

LUIZ FERNANDO GRESPAN SETZ
ANTONIO CARLOS DA SILVA

O PROCESSAMENTO CERÂMICO SEM MISTÉRIO

2ª edição



Blucher

COLABORAÇÃO
REINALDO AZEVEDO VARGAS

Luiz Fernando Grespan Setz
Antonio Carlos da Silva

O PROCESSAMENTO CERÂMICO SEM MISTÉRIO

2ª edição ampliada

Reinaldo Azevedo Vargas
Colaborador

O processamento cerâmico sem mistério, 2ª edição

© 2022 Luiz Fernando Grespan Setz e Antonio Carlos da Silva

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editor Eduardo Blücher

Coordenação editorial Jonas Eliakim

Produção editorial Catarina Tolentino

Preparação de texto Évia Yasumaru

Diagramação Guilherme Henrique

Revisão de texto Maurício Katayama

Capa Leandro Cunha

Imagem da capa iStock photo

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blucher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Setz, Luiz Fernando Grespan

O processamento cerâmico sem mistério / Luiz Fernando Grespan Setz, Antonio Carlos da Silva. – 2. ed. ampliada -São Paulo : Blucher, 2022.

295 p. : il.

Bibliografia

ISBN 978-65-5506-527-5 (impresso)

ISBN 978-65-5506-528-2 (eletrônico)

1. Cerâmica 2. Cerâmica – Indústria 3. Material cerâmico 4. Cerâmica (Tecnologia) I. Título II. Antonio Carlos da Silva

22-1486

CDD 666

Índice para catálogo sistemático:
1. Cerâmica

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	19
2. BREVE HISTÓRICO	21
Classificação	24
Referências	26
3. CERÂMICAS TRADICIONAIS	27
Matérias-primas naturais	27
Referências	33
4. CERÂMICAS AVANÇADAS	35
Matérias-primas sintéticas	35
Técnicas de síntese de materiais cerâmicos	40
Referências	45
5. VIDROS E VITROCERÂMICOS	47
Tipos de vidros	50
Formação e estrutura dos vidros silicatos	52
Obtenção de vidros silicatos	66

Vitrocerâmicos	80
Propriedades dos materiais vitrocerâmicos	85
Referências	86
6. FORMULAÇÃO CERÂMICA E DIAGRAMAS DE EQUILÍBRIO	89
Preparação da massa	89
Formulação de cerâmicas e vidros	90
Introdução aos diagramas de fases	90
Diagramas ternários e multicomponentes	107
Cálculo de composição para cerâmicas e vidros	125
Referências	133
7. TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO	135
Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	135
Difração de raios X (DRX)	139
Área de superfície específica (BET)	140
Distribuição de tamanho de partículas	141
Análise térmica diferencial (ATD)	149
Análise calorimétrica exploratória diferencial (DSC)	151
Análise termogravimétrica (ATG)	152
Densidade	153
Referências	159
8. PROCESSAMENTO	161
Preparação das matérias-primas (cominuição)	161
Processos de conformação	168
Esmaltação	208
Referências	213
9. PROCESSAMENTO DE VIDROS	219
Técnicas de conformação	220
Referências	245

10. TRATAMENTO TÉRMICO	247
Processos de pré-sinterização	247
Sinterização	252
Microestrutura	262
Referências	266
11. FORNOS CERÂMICOS	269
Fornos intermitentes	269
Fornos contínuos	277
Controle de temperatura	280
Referências	282
ANEXOS	285
SOBRE OS AUTORES	295

CAPÍTULO 1

Introdução

O conjunto de atividades relacionadas com a obtenção de um produto cerâmico qualquer é denominado processamento cerâmico. Os componentes gerados desde os primórdios da civilização e ao longo dos séculos evoluíram, assim como as técnicas de produção, ainda que os princípios permaneçam os mesmos. O avanço tecnológico, bem como o desenvolvimento de novos materiais, tem possibilitado a inserção de componentes cerâmicos nos mais diversos setores da indústria; além de nos tradicionais materiais utilizados na construção civil (telhas, tijolos, manilhas, revestimentos etc.), também têm sido usados em componentes aeroespaciais, próteses ortopédicas, ferramentas de corte, aplicações eletrônicas, sensores, componentes para geração de energia (células a combustível), entre outros.

