

CERÂMICA REFRAATÁRIA

São materiais multicomponentes, polifásicos, policristalinos, estáveis volumetricamente, capazes de resistir a ambientes hostis sob solicitações diversas, tais como altas temperaturas, altas cargas mecânicas, oscilações de temperaturas, abrasão, erosão, corrosão e impacto.

Obtenção das cerâmicas refratárias



Fonte: Elaborado pelo autor.

As cerâmicas refratárias podem apresentar as seguintes características:

- . **Expansão térmica:** *Apresenta baixo coeficiente de expansão térmica, ou seja, ao sofrer aumento de temperatura o material dilata pouco (mantém seu volume).*
- . **Isolante térmico:** *Possui baixa condutividade térmica, dificultando a passagem / condução de calor.*
- . **Isolante elétrico:** *Oferece grande oposição à passagem de cargas elétricas. Pode ser usada para separar condutores elétricos sem transmitir a corrente de um para outro.*
- . **Durabilidade:** *Capacidade de manter suas condições originais por um tempo longo.*
- . **Refratária:** *Suporta temperaturas elevadas sem se decompor ou entrar em fusão.*
- . **Densidade:** *O material possui baixa densidade, ou seja, é leve.*
- . **Resistência:** *Apresenta alta resistência mecânica em altas temperaturas, resistência a penetração de escórias, ao desgaste, a oscilações de temperaturas, a abrasão, a erosão, a corrosão e ao impacto.*

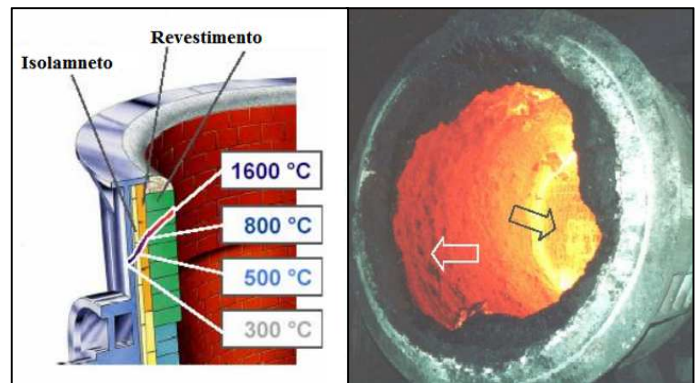
Vídeo sugerido: “O que são produtos refratários?”

<https://www.youtube.com/watch?v=5y7d1VQI5vE&t=3s>

ONDE SOU USADO?

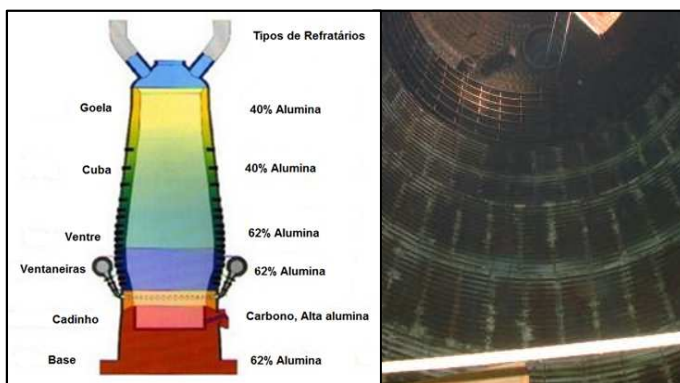
Baixo coeficiente de expansão térmica, baixa condutividade térmica, baixa densidade, alta resistência mecânica em altas temperaturas, resistência a penetração de escórias, entre outros.

Revestimento de panela de transporte de aço fundido



Fonte: DUARTE (2013).

Revestimento de alto forno para produção de ferro gusa



(a)

(b)

- (a) Parte internado alto forno com o revestimento refratário instalado e
(b) Tipos de refratários utilizados no revestimento de um alto forno

Alta refratariedade, alta resistência mecânica em altas temperaturas, resistência a penetração de escórias, resistência a choques térmicos, quimicamente inertes e baixa condutividade térmica.

<https://www.fbengenharia.com.br/77-fbengenharia/obras/79-altoforno-csa>

Baixa condutividade térmica, baixo coeficiente de expansão térmica e resistência a choques térmicos.

Revestimento de lareira a lenha ou a gás



<https://suadecoracao.com/tijolos-refratarios-aplicacoes-e-propriedades/>

Revestimento de forno de pizza



<https://casaconstrucao.org/materiais/tijolo-refratario/>

Baixa condutividade térmica, baixo coeficiente de expansão térmica, baixa condutividade térmica e alta capacidade de reter calor.

