



**PROGRAMA DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA
DE CERÂMICA VERMELHA DA
AMÉRICA LATINA VISANDO
MITIGAR A MUDANÇA
CLIMÁTICA - EELA**

**Rio de Janeiro - Brasil
Fevereiro - 2015**

| Instituição Executora

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)

Ministro: José Aldo Rebelo Figueiredo

Instituto Nacional de Tecnologia (INT)

Diretor Geral: Domingos Manfredi Naveiro

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

| Diagramação e Projeto Gráfico

Jeferson T. Barros, Ricardo Fontes e Vivian F. D. de Souza

Manual de Eficiência Energética na Indústria de Cerâmica Vermelha / Maurício Francisco Henriques Junior et al. – Rio de Janeiro: INT/MCTI, 2013. 24 p.

ISBN 978-85-99465-07-3

1. Indústria de cerâmica vermelha, 2. Consumo de energia, 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 indústrias 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: 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) e Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER).

O presente Manual de Eficiência Energética faz parte de um conjunto de ações e de instrumentos, que buscam prover as empresas com informações para uma produção mais eficiente energeticamente, mais limpa e sustentável.

O texto foca basicamente sete blocos principais onde são apresentadas possibilidades para reduzir o consumo de energia nas empresas, a saber: melhoria da combustão, recuperação de calor, arranjo de peças no interior de fornos, emprego de resíduos em mistura à massa cerâmica, isolamento térmica, emprego de boquilhas de cerâmica e uso de fornos mais eficientes. Este conjunto de medidas técnicas, além de proporcionar economia de energia térmica na forma de calor, pode gerar também melhoria na qualidade dos produtos e redução de perdas de produção.

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

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	5
2.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	6
3.	USO EFICIENTE DE ENERGIA	7
3.1.	MELHORIA DA COMBUSTÃO	9
3.1.1.	EMPREGO DE AR FORÇADO (INJEÇÃO DE AR)	10
3.1.2.	USO DE LENHA PICADA	11
3.2.	RECUPERAÇÃO DE CALOR	12
3.2.1.	RECUPERAÇÃO PARA SECADOR	13
3.2.2.	RECUPERAÇÃO PARA FORNO	14
3.3.	ARRANJO DAS PEÇAS NOS FORNOS	15
3.4.	EMPREGO DE RESÍDUOS NA MASSA CERÂMICA	16
3.5.	MELHORIA DA ISOLAÇÃO TÉRMICA	17
3.6.	EMPREGO DE BOQUILHAS DE CERÂMICA DURA	18
3.7.	EMPREGO DE FORNOS MAIS EFICIENTES	18

ANEXO

	CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA	22
	TABELA DE PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI) DE BIOMASSAS	23
	TABELA DE PODERES CALORÍFICOS X UMIDADE DA BIOMASSA	23
	EXEMPLO DE CÁLCULO DO CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO	24

1 | INTRODUÇÃO

Este manual apresenta informações sobre medidas de eficiência energética, tomando como base alguns estudos desenvolvidos no âmbito do Projeto EELA. Algumas das indicações tecnológicas aqui apresentadas visam não somente proporcionar redução do consumo de combustíveis, mas também outros benefícios, tais como: redução de custos, aumento de produtividade, redução de perdas, melhoria da qualidade de produtos e redução de emissões de material particulado. Através da redução do emprego de combustíveis, consegue-se também uma diminuição da emissão de gases de efeito estufa que aceleram o aquecimento global.

O objetivo central, portanto, é o de ajudar as empresas de cerâmica vermelha a se tornarem mais competitivas e sustentáveis num cenário futuro de maiores dificuldades na oferta de energia e pela necessidade de se cuidar efetivamente do meio ambiente.

2 | EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O conceito de eficiência energética está relacionado à ideia 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, tanto na parte térmica como elétrica.

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 eficientes, menor deverá ser o consumo 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.

O consumo específico de energia é dado pela relação entre o consumo de energia, por exemplo, o consumo de lenha, dividido pela produção, conforme apresentado no anexo. Na verdade, teremos um indicador que poderá apontar se estamos trabalhando bem ou mal com relação ao uso da energia, e quanto potencialmente seria possível conseguir melhorar com base num valor definido como ideal.

Assim, sabendo que é possível economizar energia, é importante conhecer algumas alternativas ou opções tecnológicas, conforme apresentado a seguir.