O desenvolvimento de novas técnicas de conformação, assim como o conhecimento e o aperfeiçoamento das técnicas tradicionalmente utilizadas, é de suma importância para a obtenção de produtos íntegros. E, assim, este livro foi elaborado com o objetivo de destacar de maneira clara e objetiva os conceitos fundamentais envolvidos nas diversas etapas do processamento cerâmico.

CAPÍTULO 2

Breve histórico

A palavra cerâmica tem origem na palavra grega *keramos* (κέραμος), e significa “sólido queimado”. A atividade cerâmica é bastante antiga, e as primeiras peças conformadas remontam ao final do Período Neolítico (de 26.000 a.C. até 5.000 a.C.). No Japão foram encontradas peças com cerca de 8 mil anos. Desde então, a habilidade de manufaturar peças cerâmicas se espalhou pelo mundo [1].

À medida que as civilizações foram evoluindo, surgiu a necessidade de armazenar água e mantimentos; assim, tendo o barro à disposição, um material que com uma pequena quantidade de água adquire plasticidade e pode ser moldado nas mais variadas formas, ele começou a ser utilizado. A partir desse momento teve início o processamento dos materiais cerâmicos. Pode-se dizer que, no instante em que o homem passou a utilizar o fogo para endurecer as peças de barro conformadas, ainda que não se saiba exatamente a maneira como esse processo ocorreu, nasceu a indústria cerâmica. A despeito de todos os processos de fabricação serem artesanais, ela é considerada a mais antiga das indústrias [2].

Na China e no Egito há registros da utilização de cerâmica há mais de 5 mil anos. Em tumbas de faraós do antigo Egito, vários vasos de cerâmica eram usados para armazenar vinho, óleos e perfumes para fins religiosos (Figura 2.1). Porém um dos maiores exemplos na arte da manufatura cerâmica é representado pelo Exército de Terracota (Figura 2.2). Ele foi descoberto em 1974 perto de Xian (China), durante trabalhos em canais de irrigação, e consiste em mais de 7 mil estátuas de guerreiros, cavalos e até carruagens em tamanho natural. Quando foi descoberto, o exército, que fazia parte do mausoléu do imperador Qin Shi Huang (260 a.C.-210 a.C.), estava

disposto em formação completa de batalha, e incluía a linha de infantaria, arqueiros ajoelhados e carroças com seus cavalos e condutores. Meticulosamente construídas, as estátuas possuem diferentes formas, expressões faciais e cortes de cabelo. O termo *terracota* é empregado para designar argilas modeladas e cozidas em forno [3].



Figura 2.1 Vasos egípcios.

Fonte: Metropolitan Museum of Art, Wikimedia Commons.



Figura 2.2 Componentes do Exército de Terracota.

Fonte: iStockphoto.

No Brasil, há vestígios de cerâmicas primitivas na região amazônica que datam de aproximadamente 1.600 a.C., assim como de cerâmicas na Ilha de Marajó (400-1.300 d.C.) (Figura 2.3). As cerâmicas marajoaras, entretanto, eram elaboradas, indicando uma especialização artesanal a partir de diversas técnicas, como raspagem e pintura. Mesmo desconhecendo o torno (que será explicado mais adiante) e operando com instrumentos rudimentares, as cerâmicas produzidas pelas civilizações marajoaras

eram avançadas, o que indica a superação dos estágios primitivos das idades da Pedra e do Bronze [4].

Quando chegaram ao Brasil, os portugueses estruturaram e concentraram os trabalhos cerâmicos desenvolvidos pelos indígenas ao introduzir o uso do torno. Com o uso da tornearia, as peças passaram a ser confeccionadas com maior simetria, a levar menos tempo para serem executadas e a apresentar melhor acabamento [5].