(*) Para outras aplicações para cerâmicas refratárias, ver Anexo 2.

VOCÊ SABIA?

I – Qual o consumo de refratários em percentual pelo mundo?

No médio prazo, os principais fatores que impulsionam o mercado são o forte crescimento da produção de ferro e aço nos países emergentes e o aumento da produção de materiais não ferrosos. Os refratários são utilizados para aplicações de revestimentos internos em produções de aços ferrosos e não ferrosos.

Consumo de refratários em percentual no mundo

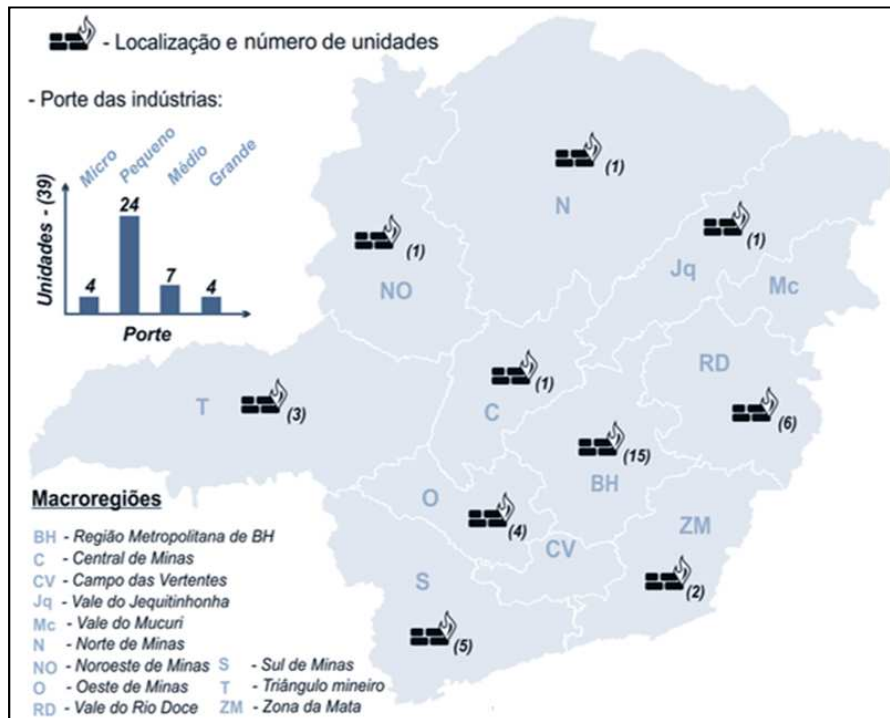


Fonte: CIEMG (2018).

II – Quais as principais unidades produtoras de materiais refratários no estado de Minas Gerais?

No mercado global de refratários existem cinco principais empresas que atendem cerca de 35% da demanda mundial. Os principais players incluem RHI Magnesita GmbH, Vesuvius, Krosaki Harima Corporation, Shinagawa Refractories Co. Ltda, e Saint-Gobain.

Mapa das unidades produtoras de materiais refratários no estado de Minas Gerais



<http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/argilas-e-materiais-refratarios/>

CRÉDITOS

Redação: Camila Ferreira Santiago

Diagramação: Arthur Ferreira Borges

Revisão Ortográfica: Gustavo Luís de Oliveira

Aprovação: Prof. Paulo Renato Perdigão de Paiva

Atualização: mai/23

FONTES

AMARAL, Elisa Monteiro. Análise da Influência da granulometria e dispersão das partículas nas propriedades de concretos refratários. [S.l.:s.n.], 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (AB CERAM). Informações técnicas: definição e classificação. Disponível em: <https://abceram.org.br/>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (AB CERAM). Informações técnicas: matérias-primas naturais. Disponível em: <https://abceram.org.br/>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (AB CERAM). Informações técnicas: matérias-primas sintéticas. Disponível em: <https://abceram.org.br/>.

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução. LTC, 9ª Edição, 865 p, 2016.

CONNER, L. Refractories Manufacturing NESHAP: Industry Profile, Methodology and Economic Impact Analysis, Tech. Report, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, p. 52, 2001.

DUARTE, A. K. Curso: Linha de Produtos em Materiais Refratários. Belo Horizonte: [s.n.], 2013.

