

# PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA



Eficiencia energética en  
ladrilleras

## MANUAL DE FORNOS EFICIENTES PARA A INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA

Rio de Janeiro - Brasil  
2015

## | Instituição Executora

### **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)**

Ministro: José Aldo Rebelo Figueiredo

### **Instituto Nacional de Tecnologia (INT)**

Diretor Geral: Fernando Cosme Rizzo Assunção

### **Coordenação de Tecnologias Aplicadas**

Coordenador: Antonio Souto de Siqueira Filho

### **Divisão de Energia**

Chefe: Maurício Francisco Henriques Júnior

## | Co-execução

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais (FUNCATE)

## **Programa de Eficiência Energética na Indústria de Cerâmica Vermelha - Projeto EELA**

Coordenador: Joaquim Augusto Pinto Rodrigues

## | Cooperação Internacional

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)  
Swiss Foundation for Technical Cooperation (Swisscontact)

## | Autores

Maurício F. Henriques Jr.  
Marcelo Rousseau Valença Schwob  
Joaquim Augusto Pinto Rodrigues

## | Revisão

Julia Santos Nunes de Campos

## | Diagramação e Projeto Original

Jeferson T. Barros, Ricardo Fontes, Vívian F. D. de Souza e Gil Brito (DvDI/INT)

## | Reedição

NOSTROMO DESIGN GRÁFICO

Manual de Fornos Eficientes para Indústria de Cerâmica Vermelha 2ª edição/  
Maurício Francisco Henriques Junior et al. – Rio de Janeiro: INT/MCTI, 2015. 80p.

ISBN 978-85-99465-09-7

1. Cerâmica Vermelha, 2. Fornos, 3. Eficiência energética.

## APRESENTAÇÃO

O programa Eficiência Energética na Indústria de Cerâmica Vermelha (EELA) visa contribuir no combate às mudanças climáticas através da redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) nas cerâmicas da América Latina (AL) e melhorar a qualidade de vida da população envolvida. Este programa é financiado pela Agência Suíça de Cooperação Internacional – COSUDE, e executado pela Swisscontact junto aos seus parceiros em sete países, a saber: Argentina, Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, México e Peru.

No Brasil, a coordenação do programa está a cargo do Instituto Nacional de Tecnologia – INT, do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, e conta com a parceria de diversos agentes, dentre os quais: SEBRAE, Serviço Florestal Brasileiro – SFB/MMA, Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER) e Sindicato da Indústria Cerâmica para Construção (SINDICER).

O presente Manual de Fornos Eficientes para a Indústria de Cerâmica Vermelha faz parte de um conjunto de ações e de instrumentos que buscam prover as empresas com informações para uma produção mais limpa, sustentável e eficiente energeticamente.

O Manual está dividido em nove blocos, contemplando o conceito de eficiência energética e o uso eficiente da energia e ainda um capítulo para cada tipo de forno: forno paulistinha, forno abóbada, forno Hoffman, forno vagão metálico, forno metálico móvel, forno de câmaras (cedan) e forno túnel.

Por fim, em anexo está apresentado o conceito de “consumo específico de energia”, um exemplo que pode ajudar aos empresários a conhecerem melhor suas eficiências e seus custos efetivos com a energia.



# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	8
3.	USO EFICIENTE DE ENERGIA	9
4.	FORNO PAULISTINHA	11
5.	FORNO DE ABÓBADA	19
6.	FORNO HOFFMANN	25
7.	FORNO VAGÃO METÁLICO	33
8.	FORNO METÁLICO MÓVEL	41
9.	FORNO DE CÂMARAS TIPO CEDAN	51
10.	FORNO TÚNEL	59
11.	BIBLIOGRAFIA	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo de calor em forno cerâmico .....	10
Figura 2 – Forno paulistinha .....	11
Figura 3 – Esquema do forno paulistinha .....	13
Figura 4 – Fluxo do forno paulistinha.....	15
Figura 5 – Forno abóbada .....	19
Figura 6 – Esquema do forno abóbada .....	21
Figura 7 – Fluxo do forno abóbada .....	23
Figura 8 – Forno Hoffmann .....	25
Figura 9 – Forno Hoffmann .....	26
Figura 10 – Esquema do forno Hoffmann .....	27
Figura 11 – Fluxo do forno Hoffmann .....	29
Figura 12 – Forno vagão metálico .....	33
Figura 13 – Esquema do forno vagão metálico .....	36
Figura 14 – Fluxo do forno vagão metálico .....	38
Figura 15 – Forno metálico móvel .....	41
Figura 16 – Esquema do forno metálico móvel .....	43
Figura 17 – Fluxo do forno metálico móvel .....	46
Figura 18 – Forno metálico móvel: lote pronto e portas metálicas .....	47
Figura 19 – Forno cedan .....	51
Figura 20 – Esquema do forno cedan .....	54
Figura 21 – Fluxo do forno cedan .....	55
Figura 22 – Forno túnel .....	59
Figura 23 – Vagonetas em forno túnel .....	60
Figura 24 – Vista do forno túnel .....	61
Figura 25 – Esquema do forno túnel .....	62
Figura 26 – Fluxo do forno túnel .....	63
Figura 27 – Representação da seção transversal de um forno túnel: Dadam .....	64
Figura 28 – Representação da seção transversal de um forno túnel: Nicolau .....	64

## ANEXOS

Anexo I - Consumo específico de energia .....	70
Anexo II - Exemplo de cálculo do consumo energético específico .....	73
Anexo III - Tabela de resumo <sup>1</sup> .....	74

## 1 | INTRODUÇÃO

**E**ste manual apresenta informações técnicas sobre o desempenho de fornos mais eficientes para a indústria de cerâmica vermelha, trazendo conceitos e outros dados do ponto de vista do uso da energia e sobre a qualidade dos produtos finais.

As informações técnicas incluídas neste manual são provenientes da experiência obtida no âmbito do Projeto EELA (Eficiência Energética em Ladrilleras) e visam a difusão de conceitos e casos exemplo referentes a iniciativas de redução de emissões de gases de efeito estufa a partir da aplicação de soluções de eficiência energética e a melhorias na produtividade e competitividade das indústrias do setor e aumento da qualidade do produto final.

## 2 | EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O conceito de eficiência energética está relacionado à idéia de uso otimizado dos recursos energéticos sem alterar a produção da indústria de cerâmica vermelha, buscando explorar as possibilidades de redução do consumo de energia e suas vantagens econômicas e ambientais.

A eficiência energética pode abranger desde medidas mais simples e de baixo custo, até outras bem mais complexas e caras, mas que mesmo assim podem apresentar boa atratividade econômica. Quanto mais se empregam técnicas, equipamentos e processos mais eficientes, menor deverá ser o consumo de energia e o seu custo.

Para se ter uma ideia do quão eficiente ou não uma indústria se situa, um método muito comum e simples é conhecer o seu “consumo específico de energia”, tanto na forma de combustível quanto de energia elétrica, e buscar comparar com outras empresas com o mesmo tipo de produção.

Esse consumo específico de energia é dado pela relação entre o consumo de energia expresso, por exemplo, pelo consumo de lenha dividido pela produção, em mil peças ou em toneladas, conforme apresentado no anexo. Na verdade o que se tem é um indicador que poderá apontar se a empresa está trabalhando bem ou mal com relação ao uso da energia, e quanto potencialmente seria possível conseguir melhorar com base num valor definido como ideal ou de referência.

Assim, sabendo que é possível economizar energia, é importante conhecer algumas alternativas ou opções tecnológicas em relação aos tipos de fornos, conforme apresentados a seguir.



### 3 | USO EFICIENTE DE ENERGIA

**P**or vezes, algumas das medidas para o uso eficiente de energia podem parecer à primeira vista inviáveis economicamente. Mas não é bem assim. Na verdade, algumas medidas permitem obter outros ganhos associados que levam a um resultado final atrativo.

Esse é o caso, por exemplo, de medidas que podem trazer, além da economia de energia, um aumento de produtividade e a redução de perdas, ou ainda um aumento da produção de peças de primeira qualidade, uma produção de artigos de maior valor (por exemplo: lajotas), ou um aumento de produção. Ou seja, esses ganhos também devem ser contabilizados quando se investiga a possibilidade de implantar algumas ações e projetos de eficiência energética. De qualquer forma, a implementação de projetos e modificações numa empresa deve requerer uma avaliação cuidadosa.

No caso dos fornos, o calor produzido na combustão se distribui para vários pontos, mas somente uma parte é de fato utilizada pelos produtos cerâmicos. Uma parcela maior é perdida nos gases de combustão (fumaça) que saem do forno pela chaminé, outra parte fica armazenada nas paredes e teto ou abóbada e outra fica retida nos próprios produtos queimados etc. Estes itens são considerados perdas de calor, conforme ilustrado na figura seguinte.

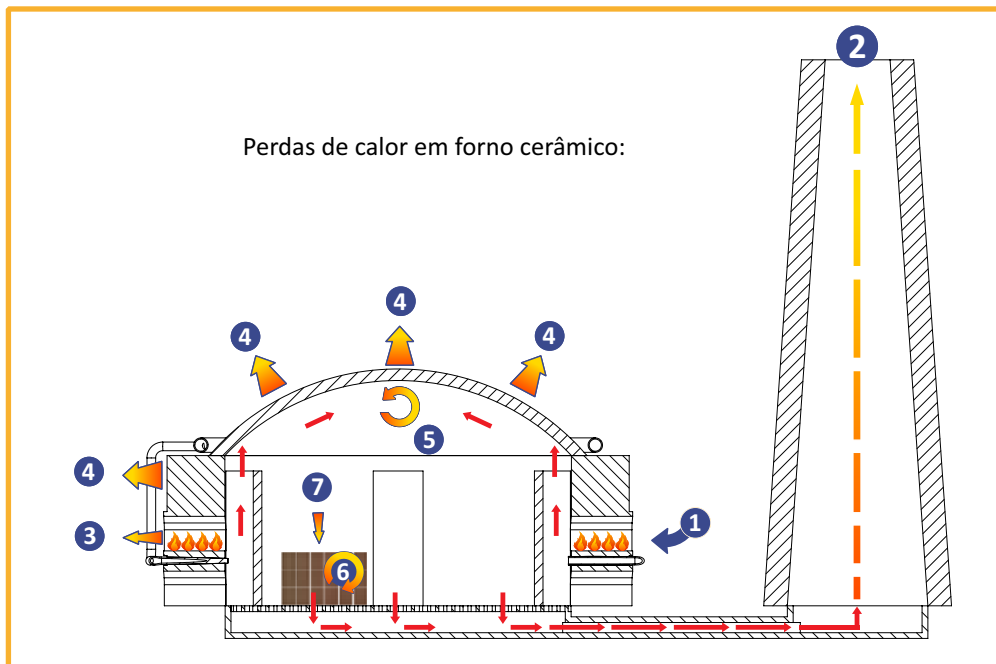


Figura 1 - Fluxo de calor em forno cerâmico

- 1 Fornecimento de calor/queima de combustível
- 2 Perda de calor nos gases de combustão/chaminé
- 3 Perdas em aberturas e frestas
- 4 Perdas através de paredes e teto/abóbada
- 5 Calor acumulado nas paredes do forno
- 6 Calor acumulado nas peças produzidas
- 7 Calor útil absorvido pelas peças no cozimento

A queima no forno é a principal etapa do processo de fabricação de produtos cerâmicos em termos energéticos, envolvendo, em geral, 95% de toda a energia térmica demandada numa empresa. Os 5% restantes referem-se à secagem naquelas empresas que fazem uso deste processo.

Portanto, o ideal é que se possa trabalhar usando a menor quantidade de energia possível, o que pode ser conseguido destinando-se uma menor quantidade de calor para os itens que constituem perdas ou, alternativamente, buscar algum tipo de recuperação deste calor para uso no processo, como, por exemplo, na secagem.

## 4 | FORNO PAULISTINHA

Os fornos do tipo paulistinha são ainda muito empregados na indústria de cerâmica vermelha no Brasil, embora apresentem desempenho térmico inferior a outros tipos de fornos presentes no mercado.

Acredita-se que representem hoje por volta de 15% dos fornos em operação no segmento de cerâmica vermelha, ainda que com tendência decrescente de participação, diante do processo gradual de modernização pelo qual o setor vem passando nos últimos anos. Os fornos do tipo paulistinha são empregados em diversas regiões produtoras do país, com maior incidência naquelas de menor nível tecnológico.



Figura 2 - Forno paulistinha

## Descrição

O forno paulistinha opera de forma intermitente, possui estrutura em alvenaria sem isolamento térmica para queima de blocos e telhas. Apresenta seção horizontal retangular (comprimento de 6,0 a 8,0 m, largura de 3,5 a 5,0 m) e altura por volta de 3,0 m, com tiragem de gases quentes em fluxo descendente, também chamada “chama reversível”, através de crivo em seu piso (soleira).

A queima se dá em fornalhas, de quatro a seis, em geral, dispostas numa de suas paredes laterais. A queima do combustível estabelece um fluxo ascendente de gases quentes em direção à abóbada, daí descendo através da carga, trocando calor com a mesma, indo em direção à soleira do forno, onde se encontra o crivo de passagem dos gases quentes para os canais na parte inferior do forno. Destes canais, os gases quentes seguem para a chaminé.

O controle do fluxo se dá através de “dampers”, permitindo ajustar a pressão interna do forno. A capacidade de um forno paulistinha pode variar de 20 a 50 milheiros de blocos 9x19x19, valor equivalente a uma massa processada de 36 a 90 t por queima.

## Esquema do Forno Paulistinha

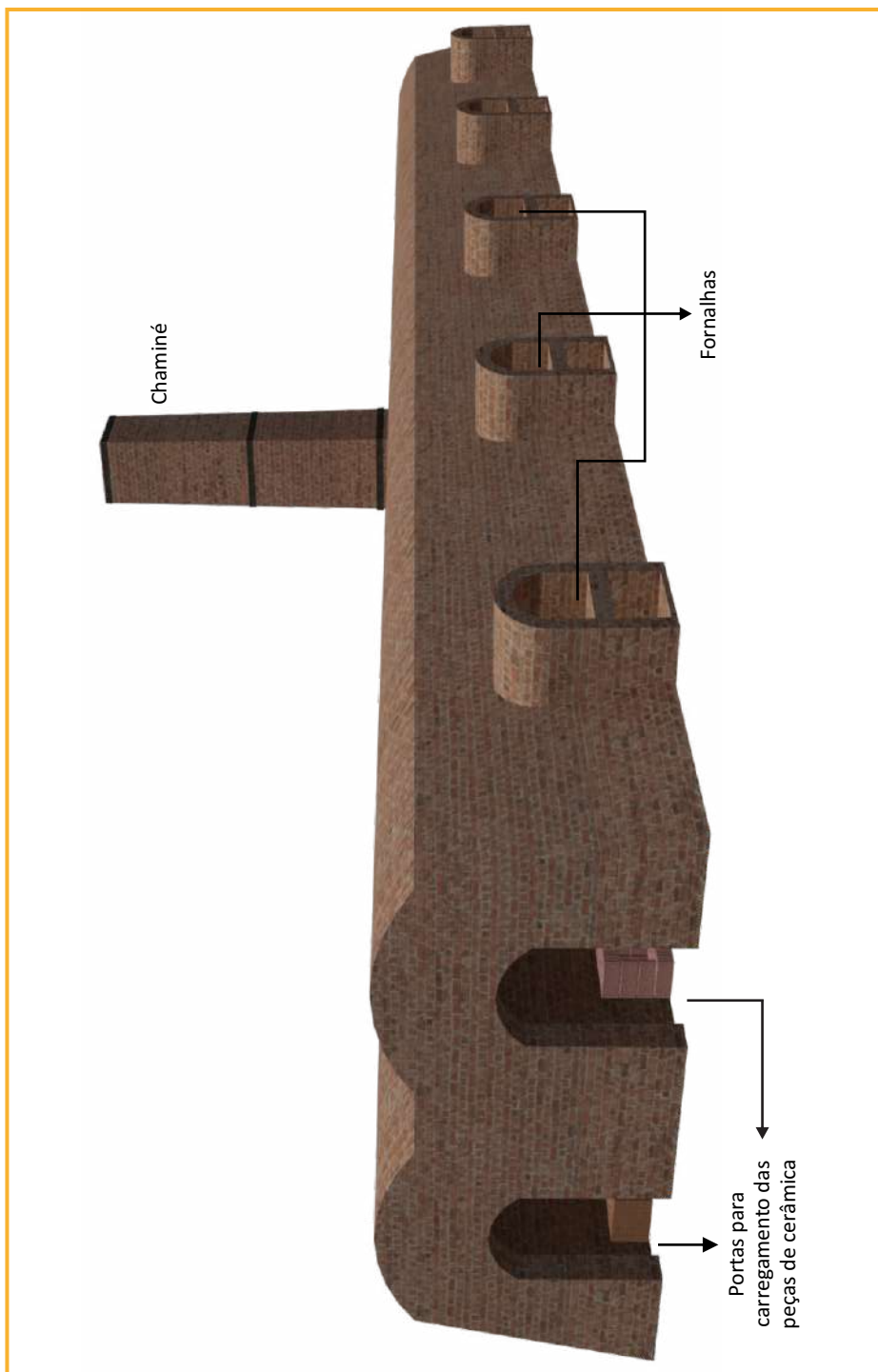


Figura 3 – Esquema forno paulistinha

## Operação

Em geral, operam em conformação geminada, ou seja, com outro forno paulistinha ao lado com parede lateral comum e interconexão dos canais de saída de gases, visando aproveitar o calor da queima ou do resfriamento para o pré-aquecimento da carga a ser queimada no outro forno.