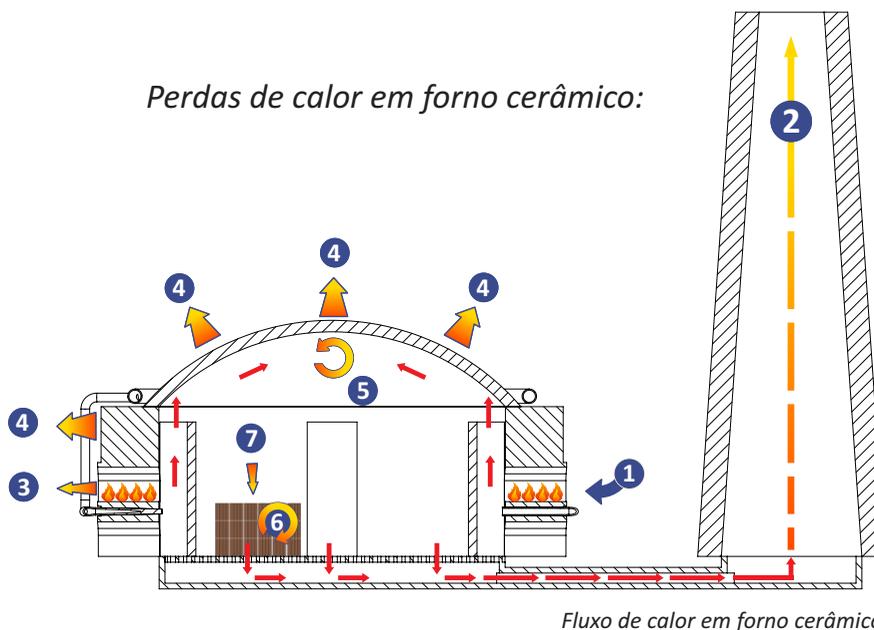
3 | USO EFICIENTE DE ENERGIA

Por vezes, algumas das medidas para o uso eficiente de energia podem parecer à primeira vista algo inviável economicamente. Mas não é bem assim. Na verdade, algumas medidas permitem obter outros ganhos associados que levam a um resultado final muito bom.

Esse é o caso, por exemplo, de medidas que podem trazer, além da economia de energia, aumento de produtividade e redução de perdas, aumento da produção de peças de primeira qualidade, produção de artigos de maior valor (por exemplo: lajotas) e 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 ser precedida de uma avaliação cuidadosa.

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

Perdas 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

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 estes itens que constituem perdas ou, alternativamente, buscar algum tipo de recuperação para uso no processo, como, por exemplo, na secagem.

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

8

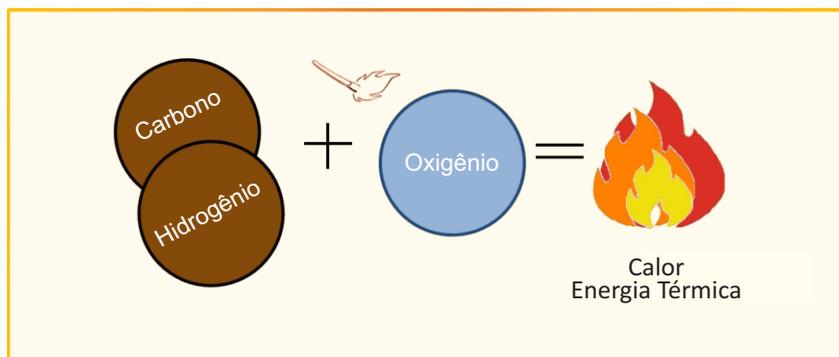
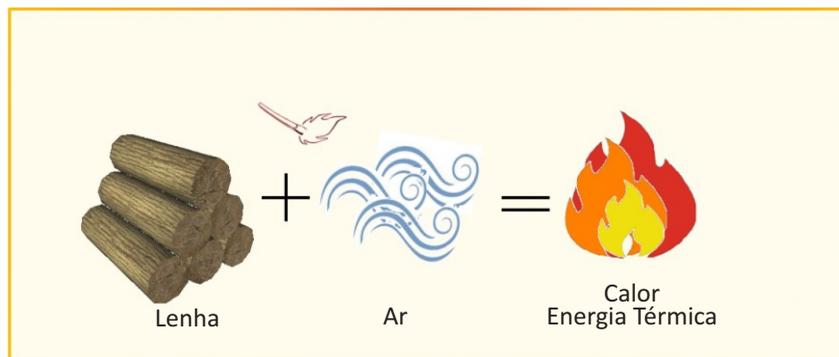
A seguir estão apresentadas sete possibilidades técnicas que geralmente trazem boa economia de energia.