INFORMAÇÃO TÉCNICA – DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO. Disponível em: <https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em 27 de junho de 2023.

MATOS, José Vale. Apostila Refratários Básicos. [S.l.:s.n.], 2009.

MATOS, José Vale. Cominuição: Britagem e Moagem. [S.l.:s.n.], 2009.

Mercado de Refratários – Crescimentos, tendências, impacto da covid – 19 e previsões (2023 - 2028). Disponível em : <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/refractories-market>. Acesso em 28 de junho de 2023.

SETZ, L. F. G.; SILVA, A. C. O processamento cerâmico sem mistério. 1o Edição, 256 p, 2019.

VICTORIA, Anderson Magalhães. Argilas e minerais refratários. Disponível em: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/wp-content/uploads/2018/10/ArgilasRefratarios.pdf>. Acesso em 05 de agosto de 2023.

<https://casaconstrucao.org/materiais/tijolo-refratario/>

<http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/argilas-e-materiais-refratarios/>

<https://suadecoracao.com/tijolos-refratarios-aplicacoes-e-propriedades/>

<https://www.fbengenharia.com.br/77-fbengenharia/obras/79-altoforno-csa>

<https://ztechrefratarios.com.br/site/portfolio-posts/massas-de-reparo/>

OBTENÇÃO DAS CERÂMICAS REFRAATÁRIAS

A1 - PRINCIPAIS MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS

MATÉRIAS-PRIMAS NATURAIS	
Andalusita Cianita Silimanita	Fórmula química $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Teor teórico em óxido de alumínio de 62,7% e em sílica de 37,3%. Os três minerais diferem pela estrutura cristalina e pelo comportamento térmico.
Argila	Pertence ao grupo dos argilominerais e é composta, principalmente, por caulinita, illita e esmectitas ou montmorilonita. Devido à presença de potássio, ferro e outros elementos, a refratariedade pode ser sensivelmente reduzida.
Bauxita	Composta por minerais de hidróxido de alumínio: gibbsita ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$), diásporo ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{H}_2\text{O}$) e boemita ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{H}_2\text{O}$).
Cromita	Constituída por uma série de minerais do grupo dos espinélios, tais como: cromita ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$) e picrocromita ($\text{MgO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$).
Dolomita	Carbonato duplo de cálcio e magnésio, ($\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$), correspondendo a um teor teórico de cerca de 54,5% de carbonato de cálcio e 45,5% de carbonato de magnésio.
Grafita	Formada de carbono cristalizado, apresenta-se sob a forma de palhetas brilhantes (grafita lamelar) ou em partículas sem brilho (grafita amorfa). Encontra-se, normalmente, associada a impurezas tais como quartzo, feldspato e mica. É necessário concentrar o minério, classificá-lo e, para algumas aplicações, melhorar a pureza do concentrado.
Magnesita	Carbonato de magnésio (MgCO_3), cuja composição química teórica é 47,7% de MgO e 52,3% de CO_2 .
Quartzo	É uma das formas cristalinas da sílica (SiO_2). As formas cristalinas da sílica são a cristobalita e a tridimita.
Zirconita	Denominada também de zircão, é um silicato de zircônio ($\text{ZrO}_2\cdot\text{SiO}_2$) correspondendo a um teor teórico de 67% de ZrO_2 e 33% SiO_2 . Quando submetida a temperaturas elevadas, na faixa de 1500°C a 1600°C, se decompõe em óxido de zircônio e sílica.

Fonte ABCERAM (2023b).

