

Artigo

Argilas e suas Aplicações em Utensílios e Materiais Cerâmicos

Rocha, F. N.; Suarez, P. A. Z.;* Guimarães, E. M.

Rev. Virtual Quim., 2014, 6 (4), 1105-1120. Data de publicação na Web: 12 de junho de 2014<http://www.uff.br/rvq>**Clays and their Applications in Pottery and Ceramics Materials**

Abstract: This paper discusses the chemistry of clays and their use as raw material to produce pottery and advanced ceramic materials, approaching historical, social and economic aspects. In order to describe the process of transforming clay into ceramic a handcraft pottery production was studied. It was identified by X-ray the main minerals presented in the clay and in the ceramic in order to understand the chemical modification that takes place during the process.

Keywords: Clays; Ceramics; Ceramics industry.

Resumo

Este artigo discute a química das argilas e o uso destas como matérias-primas para a confecção de utensílios e materiais cerâmicos avançados, abordando aspectos históricos, sociais e econômicos envolvidos. Para descrever o processo de transformação de argila em cerâmica foi estudado um processo artesanal de produção de artefatos cerâmicos. Por difração de raios X foram identificados os principais minerais presentes na argila e na cerâmica para entender a modificação química que acompanha o processo.

Palavras-chave: Argilas; Cerâmicas; Produção de cerâmicas.

* Universidade de Brasília, Laboratório de Materiais e Combustíveis, Instituto de Química, P. Box. 4478, CEP 70919-970, Brasília-DF, Brasil.

✉ psuarez@unb.br

DOI: [10.5935/1984-6835.20140070](https://doi.org/10.5935/1984-6835.20140070)

Argilas e suas Aplicações em Utensílios e Materiais Cerâmicos

Fernando N. Rocha,^a Paulo A. Z. Suarez,^{a,*} Edi M. Guimarães^b

^a Universidade de Brasília, Laboratório de Materiais e Combustíveis, Instituto de Química, P. Box. 4478, CEP 70919-970, Brasília-DF, Brasil.

^b Universidade de Brasília, Laboratório de Difractometria de Raios-X, Instituto de Geociências, Brasília-DF, Brasil.

* psuarez@unb.br

Recebido em 14 de abril de 2014. Aceito para publicação em 27 de maio de 2014

1. O solo ou barro
2. O surgimento e evolução da produção de cerâmicas
3. Cerâmicas na Sociedade Moderna
4. Mas afinal, o que são argilas?
5. Como se produz a cerâmica a partir de argilas?
 - 5.1. Extração
 - 5.2. Preparação da massa e dos artefatos
 - 5.2. Secagem e queima
6. Qual a transformação química que acompanhou a modificação da argila em cerâmica?
7. Conclusões

1. O solo ou barro

O solo, que constitui a cobertura da superfície sólida do nosso planeta, é uma mistura complexa, cujos principais ingredientes são os diversos compostos minerais, a água, o ar e a matéria orgânica (humo). Os compostos inorgânicos têm origem no processo de alteração das rochas por intemperismo, ou seja, pela ação da chuva, do vento e do calor.¹ Ao longo do tempo, esse processo transforma as rochas, tanto diminuindo o tamanho para pequenas

partículas, quanto alterando a constituição química. Assim, dá origem a compostos amorfos e novos minerais, predominantemente de tamanho diminuto, conhecidos como argilas. Dentre os minerais presentes estão principalmente os óxidos de íons de metais e os argilominerais. Estes últimos são uma mistura de compostos constituídos por silicatos hidratados de alumínio e ferro, podendo conter íons sódio(I), potássio(I), cálcio(II) e magnésio(II). Já o humo é gerado pela ação de uma série de organismos vivos que produzem e decompõem matéria orgânica. Como resultado, é formada uma mistura complexa

de compostos orgânicos, tais como polissacarídeos, proteínas e ácidos orgânicos, podendo muitas vezes ocorrer a complexação desse material com íons de metais, principalmente Fe^{3+} , Al^{3+} e Cu^{2+} . Essa mistura complexa de compostos químicos é responsável por reter a água e o ar, resultando no que chamamos de solo. A mistura de quantidades variadas de argilas e materiais amorfos, por vezes contendo também o humo, é chamada de **barro** ou **argila**, quando o teor de água é alto.²

Naturalmente, o solo é o ambiente ideal para o crescimento de plantas, pois ele fornece os nutrientes e a água necessária para o seu crescimento. Porém, ao longo dos anos o homem aprendeu que alguns tipos de solo argiloso podem ser usados não somente para o cultivo de plantas, mas também como matéria-prima para a obtenção de materiais cerâmicos. Mais recentemente, diversas aplicações dos argilominerais foram sendo desenvolvidas nas mais variadas áreas da indústria química. Neste trabalho pretende-se abordar diversos aspectos referentes à química das argilas e ao processo de produção de cerâmicas.

2. O surgimento e evolução da produção de cerâmicas

Durante o período neolítico (entre 14 mil e 6 mil antes do Presente, a. P.), também conhecido como período da pedra polida, a agricultura foi desenvolvida em diversas regiões do planeta. De fato, acredita-se que os povos mais antigos a desenvolver atividades agrícolas tenham se desenvolvido por volta de 10 000 a. P.³

O surgimento da agricultura é extremamente importante e é considerado um momento de ruptura e de

transformações, uma vez que o homem deixa a prática exclusiva do nomadismo e passa a residir em locais fixos e, conseqüentemente, ocorre uma profunda mudança da organização social. Além de tecnologias de manejo do solo e de cultivo, o homem desenvolveu, também, técnicas para armazenamento e preparo de alimentos, assim como descobriu novos materiais, dentre os quais se destaca o uso do barro e a descoberta da cerâmica. Um fato interessante é que, dentre os utensílios que surgiram paralelos à prática de cultivo de alimentos, como o pilão e almofarizes, geralmente confeccionados com pedra e madeira, as cerâmicas ganharam um papel notável como principal indicadora das práticas agrícolas remotas devido às suas características de conservação que, mesmo fragmentadas ao extremo, são detectadas facilmente.⁴ De fato, a cerâmica foi tão importante para o desenvolvimento da sociedade humana que o estudo de fragmentos cerâmicos é usualmente utilizado para a determinação de níveis culturais e organizacionais de sociedades pré-históricas.⁵