O ciclo de queima envolve cerca de 12 horas de carregamento do forno, preaquecimento (“esquente”) de 20 horas, queima de 18 horas, resfriamento de 27 horas e descarregamento de 12 horas, perfazendo um total próximo de 90 horas ou quase 4 dias, o que pode variar em função da qualidade da lenha, tipo da argila, influenciando na temperatura de queima, tipo do arranjo interno das peças, dentre outros aspectos.

Em geral, um forno paulistinha poderá proceder de 6 a 7 fornadas mensais (6,5 fornadas/mês x 4 dias/fornada = 26 dias).

Para um forno de 30 milheiros (54 t) por carga de blocos de vedação de 9x19x19, pode ser realizada uma produção mensal de 195 milheiros ou 351 t, porém demandando o desconto de uma perda aproximada de 30%, fazendo com que o forno produza na verdade 137 milheiros de peças de primeira qualidade por mês (247 t/mês). Portanto, uma indústria cerâmica com dois fornos do tipo paulistinha poderá produzir mensalmente 274 milheiros ou 493 t de blocos de vedação 9x19x19.

## Fluxo do Forno Paulistinha

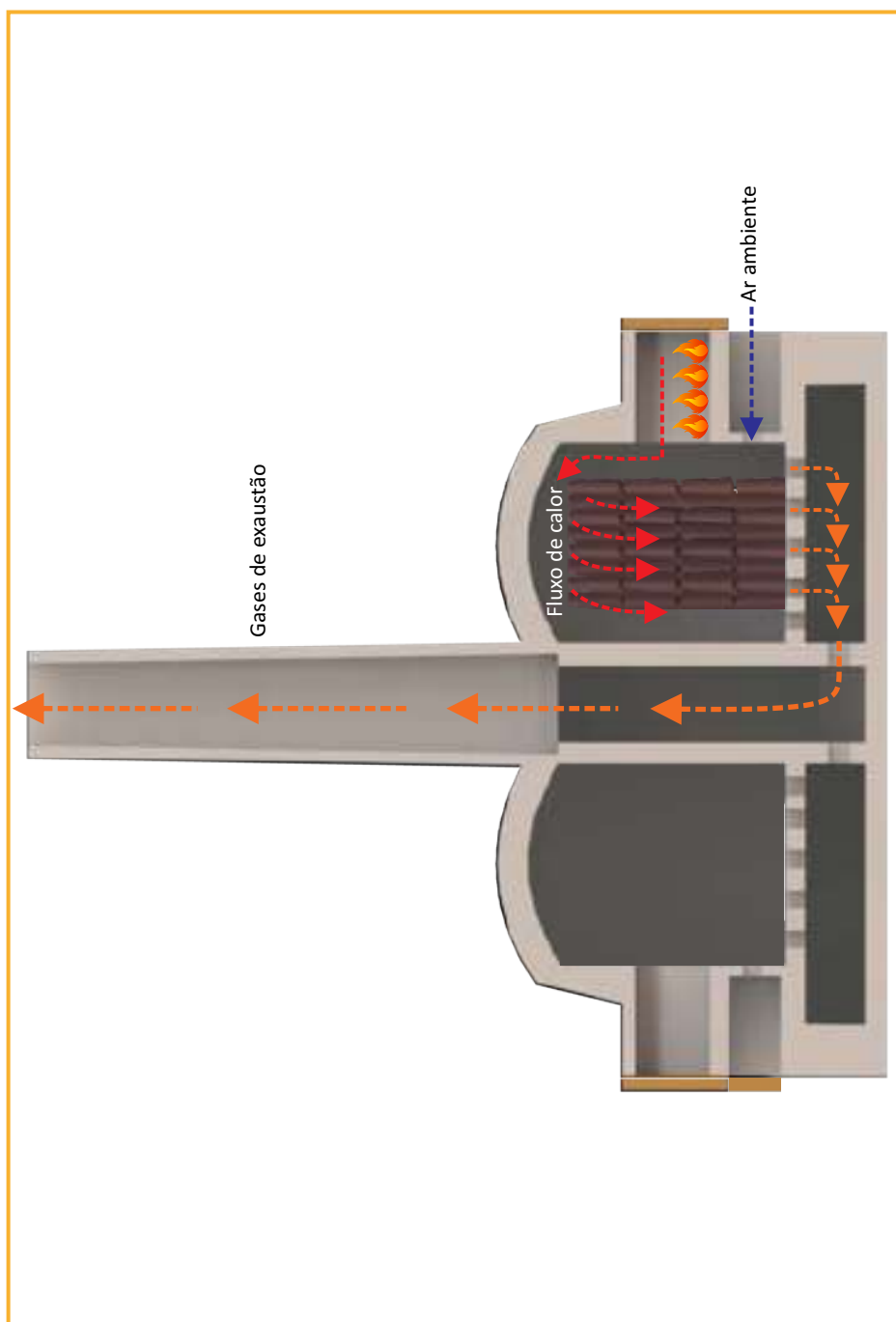


Figura 4 – Fluxo de ar e de gases quentes no interior do forno paulistinha

## Desempenho

---

O forno paulistinha apresenta perdas de calor pela alta inércia térmica (elevada massa da estrutura de alvenaria) e pela radiação e convecção através das paredes laterais, abóbada e portas de alimentação de combustível, fazendo com que opere com baixos níveis de eficiência térmica, ainda menores que os fornos abóbada.

O forno tipo paulistinha tem consumo específico de lenha na faixa de 1,25 a 1,7 estéreis por milheiro, equivalente a um consumo específico de energia de 583 a 914 kcal/kg; e possui eficiência térmica média de 35%.

Por sua seção retangular, apresenta limitações quanto à distribuição do calor na carga disposta nos cantos extremos do forno, o que impõe considerável nível de perdas, fazendo com que o percentual de produto de primeira qualidade situe-se entre 50 e 70%.

O ciclo de queima desse tipo de forno mostra a influência do custo da mão de obra em suas operações de carregamento e descarregamento.

## Custo de Aquisição

---

Um forno paulistinha com capacidade de 40 milheiros/carga ou 72 toneladas com dimensões internas de 8 m de comprimento, 5 m de largura e 2,5m de altura, e para uma produção mensal de 260 milheiros custa por volta de R\$ 90 mil, mais R\$ 30 mil de obra civil referente às canalizações de tiragem dos gases e sistema de controle.

Apresenta a vantagem de poder ser construído parcialmente com mão de obra da empresa, assim como parte do material de alvenaria. Na construção de um segundo forno, os custos com canalização de gases se reduzem.



## Resumo

---

- Dimensões externas: comprimento de 7,0 a 15,0 m, largura de 3,5 a 6,0 m, e altura por volta de 3,5 m;
- Capacidade: 30.000 a 60.000 peças;
- Produtos: tijolos, telhas e lajotas;
- Peças de 1ª qualidade: entre 50 e 70%;
- Perdas: entre 5 e 8%;
- Consumo específico de lenha: 1,25 a 1,7 st/milheiro (peças de 1,8kg);
- Consumo específico de energia térmica: 583 a 914 kcal/kg;
- Eficiência térmica: 35%;

## Vantagens

---

- Facilidade e possibilidade de construção com mão de obra e material da empresa;
- Custo atrativo;
- Facilidade de operação;
- Recuperação de calor;
- Uso de diversos tipos de combustível;
- Produção diversificada (blocos, telhas e lajotas).

## Desvantagens

---

- Queima pouco homogênea (cantos do forno com menor incidência de calor);
- Consumo energético específico alto;
- Resfriamento lento;
- Elevado insumo de mão de obra em relação a outros tipos de fornos;
- Percentual de produtos de primeira qualidade relativamente baixo.



## 5 | FORNO ABÓBADA

**O**s fornos do tipo abóbada são muito empregados na indústria de cerâmica vermelha no Brasil, ainda que apresentem baixo desempenho térmico.

Estima-se que representem hoje 40% dos fornos empregados nas indústrias de cerâmica vermelha do país, com tendência estável de participação, sendo decrescente nas zonas de produção de tecnologia mais avançada e crescente nas regiões produtivas mais carentes em tecnologia. Atualmente, são empregados em todas as regiões produtivas do país, com maior participação nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.



Figura 5 - Forno abóbada

## Descrição e Operação

O forno abóbada é um forno de ciclo intermitente em alvenaria e sem isolamento térmica, usado para queima de blocos e telhas. Apresenta seção horizontal circular, diâmetro de cerca de 7 m, altura de 2,5 m e teto em forma de abóbada, com tiragem de gases quentes em fluxo descendente, também chamada “chama reversível”, através de crivo em seu piso (soleira).

A queima se dá em fornalhas, de quatro a seis, dispostas de forma equidistante em seu perímetro lateral. A queima do combustível estabelece um fluxo ascendente de gases quentes em direção à abóbada circular, daí descendo através da carga, trocando calor com a mesma, indo em direção à soleira do forno, onde se encontra o crivo de passagem dos gases quentes para os canais na parte inferior do forno.

Daí os gases quentes (fumaça) seguem para a chaminé que induz a tiragem dos gases de combustão, ainda que esta também possa ser induzida por exaustores. O controle do fluxo se dá através de dampers, que permitem ajustar a pressão interna do forno.

Geralmente estes fornos têm interligação, através de canais subterrâneos, com um secador, o que viabiliza a recuperação de calor da fase de resfriamento do forno. Assim, todo ar quente a ser exausto do forno é direcionado para a secagem.

Em geral, opera-se com mais de um forno deste tipo, buscando ter uma produção mais contínua numa empresa, incluindo a recuperação de calor para a secagem.

A capacidade de um forno abóbada pode variar, em geral, de 30 a 50 milheiros de blocos 9x19x19 (valor equivalente a uma massa processada de 44 a 90 t por queima) ou até 100 milheiros, como no caso da produção de 80 a 90% de telhas coloniais (1,1 kg/peça).

O ciclo de operação exige 12 horas de carregamento do forno, mais um preaquecimento ou “esquente” de 20 horas, queima de 18 a 40 horas, resfriamento de no mínimo 24 horas e descarregamento de outras 12 horas, perfazendo um ciclo de praticamente 4 dias. Esse tempo pode variar em função da qualidade da lenha, tipo da argila, temperatura de queima, tipo do arranjo interno das peças, umidade da lenha, dentre outros fatores.

Este ciclo de operação de certa forma muito longo pode influenciar no custo da mão de obra e produtividade nas operações de carregamento e descarregamento.

Em geral, um forno abóbada pode realizar de 6 a 7 fornadas mensais, podendo produzir mensalmente de 180 milheiros a 500 milheiros, conforme o tipo de peça queimada.

## Esquema do Forno Abóbada

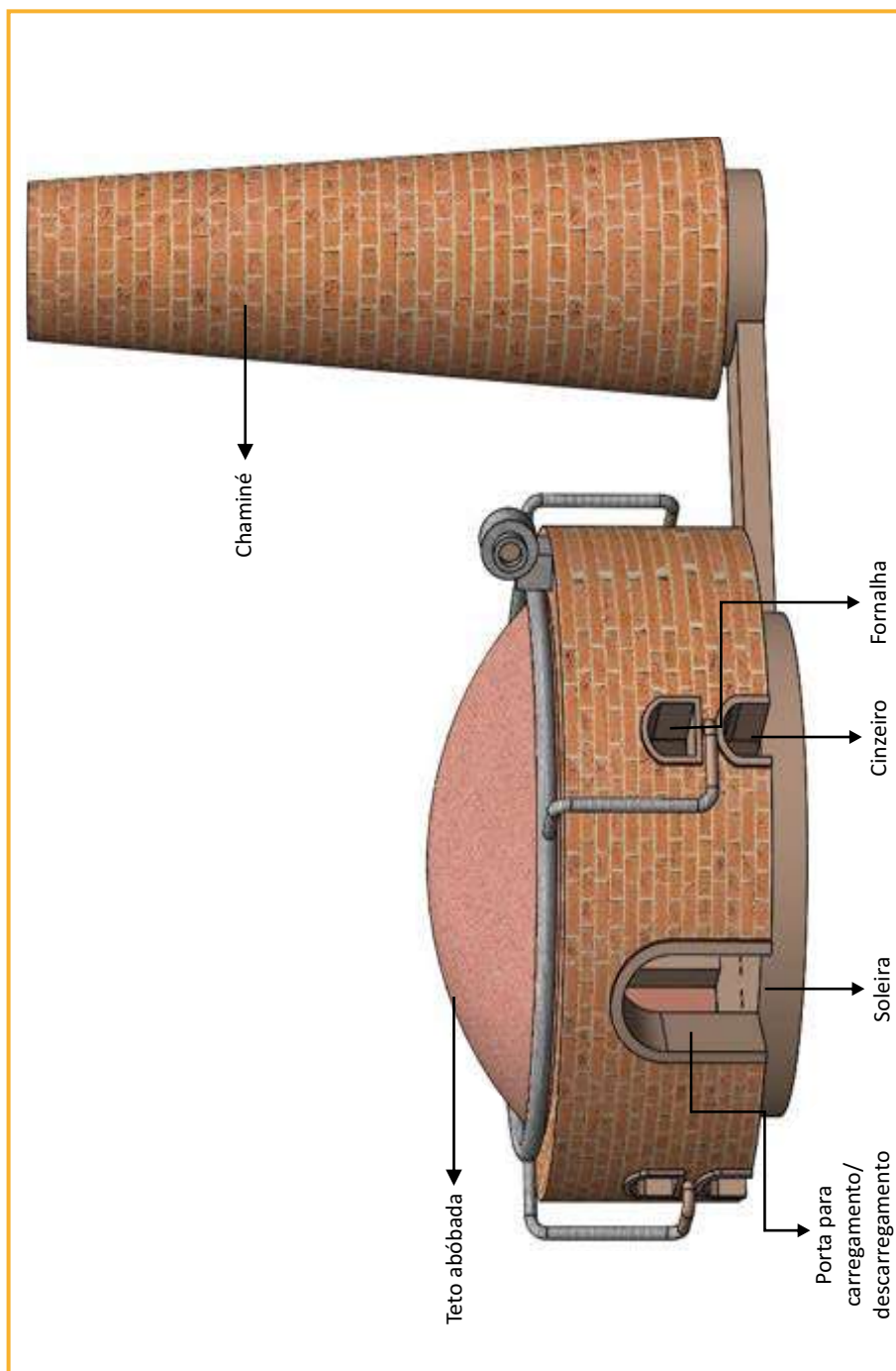


Figura 6 – Esquema forno abóbada

## Desempenho do Forno Abóbada

O forno circular apresenta, para um forno com regime descontínuo (por bateladas), um rendimento geral aceitável. Sua seção circular apresenta menores limitações quanto à distribuição do calor na carga com relação ao forno paulistinha, pois não há cantos extremos do forno, o que impõe um nível de perdas um pouco menor. Por outro lado, a distribuição de calor na seção vertical não é muito homogênea. Enquanto a temperatura na parte superior do forno sobe rapidamente, o mesmo não ocorre na parte inferior junto ao piso, podendo inclusive não atingir os níveis desejados de temperatura. Assim, o percentual de produtos de primeira qualidade geralmente é superior a 60%, mas raramente atinge mais do que 80%.

Por ser um forno com regime intermitente, o forno abóbada também leva bastante tempo para se aquecer e resfriar, ou seja, tem grande inércia térmica. Com isso, somada as perdas de calor por radiação e convecção pelas paredes laterais, teto (abóbada) e portas de alimentação de combustível, o rendimento energético não é muito elevado.

O forno tipo abóbada apresenta consumo específico de lenha variando entre 1,15 e 1,6 estéreis por milheiro, que resulta em um consumo específico de energia na faixa de 536 a 860 kcal/kg e eficiência térmica média de 38%.