MATÉRIAS-PRIMAS SINTÉTICAS

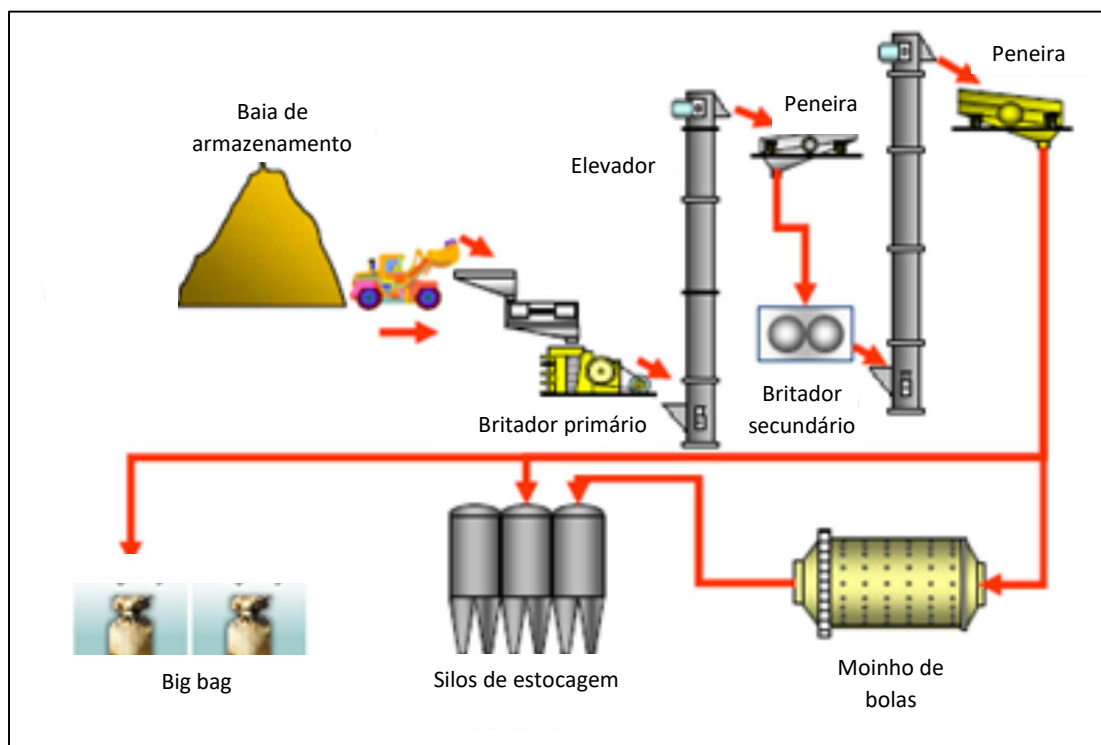
Alumina calcinada	Obtida pelo tratamento térmico com temperaturas que variam de 1250°C a 1500°C, visando principalmente reduzir o teor de Na ₂ O e controlar o tamanho e forma dos cristais que tem influência sobre as propriedades finais do produto cerâmico.
Alumina eletrofundida marrom	A matéria-prima principal é a bauxita calcinada, que em mistura com coque de petróleo ilmenita e cavaco de ferro, sofre um processo de fusão em fornos elétricos especiais, formando após o resfriamento, blocos do produto desejado.
Alumina eletrofundida branca	Também conhecida como óxido de alumínio eletrofundido branco. O processo de fabricação assemelha-se ao da fabricação de óxido de alumínio eletrofundido marrom. A matéria-prima para produção desse material é a alumina.
Alumina tabular	Obtida pela calcinação da alumina em temperatura próxima a de fusão do óxido de alumínio (2020°C).
Carbeto de silício	No processo de fabricação emprega-se areia silicosa, tanto quanto possível pura (o teor de SiO ₂ não deve ser inferior a 97%) e coque de petróleo. Adiciona-se ainda cerca de 10% de serragem para facilitar a liberação do monóxido de carbono produzido durante a reação e também, aproximadamente 2% de cloreto de sódio, a fim de eliminar parte das impurezas sob a forma de cloretos metálicos voláteis. A mistura é colocada num forno de formato retangular a uma temperatura superior a 2000°C durante aproximadamente 36 horas.
Mulita - Zircônia	Obtida a partir de uma mistura de alumina (Al ₂ O ₃) e Zircônia (ZrO ₂ .SiO ₂).
Espinélio	O espinélio (MgO.Al ₂ O ₃) é obtido sinteticamente por sinterização ou por fusão. No processo de sinterização a mistura das matérias-primas, na forma de tortas ou briquetes, é calcinada em temperaturas superiores a 1700°C. Em seguida é moída e classificada granulometricamente. No processo de fusão, a mistura é fundida em fornos elétricos a arco em temperaturas superiores a 2400°C. A composição teórica do espinélio MgO.Al ₂ O ₃ corresponde a 28,3% de MgO e 71,7% de Al ₂ O ₃ .
Sílica ativa	Produto resultante do processo de fabricação de ferro-silício ou de silício metálico.
Mulita sintética	Silicato de alumínio (3Al ₂ O ₃ .2SiO ₂), correspondendo a 71,8% de Al ₂ O ₃ e 28,2% de SiO ₂ . É produzida tanto por fusão quanto por sinterização. - <i>Por fusão</i> : a mulita escura é obtida por meio de um processo semelhante ao do óxido de alumínio eletrofundido marrom (utilizando como matérias primas a bauxita e o quartzo ou bauxita e a argila) e a mulita branca (obtida por processo semelhante ao óxido de alumínio eletrofundido branco, utilizando como matérias primas alumina calcinada e quartzo). - <i>Por sinterização</i> : utiliza diferentes misturas, constituídas predominantemente de silicatos de alumínio (argilas cauliníticas, cianita, andalusita e silimanita) e alumina calcinada.