3.1. MELHORIA DA COMBUSTÃO

Para se ter uma boa operação em um forno e produtos com qualidade, é importante ter uma boa combustão. Esse processo transforma a energia química do combustível em calor que, por sua vez, é transmitido para a carga processada (telhas, blocos e lajotas).

Uma boa combustão exige uma série de cuidados, mas deve partir de um correto dimensionamento das fornalhas ou câmaras de combustão (volume e forma da câmara de acordo com o tipo de combustível e carga a ser processada). Por exemplo, uma câmara de combustão muito pequena, alimentada com muita lenha, pode não receber ar suficiente para uma boa queima, e assim gerar muita fuligem e desperdício de energia.

Portanto, cada tipo de combustível (lenha, óleo ou gás) deveria implicar numa fornalha específica para se conseguir uma combustão bem conduzida e equilibrada (sem desperdício e sem fuligem).



Esquema de combustão

O controle da queima também deve ser feito, e o ideal seria realizá-lo através do monitoramento da quantidade de ar presente na combustão. Isto pode ser feito com testes do teor de CO₂ (gás carbônico) ou de O₂ (oxigênio). Mas como esse controle é difícil no dia a dia, o ideal é que se tenha uma alimentação contínua de combustível e observar a intensidade da radiação das chamas, e se há ou não produção de fuligem na chaminé. Fuligem excessiva representa má combustão por falta de ar e conseqüente perda de energia. A alimentação contínua reduz as flutuações na combustão e garante um melhor aproveitamento do calor produzido na queima.



Alimentador automático de combustível

Além do correto dimensionamento das câmaras de combustão, do controle de combustão e da alimentação mais contínua possível, o insuflamento de ar e o uso de lenha picada ou serragem podem ajudar bastante.

3.1.1 EMPREGO DE AR FORÇADO (INJEÇÃO DE AR)

O insuflamento de ar de combustão por meio de ventiladores (ar forçado), quando bem operado, pode permitir a redução do tempo de queima e do consumo de combustível da ordem de 15%, assim como melhoria da qualidade do produto através do adequado fornecimento de calor à carga do forno.



Insuflamento de ar de combustão

Esta solução pode reduzir os problemas frequentes de má distribuição do calor em fornos, evitando a queima com chama de cor amarelada, o que indica combustão ineficiente. Evidentemente ocorre um consumo de eletricidade nos ventiladores, mas que geralmente pode ser compensado pela economia de lenha.

3.1.2 USO DE LENHA PICADA

A forma da lenha ou do resíduo de biomassa empregada (troncos, galhos, cavacos, etc) como combustível interfere muito no processo de combustão. Quanto mais subdividido estiver o combustível (na forma de cavacos, chips ou briquetes), mais fácil se torna sua queima e menor a demanda de ar de combustão. E quanto menor a quantidade de ar de combustão (atendendo limites mínimos), menor será a perda de calor nos gases de combustão na chaminé e mais econômico será o processo.

Da mesma forma, a presença de água no combustível (lenha muito úmida) também prejudica o processo de combustão. Quanto mais subdividida a forma do combustível, mais fácil e rápida se torna a perda da umidade presente que dificultaria a queima ao roubar calor da combustão. Assim, quando a lenha é picada, reduz-se de imediato o percentual de água na combustão, como também fica diminuída a demanda de ar para a queima do referido combustível, resultando em imediata diminuição da perda de calor no processo de combustão.

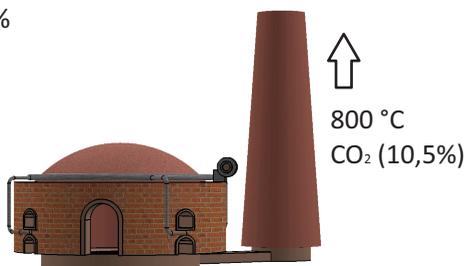


Exemplo de uso de lenha picada

Uma terceira vantagem refere-se ao controle da combustão e da temperatura no interior do forno, que se torna possível por se empregar um produto (lenha) mais homogêneo, quando picado.