## Resumo

- Dimensões externas: 5 a 11 metros de diâmetro; 2,2 a 3,0 metros de altura;
- Número de fornalhas: de quatro a seis;
- Capacidade: 30.000 a 110.000 peças (40 a 130 t por carga); capacidade mensal: 180 a 600 milheiros (240 a 710 t/mês);
- Produtos: telhas, tijolos e lajotas;
- Ciclo e tempo de queima: tempo de queima de 20 a 40 horas, dependendo do tipo da argila e da lenha empregada e ciclo completo: 3,5 a 4,5 dias;
- Peças de 1ª qualidade > 60%;
- Perdas 2 a 5%;
- Consumo específico de lenha: 1,15 a 1,6 st/milheiro (peças de 1,8kg);
- Consumo específico de calor: 536 a 860 kcal/kg;
- Eficiência térmica média: 38%.

## Fluxo do Forno Abóbada

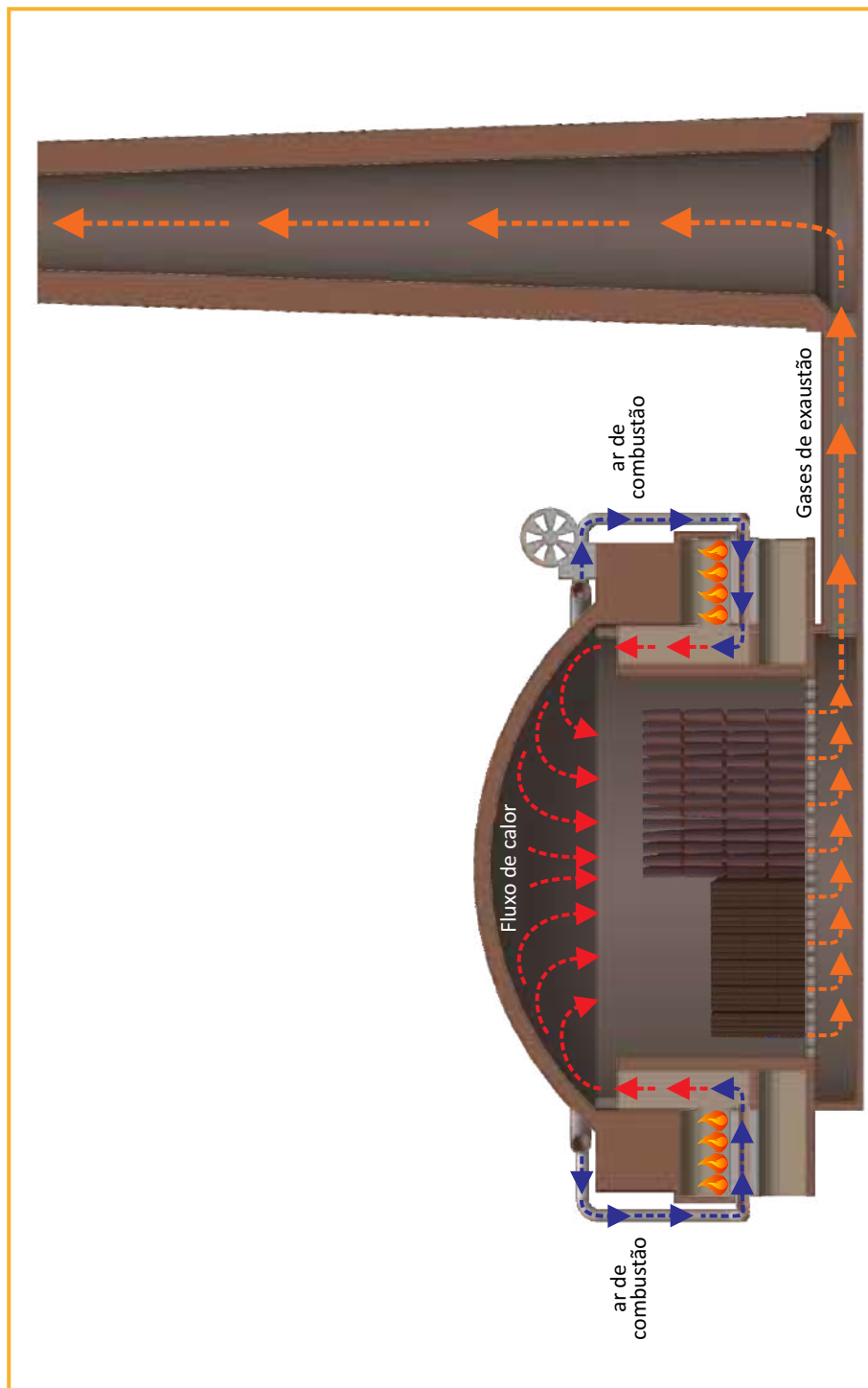


Figura 7 – Fluxo de ar e de gases quentes no interior do forno abóbada

## Custo de Aquisição

---

Um forno abóbada com capacidade para 50 milheiros/carga de bloco 9x19x19 (90 t), com dimensões internas de 8 m (diâmetro) e 2,5m de altura e capacidade mensal de 300 milheiros/mês, custa por volta de R\$ 100 mil, mais R\$ 30 mil de obra civil referente às canalizações de tiragem dos gases e sistema de controle. Apresenta a vantagem de poder ser construído parcialmente com mão de obra da empresa.

## Vantagens

---

- Facilidade de construção;
- Possibilidade de construção com mão de obra e material da empresa;
- Facilidade de operação;
- Custo atrativo;
- Possibilita recuperação de calor;
- Uso de diversos tipos de combustível e produção diversificada (blocos, telhas e lajotas).

## Desvantagens

---

- Taxa de aquecimento desigual entre as zona superior e inferior;
- Consumo energético específico alto;
- Elevado insumo de mão de obra em relação a outros tipos de fornos;
- Índice de perdas elevado, derivado das deficiências de queima e da manipulação do produto;
- Produtos com qualidade mais baixa na zona junto ao piso;
- Condições insalubres para o descarregamento do forno (alta temperatura interna e poeira).

## Boas Práticas para o uso Eficiente de Energia

---

- Usar lenha picada;
- Usar alimentação contínua e automática de lenha;
- Controlar curva de queima através de termopares;
- Recuperar calor da etapa de resfriamento;
- Uso de ventiladores para insuflação de ar de combustão.



## 6 | FORNO HOFFMANN

Os fornos do tipo Hoffmann foram desenvolvidos no meio do século XIX, envolvendo a ideia pioneira do avanço do calor em relação à carga, permitindo o pré-aquecimento da carga fria na câmara posterior através do calor dos gases de exaustão da câmara anterior do forno, o que trouxe uma considerável vantagem de redução da demanda de combustível. Na época, o forno Hoffmann estabelecia um ganho em desempenho térmico em relação aos fornos intermitentes, ainda que não fosse um equipamento apropriado para a produção de telhas.

No Brasil, seu uso se intensificou de forma gradativa, principalmente a partir dos anos 60, de tal forma que em diversos polos regionais de produção de blocos vazados no país, sua presença chega a ser dominante, como nos estados do Rio de Janeiro (Campos), Pernambuco (Caruaru) e Sergipe (Itabaiana-Itabaianinha). Estima-se que os fornos Hoffmann representem de 15 a 20% dos fornos instalados nas indústrias de cerâmica vermelha do país. Por outro lado, em função de seu custo elevado, vem sendo cada vez menos considerado nos projetos de expansão ou na criação de novas empresas.

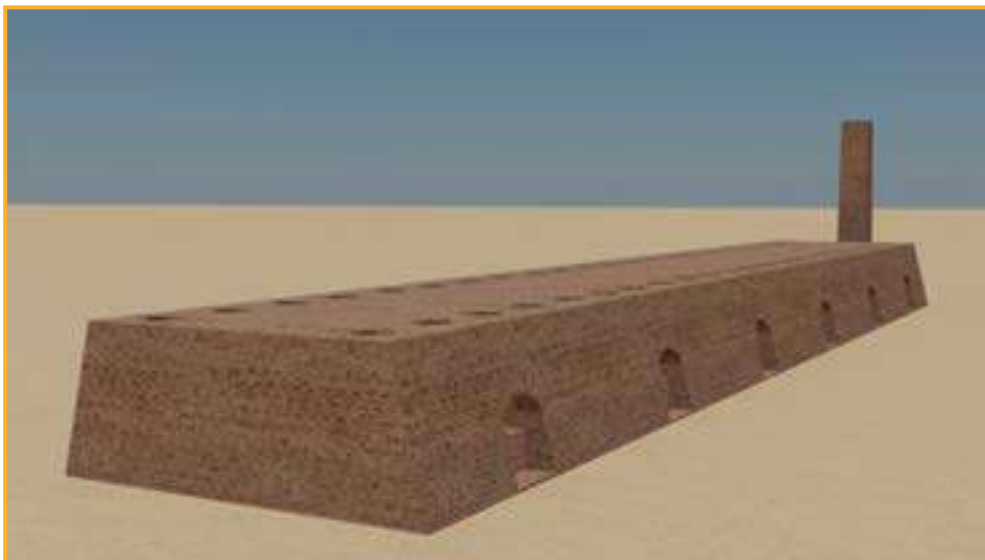


Figura 8 - Forno Hoffmann

## Descrição do Forno Hoffmann

O comprimento dos fornos Hoffmann pode variar de 60 a 120 metros, com larguras da ordem de 3,5 m e altura de 2,8 m. O número de câmaras em geral é da ordem de 15 a 25 com capacidades na faixa de 10 milheiros cada. Assim, em um ritmo médio de 4 câmaras queimadas, produz-se por dia 40 milheiros ou 1.200 milheiros/mês, ou seja, esse forno Hoffmann rodaria de 4 a 6 vezes por mês o seu conjunto de câmaras.

A estrutura dos fornos Hoffmann é toda de alvenaria com grossas paredes para resistir ao choque térmico das constantes operações de aquecimento e resfriamento que impõem constantes dilatações e contrações em sua estrutura, representando uma massa considerável que absorve parte do calor da queima do combustível. Outro motivo para a pesada estrutura é a necessidade de suportar o extremo peso das abóbadas das dezenas de câmaras do forno.

A queima ocorre na parte superior do forno através de alimentação manual ou com carrinhos com três queimadores, um em cada boca de alimentação, com o sistema avançando cerca de uma linha de bocas por hora à medida em que avança o processo de queima. O processo ocorre de tal forma que em cada câmara o conjunto de queimadores (três bocas de queima) atuará por cerca de seis horas.



Figura 9 - Forno Hoffmann

## Esquema do Forno Hoffmann

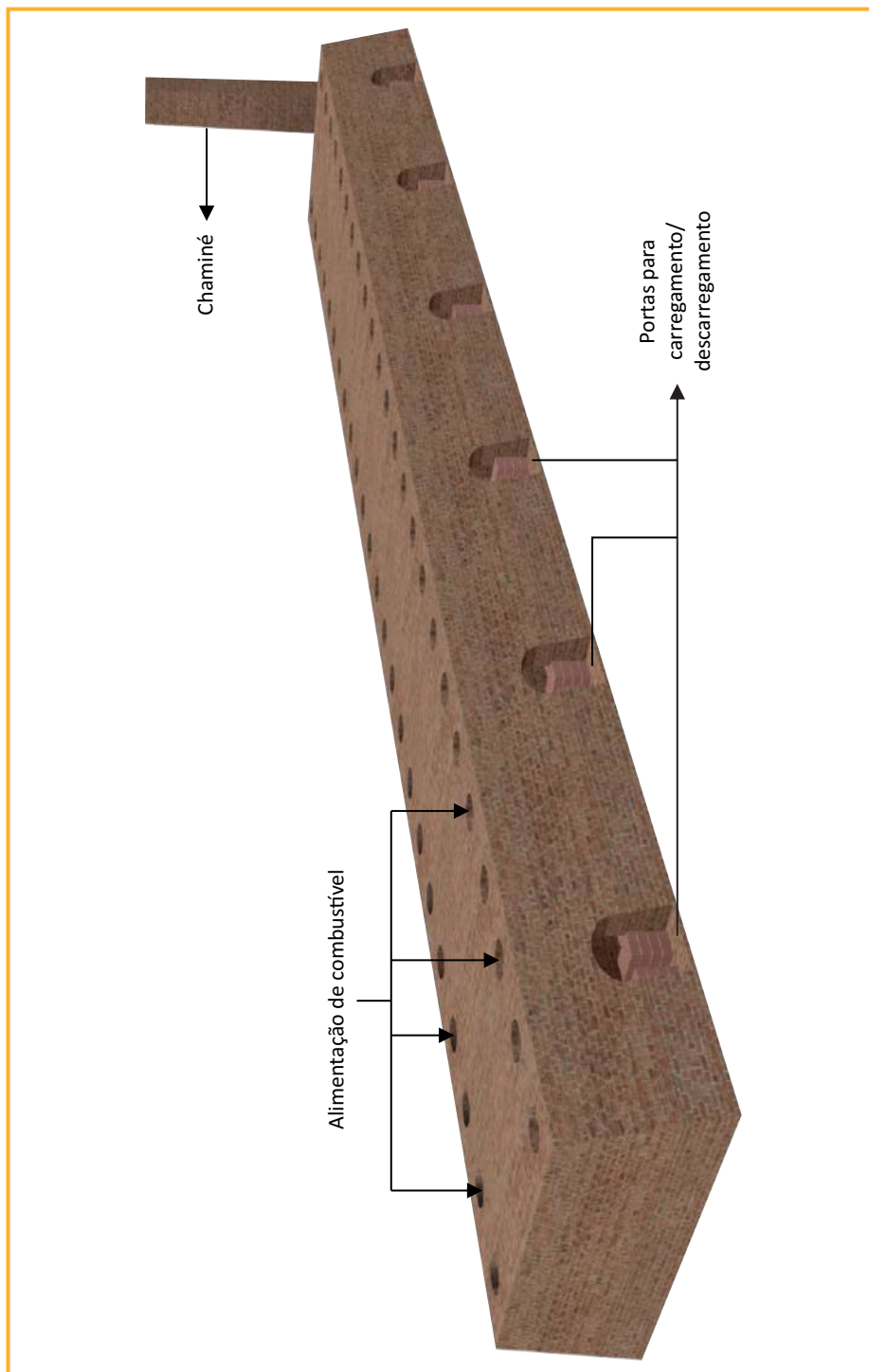


Figura 10 – Esquema forno Hoffmann

## Operação e Desempenho do Forno Hoffmann

Na operação de um forno Hoffmann nunca poderá faltar material seco para queimar, sob pena de quebrar o ritmo do forno e comprometer sua estabilidade térmica, consumo energético e qualidade de produção. Conforme a velocidade de avanço do fogo, aumenta ou diminui o consumo específico do mesmo. Se o avanço do fogo for rápido, o forno tende a consumir menos combustível. Assim, ao passar-se de um ciclo de quatro para dois dias, o tempo de queima pode reduzir-se a menos da metade, mas exigiria extrema atenção em sua operação, além de ser impossível na produção de blocos de maior peso unitário, dependendo também do tipo de argila processada, levando ao risco de tombamento da carga dentro da câmara. Isso tem a ver com o gradiente de temperatura e com a retração da carga, que ao ficar mais quente na sua parcela diante do fogo, pode tombar nessa direção. Há, portanto, um fator impeditivo para a queima de telhas em fornos Hoffmann, o que exigiria uma velocidade de queima limitada a tal ponto, que se tornaria antieconômica.

Com relação ao sistema de tiragem dos gases de exaustão, os fornos Hoffmann dependem de uma chaminé bem projetada, diante da interligação com as dezenas de câmaras do forno. Há muitos casos em que a tiragem natural não se estabelece a contento, impondo a implantação de um sistema de exaustão forçada, o que influencia na pressão interna do forno e em seu processo de queima, destacando que cada câmara possui um duto de aspiração local ligado ao duto central de tiragem conectado à chaminé, mas interconectado com um sistema de registros de regulação da pressão interna do forno.

Um forno Hoffmann costuma consumir cerca de 50 a 70% menos que um forno intermitente convencional, permitindo que seu consumo específico de combustível se situe na faixa de 0,9 a 1,2 st/milheiro. Nesta faixa de desempenho, o índice de consumo energético específico se situa entre 418 e 637 kcal/kg, com respectiva eficiência térmica média de 50%.



## Ciclo de Queima

---

O ciclo total de queima de cada câmara de um forno Hoffmann pode variar de 2 a 4 dias, conforme a velocidade de queima, o que depende do tipo de produto processado.