Fonte: ABCERAM (2023c).

A2 - PROCESSAMENTO DAS MATÉRIAS-PRIMAS NATURAIS E SINTÉTICAS

O processamento das matérias-primas naturais, beneficiadas, calcinadas e/ou eletrofundidas passam pelas etapas de extração ou produção, britagem primária, peneiramento, britagem secundária, peneiramento, moagem e estocagem, para adequar a faixa granulométrica à sua utilização.

Processamento da matéria-prima



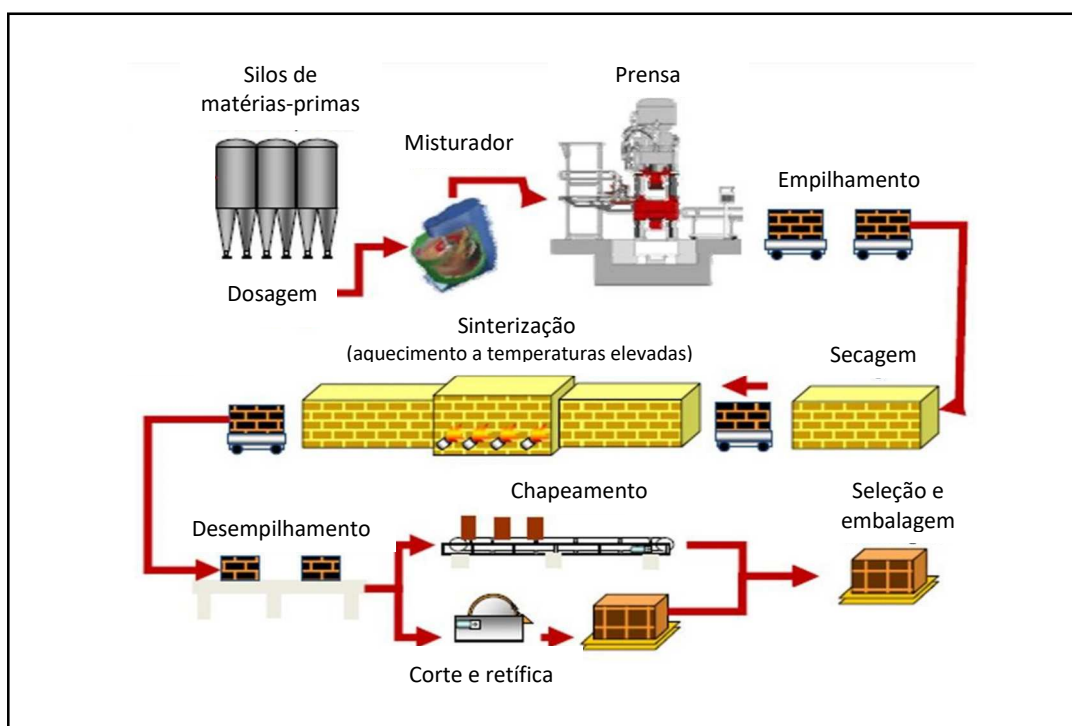
Fonte: Adaptado de MATOS, 2009.