O emprego de lenha picada pode proporcionar economias de combustível de até 20%.

Ar de combustão com excesso de 90%



Ar de combustão com excesso de 40%



Redução do Consumo de Lenha de 20%

Comparativo entre lenha em toras e lenha picada

3.2. RECUPERAÇÃO DE CALOR

Os fornos para produção de artigos de cerâmica vermelha, mesmo os melhores, geralmente têm perdas de calor da ordem de 30 a 60% através dos gases de exaustão, assim como na etapa de resfriamento. Portanto, trata-se de uma parcela muito elevada e que pode ser aproveitada em muitas situações.

As recuperações típicas possíveis são para uso em estufas ou secadores de peças cruas ou no pré-aquecimento de carga a ser queimada. Cada tipo de forno irá possibilitar um ou outro tipo de aproveitamento, permitindo economias entre 15 e 30%.

3.2.1 RECUPERAÇÃO PARA SECADOR

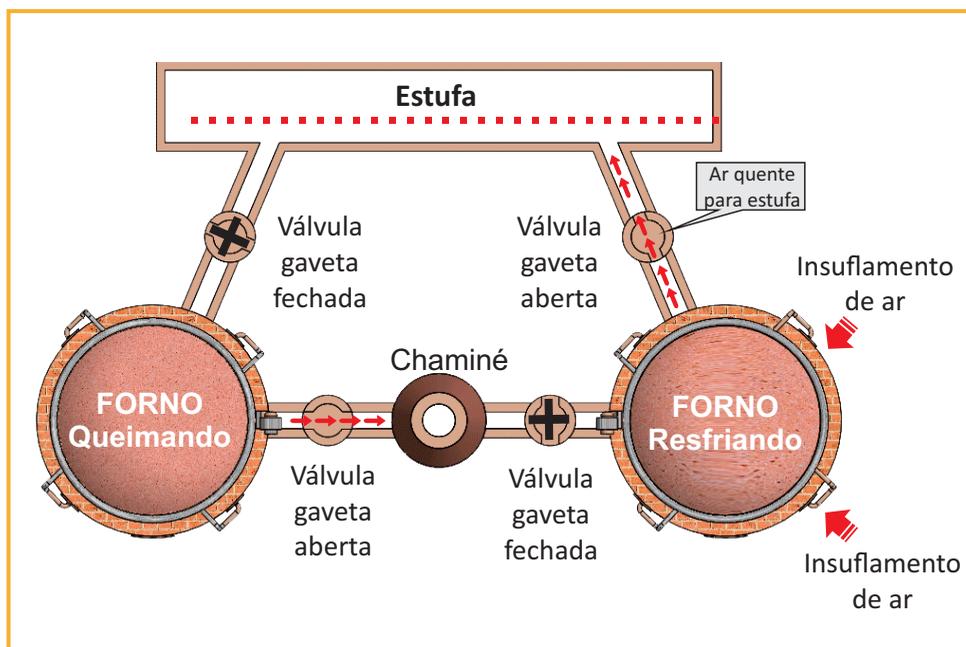
A recuperação de calor em fornos cerâmicos para secagem de peças é uma prática já bastante usual. Vários tipos de fornos permitem a recuperação de ar quente na fase de resfriamento para uso na estufa de secagem.



Exemplo de secagem de peças

Esse procedimento se faz com o insuflamento de ar frio através das portas na câmara ou no forno já queimado, e o ar quente é retirado através de dutos com a ajuda de exaustor.

O desafio maior neste tipo de iniciativa é conjugar a operação contínua de um secador com a operação, em geral, descontínua dos fornos. A forma de se fazer isso é complementando o calor necessário na estufa através da instalação de fornalha auxiliar.