Pode-se tomar um valor médio de três dias por câmara, sendo dois dias com a câmara fechada e mais meio dia para carregar e meio dia para descarregar.

Nos dois dias com a câmara fechada, considera-se em média 6 horas de queima por câmara, envolvendo ainda 21 horas de aquecimento e outro tanto de resfriamento da carga, perfazendo 48 horas com a câmara fechada, mais 12 horas com a câmara em carregamento e mais outro tanto em descarregamento, tendo um ciclo total de 3 dias para cada câmara, lembrando todavia que num dia só se procede a queima de 4 câmaras. Num forno de 20 câmaras, um ciclo completo seria atingido em cinco dias, levando à execução de seis ciclos mensais no forno, processando a cerca de 120 câmaras por mês ou cerca de 1.200 milheiros mensais.

O ciclo de queima desse tipo de forno mostra a influência do custo da mão de obra em suas operações de carregamento e descarregamento, o que também influencia de forma negativa na produtividade, pelo maior tempo do ciclo.

## Custo de Aquisição

---

Um forno Hoffmann de boa capacidade (1.200 milheiros/mês, equivalente a 2.200 t/mês) pode custar por volta de R\$ 800 mil. Para esta produção teria 20 câmaras com dimensões internas de 3,0 m de comprimento, 2,5 m de profundidade e 2,5 m de altura (volume interno de 18,8 m<sup>3</sup>/câmara e cerca de 10 milheiros/câmara) e capacidade mensal de 1.200 milheiros/mês, apresentando a vantagem de poder ser construído parcialmente com mão de obra da empresa, assim como parte do material de alvenaria.

## Resumo

---

- Dimensões externas: comprimento - 60 a 120 metros; altura - 2,5 a 3,0 metros; largura - 3,5 a 4,5 metros;
- Número de câmaras: 12 a 16, com queima na parte superior;
- Capacidade mensal: 800 a 1.200 milheiros/mês (1.440 a 2.160 t/mês);
- Produtos: tijolos e lajotas;
- Ciclo completo de queima: 3 dias;
- Tempo de queima: 6 horas por câmara; queima média de 4 câmaras por dia (40 a 48 milheiros/dia);
- Peças de 1ª qualidade: > 90%;
- Perdas < 2%;
- Consumo específico de lenha: 0,9 a 1,2 st/milheiro (peças de 2,2 kg);
- Consumo específico de energia térmica: 418 a 637 kcal/kg;
- Eficiência térmica média: 50%.

## Vantagens

---

- Produtos de primeira acima de 90%;
- Permite a modulação da velocidade da queima;
- Adapta-se a diferentes tipos de matéria prima;
- Baixo índice de perdas e de material de segunda qualidade;
- Bom desempenho energético;
- Recuperação de calor;
- Baixa demanda de energia térmica;
- Uso de diversos tipos de combustível.

## Desvantagens

---

- Construção cara;
- Operação mais complexa que em outros tipos de fornos (operação permanente de abertura e fechamento de registros, posição das barreiras de papel e do ritmo de avanço das câmaras);
- Elevado insumo de mão de obra;
- Produção apenas de blocos;
- Demanda excessiva de manipulação do produto;
- Requeima na soleira e falta de queima na abóbada;
- Vazamento nos canais e manchas laterais nos produtos causadas pela falta de ar na queima.

## Boas Práticas para o uso Eficiente de Energia

- No projeto do forno é conveniente considerar paredes e teto mais leves, de modo a reduzir a inércia térmica do conjunto;
- Os registros reguláveis de ligação das câmaras com o duto central de aspiração devem estar em bom estado para manter o duto central em depressão e não promover perdas por vazamento de gases quentes;
- A queima deve se dar, de forma preferencial, através de lenha picada, o que confere mais constância de alimentação de calor no forno, o que pode se dar de modo automatizado;
- Vale também aproveitar o calor da estrutura do forno para reduzir o teor de umidade da lenha, estocando a mesma junto às paredes do forno;
- O início da queima deve ser lento;
- O pé da carga deve ser alto e bem distanciados para evitar estrangulamento do fogo;
- As peças da primeira câmara devem estar bem secas. O excesso de umidade nas peças retarda a passagem do fogo, provocando trincas, estouros e deformações;
- O fogo deverá andar após o es quente total da câmara. Se andar antes do tempo, encontrará excesso de umidade na câmara, retardando o ritmo do forno;
- Para avaliar a umidade nas câmaras, costuma ser prática a introdução de uma vara metálica para registrar a possível presença de gotículas de água na mesma.



## 7 | FORNO VAGÃO METÁLICO

Os fornos cerâmicos do tipo vagão metálico começaram a ser empregados no Brasil em 2015, com o incentivo da maior oferta de fibra cerâmica de fabricação nacional ou importada a preço competitivo, considerando ser a isolação térmica nesses fornos um dos principais itens no custo final.

Este tipo de forno apresenta, potencialmente, consideráveis vantagens técnicas, econômicas e ambientais, devendo proporcionar: menor demanda de energia térmica, maior parcela de produto de primeira qualidade, redução de mão de obra, aumento da velocidade de produção, redução das emissões, além da possibilidade de produção de produtos variados.

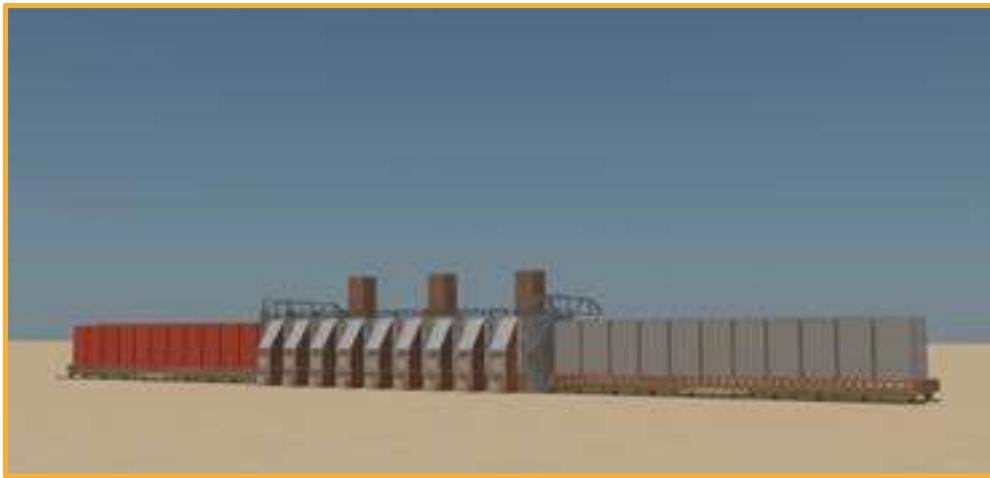


Figura 12 - Forno vagão metálico

## Descrição do Forno Vagão Metálico

O “vagão metálico” é um forno cerâmico intermitente composto de um corpo fixo, com estrutura metálica (laterais e teto) e revestimento interno de fibra cerâmica especial (espessura de 15 cm) e duas estruturas móveis (plataformas ou vagões), que se deslocam sobre trilhos, levando e retirando a carga do interior da estrutura fixa, o que ocorre nas duas entradas do forno. Cada plataforma apresenta uma estrutura cerâmica com crivos para tiragem dos gases quentes da queima.

O revestimento interno do forno em fibra cerâmica (material de baixa densidade e muito leve) visa a refletir o calor e reduzir a sua absorção pela estrutura da parte fixa, proporcionando uma baixa inércia térmica ao conjunto, que se traduz na redução da perda de calor na estrutura, aumento da velocidade de aquecimento e redução do tempo de resfriamento.

Numa das laterais da parte fixa ficam acopladas as fornalhas de queima, 6 a 9 bocas, que podem operar com diversos tipos de combustíveis: lenha em toras ou cavaco, biomassa em pó e mesmo gás.

A estrutura fixa do forno pode ter comprimento e largura variáveis, conforme a capacidade produtiva desejada por queima. A plataforma é acionada por servo-motor de 5 cv, demandando cerca de 40 minutos para o deslocamento da carga até o forno. A carga crua e a cozida se deslocam pela mesma entrada, ou seja, cada plataforma opera em uma extremidade do forno.

## Operação e Desempenho do Forno Vagão Metálico

O tempo de queima nos fornos do tipo vagão metálico é da ordem de 15 a 25 h e o resfriamento de 12 a 15 h, totalizando um ciclo de 36 a 50 h. Em termos gerais, pode-se considerar um ciclo de queima da ordem de 2 dias, o que depende da quantidade de material seco disponível para queimar.

Este tipo de forno pode não ser operado, por exemplo, aos domingos, o que reduz o custo com hora extra. Assim, considerando apenas 25 dias de operação mensal como valor médio, admite-se uma quantidade média de 13 queimas por mês. O controle da queima ocorre a partir do sinal de temperatura de termopares instalados na parte superior do forno, de modo a controlar a alimentação de ar de combustão e de combustível (válvulas rotativas ou alimentadores tipo parafuso, caso de combustíveis sólidos, ou tipos diversos de válvulas para combustíveis líquidos e gasosos).

O forno tipo vagão metálico permite um consumo mais baixo de energia. Seu consumo específico de energia situa-se entre 0,8 a 0,9 estéreos por milheiro (st/milheiro), equivalente a 450 a 580 kcal/kg, com valor de eficiência térmica média em 49%.

Seu consumo específico flutua abaixo da metade da média nacional de consumo de biomassa nas empresas de cerâmica vermelha em operação no país. Nota-se, no entanto, que sempre poderá ocorrer variações no consumo de energia em função da temperatura de queima da argila, do tipo de combustível (poder calorífico superior, umidade e granulometria), tipo de queimador, tipo de controle da queima, arranjo das peças no forno, dentre outros.

Outro aspecto positivo é a possibilidade plena de aproveitamento de calor da queima e do resfriamento na fase de secagem.

Ao permitir uma curva de aquecimento extremamente rápida, o que agiliza a produção, deve-se ter o cuidado de alimentar o forno com as peças bem secas. Caso contrário pode-se provocar trincas nos produtos.

Quanto à mão de obra, esta pode ser melhor aproveitada ao se reduzir o tempo entre os ciclos de queima. Ou seja, logo após descarregado de uma plataforma, respeitando-se o período de resfriamento da carga por 12 a 15 h, o forno pode, de imediato, começar o processo de aquecimento e queima da carga na plataforma seguinte. A redução do tempo perdido nas operações de carregamento e descarregamento do forno aumenta a produtividade da mão de obra em cerca de 30%. Em outras palavras, reduz-se de forma significativa o custo operacional da empresa.

## Esquema do Forno Vagão Metálico

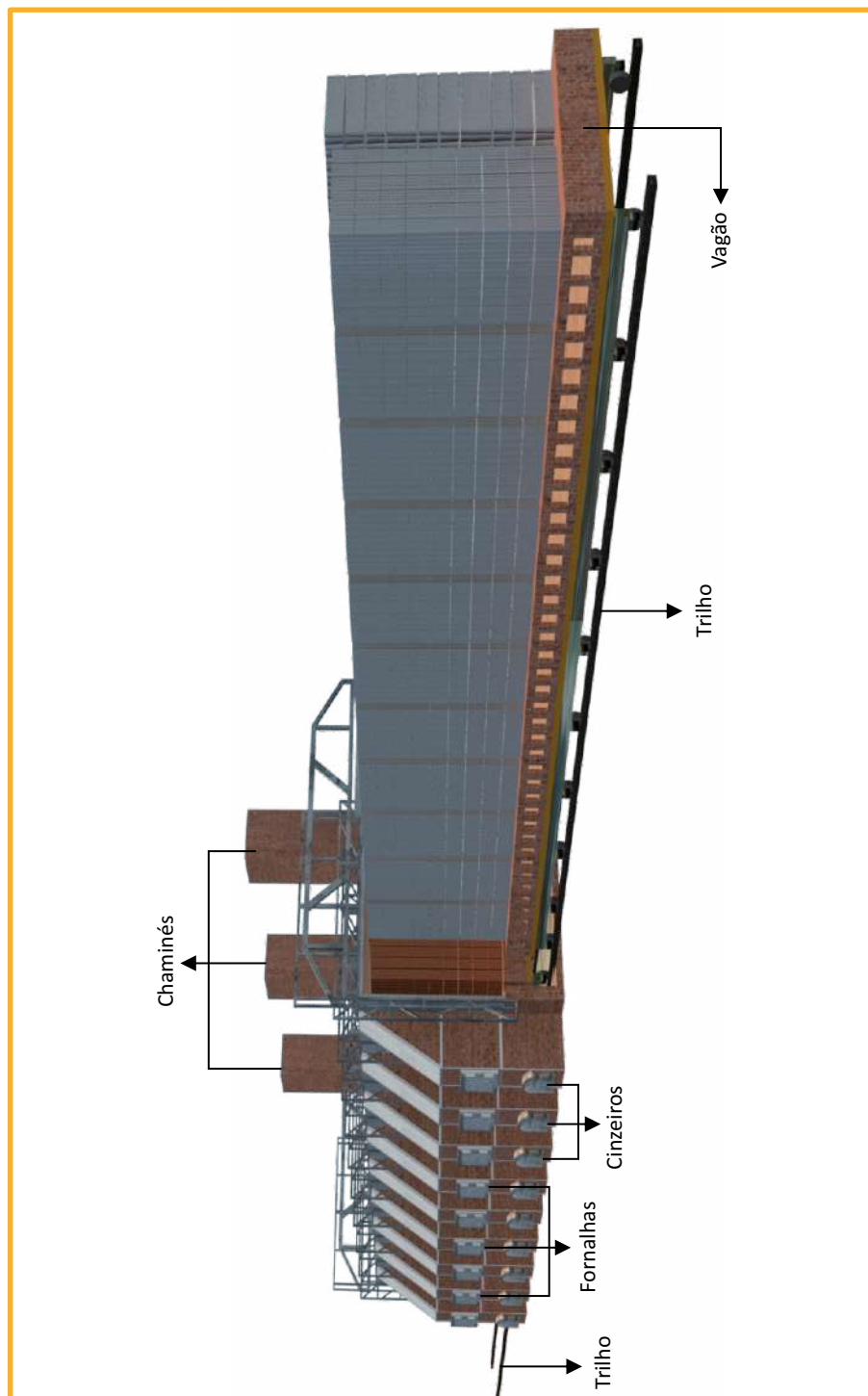


Figura 13 – Esquema forno vagão metálico

## Custo de Aquisição

Forno vagão metálico de menor capacidade (produção de 30 milheiros/carga de bloco de 2,5kg e capacidade mensal de 390 milheiros/mês) pode custar cerca de R\$ 300 mil, mais R\$ 60 mil de obra civil referente às plataformas, crivos e canais de tiragem para o secador e a exaustão na chaminé, totalizando R\$ 360 mil.

Do valor do forno, cerca de 40% corresponde à isolamento térmica com fibra cerâmica e o restante à estrutura metálica e de alvenaria, instalação elétrica, sistema de controle, instalação etc.

Fornos maiores (24 x 4 m) para 50 milheiros/queima ou 650 milheiros/mês podem custar aproximadamente R\$ 550.000,00.

## Resumo

- Dimensões: comprimento de 18, 20 e 24 m; altura interna de 2,7 m e largura interna de 3 a 4 m; número de fornalhas: seis ou nove;
- Capacidade por carga: 30.000 a 55.000 peças (aprox. 75 a 140 t por carga);
- Capacidade mensal: 390 a 690 milheiros (975 a 1.725 t/mês);
- Produtos: telhas, tijolos e lajotas;
- Consumo específico de lenha: 0,8 a 0,9 st/milheiro de peças de 1,8kg;
- Consumo específico de energia térmica: 450 a 580 kcal/kg;
- Eficiência térmica média: 49%;
- Ciclo completo de queima: 2,0 a 2,5 dias;
- Tempo de queima: 15 a 25 horas. Conforme tipo de argila empregada;
- Peças de 1ª qualidade: > 90%;
- Perdas: < 1%.

