

COLEÇÃO “BOAS PRÁTICAS E TECNOLOGIAS NA CERÂMICA VERMELHA”



FORNOS MULTICÂMARAS

Nº 04/2021



INTRODUÇÃO

Os fornos multicâmaras ou “tipo câmaras” vêm despertando grande interesse na produção de artefatos de cerâmica vermelha, devido à sua maior eficiência energética, alta produtividade, boa qualidade dos produtos e custos relativamente acessíveis diante de outras opções.

Os modelos derivam dos tradicionais fornos Hoffmann e operam de forma semicontínua. Diversos projetos estão disponíveis, cada um deles com algum detalhe interno que os diferenciam, geralmente na passagem dos gases quentes para as câmaras vizinhas.

Os fornos também são conhecidos pelos nomes de seus projetistas ou nome fantasia, como por exemplo: Cedan, Federico, Paskocimas, Eco-Smart, dentre outros. O Eco-Smart tem um diferencial adicional, pois opera com vagonetas para a movimentação das peças para o interior das câmaras, ou seja, o carregamento e o descarregamento do material acontecem fora do forno.



Vista geral



Vista do teto



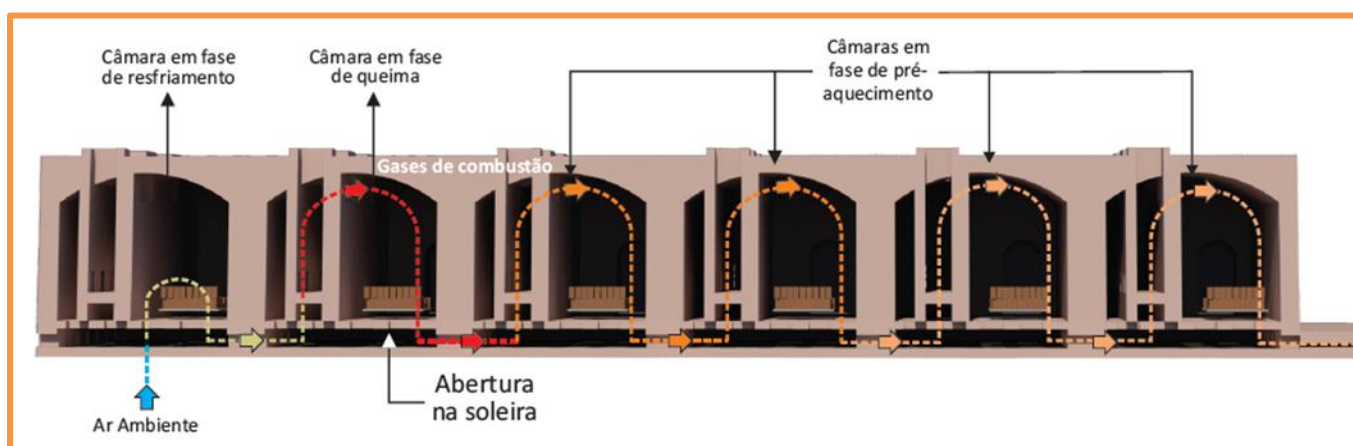
Vista lateral



Forno Eco-Smart

O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO POR QUE ESTE FORNO TEM MAIOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA?

O princípio de funcionamento do forno está baseado no conceito do aproveitamento interno do calor entre as câmaras. Enquanto uma câmara se encontra na fase de queima, o calor de combustão desta câmara é aproveitado nas câmaras posteriores (à frente), promovendo preaquecimento das peças cruas ou verdes já dispostas. Simultaneamente, na câmara anterior a que está sendo queimada, onde os produtos sinterizados estão sendo resfriados, ar ambiente é insuflado e direcionado para a câmara que se encontra na fase de queima, atuando como ar de combustão aquecido. Ou seja, sempre há câmaras operando, como se fossem fornos acoplados uns aos outros e funcionando simultaneamente, como num forno contínuo. **Como resultado, todos esses aproveitamentos internos de calor entre as câmaras tornam o forno mais eficiente e agilizam os ciclos de produção.**



Fluxos de ar e de gases de combustão entre as câmaras. Em azul - ar ambiente de resfriamento; em amarelo - ar aquecido da câmara de resfriamento sendo direcionado para a combustão; em vermelho - gases quentes de combustão direcionados para a queima do material; em laranja - gases quentes trocando de calor com peças cruas em preaquecimento e seguindo para a chaminé.

DESCRIÇÃO GERAL

Fornos multicâmaras de menor capacidade podem ter apenas uma reta, estabelecendo uma cadência de processamento em que, após a queima de uma câmara extrema, volta-se a queimar a câmara mais distante.

