORENO-MAROTO, J. M.; ALONSO-AZCÁRATE, J. What is clay? A new definition of “clay” based on plasticity and its impact on the most widespread soil classification systems. **Applied Clay Science**, v. 161, p. 57–63, 2018.

MOUTOU, J. M. *et al.* Characterization and evaluation of the potential uses of mouyondzi clay. **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, v. 6, p. 119-138, 2018.

NUNES, A. B. D. A.; BARRETO, T. M. D. L. Avaliação de impactos da indústria cerâmica do polo de Russas - CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30., Natal, 2019. **Anais [...]** Natal, 2019.

OKADA K.; OTSUKA N.; OSSAKA J. Characterization of spinel phase formed in the kaolin-mullite thermal sequence. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 69, n. 10, p. C-251-C-253, 1986.

RAT, E. *et al.* Characterization, thermal and ceramic properties of clays from Alhabia (Almería, Spain). **Ceramics International**, v. 49, n. 9, p. 14814-14825, 2023.

REHMAN, M. U.; AHMAD, M.; RASHID, K. Influence of fluxing oxides from waste on the production and physico-mechanical properties of fired clay brick: a review. **Journal of Building Engineering**, v. 27, n. 8, 100965, 2020.

RODRIGUES, A. N.; MOTA, J. A. Arranjos produtivos locais na indústria da cerâmica vermelha: um estudo de caso no nordeste brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 47, n. 1, p. 127-142, 2016.

SANTOS, A. H. V.; CASTILHO, C. J. M.; COSTA, V. S. O. Avaliação de impactos ambientais em indústrias de cerâmicas vermelhas. **Desenvolvimento em Questão**, v. 20, n. 58, p. 1-21, 2021.

SILVA, M. L.; PEREIRA, F. M. M. Characterization of clays from the red ceramic industry in the City of Crato - Ceará, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. 1-11, 2021.

SOUSA, J. P. **Caracterização tecnológica de argilas utilizadas na fabricação de cerâmica vermelha no Município do Crato - Ceará**. Fortaleza, 2017. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

Rafaella Cavalcante Regis

Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais | Universidade Federal do Ceará | Centro de Tecnologia, Campus do Pici, Bloco 729 | Fortaleza - CE - Brasil | CEP 60440-554 | Tel.: (85) 99917-3889 | E-mail: rafaellacavalcanter@gmail.com

Kéren Pereira Lima

Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Redação do manuscrito original.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal do Ceará | Av. Felipe Santiago, 411, Campus Russas | Russas - CE - Brasil | CEP 62900-420 | Tel.: (88) 99971-6718 | E-mail: kerentlima2017@gmail.com

Elisson Bezerra de Oliveira

Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos.

Departamento de Engenharia de Produção | Universidade Federal do Ceará | Av. Felipe Santiago, 411, Campus Russas | Russas - CE - Brasil | CEP 62900-420 | Tel.: (88) 99905-0312 | E-mail: elissonb.oliveira@alu.ufc.br

Rogério Cavalcante Regis

Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos.

Laboratório de Física | Universidade Federal do Ceará | Av. Felipe Santiago, 411, Campus Russas | Russas - CE - Brasil | CEP 62900-420 | Tel.: (88) 99714-0168 | E-mail: rogerioregisufc@gmail.com

Cândido Jorge de Sousa Lobo

Conceitualização, Recebimento do financiamento, Administração do projeto, Disponibilização de ferramentas, Supervisão, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Mecânica | Universidade Federal do Ceará | Av. Felipe Santiago, 411, Campus Russas | Russas - CE - Brasil | CEP 62900-420 | Tel.: (88) 3411-6023 | E-mail: candidojslobo@ufc.br

Antônio Eduardo Bezerra Cabral

Conceitualização, Recebimento do financiamento, Administração do projeto, Disponibilização de ferramentas.

Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil | Universidade Federal do Ceará | Centro de Tecnologia, Campus do Pici, Bloco 733 | Fortaleza - CE - Brasil | CEP 60455-900 | Tel.: (85) 3366-9607 | E-mail: eduardo.cabral@ufc.br

Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira

Conceitualização, Recebimento do financiamento, Administração do projeto, Disponibilização de ferramentas.

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais | Universidade Federal do Ceará | Tel.: (85) 3366-9408 | E-mail: emilio@ufc.br

Editor: **Marcelo Henrique Farias de Medeiros e Eduardo Pereira**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.

Potencialidade das matérias-primas argilosas extraídas do município de Russas, CE: análises químicas, térmicas e tecnológicas

Regis, R. C.; Lima, K. P.; Oliveira, E. B. de; Regis, R. C.; Lobo, C. J. de S.; Cabral, A. E. B.; Nogueira, R. E. F. Q.