## Fluxo do Forno Vagão Metálico

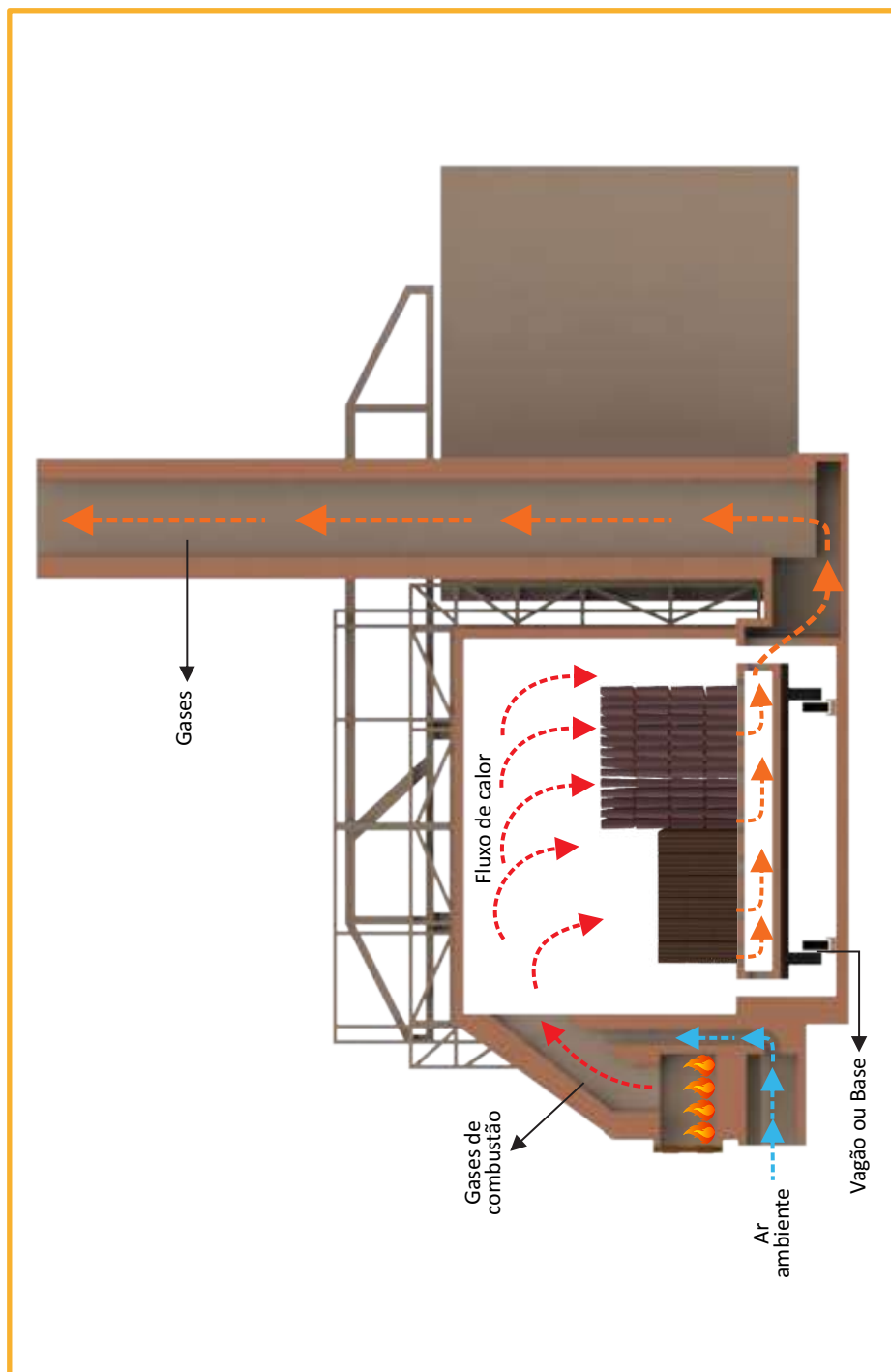


Figura 14 – Fluxo de ar e de gases quentes no interior do forno vagão metálico

## Vantagens

---

- Redução na demanda de energia térmica e na emissão de carbono;
- Projeto modulado. Pode ser adequado à demanda da empresa;
- Pode empregar diferentes combustíveis;
- Custo de investimento competitivo, em comparação com modelos da mesma categoria;
- Baixo custo operacional;
- Recuperação de calor para a secagem;
- Menor insumo de mão de obra;
- Melhores condições de salubridade no ambiente da produção;
- Maior velocidade de produção;
- Ciclo de queima curto;
- Queima homogênea;
- Facilidade de operação;
- Desmontável;
- Transportável;
- Financiável por bancos de fomento, em geral, 60%.
- Baixa inércia térmica (estrutura leve de metal com revestimento de fibra cerâmica).

## Desvantagens

---

- Não aplicável a escalas de produção acima de 2.000 t/mês;
- Deve operar com peças cruas bem secas (< 6% de umidade);
- Exige cuidados com o sistema de tracionamento da carga.

## Boas Práticas para o uso Eficiente de Energia

---

- Usar material combustível plenamente seco;
- Usar lenha picada ou serragem;
- Usar alimentação contínua de biomassa/lenha;
- Controlar curva de queima através de termopares;
- Recuperar calor do resfriamento.

## Principais Fabricante

---

Informações sobre o fabricante disponíveis em : <http://tinyurl.com/redladrilleras>





## 8 | FORNO METÁLICO MÓVEL

Os fornos cerâmicos do tipo metálico móvel começaram a ser empregados no Brasil há menos de seis anos, incentivados pela maior oferta de fibra cerâmica de fabricação nacional ou importada a preço competitivo, considerando ser a isolação térmica nesses fornos um dos itens de custo decisivos no custo final. Com isso, já são cerca de 200 fornos móveis (média de 1.000 milheiros/forno.mês) em operação ou montagem, representando uma parcela de cerca de 5% da produção nacional de cerâmica vermelha, com tendência crescente de participação no mercado produtivo.

Este tipo de forno apresenta consideráveis vantagens técnicas, econômicas e ambientais - proporcionam redução na demanda de energia térmica, maior parcela de produto de primeira qualidade, redução do custo de mão de obra, aumento da velocidade de produção, redução das emissões, possibilidade de produção de telha, lajota ou bloco, dentre outras.

Assim, projeta-se um aumento expressivo da quantidade desse tipo de forno no mercado nos próximos anos, levando-se em conta a existência de mais de dez fabricantes no país, principalmente em regiões produtivas onde o controle ambiental de emissões é mais rígido e a oferta de biomassa é mais difícil e cara.

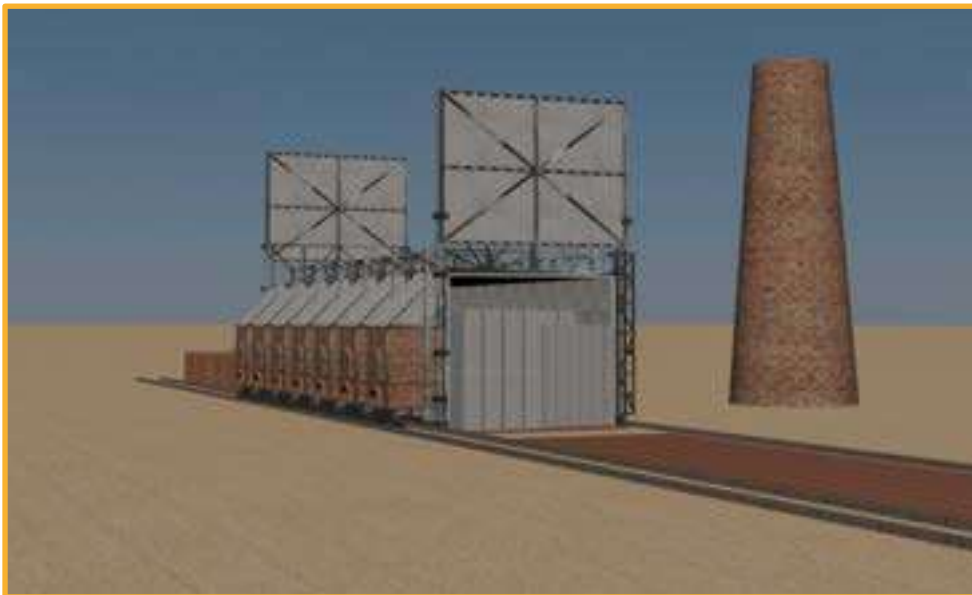


Figura 15 - Forno metálico móvel

## Descrição

O forno metálico móvel tem ciclo intermitente. É composto de um corpo móvel, com estrutura metálica (laterais e teto) e revestimento interno de fibra cerâmica especial (espessura de 15 cm). Essa estrutura se move sobre trilhos, acoplando-se sobre duas ou três bases de queima fixas, também chamadas de plataformas fixas, em lajotas cerâmicas, que constituem os crivos do forno através dos quais se dá a extração de gases quentes da queima (tiragem do forno).

O revestimento interno do forno em fibra cerâmica (material de baixa densidade e muito leve) visa a refletir o calor e reduzir a sua absorção pela estrutura da parte móvel, proporcionando uma baixa inércia térmica ao conjunto, que se traduz em: redução da perda de calor na estrutura, aumento da velocidade de aquecimento e redução da velocidade de resfriamento.

Numa das laterais da parte móvel ficam acopladas as fornalhas de queima em geral, 6 a 12 bocas, que podem operar com diversos tipos de combustíveis: lenha em toras ou cavaco, biomassa em pó e mesmo gás, podendo contar, em caso de fornos de maior capacidade, com fornalhas dos dois lados.

A estrutura móvel do forno (peso na faixa de 40 a 150 t) pode ter largura, comprimento e altura variáveis, conforme a capacidade produtiva desejada por queima. A estrutura é acionada através de sistema eletro-hidráulico, que faz com que o forno (estrutura móvel) caminhe de uma base para outra. Assim, após queimar uma primeira base, o forno caminha para outra base posicionada lateralmente. Esse deslocamento se dá num tempo da ordem de 5 minutos.

No caso de empresas com capacidade suficiente de secagem, é possível contar com uma terceira plataforma, o que possibilita o aumento de 12 queimas mensais (duas plataformas) para 15 com três plataformas. Quanto às portas de carregamento, podem ser basculantes, horizontais em duas partes ou de abertura vertical ou composta (vertical-basculante), conforme a altura disponível no galpão.

## Esquema do Forno Metálico Móvel

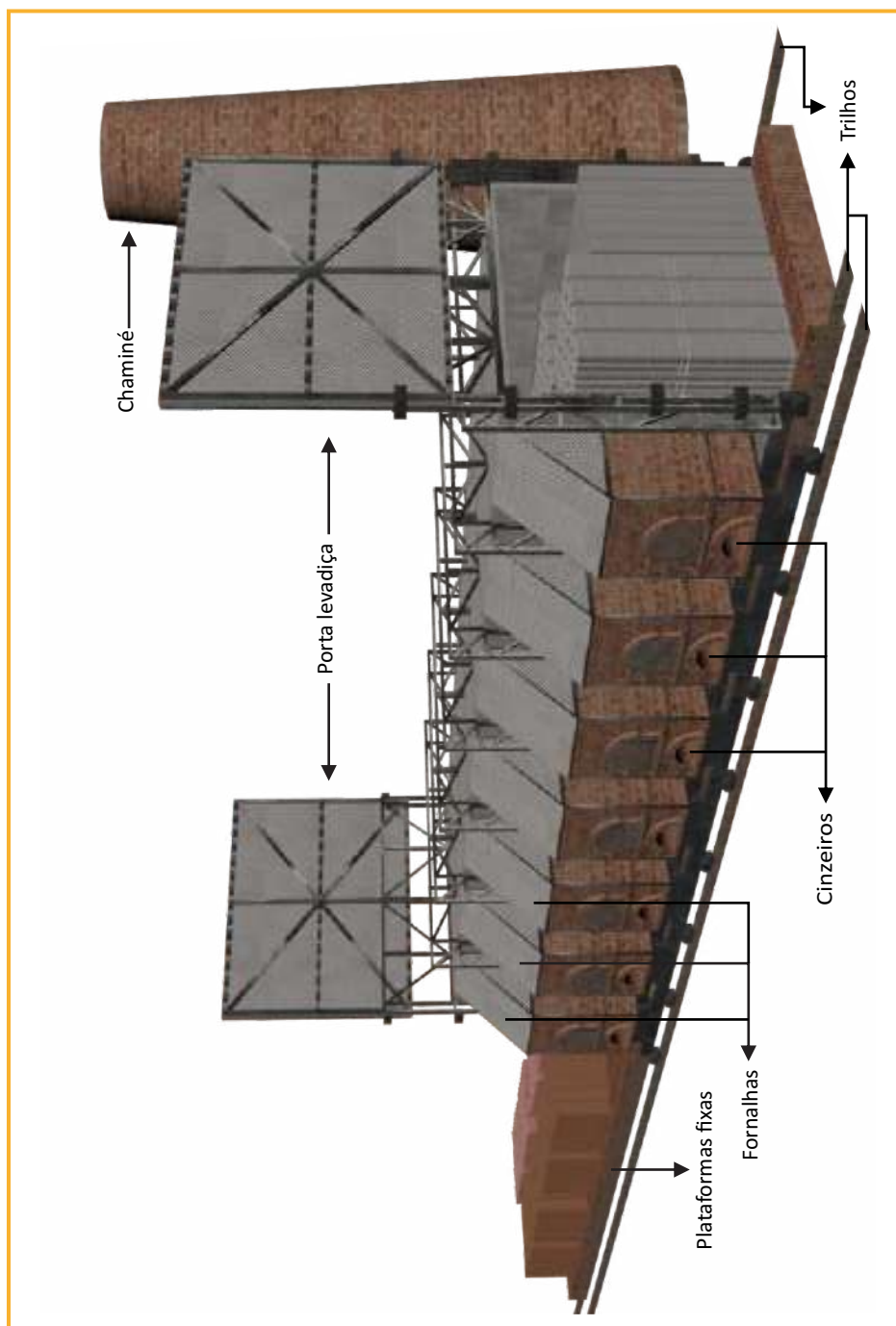


Figura 16 – Esquema forno metálico móvel

## Operação e Desempenho

O tempo de queima nos fornos móveis é da ordem de 15 a 25 h e o resfriamento de 12 a 15 h, totalizando um ciclo de 36 a 45 h. Em termos gerais, pode-se considerar um ciclo de queima da ordem de 2 dias, o que depende da quantidade de material seco disponível para queimar.

Os fornos móveis podem não ser operados, por exemplo, aos domingos, o que reduz o custo com hora extra. Assim, considerando apenas 25 dias de operação mensal como valor médio, admite-se uma quantidade média de 12 queimas por mês para duas plataformas e até 15 queimas/mês para três plataformas (caso tenha material seco suficiente), caso em que o ciclo real ficaria abaixo de 2 dias.

O controle da queima ocorre a partir do sinal de temperatura de termopares instalados na parte superior do forno, de modo a controlar a alimentação de ar de combustão e de combustível (válvulas rotativas ou alimentadores tipo parafuso, caso de combustíveis sólidos, ou tipos diversos de válvulas para combustíveis líquidos e gasosos).

Os fornos metálicos móveis permitem uma menor demanda de energia térmica.

O forno metálico móvel apresenta consumo específico de lenha de 0,7 a 0,8 estéreis por milheiro, o equivalente a 397 a 519 kcal/kg e a uma eficiência térmica média de 56%.

Nota-se que sempre poderá ocorrer variações no consumo específico em função da temperatura de queima da argila, do tipo de combustível (poder calorífico superior, umidade e granulometria), tipo de queimador, tipo de controle da queima, arranjo das peças no forno, dentre outros.

Outro aspecto positivo é a possibilidade plena de aproveitamento de calor da queima e do resfriamento na fase de secagem.

Ao permitir uma curva de aquecimento extremamente rápida, o que agiliza a produção, deve-se ter o cuidado de alimentar o forno com as peças bem secas. Caso contrário, pode-se provocar trincas nos produtos.

Quanto à mão de obra, esta pode ser melhor aproveitada ao se reduzir o tempo entre os ciclos de queima. Ou seja, logo após descarregado de uma base do forno, respeitando-se o período de resfriamento da carga por 12 a 15 h, o forno pode, de imediato, começar o processo de aquecimento e queima da carga na base seguinte (base vizinha). A redução do tempo perdido nas operações de carregamento e descarregamento do forno aumenta a produtividade da mão de obra em cerca de 30%. Em outras palavras, reduz-se de forma significativa o custo operacional da empresa.

## Custo de Aquisição

Forno móvel metálico de menor capacidade (produção de 50 milheiros/carga de bloco 9x19x19 com volume de 15x5x3m e capacidade mensal de 600 milheiros/mês) pode custar cerca de R\$ 350 mil, mais R\$ 150 mil de obra civil referente às plataformas, crivos e canais de tiragem para o secador e a exaustão na chaminé, totalizando R\$ 500 mil.

Do valor do forno (R\$ 350 mil), cerca de 40% (R\$ 140 mil) correspondem à isolamento térmica com fibra cerâmica e R\$ 210 mil à estrutura metálica e de alvenaria, instalação elétrica, sistema de controle, instalação etc. Fornos maiores (24 x 8 x 3,5m) para 150 milheiros/queima ou 1.800 milheiros/mês (duas plataformas) podem custar aproximadamente R\$ 1 milhão.