Os utensílios de barro mais antigos fabricados pelo homem descobertos são cestos de vime recobertos de argila. Posteriormente, o homem descobriu que o calor fazia o barro endurecer, tornando-o resistente à água.^{5,6} A facilidade em modelar o barro antes da queima, tornou-se uma importante ferramenta para o homem desenvolver os mais variados objetos cerâmicos, que vão de utensílios para o preparo e conservação de alimentos, instrumentos musicais, até urnas funerárias, como os exemplos mostrados na Figura 1. É interessante notar que a cerâmica das Américas originou-se de forma autônoma, sendo desenvolvidas técnicas de modelagem e acabamento diferentes daquelas verificadas na Eurásia.

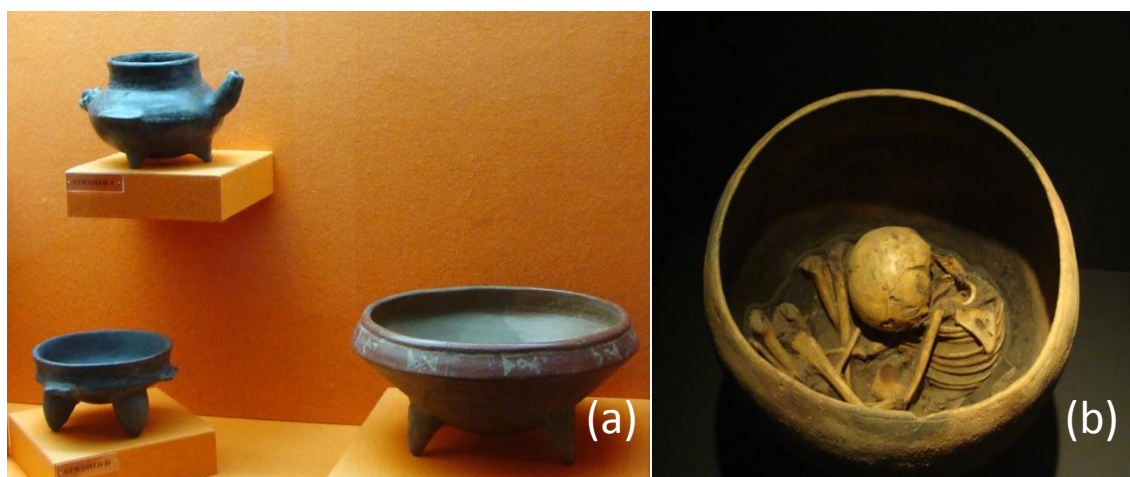


Figura 1. Alguns artefatos de cerâmica de culturas das Américas: (a) utensílios com fins alimentares encontrados na Pirâmide Circular de Cuicuilco e expostas no Museu do Sítio, no Distrito Federal, México; (b) urna funerária encontrada na região da Serra da Capivara e exposta no Museu do Homem Americano em São Raimundo Nonato, Piauí, Brasil. Fotos Paulo A. Z. Suarez

Desde o Egito Antigo, a Grécia, o Império Romano e a China, assim como durante a Idade Média e o Renascimento, a arte de produzir artefatos cerâmicos se desenvolveu muito. Desde a porcelana mais delicada para a confecção de xícaras ou a cerâmica rústica usada para produzir telhas, uma miríade de produtos foram produzidos durante milênios a partir da queima de misturas de diferentes tipos de barro.

Além de importante como material de construção, a produção de cerâmicas se mostrou fundamental em diversos povos como identificação cultural, pois através dos desenhos, formas e tipo de materiais e processos utilizados na produção de cerâmicas podem-se fazer inferências a respeito das representações sociais e culturais não só em civilizações antigas da América do Sul⁴ como também na Europa, África, Ásia e Oriente Médio. Vale destacar que a identificação cultural através da cerâmica persiste até os dias atuais em diversos países, independentemente do seu estágio de desenvolvimento socioeconômico.

O uso de argilas e cerâmicas foi também importante no desenvolvimento da escrita. Por volta de 5500 a.P. os Sumérios, povo que habitava o atual Oriente Médio,

desenvolveram um sistema de escrita conhecido como cuneiforme. O método consistia em cunhar pictogramas em tabuas de argilas, com o auxílio de um instrumento pontiagudo semelhante a um estilete. Tais pictogramas inicialmente eram numerosos e dispersos nas tabuas de argila e representavam as mais diversas formas e significados. Com o passar do tempo, por volta de 4700-4350 a.P, tornaram-se mais simples e padronizados até serem escritos em linhas de texto capazes de transmitir qualquer linha de pensamento. Muitas dessas placas ficaram preservadas até os nossos dias, em virtude do cozimento do material argiloso das tabuas transformando-as em cerâmica. Este método de escrita foi posteriormente utilizado por diversos povos da região, como os Assírios e Babilônios.⁷

3. Cerâmicas na Sociedade Moderna

Com o passar dos anos, a manipulação de diferentes tipos argilas permitiu desenvolver novos materiais com características específicas, como altas resistências térmica,

mecânica e/ou química. Esta evolução possibilitou que a cerâmica ocupe hoje um importante papel como material de construção de diversos objetos, desde os produtos rústicos a elementos decorativos, como tijolos, telhas e vasos, produzidos de forma artesanal ou industrial, até produtos altamente sofisticados, como os supercondutores. Assim, a cerâmica constitui-se atualmente como um importante setor econômico, seja em indústrias que utilizam tecnologias tradicionais ou inovadoras, ou como produto artesanal importante, em comunidades carentes, para geração de renda, como será relatado a seguir.⁶