No caso de fornos de maior capacidade, emprega-se o sistema de queima em duas retas (em ciclo), com queima nas câmaras dos dois lados, como nos fornos Hoffmann. Essas câmaras, lado a lado, podem totalizar desde 12 unidades (6 câmaras x 2 retas), como no caso dos fornos mais antigos e menores; até conjuntos maiores, onde se tem conhecimento, de 22 câmaras no total, sempre aos pares.

A capacidade de cada câmara pode variar bastante, começando entre 28 e 30 mil peças ou cerca de 38 t, no caso dos fornos mais antigos, indo até 60 a 70 mil peças (equivalente a aproximadamente 84 t), conforme as dimensões internas e o tipo de produto enfiado, se telhas, tijolos, blocos ou a combinação destes.

A operação do forno é praticamente “contínua”, no sentido longitudinal, o que faz com que sempre existam lotes de peças cerâmicas preaquecendo, queimando e resfriando, graças às interligações entre as câmaras.

Cada câmara é composta de dois compartimentos – o de combustão e o de queima ou de sinterização das peças. Estes são interligados entre si e a todas as câmaras à frente e para trás. O compartimento ou câmara de combustão se conecta ao compartimento de sinterização por passagens na parte superior em uma das paredes laterais, e também ao compartimento de sinterização anterior, neste caso na sua parte inferior, através de piso crivado e

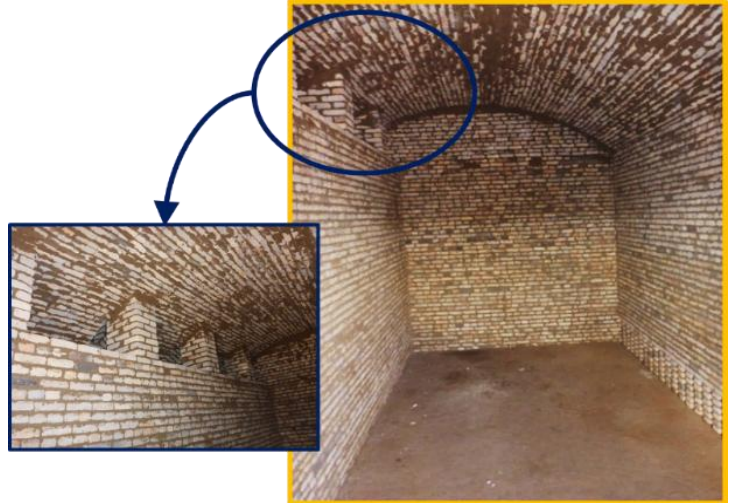
canais, ou ainda, em alguns modelos, por passagens na parede lateral quando não há piso crivado.

A alimentação de lenha se dá pelo topo do forno (teto), podendo ser manual, no caso de toras e galhos, ou contínua, quando se tem lenha picada ou serragem. Há também janelas auxiliares na parede frontal para a alimentação de lenha, caso necessário.

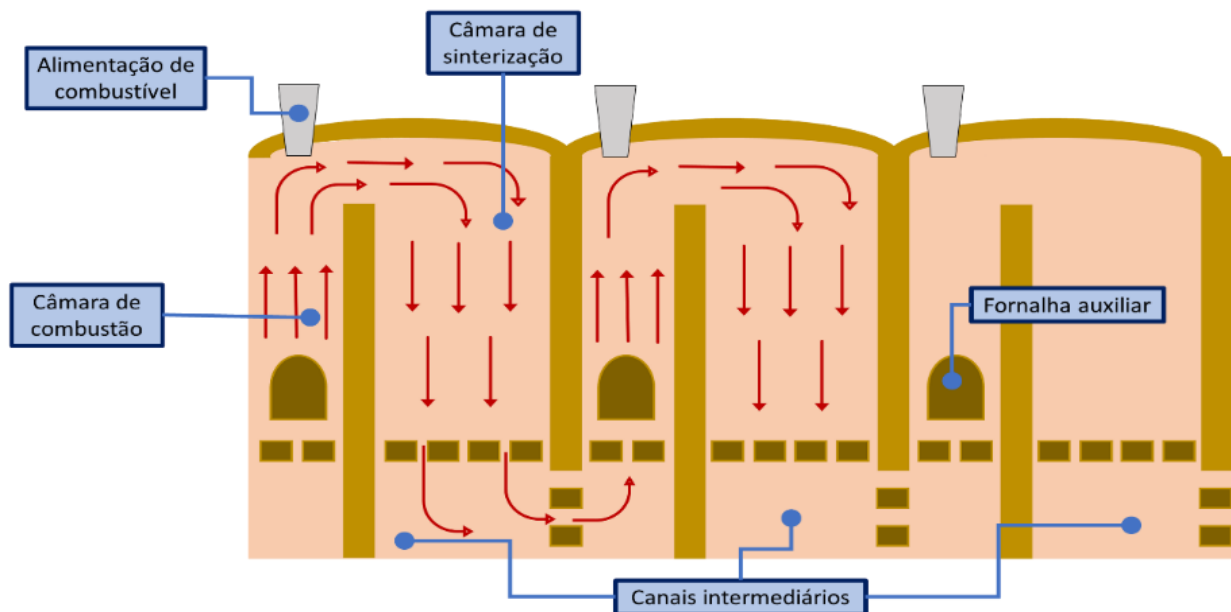
FLUXO DOS GASES DE COMBUSTÃO

A combustão ocorre exclusivamente nos compartimentos ou câmaras de combustão nas laterais dos compartimentos ou câmaras centrais de sinterização.