## Fluxo do Forno Metálico Móvel

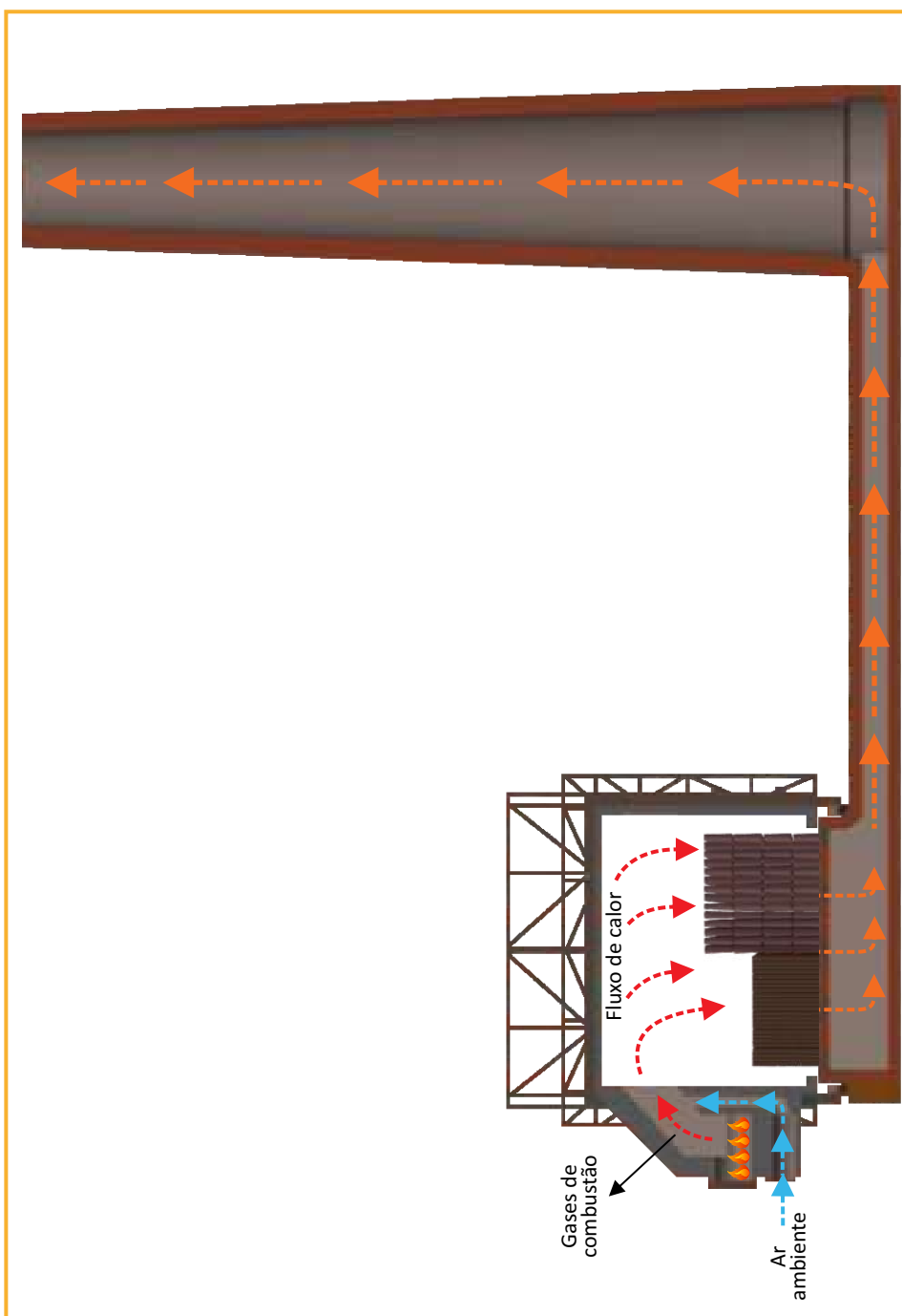


Figura 17 – Fluxo de ar e de gases quentes no interior do forno metálico móvel

## Resumo

- Dimensões externas: comprimento de 15 a 25 m; altura de 3,5 a 4,0 m e largura de 4,5 a 6,6 m;
- Número de fornalhas: seis a doze, podendo ser dos dois lados;
- Dimensões da câmara: 200 a 600 m<sup>3</sup>;
- Capacidade por carga: 50.000 a 120.000 peças (80 a 200 t por carga);
- Capacidade mensal: 600 a 1.500 milheiros (1.100 a 2.700 t/mês);
- Produtos: telhas, tijolos e lajotas;
- Consumo específico de lenha: 0,7 a 0,8 st/milheiro (peças de 1,8 kg);
- Consumo específico de energia térmica: 397 a 519 kcal/kg;
- Eficiência térmica média: 56%;
- Ciclo completo de queima: 2,0 a 2,5 dias;
- Tempo de queima: 15 a 25 horas;
- Peças de 1ª qualidade: > 90%;
- Perdas: < 1%.



Figura 18 – Forno metálico móvel: lote pronto (esq.) e portas metálicas do forno móvel (dir.)

## Vantagens

---

- Redução drástica na demanda de energia térmica e da emissão de carbono;
- O projeto pode ser adequado à demanda da empresa;
- Pode usar vários tipos de combustível;
- Custo de investimento competitivo com outros tipos de fornos de mesma capacidade;
- Custo operacional inferior ao da maioria dos fornos;
- Plena possibilidade de recuperação de calor (80%) para a secagem;
- Menor insumo de mão de obra;
- Melhores condições de salubridade no ambiente da produção;
- Maior produtividade;
- Maior velocidade de produção;
- Menor tempo de ciclo;
- Queima homogênea (Consegue-se > 90% de material de primeira qualidade);
- Menor manipulação do produto (menos perdas);
- Programação conveniente (pode ser desligado nos fins de semana, evitando pagamento de horas-extra);
- Processamento de todo tipo de produto (blocos, lajotas e telhas);
- Desmontável;
- Transportável;
- Financiável por bancos de fomento.

## Desvantagens

---

- Não aplicável a escalas de produção acima de 2.000 t/mês;
- Exige cuidados de manutenção com o sistema de comando e acionamento eletro-hidráulico da capota do forno;
- Exige boa secagem dos produtos.



## Boas Práticas para o uso Eficiente de Energia

---

- Usar material cru plenamente seco;
- Usar lenha picada ou serragem;
- Usar alimentação contínua de lenha;
- Controlar curva de queima através de termopares;
- Recuperar calor do resfriamento.

## Principais Fabricantes

---

A lista dos principais fabricantes encontra-se disponível em <http://tinyurl.com/redladrilleras>



## 9 | FORNO DE CÂMARAS TIPO CEDAN

Os fornos de câmara do tipo cedan foram desenvolvidos há cerca de 15 anos e representam uma evolução em relação aos fornos de câmaras convencionais e aos fornos Hoffmann e os do tipo Federico. A partir de 2008, por suas características técnicas e vantagens econômicas, passou a ser difundido com grande aceitação na indústria de cerâmica vermelha no Brasil. Atualmente, estima-se a existência de mais de cem fornos desse tipo em operação no país, com perspectiva de rápida ampliação.

Trata-se de forno bastante apropriado para a fabricação de telhas. Proporciona um alto índice de peças de primeira qualidade, boa homogeneidade dos produtos, baixíssimo índice de perdas e um baixo consumo de energia térmica (biomassa).



Figura 19 - Forno cedan

## Descrição e Operação

O forno cedan é constituído por multicâmaras interligadas, com aproveitamento interno de calor entre elas, proporcionando uma operação semicontínua. O arranjo mais comum para os fornos consiste em um conjunto de 6 ou 8 câmaras de cada lado do forno, interligadas lateralmente por passagens abaixo do piso (crivo) e por passagens internas. A capacidade destas câmaras pode variar entre 25.000 a 40.000 peças (32 a 52 t), de acordo com as dimensões internas e conforme o tipo de produto enornado.

A operação semicontínua do forno cedan caracteriza-se pelo fato de sempre existir uma câmara na fase de queima. Isto é, enquanto uma determinada câmara encontra-se queimando, as câmaras seguintes e vizinhas, já carregadas com material a queimar, recebem o calor residual extraído da câmara que está queimando. Portanto, pode-se ter de duas até cinco câmaras subseqüentes em preaquecimento. De outro lado, na câmara anterior a da queima, faz-se simultaneamente o resfriamento da carga já queimada, insuflando-se ar ambiente. Este ar troca calor com as peças quentes, e vai para a câmara na fase de queima, atuando como ar de combustão quente, o que também contribui para um maior rendimento energético.

Os gases de combustão têm fluxo ascendente na câmara de combustão seguindo até à abóbada do forno passando por aberturas na parte superior da parede que separa a câmara de combustão da câmara onde estão colocadas as peças cerâmicas. Neste compartimento, o fluxo de gases quentes é desviado para baixo, sendo dirigido para o subsolo, cruzando um piso crivado. Daí o calor é direcionado para fornalha da câmara vizinha por aberturas abaixo do piso, atravessando a parede que divide as câmaras.

Todo esse circuito, com vários redirecionamentos, torna a passagem do “fogo” (calor) mais lenta, o que é bom para uma adequada sinterização do produto, como também para a retenção do material particulado dos gases de combustão no interior do forno, diminuindo as emissões atmosféricas. A chaminé fica instalada ao lado do forno, junto à parede externa, e pode demandar auxílio de exaustor de gases, principalmente se a chaminé não for muito alta.

Os fornos cedan de menor capacidade apresentam 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 dos dois lados do forno (câmaras dos dois lados), como nos fornos Hoffmann de duas retas. Ou seja, a queima seguinte sempre se dá em câmaras à jusante.

O ciclo de queima dos fornos do tipo cedan não envolve os períodos de carregamento e descarregamento do forno, considerando que as referidas operações se dão enquanto o forno procede as operações de “esquente”, queima e resfriamento em câmaras a montante e a jusante. Portanto, conforme mencionado, enquanto uma câmara está em fase de queima, a câmara à frente está em fase de resfriamento e as seguintes (posteriores) estão em fase de preaquecimento e outras mais adiante (já queimadas) em descarregamento.

O ciclo de operação deste tipo de forno apresenta influência do custo da mão de obra em suas operações de carregamento e descarregamento (4 a 6 operários) e de queima (1 foguista por turno), o que interfere no custo de produção e na produtividade.

A queima de cada câmara pode variar entre 8 e 36 horas (média de 15 horas), dependendo das características da matéria-prima do produto final (telha, tijolo ou lajota). A temperatura de queima do forno deve se situar entre 800 a 950°C.

Em média podem ser realizadas cerca de 30 queimas mensais, gerando uma capacidade de produção mensal de 900 milheiros (ref.: 85% de telha colonial 1,1 kg/peça e 15% de bloco de vedação de 2,4 kg/peça) ou 810 t/mês.

A alimentação de combustível, na forma de lenha em toras, cavacos ou serragem, se dá pelo topo do forno (teto), podendo ser de forma contínua ou em bateladas (intermitente).

O controle da queima ocorre a partir do sinal de temperatura de termopares instalados internamente nas câmaras, facilitando o controle da alimentação de ar de combustão e do próprio combustível (válvulas rotativas ou alimentadores tipo parafuso).