Os processos tradicionais de obtenção de produtos cerâmicos brancos ou vermelhos, que são apenas a mistura de dois ou mais barros diferentes, são usados até hoje. Por exemplo, no Brasil inúmeras indústrias de pequeno, médio e mesmo grande porte produzem as mais variadas linhas de artefatos cerâmicos para a construção civil, tais como manilhas, tijolos, pisos e revestimentos, azulejos, telhas e louças sanitárias, ou artefatos para uso doméstico, como pratos, xícaras, vasilhas, filtros para purificação de água, moringas e vasos para decoração. Na Figura 2 são mostrados produtos manufacturados hoje no Brasil a partir de materiais cerâmicos tradicionais.

a) Produção Industrial de Cerâmicas:



Figura 2. Uso atual de cerâmicas comuns: (a) Olaria na região de Paracatu, MG, Brasil, que produz tijolos com cerâmica vermelha (Foto Paulo A. Z. Suarez); (b) louças para uso alimentar produzidas a partir de cerâmica branca esmaltada na cidade de Monte Sião, MG, Brasil (Foto Fernando N. Rocha)

Outros setores industriais produzem materiais avançados com o uso de diferentes elementos químicos, tais como alguns metais de transição, os quais são responsáveis por conferir propriedades específicas às

cerâmicas. Assim, as cerâmicas conhecidas como “avançadas” apresentam, além de algumas características tradicionais desta classe de materiais, propriedades especiais como alta resistência térmica, condutividade

elétrica ou propriedades magnéticas ou óticas que permitem usos específicos.

Dentre os materiais cerâmicos avançados, os mais antigos são os refratários, que resistem a altíssimas temperaturas, bem como a efeitos mecânicos, químicos e físicos. São geralmente confeccionados na forma de tijolos de alta densidade, baixa porosidade para evitar a entrada de ar, e são usados como revestimento de fornos metalúrgicos, de caldeiras e fornos usados para fabricação de vidros. Na construção civil, os tijolos refratários são largamente usados como revestimento em lareiras, como a mostrada

na Figura 3i, churrasqueiras, e fornos e fogões a lenha. Mais recentemente, diversas cerâmicas inovadoras foram desenvolvidas, as quais vêm encontrando variados usos industriais, por exemplo, na fabricação de supercondutores, peças para motores a combustão interna e de turbinas, parte de componentes eletrônicos, como os que aparecem mostrados no circuito na Figura 3ii, ferramentas de corte de alta precisão, entre outros⁸. Por exemplo, na Figura 3iii aparece o detalhe de um resistor cerâmico, mostrando que o material usado é um cerâmico condutor.



Figura 3. Materiais cerâmicos avançados: (i) tijolos refratários, sinalizados com seta vermelha, usados como revestimento em lareira para aquecimento doméstico (Foto Paulo A. Z. Suarez); (ii) circuito elétrico com resistores cerâmicos, sinalizados com seta amarela (Foto Fernando N. Rocha); (iii) Resistor cerâmico com revestimento intacto (superior) e parcialmente retirado (inferior) para visualização dos diversos elementos: (a) revestimento isolante de silicone; (b) anéis coloridos pintados na parte externa que indicam a resistência do resistor; (c) fio metálico enrolado em espiral; (d) cilindro de cerâmica condutora; (e) cápsula e (f) fio metálico para contato elétrico (Foto Paulo A. Z. Suarez)

b) As cerâmicas e a economia social:

Além da importância econômica da produção industrial de materiais cerâmicos, diversos são os exemplos de cooperativas ou iniciativas individuais de artesões que encontram na argila a sua fonte de sustento. Um dos muitos exemplos está na figura feminina das artesãs do Vale do Jequitinhonha, no noroeste de Minas Gerais, também conhecidas como as “noivas da seca”. Essa região, que ocupa mais de 85 mil km² de extensão e é habitada por cerca de 1 milhão pessoas, embora banhada pela bacia do Rio Jequitinhonha, é bastante castigada

pela seca no outono e no inverno, e pelas enchentes no verão, as quais inviabilizavam o cultivo de lavouras.⁹ Como consequência, acabam por forçar a evasão da população masculina para outros locais onde conseguem emprego, como os canaviais das indústrias de açúcar e álcool de São Paulo ou as carvoarias do centro-oeste. Nesse contexto, as mulheres encontraram como única forma de sustento a produção de artesanatos, principalmente a cerâmica, a tecelagem e os bordados, a cestaria, as esculturas em madeira, os trabalhos em couro e a pintura. No caso específico da cerâmica, elas desenvolveram um artesanato único, confeccionado totalmente usando

argilas coletadas à beira dos riachos da bacia do Jequitinhonha, e do qual os principais elementos são figuras femininas vestidas de noivas. Após preparar os artefatos com barro, é feita a “pintura” das peças com emulsões aquosas pouco viscosas obtidas com barros contendo elementos químicos diferentes. Ao queimar, essas suspensões produzem uma espécie de esmalte superficial nas peças contendo as cores desejadas. Note que geralmente a cor da argila usada para

preparar a emulsão é diferente da coloração que a peça adquire após o processo de queima. Na Figura 4 é mostrada a produção de cerâmica na comunidade de Campo Alegre, no município de Turmalina, MG, Brasil. Nesse cenário, as mulheres passam a chefiar as famílias e, principalmente com artesanato advindo do barro, elas assumem um lugar central na economia familiar.