Os gases quentes de combustão seguem um fluxo ascendente até a abóbada da câmara de sinterização, quando sofrem uma inversão de direção, atravessam a pilha de peças num movimento descendente até o piso crivado ou para as passagens localizadas na parte inferior da parede oposta junto ao solo. Portanto, não há contato direto do combustível com as peças cerâmicas que estão sendo queimadas.



Detalhe das passagens e do fluxo de gases quentes no



interior das câmaras de combustão e de sinterização (adaptado de Oliveira A., 2013).

A chaminé fica localizada num dos extremos do forno e a tiragem dos gases de combustão geralmente tem o auxílio de exaustor, que ajuda no controle da “puxada do forno” e da pressão interna (sempre negativa).



OPERAÇÃO

Considerando a capacidade das câmaras, os fornos podem ter uma produção mensal bastante variável, entre 1.000 e 2.000 milheiros (1.300 a 2.600 t/mês), de acordo com o tipo de produtos, dimensões das câmaras e ritmo de produção da empresa, isto é, quantidade de queimas mensais. A obtenção de peças de primeira qualidade geralmente supera 90% e as perdas de produção são mínimas, abaixo de 2%.

Os fornos multicâmaras operam na faixa de temperatura entre 900° a 950°C, dependendo do tipo da argila. Cada câmara necessita de cerca de 15 a 18 horas para a queima, e outras 2 ou 3 horas para preaquecimento e resfriamento, totalizando de 18 a 21 horas para um ciclo completo. Desse modo, o forno idealmente pode ter um ritmo mensal entre 35 a 40 queimas. Eventualmente esse número de queimas pode ser ligeiramente aumentado, mas irá depender do tipo de argila e da condução da queima, pois há riscos de não se obter uma sinterização bem feita. Além disso, na prática, é preciso ter material cru e seco estocado para alimentar o forno.

Portanto, uma grande vantagem é que o ciclo de queima dos fornos multicâmaras não envolve os períodos de carregamento e descarregamento dos produtos, já que estas operações se dão enquanto o forno se encontra nas suas fases de queima, de “esquente” e de resfriamento nas câmaras vizinhas.

O consumo de energia, representado pela lenha, situa-se na faixa de 0,5 a 0,6 m³st/milheiro (considerando uma mescla de telhas e tijolos com peso médio 1,3 kg por peça enforada), podendo variar em função de diversos itens, tais como: temperatura de queima da argila, tipo da lenha/biomassa empregada (poder calorífico, umidade e granulometria), tipo de queima (se contínua ou intermitente), se há ou não controle da queima, disposição das peças no interior do forno, dentre outros aspectos.

O forno praticamente não emite fuligem ou material particulado durante a queima. Isso acontece devido às repetidas mudanças de direção do fluxo de gases de combustão e pelas passagens desses gases entre as próprias peças e através do piso crivado, que agem como “filtros” retendo partículas não queimadas (carbono) e cinzas.

A operação deste forno geralmente exige seis funcionários para as operações de carregamento e descarregamento e outros quatro foguistas para a queima.

CUSTOS

O custo de investimento num forno de 14 câmaras para uma produção de cerca de 1.200 milheiros/mês é da ordem de R\$ 650 mil. Já os fornos maiores, com 20 câmaras, para aproximadamente 60 mil peças/câmara (volume internos da câmara de cerca de 90 m³), e produção em torno de 2.000 milheiros/mês, podem custar cerca de R\$ 950 mil, conforme custos com refratários, ferragens e outros (base: julho/2021).

Boa parte dos tijolos maciços para a alvenaria externa pode ser produzida na própria empresa, como também pode-se utilizar mão de obra própria, aspectos que ajudam a reduzir os custos.