## Esquema do Forno Cedan

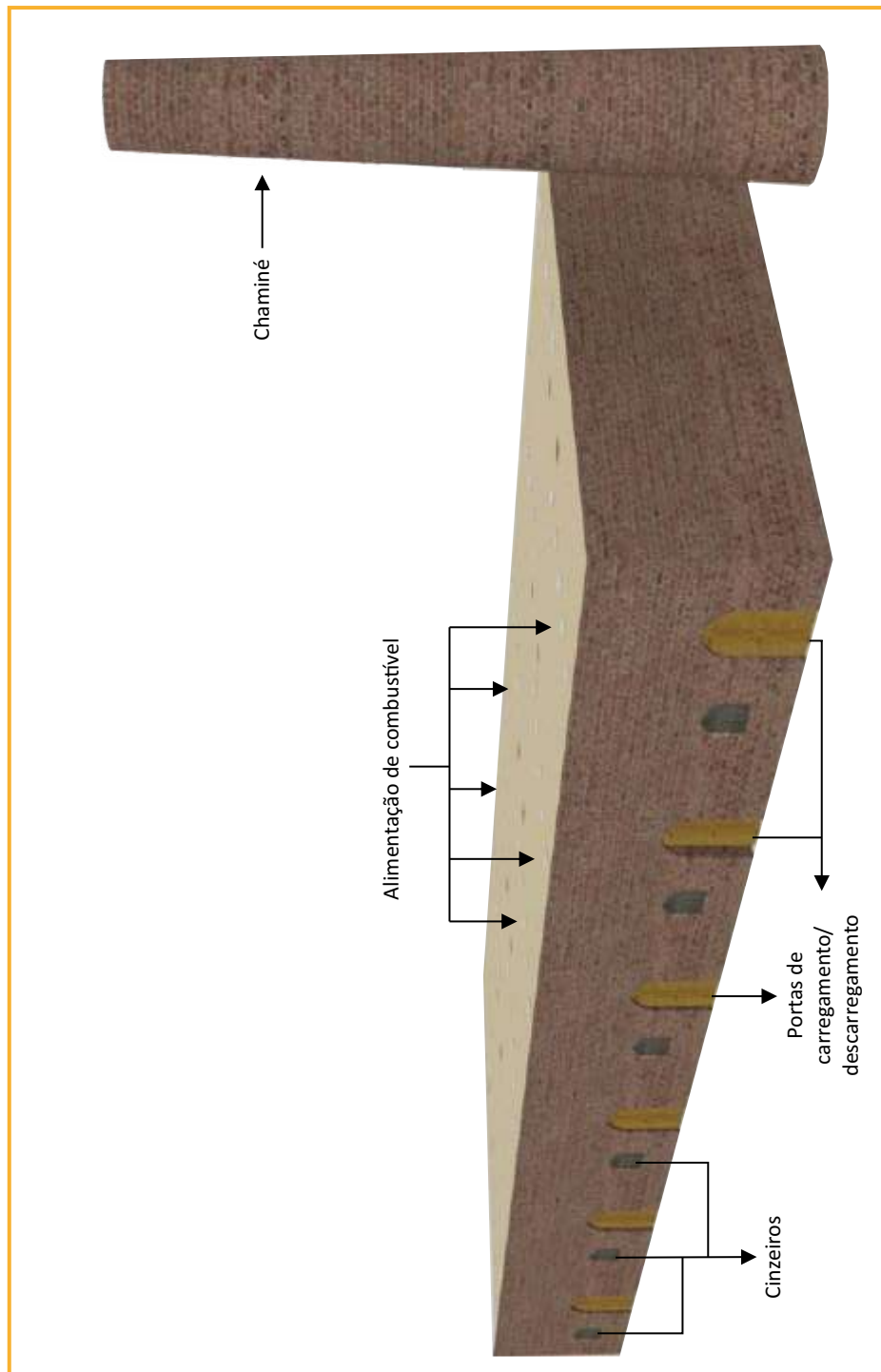


Figura 20 - Esquema forno cedan

## Fluxo do Forno Cedan

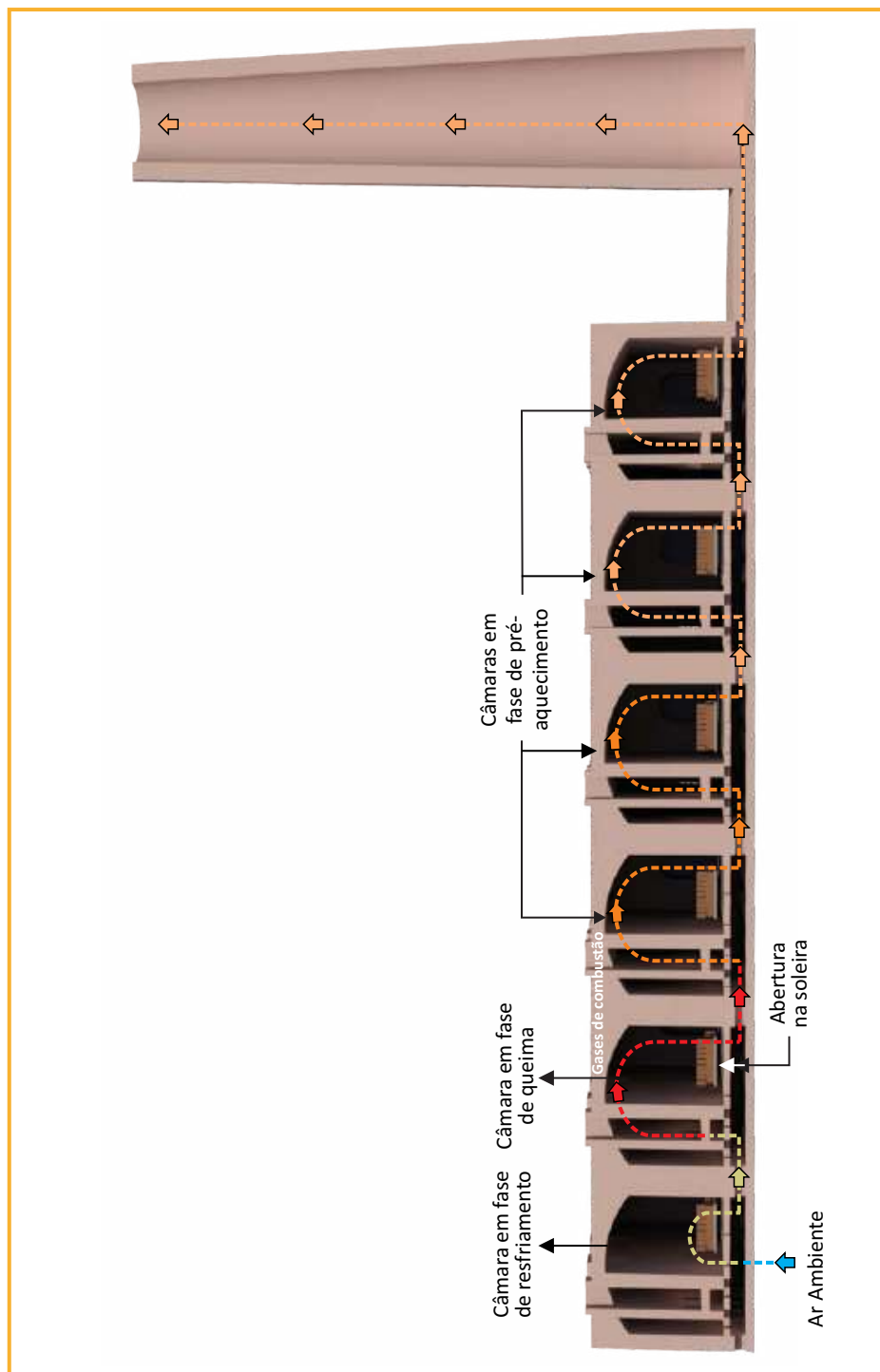


Figura 21 – Fluxo de ar e de gases quentes no interior do forno cedan

## Desempenho do Forno Cedan

---

O forno cedan é um equipamento de boa eficiência térmica, com custo construtivo não proibitivo, constituindo uma solução na busca de maior sustentabilidade (menor consumo de energia térmica, menor emissão de gases e de resíduos de combustão), porém apresenta considerável demanda de mão de obra para carregamento e descarregamento das câmaras, o que influencia em seu custo operacional.

O nível de obtenção de peças de primeira qualidade é acima de 90% e o de perdas de produção, inferior a 2%.

Os fornos cedan permitem um baixo consumo de energia devido à recuperação de calor entre as câmaras internas.

O forno cedan apresenta consumo específico de lenha entre 0,6 e 0,7 estéreis por milheiro, o consumo específico de energia está situado na faixa de 409 a 545 kcal/kg e possui eficiência térmica média de 54%.

Importante notar que esse consumo específico de energia térmica poderá variar em função de diversos itens: temperatura de queima da argila, tipo da lenha/biomassa empregada (poder calorífico superior, umidade e granulometria), tipo de queima (contínua ou intermitente), tipo de controle da queima, tipo de arrumação das peças no interior do forno, dentre outros aspectos.

## Custo de Aquisição

---

O custo de investimento num forno cedan com capacidade de produção com 12 câmaras (900 milheiros/mês) é da ordem de R\$ 400 a 500 mil, considerando o emprego de mão de obra da própria empresa e de boa parte da alvenaria, composta de tijolos maciços e que pode ser produzida na própria fábrica.



## Resumo

---

- Dimensões externas: comprimento - 36 a 50 m; altura - 4,2 m; largura: 15,0 a 24,0 m;
- Dimensões da câmara: 3,0 x 5,3 a 12,0 x 3,0 a 3,5m (altura x profundidade x largura);
- Capacidade por câmara: 25.000 a 50.000 peças (32 a 65 t por carga);
- Capacidade mensal: 670 a 1.400 milheiros (855 a 1.800 t/mês);
- Produtos: telhas, tijolos e lajotas;
- Consumo específico de lenha: 0,6 a 0,7 st/milheiro (peças de 1,8 kg);
- Consumo específico de energia térmica: 409 a 545 kcal/kg;
- Eficiência térmica média: 54%;
- Tempo de queima: 15 a 18 horas, dependendo do tipo da argila e da lenha empregada;
- Cadência de processamento: 1 a 2 câmaras por dia;
- Peças de 1ª qualidade > 90%;
- Perdas < 2%.

## Vantagens

---

- Baixo consumo de energia térmica e de emissão de carbono;
- Flexibilidade de produção, já que são “lotes” de cerca de 30 mil peças;
- Possibilidade de queima de vários tipos de lenha (toras, varas finas, tarugos extrusados, briquetes, cavacos e serragem);
- Baixo custo operacional;
- Possibilidade de recuperação de calor para a secagem;
- Condições razoáveis de salubridade no ambiente da produção (principalmente durante a queima);
- Boa produtividade e velocidade de produção;
- Queima homogênea e baixo nível de perdas por quebras e trincas.

## Desvantagens

---

- Custo de investimento relativamente elevado;
- Operação um pouco complexa.

## Boas Práticas para o uso Eficiente de Energia

---

- Usar alimentação contínua e automatizada de lenha e/ou cavacos;
- Controlar curva de queima através de termopares.

## Principais Fabricantes

---

A lista dos principais fabricantes encontra-se disponível em <http://tinyurl.com/redladrilleras>

### **Importante:**

O forno cedan é projetado e construído exclusivamente por Paulo Dantas (Cerâmica Dantas) que detém os direitos de projeto.

## 10 | FORNO TÚNEL

Os fornos cerâmicos do tipo túnel são empregados no Brasil há décadas, porém em uma proporção bastante restrita em função do alto custo de investimento e da escala de produção que ele exige (> 2 mil t/mês), muitas vezes fora da realidade das empresas. Todavia, as barreiras à construção deste tipo de forno vêm se reduzindo na medida em que suas vantagens vêm se mostrando muito atraentes em diversas situações.

O forno túnel apresenta consideráveis vantagens técnicas, econômicas e ambientais, promovendo redução na demanda de energia térmica, aumento da parcela de produto de primeira qualidade, redução do custo de mão de obra, aumento da velocidade de produção, redução das emissões, possibilidade de produção de telha, lajota ou bloco, dentre outras.

A projeção atual é de que a quantidade de fornos do tipo túnel de adequada capacidade (>2.000 t/mês) no mercado produtivo dobre nos próximos dez anos, levando em conta a existência de mais de dez fabricantes no país com considerável número de encomendas, principalmente em regiões produtivas onde o controle ambiental de emissões é mais rígido e a oferta de biomassa é mais difícil e cara, assim como a mão de obra empregada, motivos que levam à consideração dessa alternativa.



Figura 22 - Forno túnel  
Fonte: Oba, 2014

## Descrição e Operação

O forno túnel é um forno cerâmico contínuo constituído de um corpo fixo único, com comprimento variável de 50 a 120 m, e com duas paredes laterais (altura de 2 a 3 m) e um teto reto ou com abóbada interna. Em sua parte interna, o túnel é percorrido por vagonetas de produtos a serem sinterizados.

O forno pode ser dividido em 3 zonas – preaquecimento, queima e resfriamento. O produto cru entra pela extremidade da zona de preaquecimento e deixa o forno na saída oposta, na zona de resfriamento.

Na primeira zona, os produtos montados em vagonetas ou carrinhos sofrem um preaquecimento, percorrendo uma curva de temperatura até cerca de 300°C. O preaquecimento da carga crua se dá pela passagem em contracorrente dos gases de combustão vindos da queima na parte central do forno. Estes gases quentes trocam calor com a carga e vão para a chaminé, geralmente localizada sobre o teto junto da entrada do forno (zona de preaquecimento).

Em seguida, as vagonetas entram na zona de queima, onde estão dispostos os queimadores (dispostos lateralmente ou no teto). Nessa fase, a temperatura do produto passa de 300°C para 750/900°C, conforme o tipo de argila processada. Por fim, na terceira e última zona, os produtos começam o ciclo de resfriamento até a saída do forno. Neste trecho há o insuflamento de ar frio ambiente, como também ocorre a extração de ar quente que pode atender ao secador e/ou servir como ar de combustão na zona de queima.

Toda essa configuração, de operação contínua, e com várias recuperações de calor, proporciona ao forno um alto rendimento energético e alta produtividade.



Figura 23 - Vagonetas em forno túnel

## Desempenho

Os fornos túnel permitem uma produção em larga escala com menor demanda de energia térmica (0,6 a 0,65 st de biomassa por milheiro de blocos de 1,8 kg por unidade - 9x19x19), considerando o aproveitamento do ar quente da zona de resfriamento para uso em secadores ou na zona de combustão (queima). Em função de sua automatização, os fornos do tipo túnel demandam menor insumo de mão de obra de operação e de manutenção.

O controle da queima ocorre a partir do sinal de temperatura de termopares instalados na parte superior do forno, de modo a controlar a alimentação de ar de combustão e de combustível (válvulas rotativas ou alimentadores tipo parafuso, caso de combustíveis sólidos, ou tipos diversos de válvulas para combustíveis líquidos e gasosos).

A construção dos fornos túnel costuma ser em alvenaria com reforço de estrutura metálica para ancorar o teto, em geral reto. Na parte interna, a zona de queima costuma receber um revestimento de material isolante refratário (bloco cerâmico refratário ou fibra cerâmica) visando limitar a perda de calor.

O forno túnel tem consumo específico de energia situado na faixa de 341 a 422 kcal/kg e possui eficiência térmica média de 66%.