Figura 4. Produção de artesanato em cerâmica no Vale do Jequitinhonha, MG, Brasil: (a) forno individual para queima de peças de barro da paneleira (como são conhecidas as artesãs no Vale do Jequitinhonha) Durvalina; (b) argila usada para preparar os artesanatos; (c) argilas diferentes emulsionadas em água usadas para colorir o produto; (d) produtos antes (cinza) e após a queima no forno; (e) Noiva, principal artesanato da região. Fotos Paulo A. Z. Suarez

4. Mas afinal, o que são argilas?

Ao contrário do que muitas vezes se imagina as argilas, assim como areia, não representam um tipo de composto químico específico. De fato, argila é um vasto conjunto de compostos químicos que apresentam uma granulometria muito fina, com diâmetro inferior $2\ \mu\text{m}$, conforme ilustração da Figura 5. Outra característica dessas partículas é o fato de, quando umedecidas com água, formarem uma mistura com certa plasticidade.²

Nos solos, as argilas podem ser tanto partículas orgânicas quanto os compostos inorgânicos amorfos ou cristalinos originados pelo processo de intemperismo das rochas. Analisados como óxidos, os principais

compostos inorgânicos (amorfos e cristalinos) são a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3).²

Os compostos inorgânicos com estrutura cristalina e composição química constante são os minerais, pertencentes aos grupos dos silicatos e dos oxi/hidróxidos. Assim, a sílica (SiO_2) pode constituir o mineral quartzo ou estar combinada com a alumina (Al_2O_3), formando o mineral caulinita [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$]. Da mesma forma, a alumina das argilas pode tanto estar contida no mineral caulinita, como representar o mineral gibbsita [$\text{Al}(\text{OH})_3$]. O ferro comumente constitui o mineral goethita [$\text{FeO}(\text{OH})$] e ocasionalmente o mineral hematita (Fe_2O_3). Os minerais goethita e gibbsita pertencem à classe dos hidróxidos, enquanto a hematita pertence à classe dos óxidos.

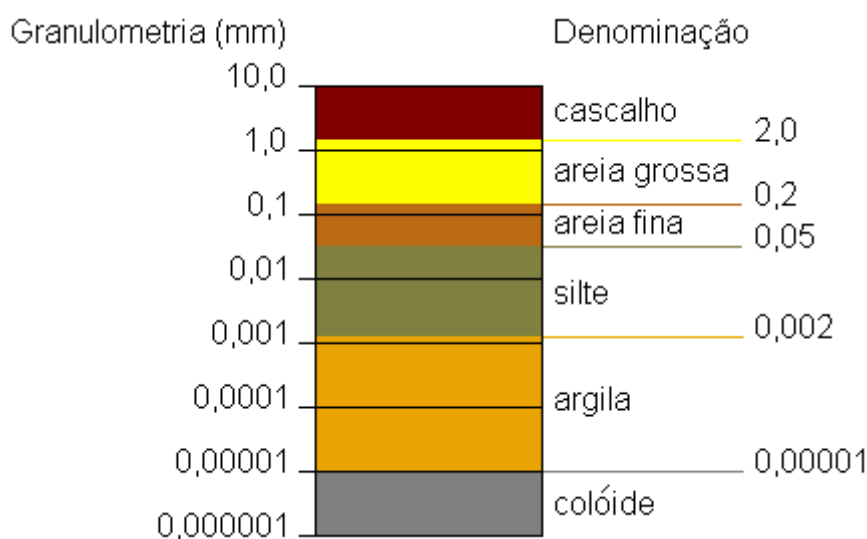


Figura 5. Classificação de partículas sólidas quanto à dimensão

O quartzo, forma cristalina da sílica (SiO_2), apesar de ser um óxido, pertence à classe dos silicatos ou aluminossilicatos, que abrange a grande maioria dos minerais constituintes das rochas, solos e sedimentos. A principal característica dos silicatos é a ligação do cátion Si^{+4} com 4 ânions O^{2-} , formando tetraedros, ocorrendo, nos aluminossilicatos, a substituição parcial do cátion Si^{+4} pelo Al^{+3} . Os tetraedros podem estar isolados (Figura 6a), formando um grupo de minerais conhecidos como nesossilicatos. No entanto, dois cátions Si^{+4} (ou Al^{+3} se houve substituição) podem compartilhar um ânion O^{2-} (Figura 6b), formando um grupo de compostos conhecidos como sorossilicatos. Pode ocorrer, também, a condensação de mais de dois tetraedros, onde cada cátion Si^{+4} ou Al^{+3} compartilha dois dos quatro ânions O^{2-} , levando a ânions mais complexos, como estruturas cíclicas contendo 3 ou mais cátions

Si^{+4} ou Al^{+3} (ciclossilicatos) e polímeros lineares com grande número de cátions Si^{+4} ou Al^{+3} (inossilicatos). O compartilhamento de três ânions O^{2-} leva à formação de estruturas bidimensionais, semelhantes a folhas, conhecidos como filossilicatos. Já o compartilhamento dos quatro ânions O^{2-} leva à formação de polímeros tridimensionais conhecidos como tectossilicatos, os quais podem não possuir carga (que é o caso do quartzo, SiO_2) ou a diversos grupos de ânions tridimensionais, com carga e formato diferentes dependendo da quantidade de substituição de cátions Si^{+4} por Al^{+3} e das condições em que foram gerados, como os feldspatos e as zeólitas. Note que quanto maior for a quantidade de cátions Si^{+4} substituídos por Al^{+3} , maior será a carga do ânion resultante, como fica claro ao comparar as estruturas b e c da Figura 6.

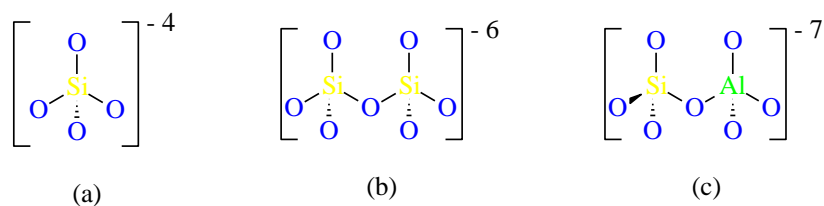


Figura 6. Estruturas básicas dos aluminossilicatos: a) tetraedro de sílica; b) oxigênio compartilhado por dois tetraedros (nesossilicato); c) Al^{3+} substituindo Si^{4+} em um tetraedro de ânions O^{2-}