Desenho da recuperação de calor para estufa

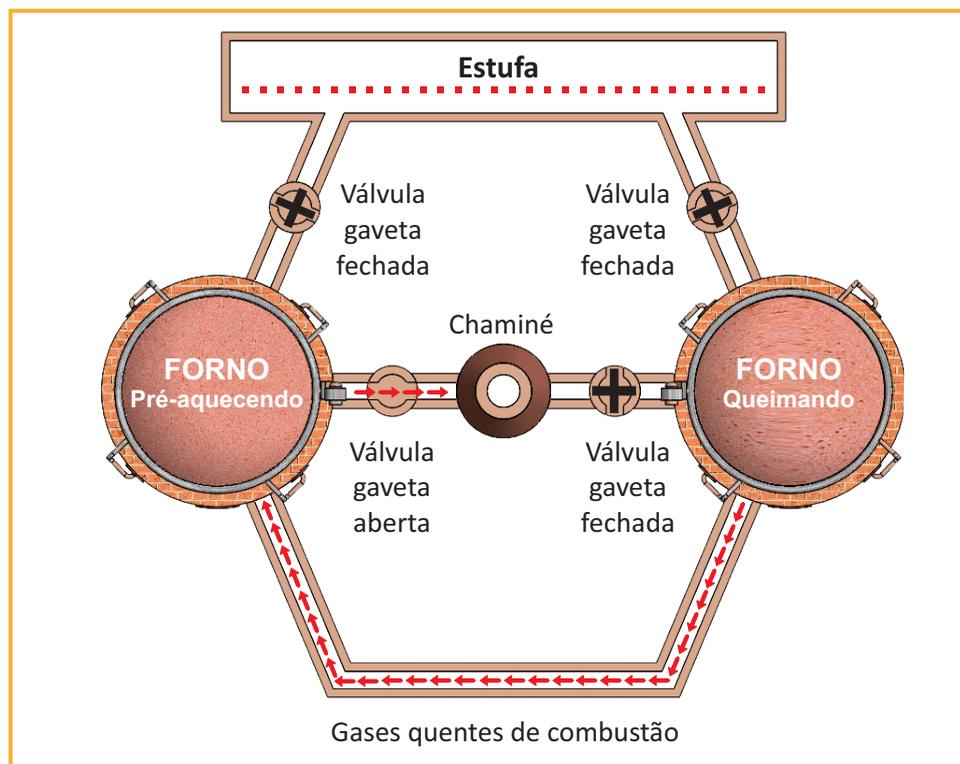
3.2.2 RECUPERAÇÃO PARA FORNO

Este processo é utilizado em alguns tipos de fornos onde é possível interligar as câmaras ou os próprios fornos. Assim, é possível fazer o pré-aquecimento dos produtos de uma câmara que ainda será queimada com o aproveitamento dos gases quentes de uma câmara que está sendo queimada. A recuperação de calor pode ser feita em fornos paulistinha, abóboda, Hoffmann, cedan e em outros fornos tipo câmara.



Exemplo de dutos para pré-aquecimento

Nos fornos intermitentes (por bateladas), por exemplo, do tipo redondo/abóboda, deve-se ter o cuidado para não interferir negativamente na queima do forno que está sendo queimado, onde o controle de temperatura deve seguir bem monitorado.



Desenho da recuperação de calor para forno

3.3. ARRANJO DAS PEÇAS NOS FORNOS

A disposição das peças cerâmicas no interior dos fornos é de grande importância não somente para uma boa eficiência da queima, como também para se conseguir maior proporção de produtos de primeira qualidade e mais uniformes.

Os produtos devem ser acomodados e alinhados de forma a permitir uma boa circulação dos gases quentes de combustão entre as peças cerâmicas, de modo a tornar mais homogênea a troca de calor com a carga do forno, atingindo a correta temperatura de queima e o tempo necessário para sinterização.

A redução de consumo energético e tempo de operação pode ser da ordem de 5%, e o incremento de peças de primeira qualidade pode ser ainda maior, lembrando que esse procedimento não apresenta custo de investimento, apenas uma mudança do método ou da rotina de arrumação das peças no interior do forno.



Arranjo tradicional de telhas sempre na mesma posição (compactadas) e sem espaços para passagem dos gases quentes