Figura 2.3 Exemplo de cerâmica marajoara.

Fonte: iStockphoto.

Em termos de evolução técnico-científica, os materiais cerâmicos podem ser divididos de acordo com três diferentes períodos.

O primeiro, denominado *keramos*, abrange da pré-história até aproximadamente 1900. Nesse período, as peças obtidas, a partir de matérias-primas naturais, eram queimadas em fornos rudimentares, e toda a tecnologia era baseada na experiência de produção artesanal transmitida de pai para filho [4].

O segundo período, denominado período industrial dos silicatos, vai de 1900 até aproximadamente 1940, e corresponde ao início da produção de materiais cerâmicos a partir de matérias-primas naturais em escala industrial. Aqui, cimentos e vidros, materiais cerâmicos muitas vezes classificados à parte, também passaram a ser produzidos industrialmente, e a ciência avançou nos estudos para conhecer melhor o que já era obtido na prática [4].

O terceiro período, denominado período das cerâmicas avançadas ou período das cerâmicas de alta tecnologia, inicia-se por volta de 1940 e continua até os dias atuais. Nele, vemos um aprofundamento nas pesquisas e um rápido desenvolvimento de novos materiais com o advento da ciência dos materiais. Os materiais cerâmicos sintéticos, bem como as técnicas para obtê-los, passaram a ganhar destaque nos mais diversos setores de atividades (medicina, aeroespacial, embalagens etc.) [4].

Na prática, porém, devido à sua grande variedade, os materiais cerâmicos são classificados por segmentos em função de diversos fatores, por exemplo, matérias-primas e propriedades, mas, principalmente, por áreas de utilização. Por isso, de acordo com

a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCeram),¹ deve ser adotada a classificação descrita a seguir [5].

CLASSIFICAÇÃO

Cerâmica vermelha: compreende os materiais que adquirem uma coloração avermelhada após o processo de queima e que são empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também na fabricação de utensílios de uso doméstico. As lajotas, ainda que sejam utilizadas como material de revestimento, muitas vezes são enquadradas neste grupo.

Revestimento (placa cerâmica): o material em forma de placa usado na construção civil para revestimento de paredes, pisos, bancadas, piscinas, ambientes internos e externos faz parte deste segmento. Em função de sua capacidade de absorção de água, dimensão e resistência mecânica, é utilizado em azulejos, pastilhas, porcelanatos, grês, lajotas, pisos etc.

As placas cerâmicas para revestimento são classificadas em função de sua capacidade de absorção de água, da seguinte maneira:

- porcelanatos: baixa absorção e resistência mecânica alta (de 0,0% a 0,5%);
- grês: baixa absorção e resistência mecânica alta (de 0,5% a 3,0%);
- semigrês: média absorção e resistência mecânica média (de 3,0% a 6,0%);
- semiporosos: alta absorção e resistência mecânica baixa (de 6,0% a 10,0%);
- porosos: alta absorção e resistência mecânica baixa (acima de 10,0%).

Cerâmica branca: este grupo é bastante diversificado, compreendendo materiais constituídos por um corpo branco e muitas vezes recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor (vidrados). Passaram a ser agrupados pela cor branca da massa, o que era necessário por razões estéticas e/ou técnicas. Com o advento dos vidrados opacificados, muitos dos produtos enquadrados neste grupo passaram a ser fabricados, sem prejuízo das características necessárias para uma dada aplicação, a partir de matérias-primas com certo grau de impurezas responsáveis pela coloração. Por isso é mais adequado subdividir este grupo em:

- louça sanitária;
- louça de mesa;
- isoladores elétricos para alta e baixa tensões;
- cerâmica artística (decorativa e utilitária);
- cerâmicas técnicas diversas (químicas, elétricas, térmicas e mecânicas).