B1 - CONFORMAÇÃO DOS REFRAATÓRIOS

Refratários moldados

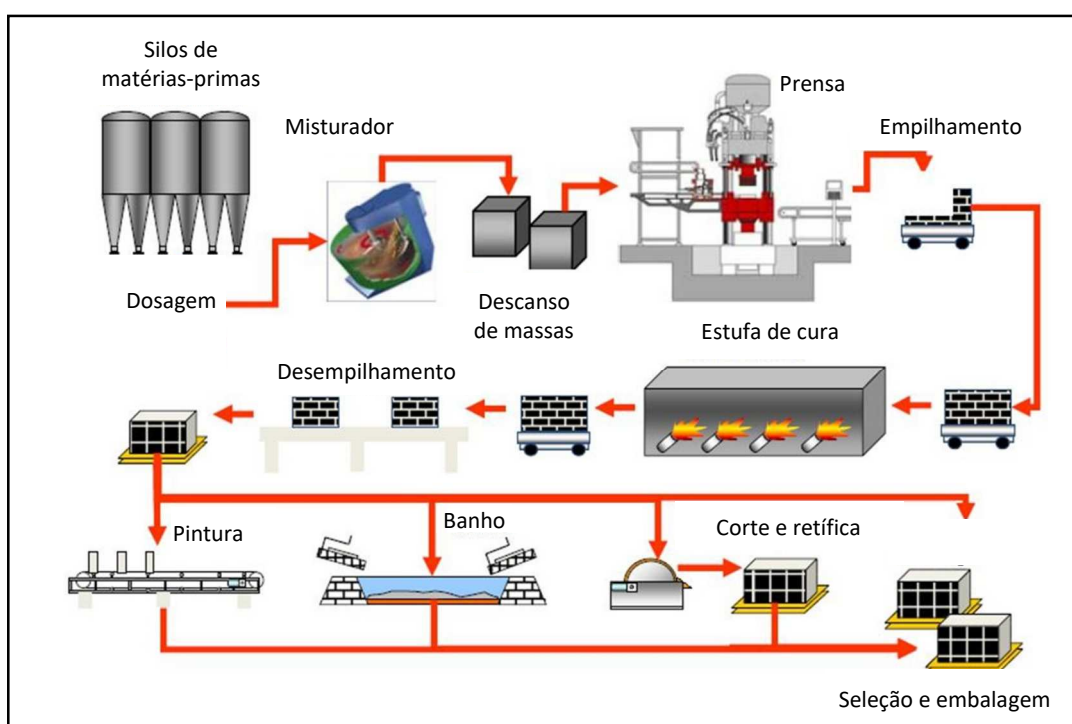
A fabricação de um material refratário moldado se inicia no beneficiamento das matérias-primas, por meio de britagem, moagem e classificação. Após esta etapa, as matérias-primas, armazenadas em silos, são dosadas e misturadas nas proporções específicas de cada produto. Na sequência, os refratários passam pelas etapas de conformação (prensagem), secagem, tratamento térmico (sinterização ou queima) e embalagem. O tratamento térmico nos refratários moldados pode ser pelo processo de queima (refratários queimados) em fornos elétricos ou por processo de cura (refratários quimicamente ligados).

Fluxograma da fabricação de refratários queimados



Fonte: Adaptado de MATOS (2009).

Fluxograma da fabricação de refratários quimicamente ligados



Fonte: DUARTE (2013).

Tijolos

Os tijolos refratários são produzidos por prensagem e são mais utilizados em paredes de fornos siderúrgicos, fornos de reaquecimento e câmaras de combustão.

Refratários moldados: tijolos



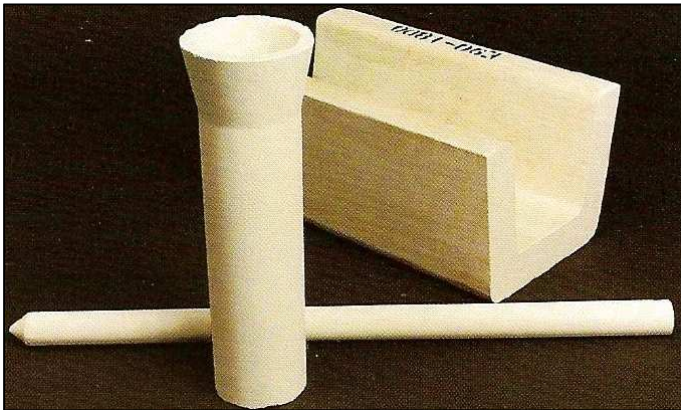
Fonte: DUARTE (2013).