Figura 24 - Vista do forno túnel

## Esquema do Forno Túnel

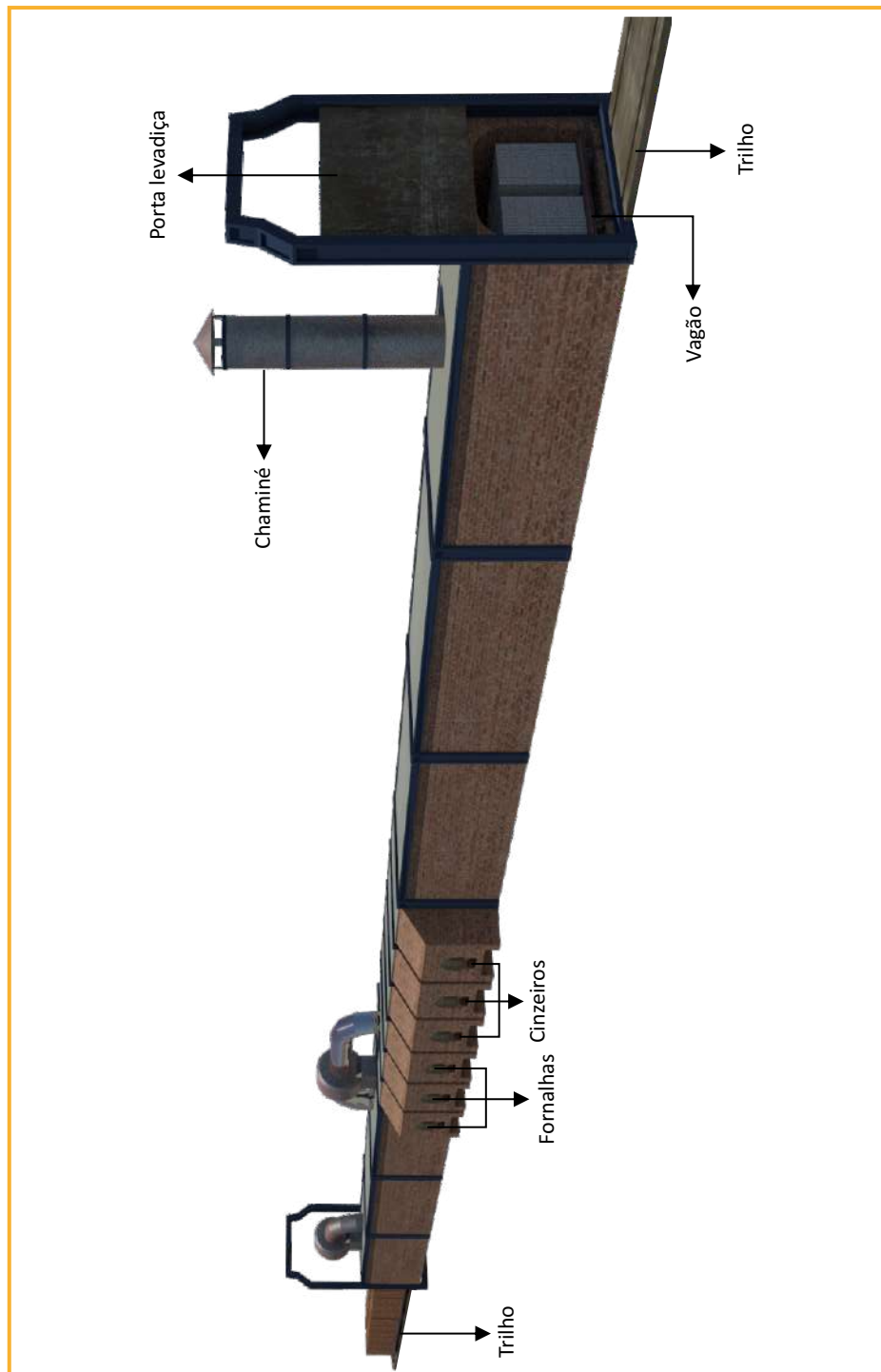


Figura 25 - Esquema forno túnel

## Fluxo do Forno Túnel

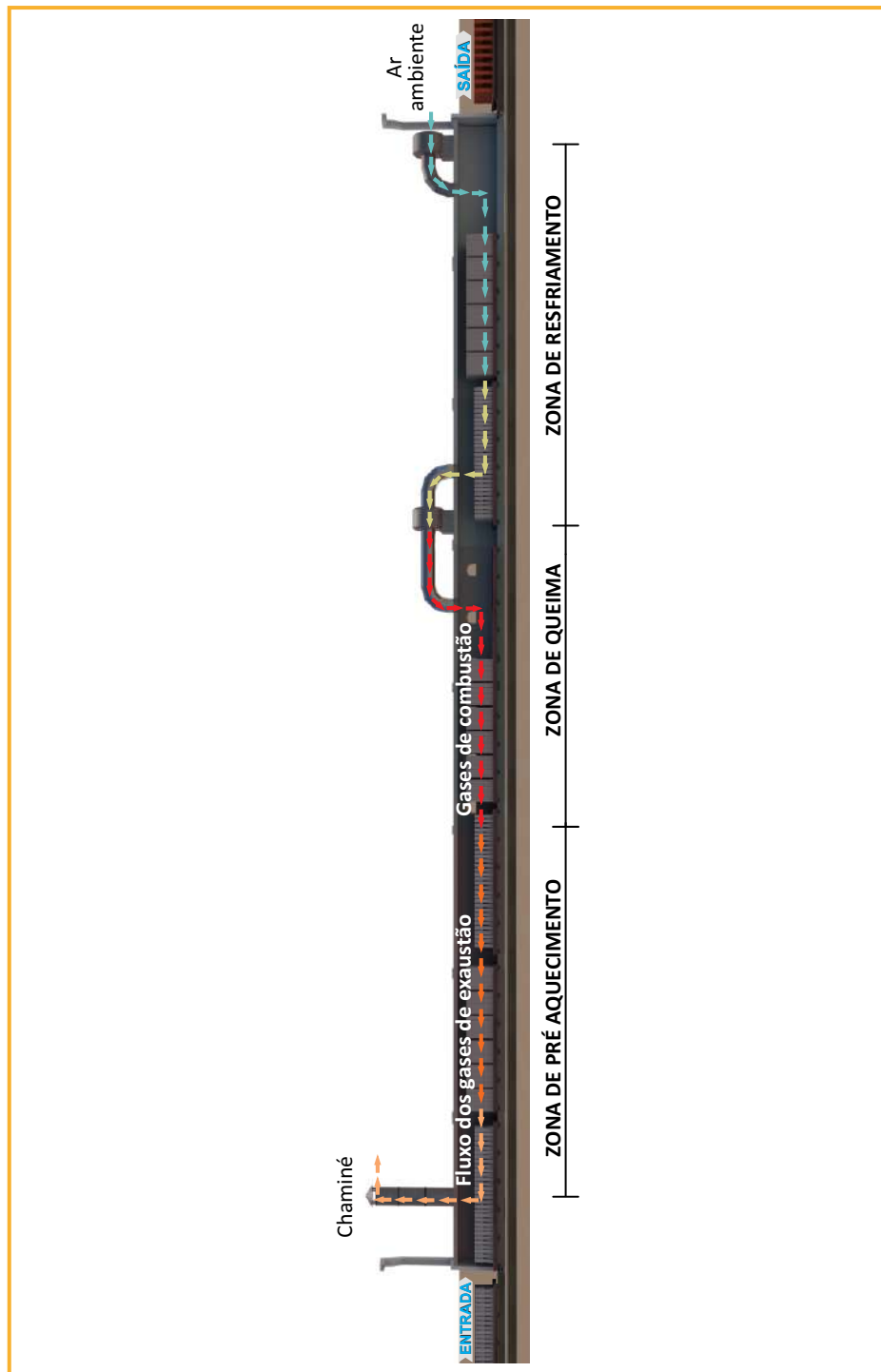
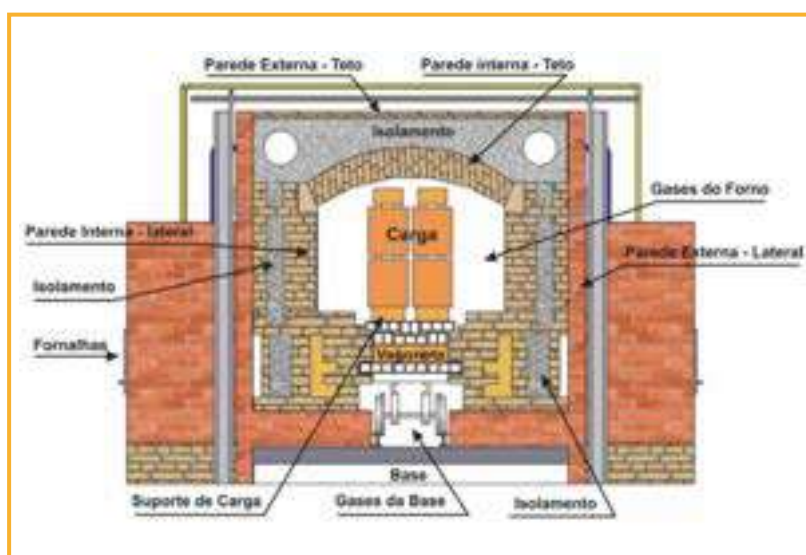
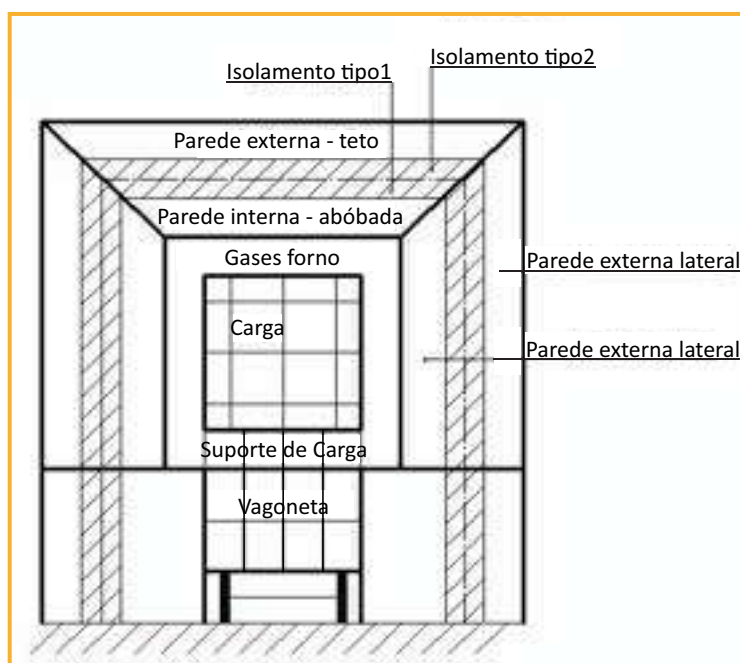


Figura 26 – Fluxo de ar e de gases quentes no interior do forno túnel

## Custo de Aquisição

Um forno túnel de 2.000 t/mês de capacidade (1.100 milheiros/mês de bloco 9x19x19) pode custar por volta de R\$ 1,2 milhão.



Figuras 27/28 - Representação da seção transversal de um forno túnel e da carga.  
Fonte: Dadam, 2005 (acima); Dadam e Nicolau, 2006 (abaixo).



## Resumo

---

- Dimensões externas: comprimento de 50 a 120 m; altura de 2 a 3 m, e altura e 4 a 8 m de largura;
- Número de queimadores ou fornalhas (caso de combustíveis sólidos): 6 a 12 (geralmente dos dois lados);
- Capacidade mensal: > 1.100 milheiros/mês (> 2.000 t/mês);
- Produtos: telhas, tijolos e lajotas;
- Consumo específico de lenha: 0,6 a 0,65 st/milheiro (peças de 1,8 kg);
- Consumo específico de energia térmica: 341 a 422 kcal/kg;
- Eficiência térmica: 66%;
- Peças de 1ª qualidade > 95%;
- Perdas < 1%.

## Vantagens

---

- Redução drástica na demanda de energia térmica e de emissão de carbono;
- O projeto pode ser adequado à demanda da empresa, porém sempre acima de 2.000 t/mês;
- Pode usar vários tipos de combustível;
- Plena possibilidade de recuperação de calor;
- Menor insumo de mão de obra;
- Melhores condições de salubridade no ambiente da produção;
- Maior produtividade;
- Maior velocidade de produção;
- Queima homogênea (> 95% de material de primeira qualidade);
- Menor manipulação do produto (menos perdas);
- Processamento de todo tipo de produto (blocos, lajotas e telhas).

## Desvantagem

---

- Investimento elevado;
- Demanda precisão na obra de montagem;
- Demanda pessoal com boa capacitação para uma operação com ajustes finos;
- Exige cuidados de manutenção com o sistema de comando eletrônico da queima;
- Demanda cuidado com impactos no revestimento interno de fibra cerâmica;
- Maior dificuldade para eventuais paradas de produção.

## Boas Práticas para o uso Eficiente de Energia

---

- Usar material plenamente seco;
- Usar combustíveis de boa qualidade: gás ou líquido. No caso de combustível sólido, reduzir sua granulometria (pellets ou pó);
- Usar alimentação contínua de combustível;
- Controlar curva de queima através de termopares;
- Recuperar calor do resfriamento.

## Principais Fabricantes

---

A lista dos principais fabricantes encontra-se disponível em <http://tinyurl.com/redladrilleras>

## 11 | BIBLIOGRAFIA

DADAM, A. P. et al. Análise térmica de um forno túnel utilizado na indústria de cerâmica vermelha. 2005. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina. 2005.

DADAM, A. P.; NICOLAU V. P. Análise térmica numérica de um forno túnel para cerâmica – 11ª Brazilian Congress of Thermal Science and Engineering – ENCIT 2006.

EELA. Factsheet about brick/tiles kiln technologies in brazil. No prelo

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. Manual de eficiência energética na indústria de cerâmica vermelha. Rio de Janeiro: INT/MCTI, 2013. 28p.

OBA, R. Análise térmica numérica e experimental de um forno túnel. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina. 2011.



# ANEXOS





# ANEXO I

## CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA

O consumo específico de energia é um índice de grande importância para a avaliação do desempenho energético de uma indústria ou de etapas de seu processo produtivo e mesmo de seus principais equipamentos. Ele também tem importância na avaliação dos resultados da implantação de medidas de eficiência energética (combustível e eletricidade), permitindo comparar os resultados antes e depois da aplicação de um novo projeto ou equipamento.

A evolução dos valores de consumo energético específico ao longo do tempo permite acompanhar o desempenho energético e compará-lo com o de outras empresas. Estes valores também possibilitam a comparação entre distintas tecnologias, por exemplo, a dos diversos tipos de fornos cerâmicos existentes. Para tanto, é preciso um correto estabelecimento destes índices através de medições criteriosas.

O consumo energético específico se refere à quantidade de energia elétrica ou térmica consumida para a produção de determinado produto.

A seguir, alguns tipos de índices de consumo energético específico que podem ser estabelecidos na empresa:

### **Energia térmica:**

- Estéreo (st) ou metro cúbico (m<sup>3</sup>) ou kg de lenha por tonelada (t) de produto final ou por milheiro (1.000 peças).

Idealmente a unidade de controle deveria ser kcal/kg de produto final (quilocaloria por quilo), mas que vai necessitar de conversão de unidades, conforme mostrado no exemplo adiante.

## Energia elétrica:

---

- kWh/t de argila processada ou kWh/t de produto saído do forno ou kWh/t de produto final (descontando as perdas).

Se para a eletricidade temos a medição do consumo mensal (kWh) informado na conta de fornecimento da concessionária de energia elétrica, para a lenha e outros tipos de biomassa (resíduos agrícolas e industriais) é preciso uma avaliação mais cuidadosa.

No caso da biomassa, a sua comercialização se dá em st (estéreo), unidade que considera o volume de  $1 \text{ m}^3$ , porém com a possibilidade de grandes variações de massa no referido volume em função da variação da forma da lenha (presença de galhos, diâmetro médio). O conteúdo energético também é influenciado pelo tipo de madeira empregada e da presença maior ou menor de água. Assim, a massa de um estéreo de lenha pode variar, em geral, de 150 a 400 kg, tornando totalmente impreciso avaliar o consumo energético específico de um processo de produção a partir do volume em st, sendo necessário converter essa medida em estéreos para massa de combustível (kg).

Em resumo, deve ser evitado o controle do consumo específico de energia térmica através do índice tradicional st ou  $\text{m}^3$  de lenha/milheiro de produção, considerando as grandes variações possíveis de massa de lenha por st ou  $\text{m}^3$ , assim como de massa de produto por milheiro. O ideal é pesar a lenha consumida (pesagem de amostra) e a produção obtida (cálculo da massa produzida), chegando-se a valores de kg (ou tonelada) de lenha por kg (ou tonelada) de produção.

Os valores necessários para o cálculo do consumo energético específico devem ser confiáveis e medidos com rigor. Além disso, algumas informações necessárias podem ser obtidas em tabelas técnicas que o ceramista deverá dispor, como as apresentadas a seguir.



Tabela 1.a: Poder Calorífico Inferior (PCI) de diferentes biomassas

Biomassa	PCI	Biomassa	PCI
Lenha (40% água)	2.400	Caroço de açaí	2.400
Lenha seca (12% de água)	3.680	Casca de castanha do pará	2.400
Cavaco de eucalipto	4.300	Casca de babaçu	2.400
Eucalipto	3.800	Casca de castanha de caju	2.400
Pinus	4.000	Jurema preta	2.400
Serragem seca (20% de água)	3.500	Catingueira	2.400
Briquete de serragem + bagaço de cana (50/50)	4.430	Angico	2.400
Bagaço de cana (20% de água)	3.200	Algaroba	2.400
Casca de arroz (12% de água)	3.300	Poda de cajueiro	2.400
Casca de coco	4.000	Carvão vegetal	2.400
PCI: Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)			

Tabela 1.b: Umidade da biomassa x Poder Calorífico Inferior (PCI)

Umidade (%)	PCI
0	4.756
10	4.221
20	3.687
30	3.153
40	2.619
50	2.085
60	1.551
70	1.016
80	482
90	-

Caso não disponha de informações sobre a massa específica da lenha ou do resíduo de biomassa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), o empresário pode realizar as pesagens na própria fábrica separando uma parte da lenha que irá usar (por exemplo, cerca de 3 a 6 metros st ou  $\text{m}^3$ ).

## ANEXO II

### EXEMPLO DE CÁLCULO DO CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO

Uma empresa produz 1.000 milheiros/mês, sendo 40% de telha (1,1 kg/peça) e 60% de bloco de vedação (1,8 kg/peça). Isso significa que a empresa produz 400 milheiros/mês de telha (440 t/mês) e 600 milheiros/mês de blocos de vedação (1.080 t/mês), resultando numa produção total de 1.520 t/mês. Ou seja, os percentuais indicam a participação na produção final em massa de 71% de blocos de vedação e de 29% de telhas.

Se a empresa consome mensalmente 1.000 m<sup>3</sup> de lenha (1,0 m<sup>3</sup> de lenha por milheiro) com peso específico de 250 kg/m<sup>3</sup> ou estéreo, isso significa que ela demandou no referido mês a massa de 250.000 kg de lenha (1.000 x 250). Assim, já teríamos uma relação de consumo de 250 t de lenha por 1.520 t de produção, levando ao valor de consumo específico de 0,164 t de lenha/ t de produto (250.000 ÷ 1.520).

Se essa lenha apresenta um poder calorífico de 3.000 kcal/kg (ver tabela conforme o tipo de lenha), isso significa que a empresa demandou 750 milhões de kcal (= 250.000 kg x 3.000 kcal/kg). Se dividirmos este valor pela produção mensal em kg (1.520.000 kg), chegaremos ao consumo específico de energia térmica de 493 kcal/kg, que é o valor que deverá servir de referência para a empresa verificar periodicamente seu desempenho energético na parte térmica.

O consumo de lenha do secador, caso exista, pode ser acrescentado ao cálculo, tornando o índice ainda mais realista e preciso. Assim, se o consumo de lenha na fornalha for de 50 m<sup>3</sup>/mês, o consumo total de lenha na empresa será de 1.050 m<sup>3</sup>/mês e, seguindo o raciocínio anterior, chegaríamos a um consumo específico de energia térmica de 518 kcal/kg. Dessa forma, com este valor de referência, a empresa poderá a cada semana ou mensalmente acompanhar o ritmo de consumo de combustível ou mesmo proceder comparação com concorrentes ou parceiros.

Outros índices poderão ser estabelecidos, como o referente à massa processada de argila ou à produção final a menos das perdas, já que todos eles permitirão uma leitura mais apurada da operação energética ao longo do tempo.

## ANEXO III

### Tabela Resumo

FORNOS		Caipira	Paulistinha	Abóbada	Hoffman	Vagão Metálico	Metálico Móvel	Cedan	Túnel
Consumo Específico de lenha (st/millar)		1,2 a 1,5	1,25 a 1,7	1,15 a 1,6	0,9 a 1,2	0,8 a 0,9	0,7 a 0,8	0,6 a 0,7	0,6 a 0,65
Consumo Específico de Energia (kcal/kg)	inferior	795	583	536	418	454	397	409	341
	superior	1104	914	860	637	584	519	545	422
Capacidade média por queima	milheiros	23 a 40	30 a 60	30 a 110	1.400 a 2.150 ton/mês	30 a 55	50 a 120	25 a 50/câmara	>2.000 ton/mês
Peças de 1ª Qualidade	%	20 a 40	50 a 70	60 a 80	90	90	90	90	95
Eficiência Térmica	média (%)	27	35	38	50	49	56	54	66
Perdas de Produção	média (%)	10 a 20	5 a 8	2 a 5	< 2	< 1	< 1	< 2	< 1
Produtos		Te/Ti	Te/Ti/La/BE	Te/Ti/La	Te/Ti/La/BE	Te/Ti/La/BE	Te/Ti/La/BE	Te/Ti/La/BE	Te/Ti/La/BE
Recuperação de calor	sim/não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Emissão de Fuligem		Grande	Pouco	Pouco	Muito Pouco	Muito pouco	Muito Pouco	Muito Pouco	Muito Pouco
Custo médio	mil R\$	25 a 30	100 a 150	100 a 150	750 a 850	350 a 550	450 a 550	400 a 500	1.100 a 1.300

Te: Teiha; Ti: Tijolo; La: Lajota; BE: Bloco Estrutural.

<sup>1</sup> Tomando-se como base o poder calorífico para a lenha de 3.650 kcal/kg, uma massa variável de 1.240 a 2.500 kg de produtos cerâmicos por milheiro, admitindo-se a variabilidade da biomassa combustível entre 225 a 320 kg por estereio e a premissa de que o calor útil para a queima de 1,0 kg de material cerâmico é de 250 kcal, segundo as premissas para cada tipo de forno.

**Obs:** Os valores da tabela foram obtidos em levantamentos de campo e junto a fabricantes e usuários de fornos.