¹ Os autores possuem autorização formal da instituição para reproduzir neste livro informações de matérias-primas e fluxogramas contidas no site da ABCeram.

Materiais refratários: os produtos refratários têm como finalidade suportar temperaturas elevadas (mínimo de 1.500 °C) [6], mantendo suas propriedades nas condições específicas de cada processo durante a operação dos equipamentos industriais, que envolve, geralmente, esforços mecânicos, ataques químicos (ácidos e alcalinos) e choques térmicos. Para suportar as exigências de cada condição, desenvolveram-se inúmeros tipos de produtos a partir de diferentes matérias-primas, os quais podem ser classificados quanto a matérias-primas ou quanto aos seus principais componentes químicos, como sílica, sílico-aluminoso, aluminoso, mulita, cromítico-magnesiano, carbetto de silício, grafita, carbono, zircônia, zirconita, espinélio e outros.

Isolantes térmicos: neste segmento, os produtos são classificados como:

- refratários isolantes: enquadram-se no segmento de refratários;
- isolantes térmicos não refratários: compreendem produtos como vermiculita expandida, sílica diatomácea, diatomito, silicato de cálcio, lâ de vidro e lâ de rocha obtidos por processos distintos do processo dos refratários isolantes, e podem ser utilizados, dependendo do tipo de produto, em temperaturas de até 1.100 °C;
- fibras ou lâs cerâmicas: apresentam características físicas semelhantes às dos isolantes térmicos não refratários, porém com composições de sílica, sílica-alumina, alumina e zircônia, podendo chegar a temperaturas de utilização de até 2.000 °C.

Fritas e corantes: estes dois produtos constituem importantes matérias-primas em diversos segmentos cerâmicos que necessitam de acabamento. A frita (ou vidrado fritado) é um vidro moído, produzido a partir da fusão de diferentes matérias-primas. É aplicada na superfície do corpo cerâmico, que, após a queima, adquire aspecto vítreo (esmalte). Esse acabamento, basicamente, tem por finalidade melhorar a estética, impermeabilizar a peça e aumentar a resistência mecânica.

Os corantes são constituídos de óxidos puros ou pigmentos inorgânicos sintéticos obtidos a partir da mistura de óxidos ou de seus compostos. Os pigmentos são fabricados por empresas especializadas, inclusive por muitas das que produzem fritas, e sua obtenção envolve mistura de matérias-primas, calcinação e moagem. Eles são adicionados aos esmaltes (vidrados) ou aos corpos cerâmicos para conferir-lhes colorações de diversas tonalidades e efeitos.

Abrasivos: parte da indústria de abrasivos, por utilizar matérias-primas e processos semelhantes aos da cerâmica, constitui um segmento cerâmico. Entre os produtos mais conhecidos, podemos citar o óxido de alumínio eletrofundido e o carbetto de silício, que são empregados na confecção de lixas, rebolos e ferramentas de corte.

Cerâmica de alta tecnologia (cerâmica avançada): o advento da ciência dos materiais proporcionou ao homem o desenvolvimento de novas tecnologias e o aprimoramento daquelas existentes nas mais diferentes áreas, como a aeroespacial, a eletrônica, a nuclear e muitas outras, que passaram a exigir materiais com alto grau de especificidade. Tais materiais passaram a ser desenvolvidos a partir de matérias-primas sintéticas de altíssima pureza por meio de processos rigorosamente controlados. De acordo com suas funções específicas eles são classificados em: eletroeletrônicos, magnéticos, ópticos, químicos, térmicos, mecânicos, biológicos e nucleares. São exemplos deste

tipo de cerâmica: revestimentos de naves espaciais, combustíveis para usinas nucleares (UO_2), próteses ortopédicas, aparelhos de vídeo e som, catalisadores para automóveis, sensores diversos, ferramentas de corte etc. [7].