A classe à qual pertence a caulinita e numerosos argilominerais, além das micas, é chamada de filossilicatos (do grego *phylon*, folha). Nestes compostos, os tetraedros com silício ou alumínio estão compartilhando 3 oxigênios formando estruturas bidimensionais, ou folhas, como a mostrada na Figura 7a. Além disso, ocorre também a formação de folhas com octaedros de alumínio, com 4 oxigênios nas posições equatoriais do octaedro sendo compartilhados e íons OH ligados nas posições axiais, as quais ficam sobrepostas a folhas de tetraedros formando estruturas chamadas de camadas.^{2,10} Deve-se destacar que ocorrem duas formas possíveis de camadas: (i) a associação de uma folha de tetraedros com uma folha de octaedro (1:1); ou (ii) a formação de uma estrutura tipo sanduiche, com uma folha de octaedro em

meio a duas de tetraedro (2:1). Essas camadas apresentam cargas negativas, as quais são balanceadas por cátions de metais alcalinos e alcalinos terrosos, principalmente Na^+ , K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} , que ficam dispostos ao longo da camadas. Na estrutura final do mineral têm-se camadas intercaladas por e cátions, conforme mostrado na Figura 7b. De acordo com o tipo de estrutura (1:1 ou 2:1), a carga das camadas e o tipo de cátion tem-se uma gama ampla de minerais, os quais apresentam propriedades completamente diferentes. Dentre eles, os mais importantes associados às argilas são os argilominerais.^{2,11} Os argilominerais na sua maioria são hidrofílicos, tendo alta capacidade de adsorver água. Esta característica lhes confere certa plasticidade, ou seja, capacidade de ser moldável e de aderir a determinadas superfícies.

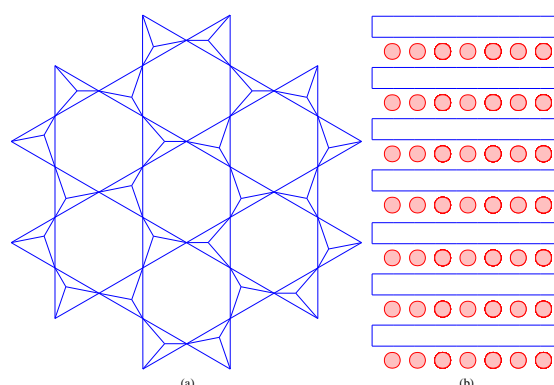


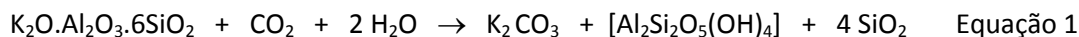
Figura 7. Estrutura dos filossilicatos: (a) estrutura de uma folha formada pela associação de tetraedros de cátions Si^{+4} ou Al^{+3} que estão compartilhando 3 ânions O^{-2} . Nos vértices dos tetraedros encontram-se ânions O^{-2} e, no centro, cátions Si^{+4} ou Al^{+3} , os quais não estão representados para maior clareza da figura; (b) sobreposição de camadas (retângulos) e os sítios de íons alcalinos e alcalino-terrosos (esferas rosa)

Outro importante grupo de aluminossilicatos constituintes das rochas são os feldspatos. Nestes minerais, os quatro oxigênios dos tetraedros são compartilhados, levando a estruturas tridimensionais. Note que a quantidade de carga da estrutura tridimensional depende diretamente da quantidade de cátions Al^{+3} que estão substituindo cátions Si^{+4} . Como contra-íons geralmente estão presentes cátions de metais alcalinos e alcalinos terrosos, os quais

ficam alojados em espaços existentes na estrutura tridimensional do ânion. Os três tipos mais comuns de feldspatos são: o potássico ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), o sódico ou albita ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) e os cálcicos ou anortita ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$). No entanto, dificilmente são encontrados esses três minerais de forma pura, sendo comumente formados minerais contendo dois ou mais diferentes cátions. Por exemplo, a série entre a albita e a anortita é conhecida como plagioclásio.

Durante o processo de intemperismo, os feldspatos se decompõem formando principalmente filossilicatos. Na Equação 1, por exemplo, é mostrada a decomposição do

feldspato potássico em caulinita e carbonato de potássio na presença de água e dióxido de carbono.



5. Como se produz a cerâmica a partir de argilas?

Os processos de fabricação de materiais cerâmicos são bastante parecidos, independentemente do tipo de produto desejado. De fato, é possível identificar 4 etapas básicas: (a) extração de argilas; (b) preparação da matéria-prima, incluindo a mistura dos diferentes minerais, quando eventualmente também são adicionados aditivos, e preparo da massa; (c) confecção das peças; e (d) tratamento térmico. Muitas vezes, uma quarta etapa de acabamento se faz necessária, como a adição de uma camada de revestimento na superfície. No intuito de ilustrar a produção de um material cerâmico foi acompanhada a produção artesanal de peças decorativas e utilitárias em um pequeno atelier no Polo de Artesanato localizado na Região do Jardim Botânico no Distrito Federal de propriedade dos artesãos D. Elza e Sr. Iraci.

5.1. Extração

A maioria das canteiras de extração de argila no Brasil é operada a céu aberto. A

atividade é, geralmente, feita de forma mecanizada, com o uso de máquinas retroescavadeiras, ou de maneira rudimentar, utilizando pás. Quando o material possui certa dureza, são empregados explosivos e tratores esteiras para transportar e carregar os caminhões. Nessa etapa, são retirados os *estéreis* (vegetação e materiais que não interessam). Um dos problemas ambientais graves associados a esta atividade econômica é que, após o esgotamento das reservas do mineral, esses locais devem ser recuperados para o ressurgimento da vegetação.⁸

No caso da produção cerâmica que foi avaliada, os artesãos Elza e Iraci adquirem dois tipos de argila para usar como matéria-prima na região de Anápolis - GO. As argilas são compradas na forma de britas com diâmetros entre 5 e 10 cm, sendo uma com coloração escura (CE), que os artesãos consideram como “forte”, e outra com coloração branca (CB), considerada “fraca”, as quais estão ilustradas na Figura 8. Segundo os artesãos, a mistura de uma argila “fraca” e uma “forte” em proporções adequadas é essencial para se conseguir uma cerâmica com boa qualidade, pois se somente uma das duas é usada ou o barro fica difícil de ser modelado ou a cerâmica fica quebradiça.