<https://casaconstrucao.org/materiais/tijolo-refratario/>

Peças especiais

Refratários moldados: peças especiais



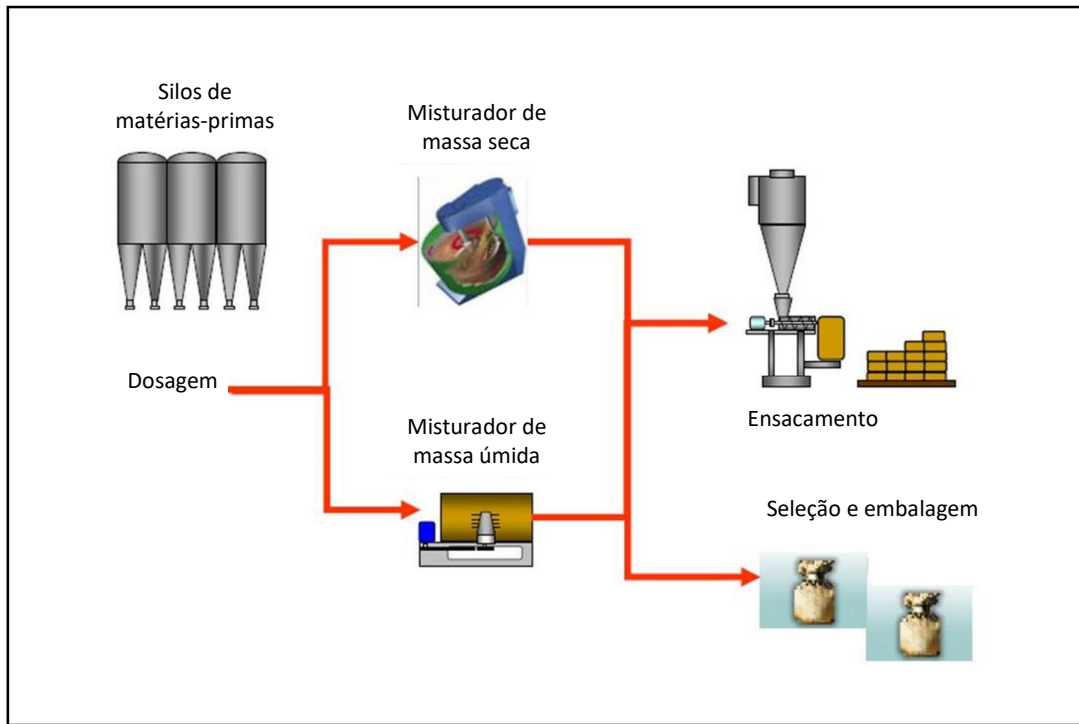
Fonte: DUARTE (2013).

As peças especiais refratárias apresentam formatos e aplicações diversas e são fabricadas em carbetos de silício ligado a nitreto de silício, carbetos de silício, mulita e alta alumina, em forma de tijolos. São aplicadas em fornos cerâmicos ou metalúrgicos, blocos de queimadores, muflas, luvas para ventaneiras, ciclones e revestimentos internos para fornos e equipamentos térmicos em geral.

Refratários monolíticos

A produção dos refratários monolíticos se inicia com a escolha das matérias-primas (naturais, beneficiadas, calcinadas e/ou eletrofundidas). Em seguida, as faixas granulométricas específicas são, então, misturadas a seco ou a úmido, dependendo do produto final a ser obtido.

Fluxograma da fabricação de refratários monolíticos



Fonte: Adaptado de MATOS (2009).

Argamassas

Refratários monolíticos: argamassa



A argamassa refratária é um concreto refratário sílico aluminoso, isolante e de pega hidráulica. É utilizada em isolamento térmico em geral, fornos de reaquecimento, assentamento de tijolos densos sílico-aluminosos, assentamento de tijolos isolantes sílico-aluminosos, entre outros.

Fonte: DUARTE (2013).

Massas de socar

As massas de socar refratárias são a base de alumina e carbetos de silício, úmidas e de pega ao ar, para aplicação por socagem. Apresentam elevada resistência a erosão/corrosão quando em contato com ferro gusa e escória. Utilizadas em confecção e reparo do canal principal de altos fornos de pequena e média tonelagem e em confecção e reparo de canais secundários de gusa e escória de altos fornos em geral.

Refratários monolíticos: massa de socar



Fonte: DUARTE (2013).



Fonte: DUARTE (2013).

Massa plástica refratária

Refratários monolíticos: massa plástica



As massas plásticas refratárias são de mulita, de pega química a base de mulita eletrofundida. Utilizadas em câmaras de combustão, peças especiais para fornos de reaquecimento contínuos ou intermitentes e câmaras de fornos de pelletização.

<https://ztechrefratarios.com.br/site/portfolio-posts/massas-de-reparo/>

Pinturas refratárias

Refratários monolíticos: pintura refratária



Fonte: DUARTE (2013).

Pinturas refratárias são tintas isolantes, desmoldantes, condutoras, semicondutoras e lubrificantes, empregadas em fundição de metais ferrosos e não ferrosos, nos processos de gravidade em coquilha e baixa pressão e sob pressão.

Massas de projeção, massas de injeção e massas de cobertura

Massas de projeção, massas de injeção e massas de cobertura são massas refratárias sílico-aluminosas, de pega ao ar e de alta plasticidade para revestimentos isolantes. São utilizadas em isolamento industrial ou com isolantes para aplicações de uso geral.