Vidros e cimentos: os cimentos e os vidros constituem segmentos cerâmicos importantes; porém, devido às suas particularidades, muitas vezes são considerados como algo à parte da cerâmica. Os materiais cimentícios, devido à grande aplicação que encontram na engenharia civil, acabam promovendo a maior parte dos estudos voltados a essa área. O processamento vítreo, devido a sua importância, tanto isoladamente como em associação com outros produtos cerâmicos, será abordado adequadamente neste livro mais adiante.

A classificação apresentada se concentra na aplicação dos produtos acabados. Porém, como o escopo deste livro é abordar o comportamento dos materiais durante a sua fabricação sem considerar um produto final específico, a melhor maneira de classificar os materiais cerâmicos é basear-se na origem das matérias-primas empregadas. Assim, conseguimos englobar tudo em basicamente dois grupos [8]:

- cerâmicas tradicionais: os produtos finais são obtidos por meio de matérias-primas naturais, ou seja, extraídas da natureza;
- cerâmicas avançadas: os produtos obtidos baseiam-se no uso de matérias-primas sintetizadas a partir de matérias-primas naturais ou reagentes químicos com elevados graus de pureza.

As cerâmicas tradicionais, bem como as rotas de síntese mais utilizadas para a produção das cerâmicas avançadas, também serão abrangidas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] KINGERY, W. D.; BOWEN, H. K.; UHLMANN, D. R. **Introduction to ceramics**. 2. ed. New York: Wiley-Interscience, 1976.
- [2] ZANDONADI, A. R. Introdução. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Ed.). **Curso internacional de treinamento em grupo em tecnologia cerâmica**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.
- [3] RING, T. A. **Fundamentals of ceramic powder processing and synthesis**. San Diego: Academic Press, 1996.
- [4] ALMEIDA, F. O. Cerâmica antiga na periferia leste amazônica: o sítio Remanso/MA. **Amazônica**, v. 5, n. 1, p. 72-96, 2013.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABCeram). Disponível em: <http://www.abceram.org.br/>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- [6] SEGADÃES, A. M. **Refractários**. Aveiro: Universidade de Aveiro, 1997.
- [7] BORMANS, P. **Ceramics are more than clay alone**. Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2004.
- [8] BARSOUM, M. W. **Fundamentals of ceramics**. Bristol: IOP Publishing, 2003.

O processamento cerâmico pode ser definido como o conjunto de operações pelas quais, a partir de um ou mais materiais de partida, se obtêm peças com a forma e a estrutura desejadas.

O advento da ciência dos materiais e o desenvolvimento de novas tecnologias permitiram que os produtos cerâmicos fossem inseridos nos mais diversos setores da indústria, além das já tradicionais aplicações domésticas (jarras, canecas, pratos, etc.) e da construção civil (telhas, tijolos, manilhas, revestimentos, pias, etc.). Porém, que continuam a ser produzidos de acordo com os mesmos princípios dos produtos feitos há mais de 10 mil anos.

Nesta segunda edição do livro, além dos conceitos fundamentais já apresentados na primeira edição, e alguns ajustes, o leitor irá encontrar: um capítulo inédito sobre fornos usados nos diferentes seguimentos cerâmicos e as condições para se fazer uma adequada queima; a metodologia para determinação das densidades dos materiais; o método Pfefferkorn para determinação da plasticidade de massas cerâmicas; a explicação do funcionamento de um filtro-prensa; maior detalhamento do processo de colagem; além da explicação sobre o processo de esmaltação. Esperamos que, nessa nova edição este livro seja um guia rápido de consulta sempre à mão, para engenheiros químicos, engenheiros de materiais, químicos e ceramistas, sejam eles jovens ou experientes.



www.blucher.com.br

Blucher



Clique aqui e:

[VEJA NA LOJA](#)

O Processamento Cerâmico sem Mistério

**Antonio Carlos da Silva, Luiz Fernando Grespan Setz
e Reinaldo Azevedo Vargas**

ISBN: 9786555065275

Páginas: 296

Formato: 24 x 17 cm

Ano de Publicação: 2022