Figura 8. Argilas utilizadas pelos artesãos Elza e Iraci: uma escura (CE) e outra clara (CB), ambas originárias da região de Anápolis, GO. Foto Paulo A. Z. Suarez

5.2. Preparação da massa e dos artefatos

O primeiro passo na produção de cerâmicas é a desintegração dos torrões de argila oriundos da extração, que ocorre em britadeiras ou laminadores. A seguir, são misturadas diferentes argilas, podendo, nesta etapa, serem adicionados aditivos, e umidificadas. Então, a mistura é colocada em uma extrusora, que é uma espécie de prensa mecânica contínua tipo parafuso de rosca sem fim, também chamada de maromba. Nesse equipamento, além dos diversos ingredientes serem misturados até atingir um aspecto homogêneo, uma massa plástica

com consistência adequada para ser modelada. O processo de moldagem para se produzir o artefato com o formato desejado pode ocorrer na própria saída da extrusora, colocando-se um bocal adequado na saída, ou feito pela injeção da massa em moldes. Em processos artesanais, como o executado pelos artesões Elza e Iraci, a massa que sai da extrusora é moldada em um torno, que consiste em uma superfície circular que gira impulsionada por um motor ou mesmo pelo próprio artesão, onde as peças ganham forma sob as mãos do artesão. Na Figura 9 pode ser visualizado o processo de preparação e moldagem do barro feito de forma artesanal.



Figura 9. Processo artesanal de preparação de peças de barro moldadas: (a) mistura de britas de argilas em tachos; (b) as britas são umedecidas e ficam repousando por 24 h; (c) a mistura é homogeneizada em uma maromba; (d) uma porção do barro é separada; e (e) girando no torno, a porção de barro toma a forma desejada nas mãos ágeis da artesã Elza. Fotos Paulo A. Z. Suarez

Outra técnica utilizada tanto em indústrias quanto por artesões é a obtenção de peças a partir de suspensões de argila finamente dividida com o uso de moldes. Nesse caso, obtém-se uma mistura das diferentes argilas na forma de pó finamente dividido em moinhos de bola ou de martelo que é misturada com uma quantidade grande de água de forma a obter uma suspensão de baixa viscosidade.

Esta suspensão é colocada em um molde, normalmente feito com material absorvente, onde a água é retirada e as partículas de argila se aglomeram e tomam o formato desejado. Na Figura 10 pode ser visualizado o processo de preparação de peças em moldes a partir de suspensões líquidas de forma artesanal.

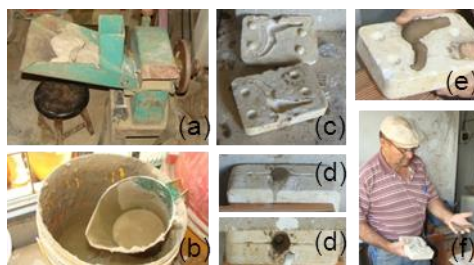


Figura 10. Processo artesanal de preparação de peças de barro em moldes: (a) moagem da argila para obtenção de pós finamente divididos; (b) mistura do pó com grande quantidade de água; (c) molde em gesso; (d) enchimento do molde fechado com a suspensão; (d) em poucos minutos a água é absorvida pelo molde; (e) e (f) o molde é aberto e a peça é desenformada pelo artesão Iraci. Foto Paulo A. Z. Suarez

5.3. Secagem e queima

A secagem consiste na eliminação da água utilizada durante a formação das peças de cerâmica. Existem vários métodos de secagem, dentre os quais o mais comum é a secagem natural em ambientes abertos. Durante o processo, a água migra pelos poros até a superfície, onde ocorre sua evaporação. O tempo de secagem quando realizada por este método depende de vários parâmetros, como a umidade e movimentação do ar e a temperatura do ambiente. Em processos industriais em que a demanda de produção é muito alta ou onde a qualidade da final da peça depende da velocidade de secagem, são utilizadas câmaras secadoras. Nessas câmaras os parâmetros de secagem são controlados de forma a se ter um processo o mais controlado possível. Para tal, a secagem é feita em câmaras onde se introduz ar quente e seco pela parte inferior das paredes laterais. Quando a corrente de ar passa pela

superfície das peças ocorre a transferência de umidade. Então, o ar saturado de umidade sai pela parte superior da câmara. No final da secagem se verifica uma redução do volume e um aumento na resistência mecânica da peça.^{5, 8, 12}

A transformação de argila seca em cerâmica ocorre pelo processo de queima ou sinterização, que consiste em aquecer as peças em temperaturas que variam de 800 °C a 1100 °C, com tempos que podem variar de horas até dias em função do tipo de matéria-prima e do produto desejado. Para tal, as peças são empilhadas dentro de um forno e se faz passar entre elas uma corrente de ar extremamente quente com a melhor distribuição possível de temperatura.^{5,8} Ao final, as peças são resfriadas e o material obtido possui características físicas e químicas completamente diferentes de antes da queima. Na Figura 10 é mostrado o processo artesanal de queima realizado pelos artesões Elza e Iraci.



Figura 10. Processo de queima ou sinterização artesanal das peças: (a) e (b) as peças são empilhadas no interior do forno; (c) a entrada lateral do forno, por onde foram introduzidas as peças é lacrada e é colocado fogo na base do forno; (d) terminada a queima espera-se resfriar e abre-se novamente a parede lateral; (e) as peças de cerâmicas são selecionadas e (f) colocadas para venda. Fotos Fernando N. Rocha

6. Qual a transformação química que acompanhou a modificação da argila em cerâmica?

Com o objetivo de entender as transformações químicas que acompanham a produção de cerâmica, foram analisadas amostras de materiais coletadas nas principais etapas do processo realizado pelos artesões Iraci e Elza: a argila branca (AB); a argila escura (AE); a mistura de argila seca

(AS); e o material cerâmico (MC). As amostras foram inicialmente pulverizadas com a ajuda de almofariz e pistilo.

O primeiro teste a ser realizado foi o de umidade superficial. Esta umidade representa apenas o percentual em massa da água que fica adsorvida na superfície do material. Pesaram-se 5 g de cada amostra em um cadinho de porcelana e se aqueceu por 6 h em uma estufa a 110 °C. Resfriou-se em um dessecador até a temperatura ambiente e pesou-se novamente para determinar a massa seca (ms) da amostra. A umidade (U) foi então calculada pela Equação 2:

$$U (5) = 100 \times (ms) / 5$$

Equação 2

A umidade calculada para as amostras foi: 2,13 % (AB); 2,40 % (AE); 2,24 % (AS); e 0,9 % (MC). Ou seja, percebe-se que as 3 amostras de argila têm capacidades semelhantes de adsorver água na superfície e que, após a sinterização, o material possui quase a metade dessa capacidade.

Em seguida foi realizada a determinação da água perdida durante o processo de sinterização ou queima. Para tal, uma amostra de argila seca foi pesada e colocada em um forno mufla no laboratório e aquecida gradativamente até se chegar à temperatura de 998 °C, permanecendo, assim, por 12 h. Pesando-se a amostra antes e após a queima,

verificou-se uma perda de massa de 10,68 %, o que, descontando a água superficial, indica uma perda de cerca de 8 % de água de cristalização, ou seja, da água que está ligada quimicamente e fazendo parte dos compostos argilominerais.

Na sequência, foi realizado o teste de granulometria usando-se uma série de peneiras com malhas com abertura especificadas de para tamanho de grãos (granulometria) de 800 µm, 400 µm, 250 µm, 100 µm e 63 µm e um recipiente coletor (peneira cega). As peneiras são pesadas e dispostas umas sobre as outras, ordenadas da granulometria mais alta para mais baixa,

com a “cega” na parte inferior. A pilha foi colocada sobre uma mesa vibratória. Em seguida, 150 g de amostra foram pesados e colocados sobre a peneira superior, sendo acionada a agitação de 50 rpm por 10 min. Ao final, as peneiras foram pesadas novamente para medir a massa da amostra que foi retida em cada uma. Repetiu-se o

procedimento para as amostras A2 e A3. As distribuições granulométricas obtidas para as amostras de argila podem ser visualizadas na Figura 11. Verifica-se que a argila AB é a que possui uma disparidade maior na distribuição granulométrica quando comparada com as demais, apresentando uma maior quantidade de material com granulometria de areia.

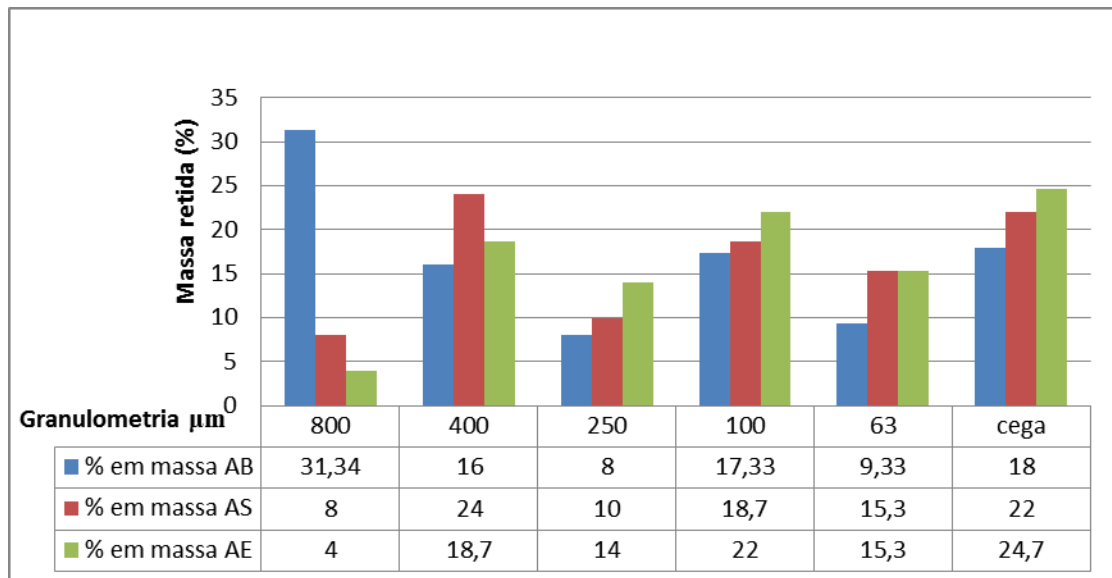


Figura 11. Distribuição de granulometria das três amostras: argila branca (AB); argila escura (AE); e mistura de argila seca (AS). “Peneira Cega” é um recipiente sem furos que coleta partículas com granulometria inferior a última peneira, neste caso 63 μm

A análise da composição mineral das amostras foi feita por difratometria de raios X (DRX) em um equipamento RIGAKU modelo ULTIMA-IV, operando com tubo de cobre e filtro de níquel, sob voltagem de 35 kV e 15 mA e velocidade de varredura de 1 $^{\circ}$ /min, no intervalo de ângulo 2θ de 3 $^{\circ}$ a 40 $^{\circ}$. A interpretação dos difratogramas foi realizada comparando-se os difratogramas com o banco de dados PDF-ICDD utilizando o software JADE 9.0. Cada mineral tem uma sequência de picos característica que depende do arranjo dos átomos, o que permite determinar por comparação com os difratogramas da base de dados a composição mineral da amostra. As argilas AE e AB apresentaram uma composição química muito semelhante, tendo como principais componentes o quartzo (SiO_2), os

filossilicatos Muscovita ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) e Caulinita ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e o feldspato Ortoclásio (KAlSi_3O_8). A diferença entre as duas está nos componentes minoritários: enquanto que a AB possui os óxidos Goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) e Gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), a AE possui o feldspato Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e o sal Fluorita (CaF_2). A presença destes constituintes menores explica a diferença observada pelos artesões entre as duas argilas: enquanto que o sal faz com que a mistura funda a uma temperatura menor, melhorando a plasticidade e facilitando a sinterização, a presença dos óxidos confere uma maior característica vitrificante, que torna a cerâmica mais resistente. Ou seja, as duas argilas se complementam e é necessário misturá-las para se conseguir melhorar o processo de produção da cerâmica, bem

como as propriedades finais do produto. Após misturar e umidificar as argilas, modelar a peça e secar, a AS apresentou um difratograma que representa exatamente a mistura dos difratogramas da AE e AB. Ou seja, durante todo o processo não ocorreu nenhuma alteração mineral do material. No entanto, ao se analisar a amostra obtida após a sinterização verificou-se uma profunda alteração na composição mineral, sendo observado apenas a presença de quartzo como maior constituinte, a mica Ilita

$((K, H_3O^+)(Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2))$ e a Alofanita $((Al_2O_3)_2(SiO_2)_3(H_2O))$. Essa diferença entre os minerais que constituem a argila e os que estão presentes na cerâmica, responsável pelas diferenças nas propriedades da peça antes e depois da queima, pode ser facilmente explicada por reações químicas que ocorrem devido as altas temperaturas do processo. Figura 12 aparecem os difratogramas de raios X de amostras de uma peça antes (AS) e após a queima (MC).

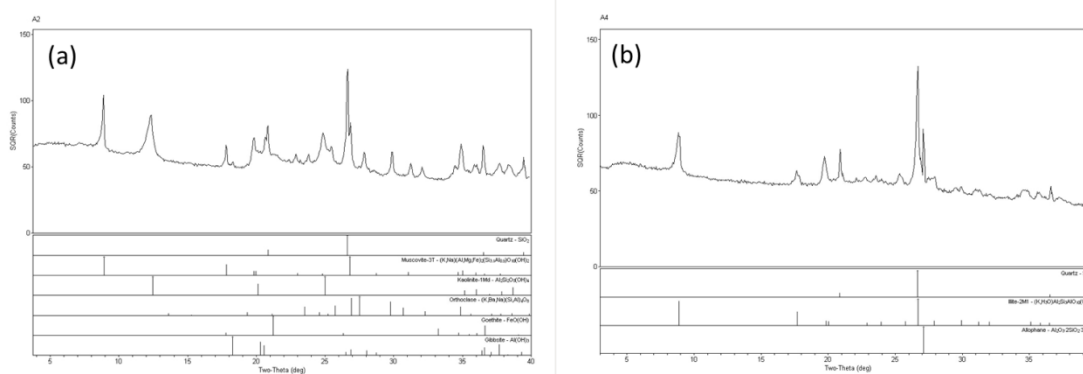


Figura 12. Difratogramas de Raios X de amostras: (a) antes da queima, AS; e (b) depois da queima, MC

7. Conclusões

O entendimento sobre os minerais do solo serve como base para compreender de forma detalhada as etapas dos processos de preparação de materiais cerâmicos, que ainda utiliza os mesmos princípios desde as primeiras sociedades agrícolas da humanidade. Com o conhecimento dos componentes do barro e da cerâmica é também possível entender as alterações químicas que ocorrem, refletindo diretamente nas propriedades físicas e químicas da matéria-prima e do produto final. Este conhecimento permite compreender os processos industriais de obtenção de materiais cerâmicos, os quais foram um dos primeiros a serem dominados pelo homem e que hoje estão presentes não somente nos produtos tradicionais, como jarros, telhas e tijolos, mas também em uma

miríade de produtos de alta tecnologia, tais como componentes eletrônicos e supercondutores.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Sr. Iraci e D. Elza pela disponibilidade de nos orientar e permitir que acompanhássemos todo o processo de fabricação das peças de cerâmica.

Referências Bibliográficas

- ¹ Budziak, C. R.; Maia, C. M. B. F.; Mangrich, A. S. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos

- da indústria madeireira. *Química Nova* **2004**, 27, 399. [CrossRef]
- ² Chagas, A. P.; *Argilas: Essências da Terra*, 3a. ed., Moderna: São Paulo, 1997.
- ³ Mazoyer, M.; Roudart, L.; *História da agricultura no mundo. Do Neolítico à crise contemporânea*, 4a. ed., Unesp: São Paulo, 2009.
- ⁴ Martin, G.; *Pré-história do nordeste do Brasil*, 3a. ed., Universitária UFPE: Recife, 1999.
- ⁵ Norton, F. H.; *Introdução à tecnologia cerâmica*, Edgard Blücher: São Paulo, 1973.
- ⁶ Shreve, R. N.; Brink Jr. J. A. Em *Indústria de Processos Químicos*; Shreve, R. N.; Brink Jr. J. A, 4a. ed.; Guanabara Koogan S.A: Rio de Janeiro, 1977, cap.9.
- ⁷ Fisher, S. R. *História da Leitura*, 1a. ed., Unesp: São Paulo, 2005.
- ⁸ Souto, F. A. F.; *Dissertação de Mestrado*. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica UFPA, 2008. [Link]
- ⁹ Wandeck, R., *Cerâmica Popular - Vale do Jequitinhonha-MG*. Disponível em: <<http://www.ceramicanorio.com/artepopular/valedojequitinhonha/valejequitinhonha.html>>. Acesso em: 20 de Maio de 2013.
- ¹⁰ Santos, P.; *Ciência e Tecnologia de Argilas*, 3a. ed., Edgar Blücher: São Paulo, 1992.
- ¹¹ Teixeira, E. N.; Albuquerque, A. Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado. *Química Nova* **2009**, 32, 809. [CrossRef]
- ¹² Soares, A. G.; *Dissertação de mestrado*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, 2009. [Link]