Refratários monolíticos: massas de projeção, massas de injeção e massas de cobertura



Fonte: DUARTE (2013).



Fonte: DUARTE (2013).

Concretos refratários

Refratários monolíticos: concretos



Fonte: DUARTE (2013).

Concretos refratários são concretos sílico-aluminoso, aluminoso, denso e de pega hidráulica. Utilizados em projeção em altos-fornos, fornos rotativos, fornos de cal, fornos de reaquecimento e aplicações de uso geral.

As plantas industriais utilizam diversos tipos de refratários, produzidos de acordo com as funções exigidas pelos processos. A escolha do refratário adequado deve levar em consideração os fatores segurança, eficiência energética, impacto ambiental, qualidade e custo do produto. A seguir, um resumo com as principais características e aplicações industriais dos refratários.

Resumo das características e aplicações de cerâmicas refratárias

TIPO DE REFRAATÁRIO	CARACTERÍSTICAS GERAIS	APLICAÇÕES
Sílica	Alta resistência em altas temperaturas. Expansão residual e baixa densidade. Baixo coeficiente de expansão em altas temperaturas. Baixo coeficiente de expansão em baixas temperaturas.	Forno para fusão de vidro. Forno para refino de cobre. Forno elétrico a arco (cobertura).
Sílica fundida	Baixo coeficiente de expansão térmica. Alta resistência a choques térmicos. Baixa condutividade térmica. Baixa densidade. Baixo calor específico.	Forno de coque. Fogão de resistência. Poço de imersão. Forno para fusão de vidro.
Sílico-aluminosos	Baixo coeficiente de expansão térmica. Baixa condutividade térmica. Baixa densidade. Baixo calor específico. Alta resistência mecânica em altas temperaturas. Resistência a penetração de escórias.	Panela (metalurgia). Forno de coque. Forno anelar. Alto forno. Forno de reaquecimento. Poço de imersão.
Espinel	Alta resistência a choques térmicos. Alta resistência mecânica em altas temperaturas. Alta resistência a escórias.	Forno rotativo de cimento. Panela (metalurgia).
Magnésia-cromita	Alta refratariedade. Alta refratariedade sob carga. Alta resistência a escórias básicas. Relativamente alta resistência a choques térmicos. Alta resistência mecânica em altas temperaturas.	Misturador para fundição. Forno elétrico a arco e de panela. Panela (metalurgia). Forno de metais não ferrosos. Forno rotativo de cimento.
Cromita	Alta refratariedade. Boa resistência mecânica em altas temperaturas. Baixa resistência a choques térmicos.	Transições entre regiões ácidas e básicas.
Dolomita	Alta refratariedade. Alta refratariedade sob carga. Alta resistência a escórias básicas. Baixa durabilidade em alta umidade. Alto coeficiente de expansão térmica.	Forno de conversão a oxigênio. Forno elétrico a arco. Forno de panela (aciaria). Forno rotativo de cimento.

TIPO DE REFRATÁRIO	CARACTERÍSTICAS GERAIS	APLICAÇÕES
Carbono	Alta refratariedade. Alta resistência a escórias. Baixa resistência a oxidação.	Coração dos alto forno. Forno elétrico a arco.
Alumina	Alta refratariedade. Alta resistência mecânica. Alta resistência a escórias. Alta densidade. Condutividade térmica relativamente alta.	Poço de imersão e Pit cover. Forno de reaquecimento. Forno para fusão de vidro. Forno de alta temperatura.
Alta alumina	Alta refratariedade. Alta resistência mecânica. Alta resistência a escórias. Alta densidade. Condutividade térmica relativamente alta.	Portão deslizante (fundo forno). Forno para fundição de alumínio. Panela (metalurgia). Incinerador e alto forno. Forno de reaquecimento.
Zircônia	Alta temperatura de fundição. Baixa permeabilidade por metais fundidos. Baixa condutividade térmica. Alta resistência a corrosão. Alta densidade.	Equipamento de fundição contínua. Forno para fusão de vidros. Forno de alta temperatura. Cadinho.
Magnésia	Alta refratariedade. Resistência a compressão relativamente baixa. Alta resistência a escórias básicas. Baixa resistência a choques térmicos.	Misturador para fundição. Forno de panela (aciaria). Forno rotativo. Forno para fusão de vidro.

Fonte: CONNER (2001).