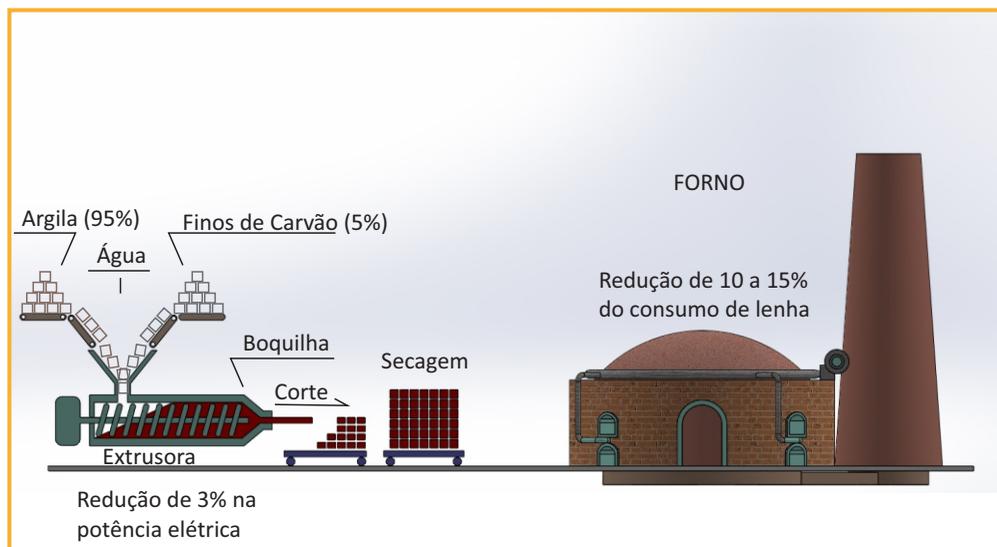


Arranjo proposto com espaços para a passagem dos gases quentes

3.4. EMPREGO DE RESÍDUOS NA MASSA CERÂMICA

É possível aproveitar alguns tipos de resíduos agrícolas e industriais na produção de artigos de cerâmica vermelha. Estes resíduos podem ser: finos de carvão, coque de petróleo, turfa, borra de óleo e outros. Estes materiais são empregados misturados à massa cerâmica em proporções entre 1 a 5% em peso, dependendo do tipo de resíduo. No caso da fabricação de telhas, esse procedimento não se aplica, pois geralmente ocorre um aumento da porosidade da peça cerâmica e da absorção de água.

A economia de combustível proporcionada pode variar entre 10 e 15%, além do que a qualidade do produto pode melhorar acentuadamente, em especial a resistência mecânica. Pode haver também economia de energia elétrica na extrusora/maromba, pois a argila crua se torna mais plástica.



Esquema de resíduos na massa cerâmica

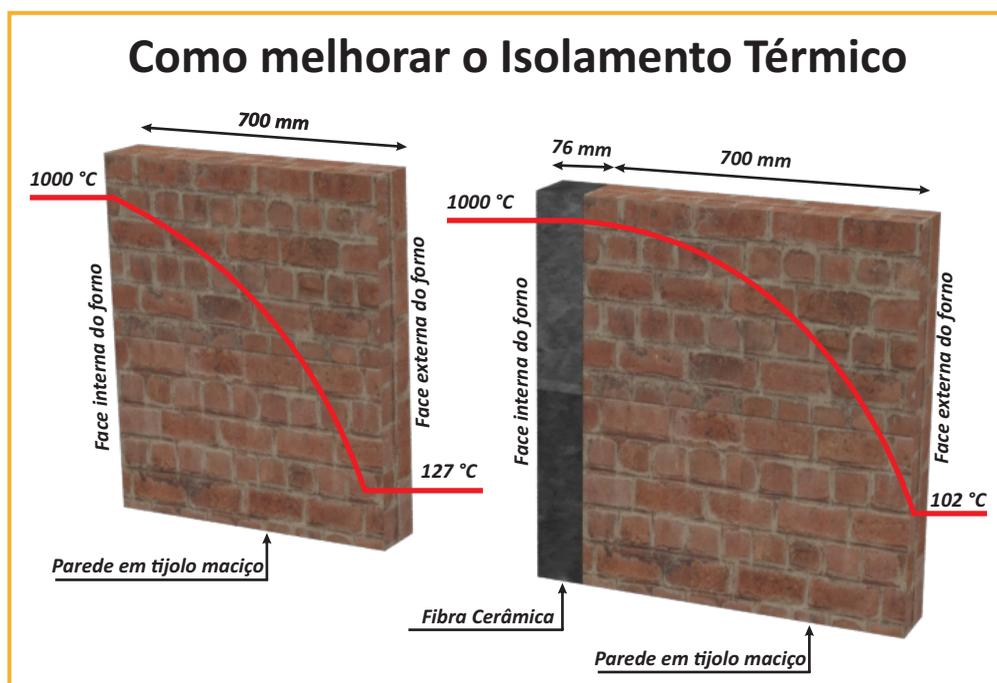
3.5. MELHORIA DA ISOLAÇÃO TÉRMICA

A eficiência dos fornos pode ser ampliada com o emprego de sistemas adequados de isolamento térmico, buscando reduzir as perdas de calor por radiação e convecção nas paredes e no teto do forno. Estas perdas podem atingir percentuais de até 30% da energia térmica total fornecida ao equipamento através da queima de combustível.

A isolamento térmico é conseguida com o emprego de camadas externas de tijolos isolantes após as camadas internas de refratários. Mantas e coberturas de fibra cerâmica também podem ser empregadas internamente em alguns fornos, principalmente naqueles onde não há contato físico com empregados e materiais.

Por fim, o dimensionamento adequado de paredes e a perfeita vedação de portas e fornalhas também contribuem para uma maior economia de energia.

A economia obtida pelo uso de material isolante apropriado é bastante variável, mas pode representar entre 5 a 12% do consumo de combustível.



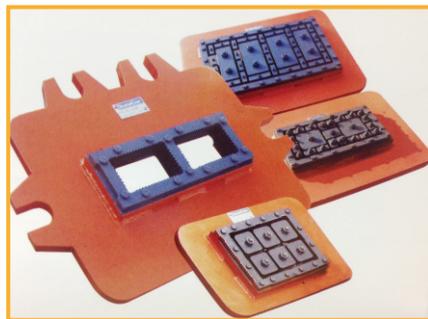
Esquema de melhoria o isolamento térmico

3.6. EMPREGO DE BOQUILHAS DE CERÂMICA DURA

Ao longo do tempo, o perfil de extrusão (em aço) na maromba vai se desgastando com o atrito com a sílica da argila, o que promove um aumento no perfil da peça. Com isso, ocorre um gradativo aumento do consumo de argila (peças mais pesadas ao longo do tempo), e também do consumo de energia elétrica no motor da maromba e de calor em estufas e fornos.

Outro ponto negativo que o desgaste acentuado das boquilhas tradicionais em aço causa é a alteração das dimensões dos produtos, deixando-os fora de especificação técnica. Além disso, a troca do perfil exige a interrupção do processo produtivo, o que traz aumento de custo para a empresa.

Portanto, reduzir a frequência de interrupções e as perdas indicadas acima se faz muito importante. E isso pode ser obtido com o emprego de perfis de cerâmica dura (alumina- zircônia), que sofrem menor desgaste, permitindo assim produzir por mais tempo dentro dos padrões técnicos, além de economizar energia.



Fonte: Duracer

3.7. EMPREGO DE FORNOS MAIS EFICIENTES

Diversas tecnologias de fornos estão presentes na indústria de cerâmica vermelha. Muitas delas, desde o tempo do Brasil colonial, caso dos fornos dos tipos caieira, campanha e caipira, cujos índices de consumo energético específico são extremamente elevados (acima de 1.000kcal/kg), indicando baixa eficiência energética (abaixo de 25%).



Forno caipira

Ou seja, hoje ainda operam fornos em que as perdas de calor representam pelo menos 75% da energia total fornecida pelo combustível.

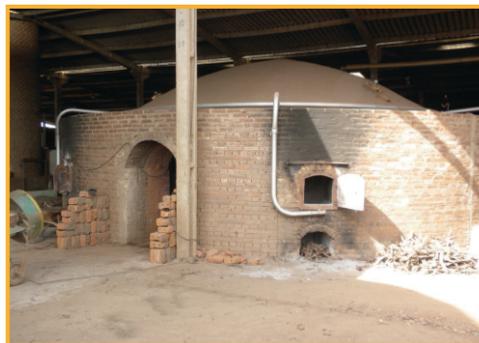
Vale lembrar que alguns fornos podem parecer ter menor consumo específico de lenha, mas isso não é exato em função do percentual variável entre a produção de peças de primeira e de segunda qualidade (ou de peças sem atender normas de qualidade).

Em muitos pólos de produção são operados fornos intermitentes (por bateladas), mas de nível tecnológico melhor, caso dos fornos paulistinha e abóbada (redondo), em que os valores de consumo energético específico se encontram na faixa de 550 a 1.000 kcal/kg (eficiência térmica entre 30 e 40%).

Na categoria logo acima, se encontram os fornos semi-contínuos, como os do tipo Hoffman, Federico, Cedan e outras adaptações destes, além dos fornos do tipo metálico móvel, com consumo energético específico entre 400 e 650 kcal/kg e eficiência térmica entre 45 e 55%. E no topo dos mais eficientes, encontram-se os fornos do tipo contínuo (tipo túnel), com valores de consumo energético específico entre 330 e 450 kcal/kg e eficiência energética entre 55 e 70%.



Forno cedan



Forno abóbada ou redondo



Forno Hoffman

Entretanto as vantagens de alguns fornos não se restringem somente ao uso de energia. Vários tipos permitem obter maior parcela de produtos de primeira qualidade e menores perdas de produção, conforme indicado na tabela a seguir:

FORNOS	Caipira	Paulistinha	Abóbada	Hoffman	Cedan	M. Móvel	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	0,6 a 0,7	0,7 a 0,8	0,6 a 0,65
Consumo Específico de Energia (kcal/kg)	795	583	536	418	409	397	341
	1104	914	860	637	545	519	422
Capacidade média por queima milheiros	23 a 40	30 a 60	60 a 110	35/câmara	28/câmara	50 a 120	100 a 130 ton/dia
Peças de 1.ª Qualidade %	20 a 40	50 a 70	60 a 80	90	90	90	95
Eficiência Térmica média (%)	27	35	38	50	54	56	66
Perdas de Produção média (%)	10 a 20	5 a 8	2 a 5	< 2	< 2	< 1	< 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
Recuperação de calor sim/não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Emissão de Fuligem	Grande	Pouco	Pouco	Muito Pouco	Muito Pouco	Muito Pouco	Muito Pouco
Custo mil R\$	25 a 30	100 a 150	100 a 150	750 a 850	400 a 500	450 a 550	1.100 a 1.300
Te: Telha; Ti: Tijolo; La: Lajota; BE: Bloco Estrutural. 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 estêreo 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.							



Forno túnel



Forno metálico móvel

As emissões atmosféricas também passam a constituir um tema importante a ser considerado, em particular as de material particulado (fuligem). Os órgãos de meio ambiente dos estados vêm atuando cada vez mais no controle de tais emissões, seguindo resolução do CONAMA.

Em alguns estados, as emissões de fornos cerâmicos precisam atender a limites máximos, como também precisam ser monitoradas periodicamente através de serviços especializados.

Alguns fornos não têm como atender estes requisitos, como os dos tipos caipira e caieira, que não têm chaminés. E mesmo com chaminés, alguns tipos de fornos emitem muita fuligem, principalmente quando alimentados com lenha, pela falta de ar de combustão nas fornalhas.

Para atenuar ou resolver esse problema, uma medida que pode ajudar é o emprego de lenha picada com alimentadores contínuos, o que vai atenuar a falta de ar de combustão, reduzindo a ocorrência de fuligem. Também é possível acoplar nesses fornos sistemas de lavagem de gases.

Fornos contínuos ou semi-contínuos tendem a emitir menor quantidade de fuligem, dada a arquitetura interna, onde há obstáculos e mudanças de direção dos gases de combustão, e condições para que o material particulado fique depositado internamente, deixando de atingir as chaminés. Evidentemente, o material depositado deverá ser retirado de tempos em tempos dos canais internos dos fornos.

ANEXO | 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 (m³) ou kg de lenha por tonelada (t) de produto final ou por milheiro (1.000 peças).

Idealmente a unidade de controle deveria ser kcal/t de produto final (quilocaloria por tonelada), 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 m³, 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 convertê-la para massa de combustível (kg).

Em resumo, deve ser evitado o controle do consumo específico de energia térmica através do índice tradicional st ou m³ de lenha/milheiro de produção, considerando as grandes variações possíveis de massa de lenha por st ou m³, assim como de massa de produto por milheiro. O ideal seria 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 DE PODER CALORÍFICO INFERIOR DE 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 DE UMIDADE DA BIOMASSA X PODER CALORÍFICO INFERIOR

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 (kg/m³), 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).

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 m³ de lenha (1,0 m³ de lenha por milheiro) com peso específico de 250 kg/m³ 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 m³/mês, o consumo total de lenha na empresa será de 1.050 m³/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.