RESUMO – CARACTERÍSTICAS GERAIS

Formatos e Dimensões	<ul style="list-style-type: none">▪ Quantidade de câmaras: de 12 a 22 unidades, sempre em pares e divididas em 2 linhas (ex.: 6x2, 7x2, etc)▪ Comprimento: 36 a 50m; Largura: 15 a 24m; Altura: 4,2m.▪ Formato das câmaras: seção horizontal retangular e teto em arco (abóbada).▪ Dimensões internas das câmaras: Profundidade (da porta à parede do fundo): 8,5 a 12,0m; Largura (entre as paredes laterais): 3,0 a 3,7 m; Altura: 3,0 a 3,7 m.
-----------------------------	--

Produção	<ul style="list-style-type: none"> Produtos: telhas, tijolos e lajotas. Capacidade das câmaras: 28.000 a 70.000 peças (36 a 91 t/carga). Capacidade de produção mensal: 1.000 a 2.000 milheiros (1.300 a 2.600 t/mês).
Energia	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de lenha: 0,5 a 0,6 m³st/milheiro (com massa média das peças sinterizadas de 1,3 kg (85% telhas coloniais e 15% tijolos 8 furos)). Consumo específico de energia: 430 a 515 kcal/kg. Eficiência térmica média: 54%.
Ciclo de queima	<ul style="list-style-type: none"> Duração da queima em cada câmara: 15 a 18 h, dependendo do tipo da argila e da lenha empregada. Ciclo completo: 3,5 dias (considerando esquentar, queima e resfriamento/câmara). Cadência de queima: 1 a 2 câmaras por dia.
Qualidade das peças	<ul style="list-style-type: none"> Peças de primeira: superior a 90%. Perdas: menor que 2%.

PRINCIPAIS PONTOS POSITIVOS E VANTAGENS

- Possibilidade de aumento da produção;
- Baixo consumo de energia térmica;
- Redução da emissão de fuligem (material particulado);
- Projeto do forno “sob medida” à demanda da empresa;
- Flexibilidade de produção (queima feita em “lotes”);
- Baixo custo operacional;
- Queima homogênea;
- Possibilidade de recuperação de calor para a secagem;
- Boas condições de salubridade no ambiente da produção;
- Boa produtividade e velocidade de produção;
- Elevado índice de produção de peças de primeira qualidade;
- Baixo nível de perdas por quebras e trincas

BOAS PRÁTICAS PARA UMA OPERAÇÃO EFICIENTE

Para obter um maior desempenho em geral, o forno multicâmaras também deve seguir alguns procedimentos que são comuns para vários tipos de fornos:

- **Controle da curva de queima através de termopares** - Na parte superior de cada câmara devem ser instalados termopares ligados a um painel indicador digital de temperaturas. Isso possibilita um melhor controle da curva de queima, e a obtenção de produtos mais uniformes e com maior qualidade.
- **Emprego de lenha picada e alimentação contínua** – o uso de lenha picada, na forma de cavacos, *chips* ou serragem, pode proporcionar uma economia de combustível entre 7 e 11%, além de melhor controle da curva de queima. O investimento necessário com um picador, sistema de transporte e os alimentadores/queimadores de biomassa geralmente pode se pagar em cerca de dois anos, variando conforme o preço da lenha.
- **Não usar o forno como secador** – a queima propriamente dita de uma determinada câmara só deve ter início com fogo forte quando as peças se encontram “secas”, ou seja, com pelo menos 6% de umidade. Quando peças úmidas, com índices de umidade mais altos, são submetidas a subidas de temperatura muito rápidas ocorrem trincas e quebras.
- **Limpeza periódica** – as passagens nos pisos crivados e canais nas partes baixas precisam de limpeza periódica.

Elaboração:



Colaboração:



Este informe técnico faz parte do conjunto de materiais de disseminação tecnológica do Projeto “Eficiência Energética nos Arranjos Produtivos Locais (APL) do Setor de Cerâmica Vermelha na Região do Seridó dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte”, a cargo do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), e sob encomenda do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). É voltado para apoio ao polo produtor de cerâmica vermelha regional e busca promover o Uso Eficiente de Energia e a implementação de Fontes Renováveis de Energia, em particular de lenha sustentável e de energia solar fotovoltaica, dentre outros temas de interesse das empresas. O objetivo geral é fomentar maior produtividade no setor, além de proporcionar sustentabilidade no seu sentido mais amplo.

Para mais conteúdos referentes ao setor de cerâmica vermelha, acesse:

<https://www.gov.br/int/pt-br/central-de-conteudos/ceramica-vermelha>

Elaborado por:

Instituto Nacional de Tecnologia (INT) - <https://www.gov.br/int>

Laboratório de Energia (LABEN) – Divisão de Avaliações e Processos Industriais (DIAPI)

Contatos: augusto.rodrigues@int.gov.br / mauricio.henriques@int.gov.br

A reprodução total ou parcial deste material é permitida devendo ser mencionada a autoria do INT.

Instituto Nacional de Tecnologia (INT). Fornos Multicâmaras. Coleção Boas Práticas e Tecnologias na Cerâmica Vermelha, N° 04. Projeto APL Cerâmica Vermelha no Seridó. Rio de Janeiro, 2021.

Parceria:



Realização:

