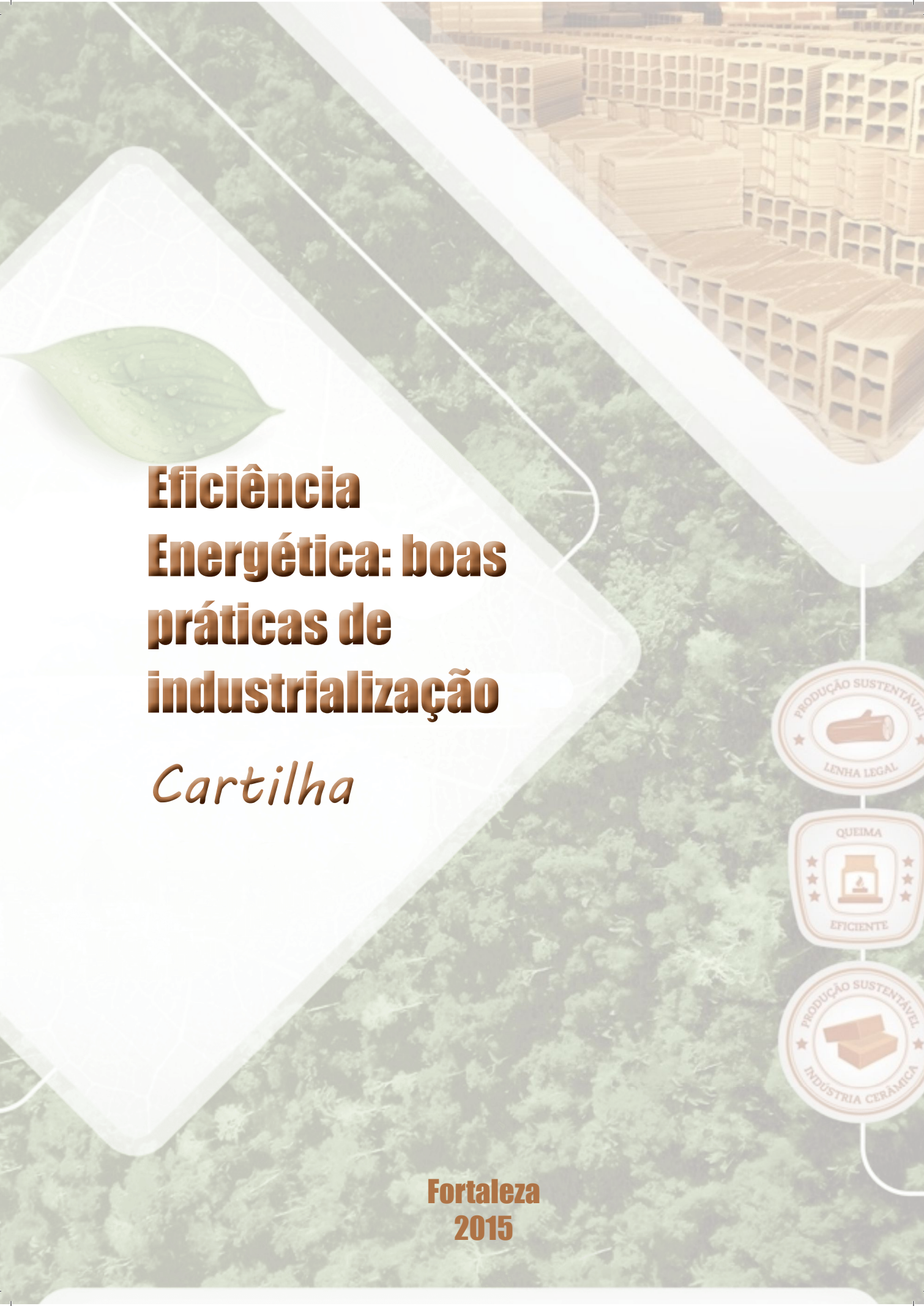




Eficiência Energética: boas práticas de industrialização

Cartilha

**Fortaleza
2015**



2015. GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ - SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SEMA)

GOVERNADOR DO ESTADO DO CEARÁ
Camilo Sobreira de Santana

SECRETÁRIO DA SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SEMA)
Artur José Vieira Bruno

COORDENADORA DA COORDENADORIA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
Viviane Gomes Monte

APOIADOR FINANCEIRO
FUNDO SOCIOAMBIENTAL CAIXA
Convênio AC FSA Caixa nº 0070.062/2012. caatinga
Projeto Implementação da Eficiência Energética para as Indústrias Cerâmicas do
Baixo Jaguaribe

APOIO INSTITUCIONAL
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/FUNDO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

EXECUÇÃO
EQUIPE TÉCNICA - SEMA
Magda Marinho Braga (Gestora Ambiental) - Coordenadora
Kilza Maria Mendonça de Oliveira Marques (Química Industrial)
Juarinda Barreira (Técnica em Atendimento)

ELABORAÇÃO
Instituto Euvaldo Lodi (IEL/CE)

SUPERINTENDENTE
Francisco Ricardo Beltrão Sabadia

COORDENAÇÃO DOS TRABALHOS
Ana Cristina Moreira
Margaret Lins Teixeira Gomes

TEXTOS E FOTOS
Amando Alves de Oliveira

FICHA CATALOGRÁFICA
Paula Pinheiro da Nóbrega

ARTE DA CAPA
Ricardo Garcia Machado Vianna (Gerência de Marketing - Sistema FIEC)

DIAGRAMAÇÃO
Marly Rodrigues Maia

C387e Ceará. Secretaria Estadual do Meio Ambiente.
Eficiência energética : boas práticas de industrialização : cartilha /
elaboração, Amando Alves de Oliveira. – Fortaleza : Instituto Euvaldo
Lodi, 2015.
79 p. : il. ; 22 cm.

1. Cerâmica. 2. Eficiência Energética. I. Título.

CDU: 666.3

Sumário

Processo de Extrusão	4
Extrusão	5
Anel extensor	9
Embudo	12
Sistema de vácuo	16
Alguns erros e problemas causados por falta de conhecimento técnico	20
Sistema de Secagem	26
Secagem	27
Generalidades	29
Materiais argilosos	30
Comportamento das argilas durante o processo de secagem segundo Bigot e Sherwood	31
Diagrama de Bigot	32
Diagrama	33
Retirada da água no processo de secagem e a formação de micros capilares	33
A secagem na prática	34
Alguns exemplos de estufas de plástico	39
Secadores estáticos	43
Secadores contínuos	45
Dicas para uma secagem eficiente	49
Sistema de Queima	50
Queima	51
Curva de queima	52
Combustão	52
Forno intermitente do tipo Caieira sem crivo	55
Forno Intermitente do tipo Paulista com crivo	56
Forno intermitente do tipo Paulista sem crivo	57
Forno intermitente do tipo Garrafão	59
Forno intermitente do tipo Abóbada	60
Forno do tipo Hoffmann	68
Forno do tipo Túnel	75

Processo de Extração

Extrusão



Foto 1:
Modelo de
máquina
para
extrusão

Para se obter produtos extrusados cerâmicos, é imprescindível que a argila tenha um índice de plasticidade correspondente.

Tanto as argilas de alta plasticidade, como as de baixa, podem apresentar problemas durante o processo de extrusão.

Com as argilas magras e as de baixa plasticidade, é difícil manter a umidade do modelo dentro dos limites corretos, pois as variáveis admitidas são muito reduzidas. Se forem trabalhadas com um ligeiro excesso de umidade, as peças que saem da extrusão se deformam ao passar pelos rodízios da mesa de corte, formando “pé de elefante”. Se a umidade for muito baixa, aparecerão serrilhados na superfície da peça e durante o corte as paredes se romperão.

As argilas de alta plasticidade (ricas em colóides), com índice de umidade entre 25 a 40%, o rendimento da maromba pode cair, reduzindo a produção entre 10 a 20% do seu valor nominal, devido à aderência da argila no corpo da hélice, formando um cilindro no canhão.

Geralmente, no caso de argilas plásticas, a preocupação é a secagem dessas peças sem o processo de extrusão. Algumas empresas trabalham com argilas muito ricas em colóides (alta plasticidade), e tem uma série de problemas de trincas e deformações, super aquecimento do canhão, etc. Se limitam apenas em retardar o processo de secagem, esquecendo-se do rendimento da maromba e do alto consumo energético.

Inúmeros erros são cometidos no Brasil. Algumas empresas são abertas sem nenhum critério ou estudo da matéria-prima a ser utilizada. Para cada tipo de matéria-prima, existe a necessidade de ter um equipamento adequado.

Para se ter uma idéia da qualidade da argila em relação ao índice de plasticidade, alguns ensaios físicos são realizados nos laboratórios especializados. Para estabelecer o índice de plasticidade ideal de trabalho, toma-se como referência a resistência mecânica a seco do corpo de prova, como a seguir:

- ▶ Resistências inferiores a 30 Kgf/cm², mostram que a argila é de baixa plasticidade;
- ▶ Resistências entre 30 a 60 Kgf/cm², mostram que a argila é de plasticidade média (normal);
- ▶ Resistências entre 60 a 80 Kgf/cm², mostram que a argila é de alta plasticidade (difícil extrusão). Neste caso, a produção cai drasticamente, a amperagem de trabalho aumenta e o corpo da hélice e do canhão aumenta a temperatura.

Durante o processo de extrusão, a plasticidade pode influenciar no tipo de peça confeccionada, pois determina a velocidade de saída da massa pela boquilha (quanto maior a velocidade, menor a plasticidade), podendo aparecer fissuras nas emendas de paredes, exigindo-se menor velocidade de extrusão para peças de grandes formatos e de paredes grossas.

Outro ponto de preocupação, relacionado à alta plasticidade para obtenção de peças de grandes formatos, é a preparação da massa, que deverá ser muito bem elaborada. Durante o processo de extrusão a adição de vapor faz-se necessário. Lembrando sempre que, quanto mais alto for o índice de plasticidade, maior será a necessidade de uma homogeneização perfeita.

Para entender melhor o processo de extrusão e as suas complexidades, será descrito com detalhes, o comportamento da massa nas diversas faces da extrusão.



Figura 1:
Leitura
obtida
através do
manômetro
do
durômetro

No primeiro momento, a argila sofre apenas um transporte. Em seguida, existe uma pequena compressão no canhão devido à conexão do mesmo. Logo após a pressão de extrusão, aumenta de 30 a 40 Kgf/cm², caindo para 10 Kgf/cm² logo ao entrar no embudo e na boquilha.

Com o objetivo de cumprir a lei fundamental da extrusão, na qual todo material suscetível à extrusão ao ser submetido no interior do cilindro de pressão, há um movimento de rotação e translação simultâneo, provocado pela parte fixa do canhão e a hélice móvel. Neste momento, a massa cerâmica sofre uma desorientação de suas partículas. Portanto, faz-se necessário, voltar a organizar, convertendo sua

formação circular em linear. Isto acontece através da ajuda dos diafragmas existentes no canhão.

Outro ponto importante é a ponteira da hélice, que tem a função de comprimir a massa no embudo e boquilha. Neste momento, a massa passa a ter um movimento linear até a saída da boquilha.

Erros na fabricação da ponteira da hélice vêm trazendo inúmeros problemas no processo produtivo, tais como: trincas, torções, empenos, dificuldades na regulagem dos freios da boquilha, etc. O centro da ponteira deve ser paralelo com a borda. Não deve existir nenhuma flecha (côncava ou convexa). As fotos abaixo mostram que existe uma flecha no centro em relação às bordas.



Foto 2

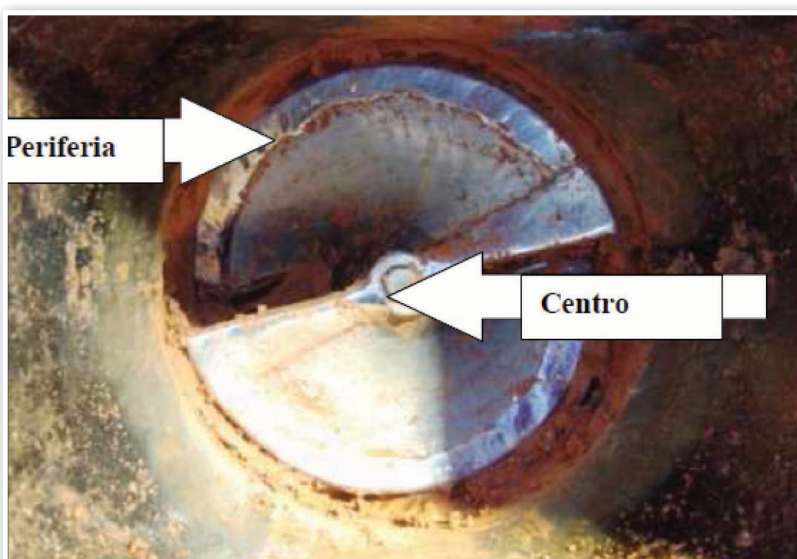


Foto 3

Inúmeros defeitos nos produtos cerâmicos são causados pela ponteira da hélice fora de nivelamento. Os mais comuns: torções, velocidade diferente nas boquilhas de saídas duplas, etc.

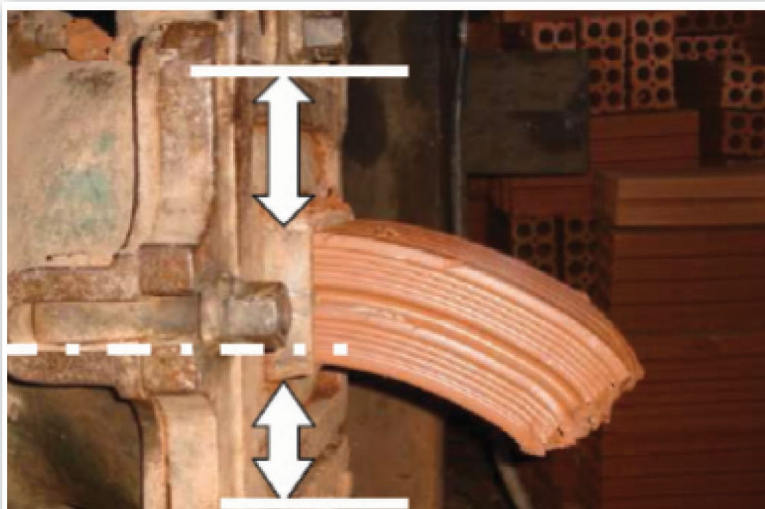


Foto 4

A foto 4, mostra as divisões da ponteira da hélice.

Existem dois momentos no processo de extrusão causados pela ponteira, o primeiro fica localizado na borda da hélice (periferia), onde existe maior velocidade de extrusão e maior compactação. O segundo momento, fica localizado no centro

da ponteira, onde a velocidade é reduzida e a compactação é menor, neste ponto a massa passa a deslizar no seu próprio eixo.

Ponteiras desniveladas (bordas em relação ao centro), aumentam a diferença entre compactação e velocidade de empurre. Neste caso, tem-se produtos com diferenças de compactações na mesma peça, trazendo transtorno na hora de regular os freios.

No exemplo abaixo, onde seguramente os operadores de marombas fariam uma regulagem de freio para corrigir o problema exposto, estão totalmente errados, pois o problema não está na regulagem de freio, e sim na falta de centralização da boquilha em relação ao eixo da maromba.



Foto 5

Pode-se notar que existe uma diferença entre os eixos (centralização). A massa procura o chão, porque a maior velocidade de extrusão está localizada na parte de cima, confundindo inúmeros operadores.

Antes de fazer várias regulagens de freio, deve-se verificar a centralização da bo-

quilha em relação ao eixo da maromba (vertical e horizontal). Muitas boquilhas são feitas de chapas recuperadas e não tem-se o menor cuidado na centralização do cavalete e do telar. É comum encontrar esse tipo de problema em boquilhas novas.

Antes de colocar uma boquilha em operação, deve-se analisar o esquadro, a centralização, a altura do cavalete, os reforços no pirulito, etc (detalhes mais adiante).

Algumas correções poderão ser feitas para amenizar este efeito, como a colocação de anel extensor entre o canhão e o embudo.

Lembrando sempre que com a colocação do anel, aumenta automaticamente a amperagem de trabalho. Atualmente, essa prática não é aconselhável, devido ao alto custo energético. A colocação do anel extensor pode reduzir a produção em até 15%. Mas antes, deve-se estudar o índice de plasticidade e a distribuição granulométrica, pois a influência desses é muito importante.

Anel extensor

Em alguns modelos de maromba esse problema não é sentido devido ao comprimento do embudo, quanto maior for o embudo (longo), mais eficiente será sua correção.

Alguns inconvenientes são sentidos nos embudos longos, como por exemplo, a alta amperagem de trabalho e menor produtividade. Embora o embudo longo corrija vários problemas durante o processo de extrusão, não é recomendado para o uso comum em altas produções. Uma correção eficiente é a eliminação da torção da massa que acompanha a rotação da hélice.

A hélice tem a função de comprimir e alimentar a entrada do material no embudo. A qualidade da mesma faz a diferença entre baixa produção e qualidade do produto. A inclinação e o passe da hélice são importantíssimos. A argila de alta plasticidade deve trabalhar com inclinação maior e passe menor; já as argilas de baixa plasticidade devem trabalhar com passe longo e inclinação menor.

O desgaste da hélice também é outro problema oculto, quando o desgaste chega a 20mm a massa forma um túnel e começa a girar junto com a hélice.

Outro problema encontrado nas cerâmicas, é a falta de “corta barro” (diafragma) no canhão, isso porque a quantidade está em primeiro plano. Algumas empresas retiram o “corta barro” para aumentar a produção, desconhecendo o problema causado pela ausência dos mesmos.

A função do “corta barro” é tirar o movimento de rotação da massa adquirida com o movimento da hélice. A sua ausência provoca um defeito muito parecido com a laminação provocada pelo sistema de vácuo. É também detectada a presença de torção no cavalete da boquilha como demonstrado nas fotos 8 e 9.

No centro do cavalete se percebe a rotação que a massa está fazendo no processo de extrusão.



Foto 6:
Exemplo
de anel
extensor

Foto 7: Ausência de “corta barro”

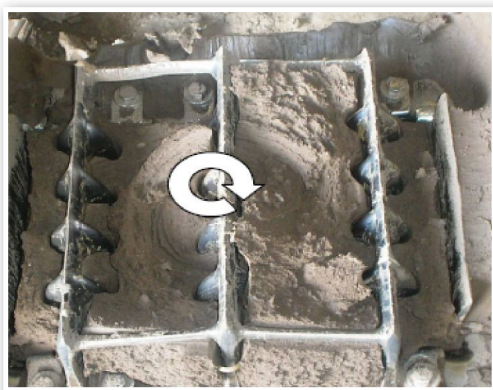
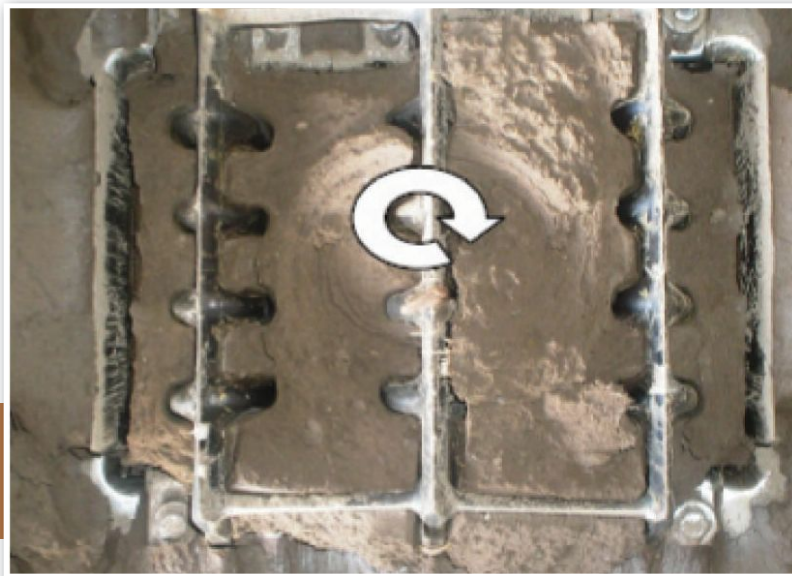


Foto 8

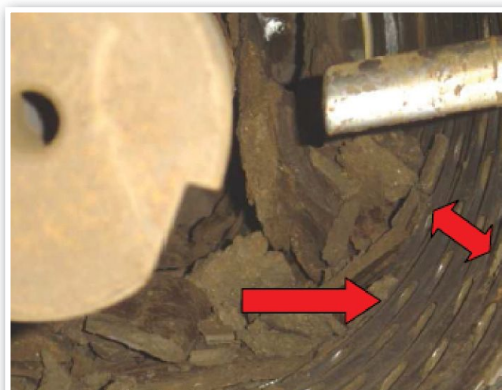


Foto 9

A quantidade de “corta barro” está diretamente relacionada ao índice de plasticidade da argila, veja na tabela a seguir.

Tabela 1 - Quantidade de “corta barro”

TIPO DE EXTRUSÃO	NÚMERO DE “CORTA BARRO”	TIPO DE PLASTICIDADE
Suave	4 a 6	Alta
Semi-dura	2 a 4	Média
Dura	0 a 1	Baixa

Fonte: Elaborada pelo autor.

Outro componente importante, responsável pela qualidade de extrusão e a redução de torção e de refluxo, é a camisa estriada.

As estrias (costelas) da camisa devem ter uma altura entre 3 e 5 mm, para atender as exigências do processo. Devem-se tomar alguns cuidados em ofertas de camisas perfuradas com a promessa de maior produção. Isto é verdadeiro. Porém, atrás dessa vantagem escondem-se inúmeros problemas de qualidade do produto extrusado.

Nota-se na camisa perfurada, a formação de sulcos (rebaixos), demonstrando que a argila está a todo o momento girando junto com a hélice, indicando que a massa está entrando no cavalete da boquilha em forma de espiral, prejudicando não só o produto final, como também a regulagem dos freios da boquilha.

A maioria dos problemas de trincas dos produtos cerâmicos está diretamente ligada ao formato da camisa ou desgaste da mesma. Deve-se sempre lembrar, que 90% das trincas nos produtos cerâmicos estão diretamente relacionados a problemas mecânicos. Isto, quer dizer, que o processo de extrusão é de suma importância e deve receber cuidados especiais.

Para a escolha do tipo de camisa, deve-se, em primeiro lugar, fazer uma análise do tipo de argila a ser trabalhada, pois será a mesma que definirá o tipo de camisa e a quantidade de diafragmas ("corta barro"). Essa escolha determinará a qualidade final do produto.

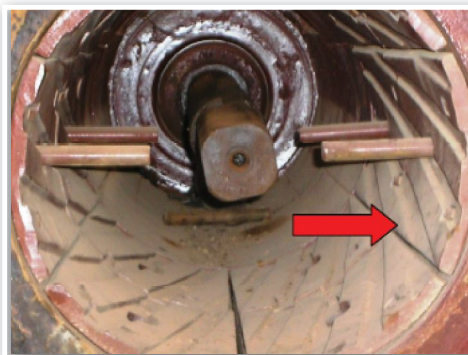


Foto 10: Camisa perfurada



Foto 11: Camisa estriada

Embudo



Foto 12

Este componente da maromba, localizado no final do canhão, é responsável por inúmeros problemas de trincas, deformações, baixa produção e alta amperagem de trabalho. Outro problema, pouco detectado, é o elevado índice de desgaste da ponteira da hélice, devido ao elevado atrito existente na compactação da massa neste local.

O desenho abaixo, mostra bem a movimentação realizada no processo de extrusão. Nota-se que a massa encontra barreiras ao sair na boquilha, elevando assim a amperagem da máquina e o desgaste da ponteira. No processo, a massa caminha para a boquilha chegando ao embudo, a mesma é retida através das laterais onde é formada a zona morta.



Figura 2

Na zona morta, ocorre uma grande turbulência, a massa ao chegar à placa não encontra saída, tenta retornar, a pressão aumenta provocando alterações em vários locais, como freio da boquilha, velocidade de extrusão, aumento da ampera-

gem, desgaste elevado da ponteira da hélice e vibração do cavalete.

A razão da utilização desse tipo de embudo no Brasil, é a enorme variedade de produtos que se fabrica na mesma cerâmica. Outro erro cometido por inúmeras cerâmicas, é a utilização de boquilhas de uma

única saída em marombas de grande porte, aumentando ainda mais o problema.

Nas fotos a seguir, verifica-se o embudo por dentro, percebendo-se a grande zona morta existente, e uma maneira fácil e caseira para se reduzir a mesma.



Foto 13



Foto 14



Foto 15



Foto 16



Foto 17

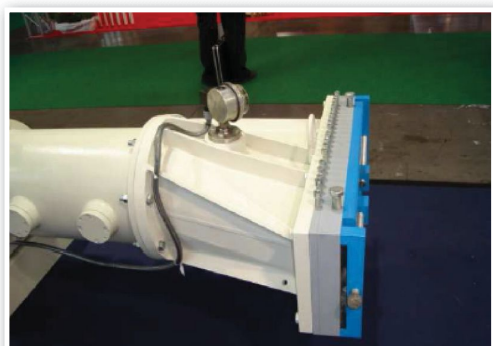


Foto 18

Na foto 13, fica evidenciada a grande zona morta formada no embudo, significando um alto consumo da ponteira da hélice em até 50% e um aumento considerável na amperagem, que pode chegar a 25% do seu valor no nominal, elevando o consumo de energia elétrica.

As fotos 14, 15, 16 17 e 18 mostram a redução da zona morta de maneira simples e eficaz. Colocam-se placas nos cantos do embudo dando um formato cônico. Este formato facilita a saída da massa e, ao mesmo tempo, diminui a amperagem de trabalho.

Outro ponto importante a salientar, é a facilidade de regulação dos freios da boquilha, a saída fica mais direcionada ao centro.

As placas devem ter o formato mostrado nas fotos. Recomendam-se placas de $\frac{1}{2}$ polegada. As dimensões variam de acordo com o tamanho da boquilha utilizada, quanto maior for a placa, maior será o direcionamento da massa e menor o esforço aplicado na extrusão. Lembrando que, quanto menor for o esforço aplicado na extrusão, menor será a amperagem de trabalho, significando ao final do processo menor consumo energético.

Algumas empresas já utilizam embudo cônico com elevada eficácia, veja exemplo na foto a seguir (foto 19).



Foto 19

As marombas modernas (europeia), possuem conexidade e freios no embudo para direcionar melhor a massa durante a extrusão (sintonia grossa do fluxo de massa).

Existe também a conexidade invertida para placas, múltiplas saídas ou peças de grande volume que ultrapassem 50% do diâmetro do canhão.

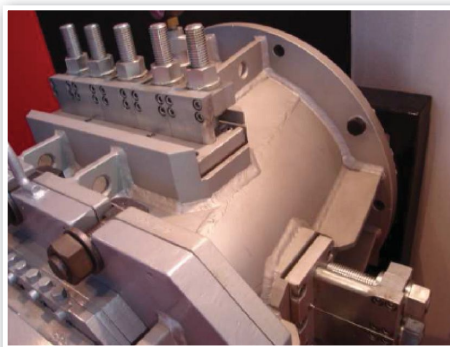


Foto 20: Conexidade invertida

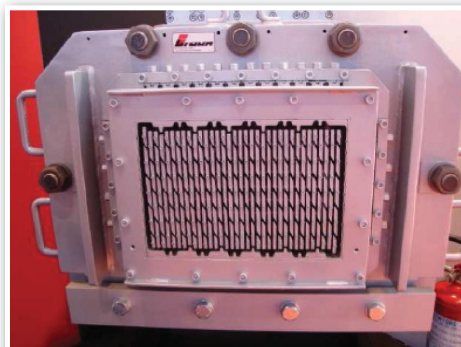


Foto 21: Conexidade invertida

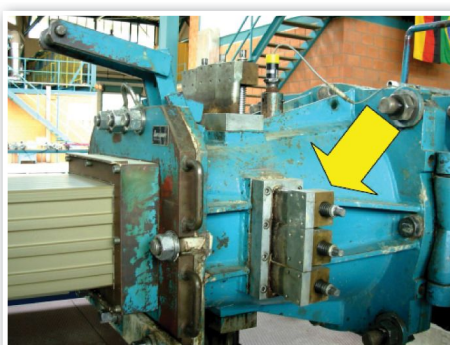


Foto 22: Embudo cônico com freios

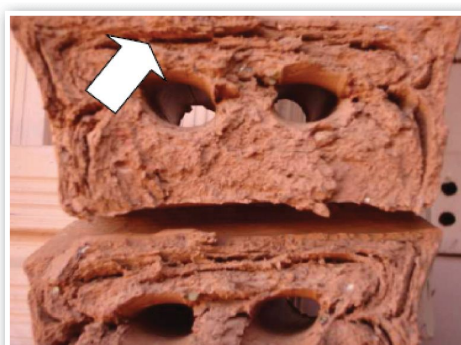


Foto 23: Embudo cônico com freios

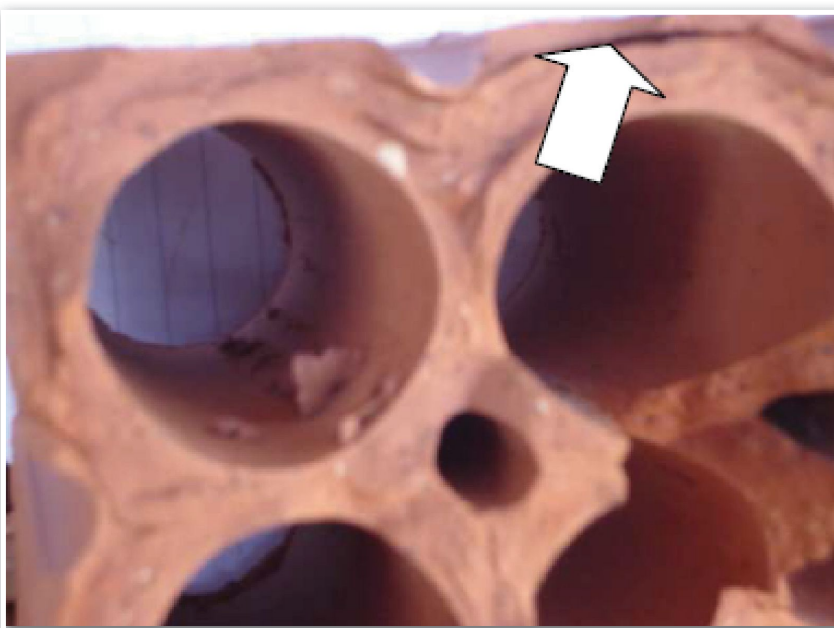


Foto 24: Sistema de freios no embudo

Sistema de vácuo

O sistema de vácuo é o mais importante instrumento para a qualidade do produto, garante a retirada de ar na massa, possibilitando uma maior compactação dos grãos. Quanto maior for a aproximação dos grãos, maior será a compactação dos mesmos, garantindo assim maior resistência à peça cerâmica.

A ausência do vácuo ou a baixa pressão, reduzem a compactação, deixando uma película de ar entre os grãos, fazendo com que a massa fique em forma de sanduíche, muito conhecida como esfolhamento ou laminação.

Esse esfolhamento reduz drasticamente a resistência mecânica da peça cerâmica. Nas telhas, o som de chocho é evidenciado e, nos blocos, tanto de vedação ou estrutural, as trinas ficam localizadas nas intersecções de paredes (septos e paredes).

As fotos a seguir mostram a laminação causada pela ausência de vácuo, nela fica nítida a divisão de camadas causadas pelo ar.



Foto 25



Foto 26

As camadas provocadas pela ausência de vácuo reduzem drasticamente a resistência mecânica do produto.

Outro ponto que se deve ficar atento são as argilas com resíduo muito fino, e/ou a ausência dele. Nestes dois casos, a retirada de ar do interior da massa fica comprometida devido a grande proximidade dos grãos argilosos, principalmente nas argilas de granulometria muito fina ou nas argilas de altíssima plasticidade, na maioria das vezes argilas de várzeas.

O operador da maromba deve ficar atento às oscilações na sua alimentação. Calçadores ou hélice de pré-compressão são os locais preferidos para a entrada de ar na câmara de vácuo, principalmente quando se está produzindo bastões para telhas, onde o volume de massa a ser compactado é muito maior e muito mais difícil a retirada de ar.

A foto 27 mostra bem o que acontece com a massa que recebe gol-fada de ar durante as oscilações de alimentação.

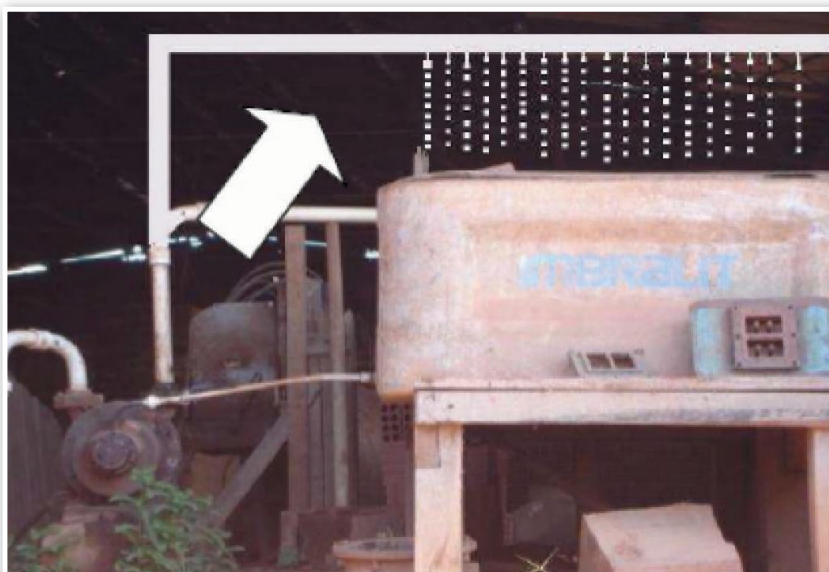


Foto 27

Na limpeza do embudo, ficou evidenciado a falta de vácuo causada pela entrada de ar pelos calcadores no processo de extrusão. Isto ocorre em marombas de calcadores. Já nas marombas agregadas, a entrada de ar é feita pela hélice de pré-compressão localizada no seu misturador, devido a desgastes da baixa alimentação. É claro que existem outros locais de vazamentos, mas a metade dos problemas de vácuo estão localizados nestes locais.

As argilas de alta plasticidade, devem ser misturadas com as de baixa plasticidade ou com o chamote produzido com cacos queimados e moídos, gerados nas perdas de produção.

A granulometria deve variar entre as malhas 20 a 60, conforme normas da ABNT, para dar um bom arranjo granulométrico. O chamote, além de corrigir o índice de plasticidade, confere ao produto uma maior leveza e uma melhor secagem, reduzindo empenos e deformações, facilitando a regulagem de boquilha e o aceleração do processo de queima. A dosagem varia de acordo o índice de plasticidade da argila utilizada. Na prática, as porcentagens utilizadas em inúmeras cerâmicas variam entre 10% a 15%, obtendo-se um índice de plasticidade médio, o ideal para se trabalhar.

Deve-se tomar alguns cuidados para não extrapolar os índices de mistura, o excesso de chamote reduz drasticamente a resistência mecânica do produto.

O uso de areia na mistura para reduzir a plasticidade é condenável. Além de conter sílica livre, principal vilão do choque térmico, aumenta o desgaste interno da maromba, reduzindo a resistência mecânica do produto.

Outro item a ser analisado durante o processo de retirada de ar, é o processo de resfriamento da água utilizada. Muito quente, altera o sistema de vácuo, diminuindo a níveis incompatíveis com a necessidade mínima de pressão. Quanto mais fria a água estiver, mais eficiente será a retirada de ar da massa.

As tubulações utilizadas entre bomba, caixa de água e câmara de vácuo, devem ser verificadas periodicamente. Existe o risco de estrangulamento das mesmas. Outra dica importante é a colocação de tubulação aérea e não a subterrânea como é de costume.

O distância e altura da bomba em relação à maromba são muito importantes, quanto mais distante a bomba estiver da maromba, menor será a pressão exercida pelo vácuo. Acontece durante o processo, um tipo de competição entre a pressão necessária para retirada do ar da massa e a força necessária para circular a água no processo.

Na foto 28, tem-se um exemplo negativo do que acontece com o sistema de vácuo: a caixa de água está extremamente suja, o que reduz a potência do sistema.

Foto 28

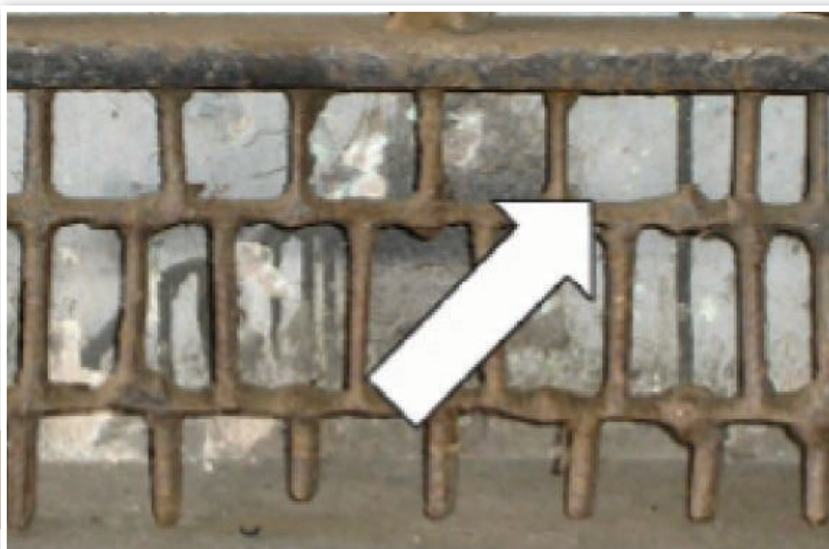


Foto 29



A pressão do sistema de vácuo é alterada em relação à altitude do local (nível em relação ao mar). Quanto mais próximo ao nível do mar, maior será a sua eficiência.

A refrigeração da bomba deve ser eficiente. Dela dependem a vida útil da bomba e a eficiência do sistema de retirada de ar. Na foto 29, verifica-se um exemplo simples e prático

para melhoria do resfriamento da água, sem nenhum investimento em torres de resfriamento.

Além de manter a refrigeração da água compatível com a potência da bomba, outros pontos devem ser verificados periodicamente, como vazamentos nas portinholas da câmara, grelhas, pentes e estrelas, rolamentos, buchas e retentores, água quente, etc.

Um erro muito comum cometido pelas empresas é a retirada ou aumento das paletas da grelha e do pente, para o ganho de produção. É evidente que a retirada do pente e o aumento da vazão na grelha aumentam consideravelmente a produção, mas o processo de retirada de ar fica totalmente comprometido. Quanto mais massa entrar na câmara de vácuo, e em tamanho superior ao permitido, menor será a retirada do ar.

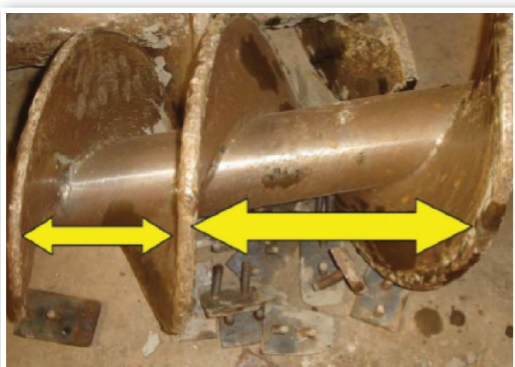


Foto 30: Grelha



Foto 31: Pente

Para mostrar a capacidade produtiva, existem no mercado algumas marombas sem a grelha ou com abertura acima dos padrões técnicos. O que se deve ter em mente é a escolha do equipamento ideal a ser utilizado, procurando sempre estudar com carinho a resposta à indagação: Qualidade ou Quantidade?

O mercado oferece marombas compatíveis com a produção desejada e com a qualidade de vácuo exigida.

Lembre-se que as adaptações são perigosas. Procurar sempre trabalhar com peças originais, confeccionadas de acordo com o equipamento em uso.

Não trabalhar sem o sistema de grelha ou pente. Essas ausências proporcionam uma maior produção. Mas, por outro lado, reduz a qualidade dos produtos. Deve-se obedecer rigorosamente as Normas Técnicas para confecção desses produtos.

Alguns erros e problemas causados por falta de conhecimento técnico

Os erros mostrados a seguir, são verdadeiros exemplos da falta de conhecimento técnico dos operadores e mecânicos de manutenção. Embora os defeitos sejam aparentes (causados pelos erros de manutenção e operação), são confundidos por outros problemas de ordem fabril, como por exemplo: argila ruim, úmida ou seca demais, plástica demais, areia demais, etc.

Deve-se sempre ter em mente, que 90% dos defeitos nos produtos, tem origem mecânica (fabricação). É raro aparecer defeitos causados na secagem e na queima.



Foto 32: Erros na confecção da hélice

Passe e inclinação de hélice

É muito comum encontrar erros que comprometem a fabricação de hélice na inclinação e no passe. São eles:

- ▶ Baixa produção;
- ▶ Aumento da amperagem;
- ▶ Torção da massa no canhão;
- ▶ Maior desgaste da camisa;
- ▶ Baixa compactação;
- ▶ Vibrações que comprometem o rolamento central;
- ▶ Favorecimento do empeno do eixo central.

A confecção da hélice deve obedecer a critérios técnicos, onde são calculados os ângulos, as inclinações e os passes para cada índice de plasticidade. O cálculo deve partir da granulometria, do grão argiloso e do índice de plasticidade.

Vazamentos no processo de vácuo



Foto 33



Foto 34

Este tipo de vedação é impróprio para o sistema, ao ressecar a argila, trinca, facilitando a entrada de ar na câmara de vácuo, reduzindo sua eficiência. Outro problema comum é a entrada de ar nos componentes danificados pela montagem errada (fotos 35 e 36).



Foto 35



Foto 36

Outros pontos de vazamentos deverão ser analisados. Diferentes modelos de extrusoras têm seus pontos críticos como veremos a seguir (foto 37).

Foto 37:
Vazamento de ar pela
portinhola da grelha



Foto 38: Variação na
alimentação (tipo de
erro causado pelo
operador)



Foto 39: Variação na
alimentação (tipo de
erro causado pelo
operador)





Foto 40

Atenção!

A distância da bomba em relação à maromba é fundamental para a eficiência da mesma, quanto mais próxima ela estiver da maromba, mais eficiente será a retirada do ar.

Erros na centralização de boquilhas são uma constante. Inúmeros problemas de trincas e empenos são causados por este erro. O exemplo a seguir (fotos 41 e 42), mostra a extrusão de bastão para telha, onde a centralização está muito longe de acontecer. Após secagem a telha sofrerá empeno causado por este desvio. O bastão mostra bem como ficará a telha após secagem.



Foto 41



Foto 42

Outro erro bastante comum, é a extrusão de bastão de modelos diferentes ao mesmo tempo. Isto causa no produto diferentes compactações, prejudicando o empacotamento de grãos, elevando assim o número de trincas e empenos nas telhas.



Foto 43

Como é mostrado na foto 43, existem dois modelos bem diferentes, provocando compactações diferentes e velocidades diferentes. Neste caso, cada modelo receberá um tipo de empacotamento, resultando no final produto de resistências diferentes, tonalidades variadas, oscilações na absorção de água, diferenças na sonoridade, etc.

Campeão dos erros

O envenenamento de marombas é uma prática normal entre as empresas. Isso, não só prejudica o produto, mas o próprio equipamento.

Deve-se tomar muito cuidado ao modificar o diâmetro do volante, nele está depositada a produtividade, qualidade e a vida útil da máquina.

Existem cálculos complexos para determinar qual o diâmetro correto para cada tipo de máquina (tonelada hora). Dependendo do diâmetro do volante a produção cai porque a argila passa a girar junto com a hélice.

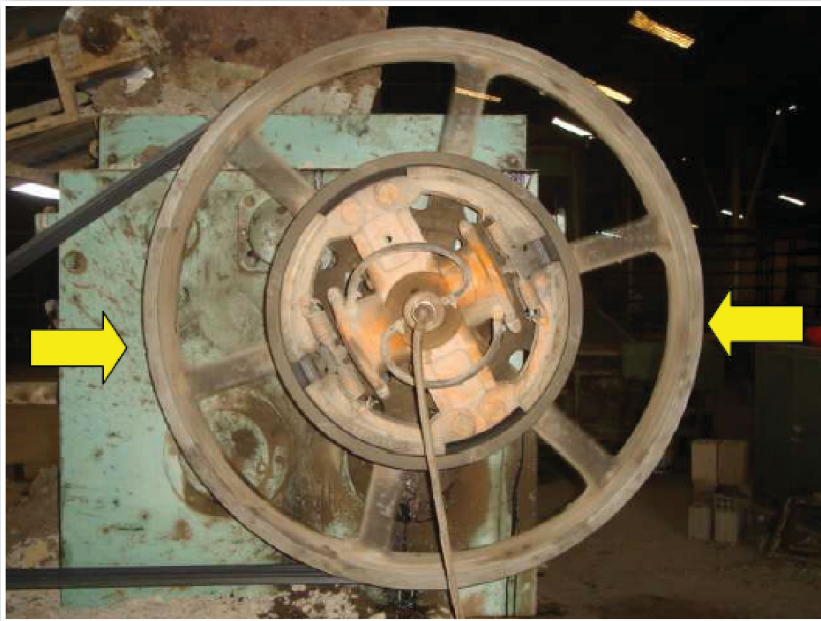


Foto 44

sistema de sequeamento

Secagem



Foto 45

Secagem significa a transferência de líquido de um sólido úmido para a fase gasosa insaturada. Ou ainda, o processo adotado para eliminar o líquido do produto por evaporação com a ajuda do calor.

De maneira mais ampla, podem considerar-se como métodos de secagem àqueles em que a água, sem mudar de estado, é eliminada por meios mecânicos: pressão, filtração ou centrifugação.

Sem restrição, costuma-se reservar a noção de secagem aos procedimentos técnicos indicados em primeiro lugar. Os outros métodos se designam pelo nome de “desidratação mecânica”, onde na maioria dos casos consiste na eliminação de água.

As possibilidades da secagem mecânica se vêem limitadas pela umidade residual que sempre fica no produto.

O estudo da secagem e o cálculo de secadores estão ligados ao grande número de problemas na parte de mecânica dos fluidos, de química, de superfícies, de estrutura de sólidos, bem como de problemas de transferência de calor e de massa.

Na secagem de um sólido com um gás de umidade e temperatura fixada, tem-se sempre o mesmo tipo de comportamento geral: inicialmente a temperatura do sólido varia até atingir valor constante.

Neste período, a temperatura do sólido e a velocidade de secagem podem aumentar ou diminuir até atingir um estado de equilíbrio. Verifica-se que a temperatura da superfície úmida do sólido é igual à temperatura do bulbo do meio. As temperaturas dentro do sólido tendem para o mesmo valor, com certo atraso, devido atingirem a

temperatura do bulbo úmido do gás. As mesmas tendem a ser constantes com a velocidade de secagem. Este é o chamado “período de secagem constante”.

Durante o período de secagem constante, tem-se a mesma umidade onde é produzida uma contração em toda a peça. Depois disto, a superfície começa a aparecer seca e a evaporação começa no interior da peça, produzindo pouca ou nenhuma contração.

Neste ponto, a argila se encontra parcialmente seca. Uma posterior redução no conteúdo de umidade dar lugar a passagem com pouca ou nenhuma troca de volume. A explicação geralmente aceita é que quando se está evaporando a água se separa das partículas produzindo a contração, até que estas estejam em contato. Depois disto, se perde a água dos poros e a contração não é mais produzida.

O período de secagem constante termina quando o sólido atinge o “conteúdo crítico de umidade”. Além desse ponto, a temperatura da superfície aumenta. A velocidade de secagem cai rapidamente.

Na tabela abaixo, vêem-se uma placa de argila plástica e os três estados em que a água se encontra no corpo cerâmico.

Tabela 2 - Estados em que a água se encontra no corpo cerâmico.

Água higroscópica vaporiza entre	50 a 200°C
Água interfoliar (lamelar) vaporiza entre	250 a 350°C
Água de constituição vaporiza entre	450 a 650°C

O período de queda da velocidade pode levar muito mais tempo que o período de velocidade constante, embora a remoção de umidade seja muito menor.

A velocidade de secagem tende a zero quando se atinge a “umidade de equilíbrio”, maior umidade possível que se pode atingir nas condições em que o sólido está secando.

As curvas de secagem típicas estão relacionadas com o mecanismo do processo de secagem. O período de secagem é inicial durante o qual a temperatura do sólido varia até atingir valor constante. Embora o andamento desse trecho da curva seja típico, qualquer outro tipo ainda é possível. Durante o período de velocidade constante, toda a superfície exposta está saturada de líquido. A secagem se processa como superfície líquida, com o sólido não exercendo influência direta sobre a velocidade de secagem.

É possível que a rugosidade da superfície sobre a qual se estende o fluido líquido possa aumentar os coeficientes de transferência, da massa e do calor. A temperatura da superfície atinge a temperatura do bulbo úmido como se deveria esperar.

O regime constante se mantém enquanto a massa que é retirada da superfície, é continuamente substituída por meio do movimento do líquido no interior do sólido. O mecanismo desse movimento e em consequência a velocidade do movimento, variam muito com a estrutura do sólido propriamente dito. Em sólidos que possuem espaços vazios relativamente grandes, é provável que o movimento seja controlado por forças de tensão superficial e gravidade dentro do sólido. Em sólidos de estrutura fibrosa ou amorfa, o movimento do líquido se faz por difusão através do sólido. Como as velocidades de difusão são muito menores do que as velocidades de escoamento por gravidade e capilaridade, os sólidos nos quais a difusão controla o movimento de líquido, terão períodos de velocidade constantes muito curtos, até mesmo difíceis de ser medidos. A umidade do sólido é insuficiente para suprir toda a superfície. Este ponto onde começa o decrescimento da velocidade de secagem é chamado ponto de inflexão.

Durante o período de secagem, chamado “primeiro período de queda de velocidade”, a superfície se torna cada vez mais pobre em líquidos, porque o movimento de líquidos para a superfície é cada vez mais lento que a transferência de massa da superfície, até atingir o ponto onde não há mais nenhuma área, por menor que seja de superfície saturada de líquidos. A parte da superfície que está saturada sairá por meio da convecção de calor e da corrente de gás.

O vapor das partes mais internas do corpo se difunde para a parte da superfície não saturada, e continua se difundindo até a corrente gasosa. Este mecanismo é muito lento em comparação com a transferência por convecção da superfície saturada.

Um material cerâmico não pode ser aquecido bruscamente até a temperatura de secagem e ser resfriado rapidamente sem ocorrer o risco de se partir (rachaduras), devido à rápida evaporação da água higroscópica e das formas lamelares (interfoliar).

Generalidades

Umidade dos gases e de substâncias sólidas (grandezas higrométricas)

A água no estado líquido ou vapor, contida num material, possui mecanismos mais ou menos complexos, capazes de modificar as propriedades físicas dos corpos segundo de umidade adquirida.

A mesma coisa vale para os gases. O conteúdo de vapor de água na atmosfera de um local pode variar segundo certas circunstâncias, os gases são caracterizados por um estado higrométrico capaz de alterar fundamentalmente as operações de secagem dos sólidos.

É conhecido que a secagem é uma operação que consiste na retirada da umidade de um corpo, ou seja, fornecer certa energia que permita eliminar as moléculas de água fixadas neste corpo. Essa energia,

depende necessariamente da temperatura e do teor de umidade da atmosfera circundante à substância a secar, atingindo certo valor não suficiente para retirar toda a água fixada na massa sólida. Neste caso, se estabelece um estado de equilíbrio dentro da substância sólida e a atmosfera do secador, enquanto sub existe dentro do corpo uma massa residual (umidade) que será eliminada quando for fornecida condição de secagem com maior energia.

Com o fim de melhor precisar as condições precedentes, é aconselhável recordar algumas definições ligadas as grandezas higrométricas da atmosfera e os parâmetros físicos concernentes ao material úmido:

► **Umidade absoluta de um gás** – é a massa de água no estado de vapor que contém uma unidade de volume de gás. É expressa em gramas por metro cúbico (g/m^3);

► **Umidade de um corpo sólido** – é a quantidade de água existente na unidade de massa do sólido, tratado a 105°C , exprime-se em percentual;

► **Umidade relativa ou grau higrométrico de um gás** – é a medida da relação entre a pressão parcial do vapor de água e a máxima pressão na mesma temperatura;

► **Ponto de orvalho** – é a temperatura na qual o vapor de água presente satura o gás. Nessas condições, o vapor começa a condensar-se sob a forma de visíveis gotículas em suspensão;

► **Umidade residual de um corpo sólido seco** – um material sólido seco dentro de uma atmosfera que possui certo grau higrométrico, não pode perder totalmente a água que possui sempre uma umidade residual em equilíbrio com aquela atmosfera;

► **Energia de secagem** – quando um corpo úmido é seco, aplica-se uma quantidade de energia necessária para passar a água do estado líquido para o de vapor. Essa energia pode ser referida à umidade de massa ou a um **MOL**. Pode-se admitir que a energia seja o trabalho do vapor, suposto gás perfeito, à máxima pressão e a pressão parcial da atmosfera de secagem.

Materiais argilosos

As matérias-primas usadas na indústria cerâmica tradicional, são essencialmente constituídas de silicatos ou sílicoaluminatos naturais mais ou menos complexos. Esses silicatos, argilas e caulins, apresentam uma estrutura geralmente lamelar e com propriedades de plasticidade notável em presença de água. A entrada de água nas micelas argilosas cria um inchamento da matéria-prima maior quanto mais alto for o teor de umidade.

A operação inversa de secagem trará uma diminuição de volume da massa, acarretando uma retração linear observável sob a massa crua.

As moléculas de água que estão em contato com as partículas argilosas, transformam-se em colóides, caracterizados de micelas

contornadas de água fortemente ligada por força elétrica, permanecendo como água intersticial no estado mais ou menos fixa. Disto resulta que a secagem ocorrerá de forma bastante simples, quando se elimina a água intersticial ou água livre, embora apresente maior dificuldade para eliminar a água fortemente ligada às partículas argilosas. Pode-se, dividir em mais fases a passagem do produto verde (material úmido) ao produto seco.

Comportamento das argilas durante o processo de secagem segundo Bigot e Sherwood

A secagem de uma argila está diretamente relacionada ao tempo e a perda de peso, demonstrado no diagrama de Sherwood abaixo:

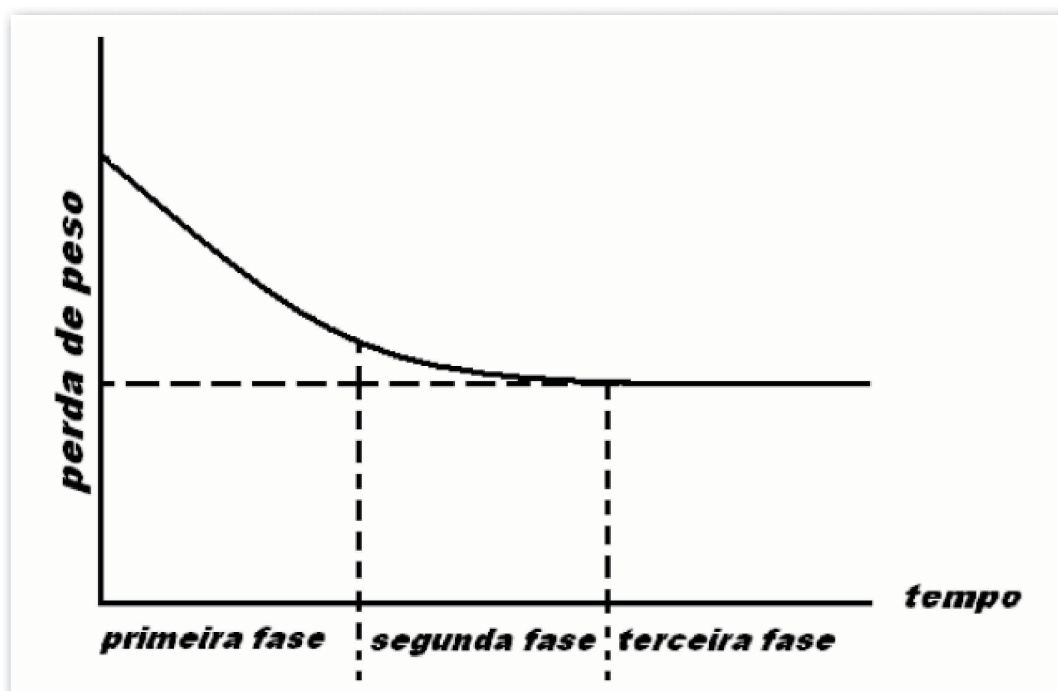


Gráfico 1

► **1ª fase** – a velocidade de evaporação é constante, pode-se supor que a água livre da superfície do corpo de prova evapora e a água livre do interior do corpo, migra até a superfície com uma rapidez suficiente para manter a periferia do corpo de prova úmida. Parece que esta velocidade é independente da natureza da argila em exame;

► **2ª fase** – a taxa de evaporação diminui. Neste caso, a evaporação aproxima as micelas de argila, a água livre do interior não é mais suficiente para chegar à superfície com aquela rapidez para manter a

periferia da peça úmida. Neste momento, a evaporação é transferida progressivamente para o interior do produto e é diminuída. Um gradiente de umidade se estabelece no curso desta fase;

► **3ª fase** – a taxa de evaporação torna-se nula. A umidade do corpo torna-se estacionária e corresponde a água ligada que resta na massa do corpo. Essa água está em equilíbrio com a atmosfera úmida do ambiente e a sua quantidade depende do grau higrométrico existente no ambiente. O corpo apresenta certa secura medida pelo inverso da umidade residual.

Diagrama de Bigot

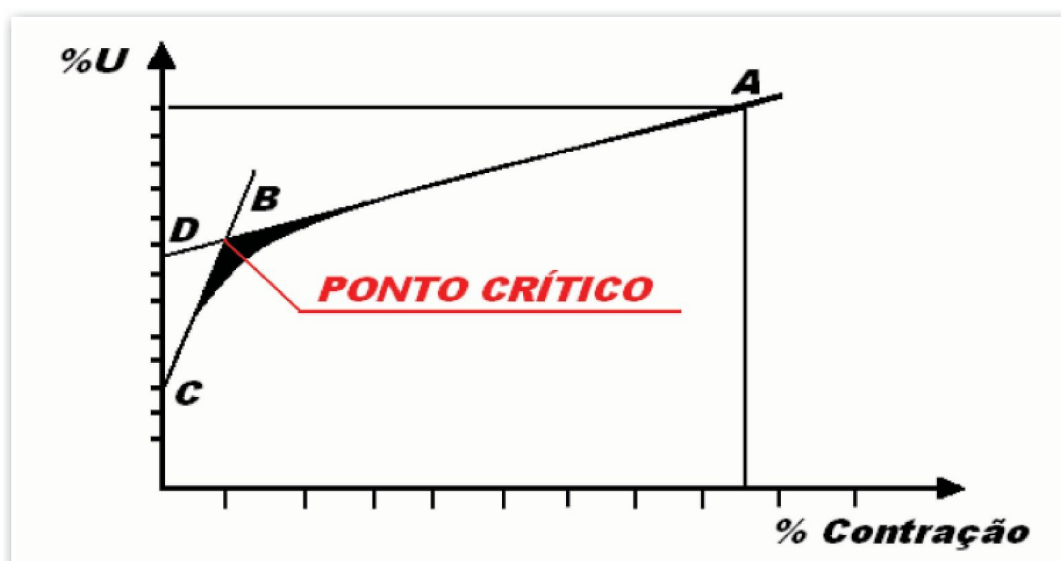


Gráfico 2

Em 1921, Bigot retomou os estudos de massas argilosas, relacionando a quantidade de água perdida com a diminuição de volume (contração) de várias barrinhas de material argiloso. Estabeleceu-se que a perda de água (em pesagens sucessivas) é diretamente proporcional à contração (medida da maior dimensão). As modificações verificadas na massa argilosa, durante a secagem, são tais que, o ciclo completo de secagem é diferenciado em três fases:

- **1ª fase** – diminuição de volume proporcional à água eliminada;
- **2ª fase** – formação de vazios (poros) enquanto que a massa continua a contrair-se ligeiramente;
- **3ª fase** – extinção da diminuição de volume, e os poros manifestados são proporcionais à água eliminada.

Diagrama

► **1ª fase da secagem: A-B** – a velocidade de secagem é constante. Ocorrem variações sensíveis nas dimensões da peça, devido ao encostamento de grãos pela saída de água coloidal. Nesta fase da secagem, a água migra até a superfície da peça formando uma película. Este período é dito constante, porque à medida que a água se evapora, é repostada pela difusão do interior da peça. O período de velocidade constante termina quando se atinge o **ponto crítico**, isto é, a peça muda de cor pelo desaparecimento do filme de água;

► **2ª fase da secagem: B-C** – a velocidade é de pouca duração, a velocidade de secagem é decrescente, isto é, a água evaporada decresce gradativamente. A água evaporada corresponde a uma contração não proporcional;

► **3ª fase da secagem: C-O** – a velocidade de secagem é praticamente nula. Não ocorrem variações sensíveis nas dimensões da peça cerâmica. Nesta fase, ocorre a evaporação da água intersticial, sem contração.

A saída da água coloidal corresponde ao intervalo da curva **D-E**, e da água de interposição ao intervalo **D-O**. Pode-se verificar que a maior contração ocorre pela saída da água coloidal, e a saída de interposição pouco interfere na contração.

Retirada da água no processo de secagem e a formação de micros capilares

A retirada da água do interior de uma peça só ocorre quando a densidade e a viscosidade da mesma abaixam e a gotícula de água existente dentro dela passa a ter a mesma temperatura ambiental externa, formando micros capilares em seu interior.

Quanto maior for a eficiência desses micros capilares, maiores serão as facilidades de saída de água, conseqüentemente maior será a velocidade de secagem.

A velocidade de secagem está diretamente relacionada a este fator, sendo assim, quanto mais bem preparada a peça para a secagem, mais rápida será a retirada de água.

A secagem na prática



Foto 46



Foto 47

Secagem Natural

A secagem natural é realizada nas peças cerâmicas quando expostas à temperatura ambiente, por meio da movimentação natural do ar. Neste caso, o tempo de secagem das peças é muito variável, pois depende das condições climáticas.

A secagem natural apresenta os seguintes inconvenientes:

- Tempo de secagem é muito longo;
- Excessivos manuseios das peças;
- Ocupação de grandes áreas para colocação das peças.

Dentro do processo de secagem natural, alguns tipos de secagem são feitos, uns mais eficientes outros não. Vale lembrar que a secagem natural não é a mais indicada. E, mesmo não sendo, é a mais utilizada na indústria cerâmica do Brasil. Cerca de 90% dessas indústrias, utilizam esse processo, porém, alguns procedimentos são indispensáveis, tais como:

- 1) Evitar ventilação inicial, isto pode acarretar demora no processo de secagem, pois a ventilação imediata, pode fechar os poros superficiais, dificultando a saída de água da dentro da peça;
- 2) Reduzir a densidade de carga para facilitar a circulação de ar;
- 3) Evitar a formação de mato e poças de água nas leiras de secagem;
- 4) Colocar de imediato, alguma cobertura sobre a pilha para evitar a ventilação inicial;
- 5) Deixar a cobertura (preferencialmente plástico) por no mínimo quatro horas, retirando-a logo em seguida, isto aumentará a velocidade de secagem;
- 6) Orientar os furos no sentido do vento;
- 7) Permanecer cobertas por um período maior, as peças maciças ou de grande porte.



Foto 48

Esse tipo de secagem é muito longo e ineficaz, a densidade de carga é muito alta o que dificulta a circulação de ar.

Outros fatores preponderantes, é a ausência de circulação de ar e luminosidade, responsáveis pela eficácia do processo de secagem.

Neste caso, devem-se afastar as peças umas das outras (cerca de 5mm), isso fará com que o ar circule melhor entre as peças, facilitando a secagem. Deve-se, também, aumentar a luminosidade do local evitando-se ambientes escuros e frios.

Outra prática comum, é a colocação de peças recém marombadas próximas ou juntas com as que já sofreram o processo de secagem. Isso fará com que a peça seca absorva novamente a água, prejudicando a qualidade estrutural da mesma. Lembre-se que a argila é higroscópica. Sendo assim, possui alto poder de absorção de umidade existente do ambiente em que está depositada.

A absorção de água, após secagem, reduz a resistência mecânica da peça deixando-a quebradiça.

Outro procedimento comum entre as cerâmicas, é o aproveitamento do calor perdido pela abóbada dos fornos, como demonstrado acima. Este procedimento não é o mais indicado, pois as peças recém marombadas por estarem muito úmidas, causarão trincas.



Foto 49

A colocação de peças próxima à abóbada, deverá ser feita após perda de água inicial (doze horas). Deverão ser colocadas no início do processo de esquentar dos fornos, porque a abóbada está fria e o aquecimento será progressivo, não prejudicando as peças ali colocadas.

Outro cuidado a ser tomado, é em relação às peças colocadas próximas as fornalhas, porque irradia-se muito calor, provocando trincas nas peças.



Foto 50

Apelidado de “procedimento dos desesperados”, causa inúmeras trincas no produto cerâmico, além de causar deformações e perdas consideráveis. Não é eficaz, necessita de áreas muito grandes e excesso de manipulação.

A secagem ocorre inicialmente na frente do bloco, ressecando as paredes frontais, causando trincas. O corpo ainda continua úmido provocando movimentações diferentes.

As fotos a seguir, mostram o que ocorre durante esse procedimento.



Foto 51

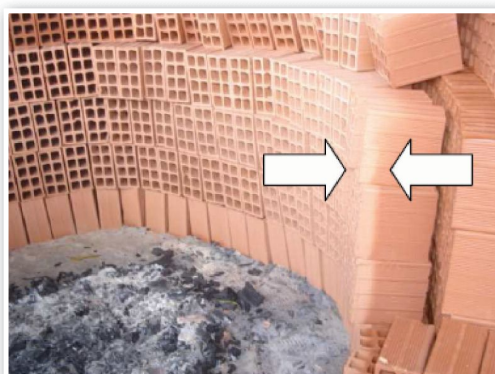


Foto 52

Atenção!

Deve-se evitar esta prática. Os resultados são catastróficos.

Secagem ao ar livre



Foto 53



Foto 54

O procedimento de secagem ao ar livre é muito comum nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. As peças são colocadas ao relento sem nenhuma proteção. Isso só é possível, porque as argilas dessas regiões possuem arranjos granulométricos bem definidos e uma porcentagem de resíduo considerável, onde as movimentações das partículas não sofrem alterações no processo de secagem. A posição do vento deve ser levada em conta. A direção deverá ser para o vazado e nunca pelas laterais, pois poderá trincar as peças.



Foto 55

Obs.:

Alguns procedimentos simples podem resultar em uma secagem rápida e eficaz.

Ambientes escuros e frios são inimigos da secagem. Algumas modificações nos barracões de secagem devem ser feitas. Exemplificando (foto 56), foram substituídas algumas telhas de cerâmica por uma lona plástica transparente, o que facilita a passagem de luminosidade e calor, aumentando, consideravelmente, a velocidade de secagem do produto cerâmico.

Foto 56



Atualmente, é cada vez mais comum, a troca de barracões escuros e frios por lona plástica. Por ser muito mais barata que os barracões de alvenaria, as estufas de plásticos são muito mais eficientes no processo de secagem, porém requerem alguns procedimentos e cuidados iniciais, tais como:

- Colocar cortinas nas laterais para evitar ventilação inicial;
- Observar a altura da estufa (não deverá ultrapassar os 3m, quanto mais baixa, maior será a eficiência de secagem);
- Deixar as peças sem ventilação por no mínimo quatro horas, após este período as cortinas deverão ser abertas, permanecendo assim até a finalização do processo;
- Evitar a alta densidade de carga (excesso de blocos na mesma pilha);
- Evitar a colocação de peças úmidas próximas das secas;
- Evitar a colocação de peças próximas ao teto das estufas, em dias muito quentes porque as peças trincarão;
- Colocar proteção em dias de sol muito forte (sombra na última peça), retirando-a após algumas horas (depende da espessura e do tamanho da peça);
- Lembrar que peças maciças deverão ser cobertas por um período mais longo.

Obs.:

Adotando estes procedimentos você terá um secador eficiente e barato.

Alguns exemplos de estufas de plástico



Foto 57



Foto 58

As estufas de plástico, embora sejam de construção simples, são muito eficientes.

As laterais são acortinadas, devendo permanecer assim enquanto os blocos forem colocados no local, obedecendo um período de no mínimo quatro horas.

Construídas em arcos metálicos de custo elevado, mas muito eficientes. Durante a secagem deve-se manter o mesmo procedimento descrito acima.

Nota-se um descuido grave no abastecimento da estufa: as cortinas estão levantadas favorecendo a circulação de ar. Isto, no início do processo, não é recomendável.



Foto 59

Outra recomendação para as estufas construídas em arcos metálicos, é a colocação de carpete nos mesmos. Tal medida, impede o ressecamento da lona plástica, que fica em contato direto com o tubo metálico devido ao super aquecimento dos mesmos.



Foto 60



Foto 61

O reaproveitamento de calor dos fornos e a ventilação também são válidos no processo de secagem natural, através da estufa de lona plástica. Embora este procedimento requeira energia elétrica, atualmente não é indicado, mas são extremamente eficientes.



Foto 62



Foto 63

Diferentemente das estufas de lona plástica, as áreas de secagem em barracões de alvenaria são geralmente escuras e frias. Diante disto, exige-se a utilização de inúmeros ventiladores para acelerar o processo de secagem. Na verdade, não tem a eficiência esperada: a circulação de ar (vento) gerada pelos ventiladores são localizados e frios, o que não é benéfico para o processo de secagem.

Nos casos de ventilação fria, os ventiladores devem estar em movimento (autoviajante) para reduzir com mais rapidez a área úmida localizada sobre a carga estacionária.

A introdução de ar quente faz-se necessária. A ventilação fria não acelera o processo de secagem, tornando o processo longo e caro.

Visando a melhoria desse tipo de secagem, é aconselhável o uso de telhas transparentes ou plásticas intercaladas.

Secagem artificial

No processo de secagem artificial podem ser classificados através de três tipos:

- Secagem estática (em câmaras);
- Secagem semicontínua;
- Secagem contínua.

Estes processos são muito utilizados nas indústrias cerâmicas, embora cada um tenha a sua característica própria, são os mais eficientes.

Os processos e os métodos mais eficientes serão descritos para se tirar maior proveito desses sistemas. Todos requerem o uso de energia elétrica, os que os tornam inviáveis.

Algumas considerações técnicas são necessárias para traduzir as necessidades desses secadores. Não basta apenas introduzir ar quente e ventilação abundantes nos mesmos.

Algumas indagações deverão ser feitas. As respostas deverão ser precisas para uma maior eficiência e integridade do secador:

- Qual a velocidade dos ventiladores?
- Qual a quantidade de ventiladores?
- Quanto de ar quente o processo necessita?
- O ar quente terá origem através de fornalhas ou da recuperação dos fornos?
- Quanto eu posso extrair de umidade e qual a velocidade?
- A extração de umidade será por gravidade ou forçada (motorizada)?
- Serão utilizados ventiladores fixos ou autoviajantes?
- Será utilizada secagem rápida ou secagem lenta (produtos de alta e baixa densidade)?

O secador constitui-se de um ambiente fechado, com capacidade variável, que poderá ser ajustada de acordo com a carga a secar. Funciona com temperaturas elevadas, chegando a aproximadamente 200°C.

No caso da secagem de peças cerâmicas, utiliza-se o ar aquecido por uma fonte geradora de calor, ou ainda, com calor oriundo do resfriamento dos fornos.

Outra fonte produtora de calor são as fornalhas.

Nos secadores estáticos ocorrem variações de temperatura e umidade sobre o material parado. Nos secadores contínuos, tais variações são estabilizadas no espaço e influenciam sobre o material durante seu movimento.

Outra caracterização dos secadores está associada ao tipo de circuito que o alimenta:

- ▶ **Circuito aberto** – o ar se renova continuamente por tiragem natural (chaminé) ou forçada (exaustores);
- ▶ **Circuito fechado** – o ar é passado mais vezes sobre o material, com tiragem forçada.

A escolha entre os tipos de secadores depende do grau de produtividade da indústria. Diante da relevante carga de alimentação de peças, recorre-se aos secadores contínuos, ao invés dos intermitentes, considerando-se uma redução notável nos tempos inúteis e a adoção de ciclos altamente mecanizados.

Os secadores contínuos rápidos são recentes no mercado, criados pelas exigências das indústrias de mono queima. Os tempos de secagem (ciclos) são extremamente reduzidos (inferiores a uma hora). Nestes tipos de secadores, as peças são tratadas individualmente, criando-se uma situação de grande equilíbrio entre as várias partes do corpo cerâmico, submetidas ao processo de secagem.

A secagem rápida tem adotado os mesmos conceitos do secador túnel com maior agilidade no processo. Consequência do fato que se pode tratar a peça individualmente em condições favoráveis.



Foto 64

Secadores estáticos

O tipo mais comum de secador intermitente é o de câmara: o ar quente movido pelo ventilador é conduzido para a câmara de secagem através de canais que desembocam em sua parte anterior. O ar quente entra por baixo e sai pelas aberturas correspondentes, situadas também na parte baixa da câmara, posicionadas na parte oposta das de entrada.

O movimento da corrente de ar ocorre segundo critério racional, adequando às varias condições físicas, onde se encontra o ar durante a secagem.

De fato, na entrada de cada câmara, o ar tem uma temperatura superior a do ambiente, se eleva e a atravessa as estantes colocadas na primeira metade da câmara, no sentido vertical, de baixo para cima.

Pela ação secante exercida sobre a massa cerâmica, ocorre um enriquecimento de umidade, e um consequente resfriamento. Por isto, a massa gasosa produzida tende a descer. A abertura de descarga disposta sobre o assoalho, favorece o andamento natural da corrente gasosa (corrente contrária) e evita qualquer paralisação do ar na câmara. Se a abertura de descarga encontrar-se na parte alta do secador, toda a carga que estiver abaixo da abertura do fluxo do fluído ficará numa zona morta, onde boa parte do ar satura com consequente condensação de vapor de água.

As câmaras de secagem apresentam a vantagem de prestar-se às regulagens de temperatura e o estado higrométrico bastante precisos, podendo introduzir ar frio no circuito. Não são evitadas, porém, os graves inconvenientes devido à falta de uniformidade das condições

de secagem na câmara. De fato, os objetos que se encontram no interior da mesma, situadas próximas a aberturas de entrada de ar, recebem uma ação secante bem mais acentuada do que aquelas colocadas na parte oposta da câmara, próximas ao fluxo de ar úmido.

Alguns erros são cometidos neste tipo de secador, onde o mais comum é a injeção de ar frio no início, o que não é aconselhável. O ar frio fecha a superfície da peça provocando a aproximação do grão argiloso, retardando o processo de secagem. Deve-se, no entanto, adicionar ar quente no início de secagem, deixando a atmosfera rica em umidade e calor, este procedimento provoca a abertura de micros capilares no interior da peça facilitando a saída de água e consequentemente uma maior velocidade de secagem.

Foto 65



A introdução de ventilação neste tipo de secador deve ser após o preparo da peça, através do ar quente. Não existe um tempo pré-determinado, pois cada peça tem o seu tamanho diferenciado e dificuldade para eliminar a água interna. Deve-se

usar de bom senso, analisando todo o tipo de peça, e a sua dificuldade de secagem.

Outro procedimento recomendável é a manutenção das portas, deve-se evitar o fluxo de ar frio no carregamento da estufa. Toda e qualquer abertura, devem permanecer fechadas, mantendo-se aberta apenas a porta de entrada.

A ausência de portas prejudica o processo de secagem. Nota-se na peça a diferença de secagem no mesmo corpo. A entrada de ventilação pela porta é prejudicial ao processo de secagem, pois o ar quente se dispersa indo para o teto da câmara, tornando a secagem lenta e deficiente.



Foto 66

Secadores contínuos

O secador contínuo realiza o princípio do trabalho contínuo e assegura, graças ao movimento dos objetos a secar em contra corrente com a massa de ar quente, uma secagem suficientemente completa e uniforme. Tais secadores, são formados por galerias percorridas em toda sua extensão por trilhos, deslocando-se lentamente de uma extremidade à outra. No sentido oposto, move-se a massa de ar quente, a qual absorve a umidade evaporada na secagem e transporta-a pela ação de ventiladores até próximo à extremidade de entrada das vagonetas.

O material encontra-se inicialmente ar quente e rico em umidade, o qual, à medida que as vagonetas avançam torna-se mais quente e seco e, portanto em condições de receber quantidades sempre maiores de calor.

As vagonetas avançam em intervalos determinados. Sempre que é introduzida uma vagoneta, ao mesmo tempo ocorre à saída de outra. Além das vantagens obtidas da aplicação de um ciclo de trabalho contínuo, evita-se a manipulação demasiada dos produtos, como ocorre nos secadores intermitentes.

O comprimento do túnel deve ser naturalmente adequado ao diagrama de secagem específico para cada tipo de produto.

As melhores condições serão realizadas se em cada ponto do túnel, a temperatura e o estado higrométrico corresponderem a aquele

representado no diagrama, porém as frequentes manobras das portas, para ingresso e retirada de vagonetas, faz com que os valores das características físicas resultem em mudanças de atmosferas profundamente perturbadoras.

Além disso, o sistema de contra corrente provoca facilmente a saída do ar no ponto de ingresso dos produtos. As condensações do vapor de água são inevitáveis, porque o ar encontra-se quase saturado devido à umidade do produto que entra.

A entrada do secador deve conter uma umidade de aproximadamente 85%. Esse ambiente saturado acelera o processo de retirada de água do produto. Para que se faça uma secagem rápida e eficiente é preciso abaixar a viscosidade da água contida no produto, quanto mais eficiente for esta retirada, maior será a velocidade de secagem.

O secador túnel possui três zonas distintas, assim distribuídas:

▸ **Zona úmida** – localizada na entrada do secador, onde a umidade deve permanecer em aproximadamente 85% e temperatura por volta de 45°C. Nessa zona, o produto é preparado para receber a secagem. São criados micros capilares no interior da peça, onde a água migrará para a superfície. Quanto mais eficiente for à formação de micros capilares, mais rápida será a secagem;

▸ **Zona neutra** – localizada geralmente no meio do secador (quando bem regulado). Neste período, a peça cerâmica sofre uma pequena retração até a entrada da zona seca. Geralmente a temperatura permanece por volta de 50°C;

▸ **Zona seca** – localizada do meio até o final do secador, onde a porcentagem de umidade cai drasticamente em até 2%. É muito comum encontrar secadores com temperatura final por volta dos 70°C, onde falta temperatura para secar o produto totalmente.

Nesta zona, a temperatura deve ficar por volta de 100°C, onde o processo se dará por completo. Sabemos que mesmo em temperaturas por volta de 100°C, ainda permanece no interior da peça cerâmica cerca de 4% de umidade residual, que só sairá no processo de queima.

O uso de termohigrômetro neste tipo de secador é obrigatório, pois quanto mais controlada as zonas, maior será a eficiência de secagem. Deve-se, no entanto, evitar a colocação desse equipamento no teto do secador, pois sua parte mais seca e quente localiza-se justamente no teto. Neste caso, deve ser colocado nas paredes laterais, na altura da metade da vagoneta ou do secador.

O controle de umidade relativa do ar determina a velocidade e a eficiência de secagem. Em alguns casos, é necessária a adição de água no piso do secador para aumentar a umidade (regiões de umidade muito baixa ou nas argilas montmoriloníticas).

O canal de extração de umidade deve ter a mesma dimensão do secador para garantir a retirada de água do produto. É muito comum encontrar secadores de tamanhos e modelos de produtos (densidade) distintos, onde cada um responde com uma velocidade diferente de retirada de água.

A entrada de ar quente mais indicada é pelo teto do secador, onde o ar quente força a umidade baixar próxima a extração. Lembrando sempre que a água só sai do produto quando a densidade e a viscosidade da mesma baixarem.

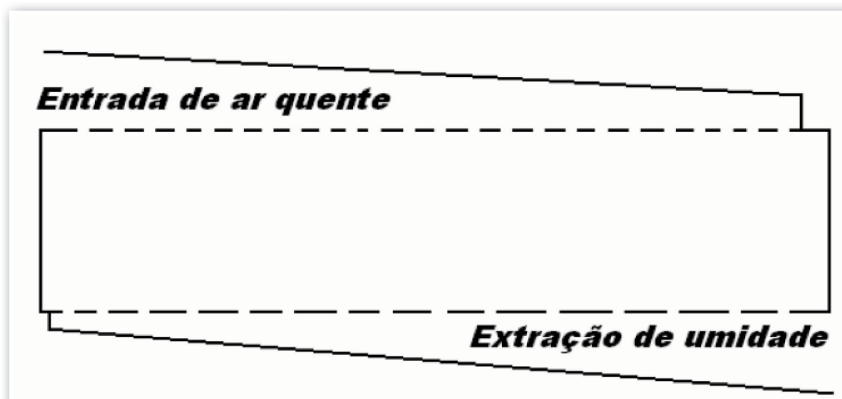


Gráfico 3:
Exemplo
mais
indicado de
canais.

No caso de blocos, devem-se evitar os secadores de mais de duas linhas, pois as vagonetas das paredes não secam corretamente devido ao volume de massa existente na frente. Neste caso, o mais indicado é o de duas vias. Já no caso de telhas, as quatro vias são permitidas, devido ao baixo volume de massa.



Foto 67

Outro fator ponderante ao processo de secagem, é a velocidade dos ventiladores. Quanto mais alto o volume de ar gerado por eles, maior será a velocidade de secagem.

O sistema de ventilação varia de acordo com o tipo de projeto. Existem inúmeros tipos de ventilação, sendo uns mais eficientes do que outros.

A seguir, alguns exemplos de ventilação forçada.

► **Sistema Teram** – o ar quente é canalizado por cima e forçado para baixo através de um ventilador localizado do lado de fora do secador (teto). Durante o trabalho o cone se move no sentido rotativo (vai e vem), espalhando o ar quente pelas vagonetas. A vantagem desse tipo de ventilação, é que os motores e correias ficam do lado de fora sem contato com o calor, aumentando assim a vida útil dos mesmos.

► **Sistema fixo (axiais fixados nas paredes)** – em desuso devido ao elevado custo energético. Além do baixo rendimento volumétrico, centraliza a ventilação em um único ponto, provocando, em muitos casos, trincas indesejáveis.

Esse sistema requer uma quantidade elevada de ventiladores, o que aumenta consideravelmente o consumo energético, elevando o custo de manutenção (queima de motores). Geralmente este tipo de ventilação requer o dobro de ventiladores do que o sistema autoviajante. Mesmo assim, não consegue a mesma eficiência dos sistemas circulantes.

Foto 68



Foto 69



Foto 70



Foto 71



► **Sistema autoviajante** – é o mais eficiente e econômico até o momento, embora alguns fabricantes exagerem na quantidade de ventiladores. Existem dois tipos de autoviajantes: o de dois ventiladores e o de um ventilador (ventalão). Este último é o mais econômico e mais eficiente, pois ventila toda a vagoneta com uma única hélice. De fácil manutenção, possui geralmente hélice de fibra de vidro, exigindo assim, pequeno motor de 1CV. Embora seja muito eficiente, requer um maior volume de ar das hélices.

É necessário tomar alguns cuidados na aquisição deste tipo de sistema. Lembrando sempre que não é a quantidade de ventiladores que fazem a secagem, e sim, o volume de ar gerado por eles. É claro que a quantidade conta, mas olhando para o ponto de economia, menor quantidade de ventiladores com alta pressão darão os mesmos resultados.

Hoje são utilizados ventiladores com hélices da altura das vagonetas, tornando a ventilação mais homogênea, acelerando o processo de secagem, além de serem mais econômicos.

A foto 70, mostra um erro muito comum nas indústrias cerâmicas, que é a colocação de peças umas sobre as outras, dificultando a secagem, mesmo possuindo um secador com autoviajante. A densidade de carga muito alta dificulta a circulação de ar entre as peças. Deve-se evitar o uso de vagonetas de planos altos, pois o

aproveitamento dos planos é inevitável. Procurar colocar vários planos. Quanto mais separadas as peças umas das outras, maior será a velocidade de secagem.

► **Sistema Balancim** – é o mais eficaz entre os secadores existentes no Brasil, pois seca as peças uma a uma. São colocadas em grades do tipo bandeja e arrastadas por sistema de correntes que levam as mesmas a cada setor de secagem, com temperatura e umidade rigidamente controladas, mantendo ciclos de secagem entre seis a doze horas. Mesmo sendo um secador muito eficiente, o custo operacional é alto dentro dos padrões brasileiros. Possui um sistema complexo e manutenção onerosa, além de requerer bom conhecimento técnico em secagem e em manutenção.

Dicas para uma secagem eficiente

► Manter as portas sempre fechadas, pois a circulação de ar altera a curva de secagem;

► Manter a umidade relativa do ar (Ur) na entrada do secador (zona úmida) em 85% e temperatura em torno de 45°C;

► Procurar não retirar as vagonetas fora da ordem de saída, mantendo e obedecendo o cronograma de retirada para não alterar a curva de secagem. Caso contrário, pode causar trincas ou deficiência na secagem;

► Controlar a retirada de ar úmido pelo exaustor ou chaminé. Lembrando que a umidade inicial é responsável pela qualidade e produtividade da secagem;

► É necessário manter um maior volume de ar gerado pelos ventiladores, pois quanto maior o volume, maior será a produtividade de secagem;

► Colocar, na ausência de umidade inicial, aspersores ou tambores com água na entrada do secador;

► Evitar o gotejamento de água na entrada do secador no verão (no inverno é normal), porque é indício de entrada de ar frio na zona úmida;

► Manter a altura da vagoneta próxima à altura do secador, a fim de evitar grandes espaços entre a vagoneta e o teto. Vagonetas muito baixas, em relação à altura do secador, provocam um bolsão de ar quente no teto, além de dificultar a secagem e ele provoca trincas.

Quêima sistema de

Queima



Foto 72

Na indústria de cerâmica a queima é a fase primordial, onde se manifestam grandes defeitos, provenientes das etapas anteriores de produção: preparação de massas, conformação das peças, secagem, arranjos para a queima, etc.

Cabe ao técnico, examinar minuciosamente os defeitos, a fim de estabelecer a origem exata. Tarefa que exige grande conhecimento de todas as etapas do processo.

O objetivo da queima das peças cerâmicas, é que sob a ação do calor, ocorram certas reações e transformações químicas e físicas nos componentes da massa, a fim de se obter o corpo cerâmico.

O fator temperatura/tempo é muito importante para provocar as reações. A atmosfera do forno também influi no resultado final, pois os constituintes da massa também reagem com os gases que estão em contato.

O conhecimento dos ensaios térmicos das massas, possibilita o estabelecimento da curva de queima para as mesmas.

Os ensaios exigidos para se traçar uma curva de queima compatível com a argila utilizada e o tipo de produto, são dados pelos seguintes ensaios:

► **ATP (análise termo-ponderal)** – registra as perdas de massa em função da temperatura;

► **ATD (análise térmica diferencial)** – analisa as reações endotérmicas e exotérmicas (transformações que ocorrem a cada temperatura);

► **AD (análise dilatométrica)** – mede as variações nas dimensões (dilatação e contração), ocorridas a cada temperatura, tanto no aquecimento como no resfriamento.

Curva de queima

Durante a queima de um corpo cerâmico, à medida que a temperatura aumenta, verificam-se os seguintes fenômenos:

- Um pouco além de 100°C, eliminação da água higroscópica;
- Em 200°C, eliminação da água de poros ou intersticial;
- Entre 350 e 650°C, combustão das substâncias orgânicas;
- Entre 450 e 650°C, eliminação da água de constituição;
- Entre 700 e 950°C, decomposição dos carbonatos;
- A partir dos 700°C verifica-se a reação química da sílica e alumina os elementos fusíveis, dando lugar à formação de silicoaluminatos complexos;
- Acima de 1000°C ocorre a sinterização do material, proporcionando particular dureza e compactação. Prosseguindo-se o aquecimento chega-se a completa fusão do corpo cerâmico;
- Na temperatura de 575°C ocorre a transformação do quartzo alfa em quartzo beta e vice-versa durante o resfriamento.

Combustão

Combustão é uma reação química produtora de calor e luz. Para que ocorra a combustão são necessárias três condições básicas: a presença do combustível, do oxigênio, e uma fonte de calor para iniciar o processo de combustão;

► **Caloria** – é a quantidade de calor necessário para elevar 1 grama de água pura de 14,5°C até 15,5°C, sob pressão atmosférica normal. Geralmente se expressa a quantidade de calor em Kilocaloria (Kcal ou KJ) que corresponde a 1.000 calorias ou 4,18 KJ. Usa-se também o BTU (unidade térmica inglesa) que é igual a 0,252 Kcal;

► **Calor latente** – é o calor fornecido ao corpo para que mude de estado, sem que ocorra aumento de temperatura;

► **Calor sensível** – é o calor fornecido ao corpo, onde ocorre aumento de temperatura;

► **Calor específico** – é a capacidade que um corpo tem de absorver calor. Este conhecimento é importante, pois quando se trata de elevação de temperatura de massas iguais e de materiais diferentes, é necessário fornecer quantidades diferentes de calor;

► **Poder calorífico** – é a quantidade de calor liberado pela unidade de massa (ou de volume para combustíveis gasosos) de um combustível, quando queimado completamente. É expresso em Kcal/kg (para sólidos e líquidos) e em Kcal/m³ (para gases). O poder calorífico superior supera o inferior em uma quantidade de Kcal, equivalente para vaporizar a água formada com a combustão do hidrogênio do combustível.

O oxigênio utilizado nas reações de combustão é fornecido pelo ar, cuja composição aproximada é de 23% em peso ou 21% em volume de O² e 77% em peso ou 79% em volume de N².



Foto 73: Início da queima na prática

Assim começou a queima do tijolo cerâmico, o forno era o próprio produto. De queima péssima, com alto índice de perdas, elevado consumo de combustível, péssima qualidade e de baixíssimo aproveitamento térmico.

O processo de queima é muito artesanal, com elevado índice de requeima e de material cru no mesmo lote. A queima termina quando a lenha da parte de cima pega fogo (indício de que a queima está no final). Em alguns estados brasileiros, como Rio Grande do Norte, Minas Gerais e Goiás, ainda utilizam esse processo.

Na foto 74, o bloco é colocado em uma



Foto 74: Forno intermitente do tipo Caieira crivado

base onde ficam as fornalhas, recoberto com blocos queimados para proteger a saída do calor gerado. Apesar da péssima queima e do elevado consumo, esse forno ainda é muito utilizado em regiões carentes do Brasil.



Foto 75

Esse forno tem o mesmo princípio que o anterior (base e fornalhas), mas possui paredes fixas. O teto é feito com telhas de amianto, folhas metálicas, blocos ou telhas de argila. De elevado consumo energético e de baixíssima qualidade, ainda é muito utilizado em regiões carentes.



Foto 76



Foto 77

Já neste caso, o forno é um pouco mais moderno, possui crivos e telhado fixo. A carga recebe uma cobertura de tijolos maciços para evitar a saída do calor gerado pelas fornalhas. Muito utilizado para queima desse tipo de tijolo.

Não é um forno econômico devido a grande perda de calor pelo teto, mas possui maior vantagem que os outros fornos abobadados, pois seu resfriamento é muito rápido.

A sua queima deve obedecer alguns critérios técnicos para reduzir o consumo de combustível e homogeneizar mais a queima do produto.

Deve-se trabalhar com o arranjo de carga para facilitar a queima no centro do forno, é neste local a sua maior deficiência. A carga deve ser colocada encostada na parede da fornalha e abrindo em sequência para o centro (tipo leque), fazendo com que o fogo procure o centro da mesma.

Forno intermitente do tipo Caieira sem crivo

Este tipo de forno é muito utilizado nas regiões norte e nordeste do Brasil. De elevado consumo energético e de altíssima perda, chegando a 15% de produto nas fornalhas. O produto fica em contato direto com o combustível.

O arranjo de carga deve obedecer aos mesmos critérios adotados nos fornos crivados. É muito difícil não requeimar os produtos nas fornalhas, requer muita habilidade do operador (queimador).



Foto 78



Foto 79



Foto 80



Foto 81

Os fornos acima, não recebem a cobertura de tijolo ou telha sobre a carga, a vazão de calor é retida através da própria carga onde as últimas fiadas são bem fechadas. Possuem janelas laterais para facilitar o

carregamento dos caminhões e dar maior velocidade ao resfriamento. De grande porte, geralmente tem a capacidade para 30.000 peças.

Este tipo de forno é mais utilizado para a queima de blocos de vedação e telhas, onde a qualidade de queima não é tão ruim, devido à altura de carga que não ultrapassa os 2m. Muito utilizado na região do Estado do Pará.

Forno Intermitente do tipo Paulista com crivo

Por várias décadas esse tipo de forno foi muito utilizado, caindo em desuso nos dias atuais devido ao alto custo de limpeza dos canais e da exigência de chaminé alta que fica na parte externa (longe do forno). Alguns possuem chaminé no corpo do forno, mas a sua eficiência de puxada fica comprometida.

Quando limpo e de chaminé alta é um excelente forno, onde sua queima é bem homogênea, mas de custo energético alto. Consome mais combustível por milheiro do que o forno Abóbada, chegando a gastar cerca de 20% a mais de combustível.

As fornalhas devem ficar no mínimo 1m do piso para a chama não entrar direto nos canais. Requer maior conhecimento por parte do operador por se tratar de um forno retangular, onde as fornalhas devem trabalhar em perfeita harmonia (mesma pressão). Caso contrário, as peças ficarão com cores diferentes e automaticamente com diferenças de resistência mecânica e absorção de água.

Esse tipo de forno é indicado para a queima de produtos sensíveis do tipo telha, piso ou bloco especial, devido a presença maior do fogo nas peças.



Foto 82



Foto 83

Outro ponto negativo desse forno é a demora na retirada de água das peças, pois o sistema retangular demora a homogeneizar a temperatura em todo o forno, grande parte da água do produto ainda fica retida no miolo da carga, onde os costumeiros estouros ou trincas acontecem.

O esquite desse forno deve ser mais lento do que dos outros modelos, devido à demora de homogeneização de temperatura. Quanto mais lento for o esquite, maior será a velocidade de queima e maior será a homogeneização de temperatura em todo o salão.

Sua construção deve obedecer alguns critérios técnicos, principalmente no sistema de canais, os mesmos devem ser profundos, cerca de 60% da altura entre o crivo e a abóbada. Sua abóbada não deve ser muito alta e muito pontiaguda, devendo a mesma possuir ângulos suaves.

É muito comum o fundo do forno (parede) ficar cru, deve-se, no entanto, reduzir a crivagem próxima às fornalhas para forçar o fogo a tomar a direção do fundo.

Forno intermitente do tipo Paulista sem crivo



Foto 84



Foto 85

Esse tipo de forno não crivado é o mais utilizado no momento. De construção simples, não requer canais subterrâneos, pois o seu sistema de canal fica localizado no nível do piso na lateral da parede.

O canal intermediário passa por de trás dos crivos (como mostrado na foto 79), onde é direcionado para os registros fixados nas cabeceiras do forno, como demonstrado na figura a seguir.

O sistema de registro nas laterais é problemático, pois cada lado puxa de uma forma diferente da outra devido a pressões externas.

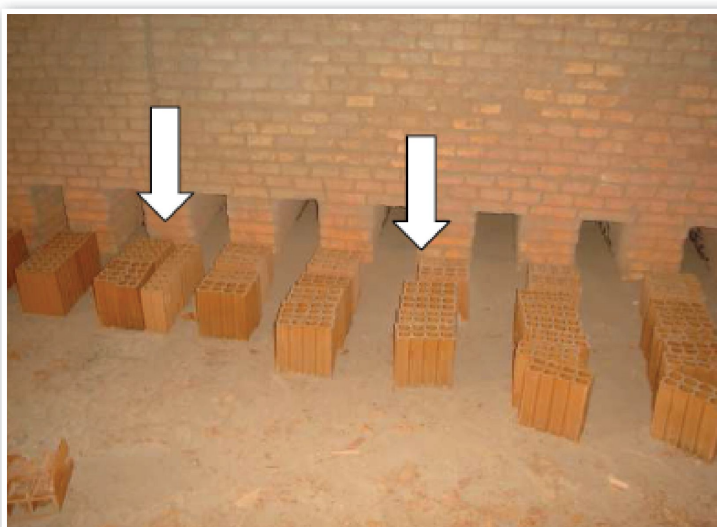


Foto 86

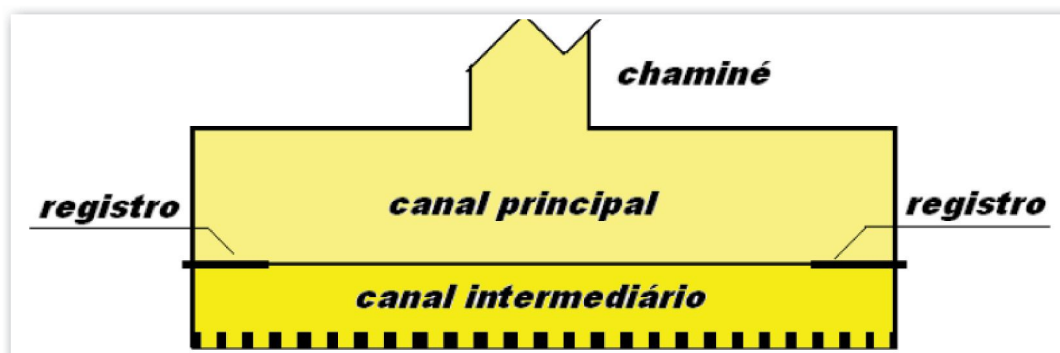


Figura 3

O aquecimento mais rápido apenas de um lado, causa inúmeros transtornos durante a queima, o que é comum, atrasando sempre o meio do forno.

Também é muito comum as cerâmicas ficarem horas esperando o meio de o forno chegar, porque as pontas sempre chegarão em primeiro lugar, neste caso deve-se adotar os seguintes procedimentos:

- ▶ Iniciar o esquentar nas fornalhas de centro, mantendo as laterais apagadas por volta de cinco a seis horas;
- ▶ Trabalhar sempre com as fornalhas de centro com maior pressão;
- ▶ Manter durante o esquentar, o registro bem fechado para acelerar o processo de aquecimento do centro;
- ▶ Fechar bem o registro, forçando mais as fornalhas de centro, nos casos em que as pontas cheguem primeiro.

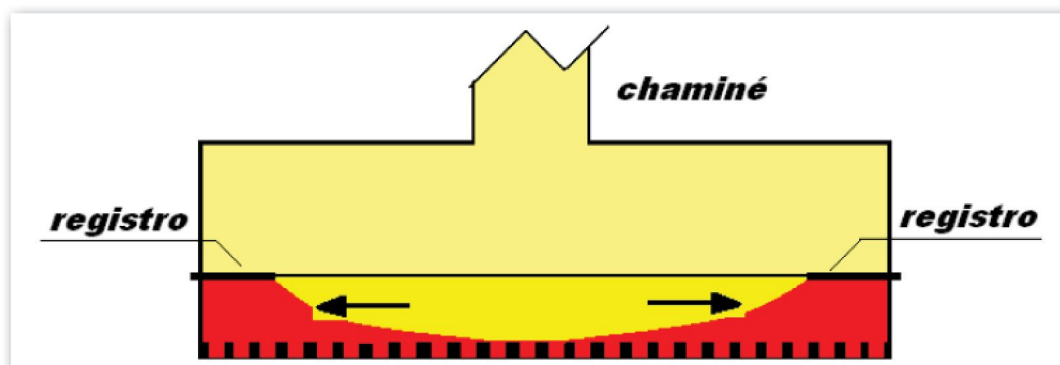


Figura 4

A figura acima mostra a movimentação da chama para as pontas durante a queima.

O arraste da chama sempre será para as pontas, a não ser que o forno possua quatro registros: dois nas pontas e dois no centro. Existem inúmeros fornos com quatro registros, isto facilita a condução do mesmo.

Existem também fornos com duas chaminés, localizadas em cada ponta do forno, não é o mais indicado, pois a sua condução é muito difícil e requer do operador muita experiência. Mesmo assim, a tendência da chama é correr sempre para as pontas. Nos dois casos, o

uso de depressômetro faz-se necessário, é através dele que se consegue equilibrar a pressão do forno, tornando a puxada na mesma intensidade. O depressômetro deve ser colocado abaixo do registro (20cm).

Outra variação existente nesse tipo de forno, é o tipo de fornalha. Existem fornalhas no piso e na parede (fornalhas mais altas necessitando de construção da mesma, onde o consumo energético é maior, e a velocidade de queima são alteradas devido à queima longe da câmara do forno). As fotos a seguir mostram a diferença entre elas.



Foto 87: Fornalha Suspensa

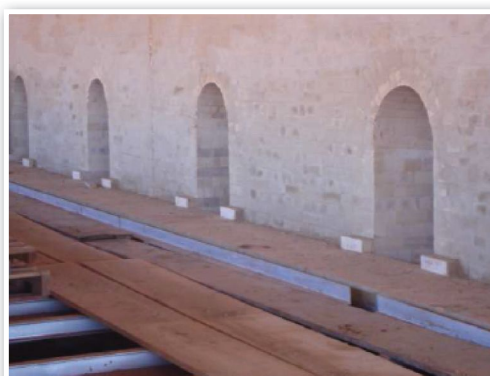


Foto 88: Fornalha no Piso

Está comprovado que as fornalhas internas reduzem o tempo de queima e consequentemente o consumo de combustível.

Outro fator de aumento de consumo, é a profundidade da fornalha, quanto maior a profundidade, maior será o consumo de combustível e, consequentemente, maior será o tempo de queima.

Forno intermitente do tipo Garrafão

Existem dois modelos de forno garrafão. Um possui a chaminé interna no centro do forno. Este tipo de forno reduz o volume de carga no forno devido à presença da chaminé no centro do mesmo. O controle de vazão é realizado através de uma tampa que fica localizada na ponta da chaminé acionada por cabo de aço. Este tipo de registro não é adequado devido à posição da tampa que fica sobre a boca da chaminé, pois quando há ventania o fogo da fornalha tende a retornar. Neste caso, a tampa deve ser colocada lateralmente a maior incidência de vento.



Foto 86

Não é um forno muito econômico, devido o tipo de regulagem de chaminé que não permite uma regulagem bem elaborada.

O outro modelo de forno garrafão é o de chaminé acima da abóbada, com registros laterais localizados na parede. Existem fornos com até seis registros, de difícil regulagem devido à variação de pressão existente no processo de queima. Neste caso, deve-se utilizar o equipamento de medição de pressão (deprimômetro).

Esse tipo de forno não é o mais econômico da classe de fornos intermitentes, embora a homogeneização de queima seja muito boa.

Os dois modelos são muito utilizados na queima de telhas e manilhas por permitirem uma maior homogeneização de queima.

Sua queima deve obedecer alguns critérios como:

- ▶ O esquento deve ser lento para aquecer os canais, pois eles demoram a aquecer;
- ▶ A velocidade de queima deve ser controlada desde o início, pois é muito comum a parte de cima (abóbada) disparar dificultando a homogeneização entre a soleira e abóbada;
- ▶ O forno com chaminé interna deve receber um esquento com mais rapidez, pois a mesma aquece rapidamente, prejudicando todo o salão;
- ▶ O forno com vários registros deve trabalhar com deprimômetro para manter a homogeneização de puxada equilibrada.

Forno intermitente do tipo Abóbada



Foto 90

O forno do tipo Abóbada é atualmente o mais utilizado nas indústrias cerâmicas do Brasil. Muito econômico e de fácil operação, embora o seu uso e a sua construção não obedecam critérios técnicos. Há erros grosseiros na construção de canais como nos diâmetros e na altura da chaminé.

Também são responsáveis por inúmeros problemas no processo de queima: baixa pressão, demora na queima, alto consumo de combustível,

requeima da parte de cima da carga, baixa temperatura no pé do forno, falta de homogeneidade de queima entre camadas, etc.

Outros fatores que alteram a velocidade de queima e o consumo de combustível ficam por conta da fornalha. Erros no comprimento, diâmetro interno e a falta de rampa na mesma, provocam inúmeros problemas no processo de combustão. Os exemplos a seguir, mostram as causas.

▸ **Profundidade acentuada** – a combustão acontece dentro da fornalha, fazendo com que o registro da chaminé fique muito aberto para puxar o fogo para dentro. Sendo assim, o aumento no consumo de combustível é inevitável;

▸ **Largura e altura** – quanto maiores forem a altura e a largura da fornalha, menor será a pressão de combustão, significando aumento no consumo de combustível e baixa velocidade de aquecimento do forno e resultando uma queima de baixa intensidade, o que provoca no material: falta de homogeneidade, cor e resistência. Outro ponto crítico a ser analisado, é o excesso de ar frio que é puxado para dentro do forno, provocando aumento de temperatura no teto e baixa temperatura no piso, ocorrendo depressões de difíceis soluções.

Depressão

Antes de dar continuidade aos modelos de fornos, convém expor alguns esclarecimentos sobre a depressão nos fornos intermitentes. A qual é causada pela diferença brusca entre a temperatura de cima e a de baixo do forno, proveniente de vários fatores como:

▸ **Canais frios** – é muito comum a cerâmica deixar o forno vazio por várias horas. Sendo assim, a chaminé continua puxando o calor restante dos canais, provocando o seu resfriamento, quanto mais frio o canal ficar, maior será a depressão;

▸ **Fuga de calor para o secador** – outro fator que contribui para a depressão, é a puxada falsa do exaustor do secador através de vazamentos na válvula (registro) do canal de resfriamento do forno. São necessários alguns cuidados para não permitir este vazamento, como a colocação de uma segunda válvula, a vedação da válvula através de jornal e desvios dos canais de tiragem de calor para o secador, dificultando assim a sucção do calor através do piso do forno;

▸ **Aquecimento brusco** – é muito comum ao acender a fornalha, a temperatura de cima disparar, devido ao procedimento errado no início. Neste caso, deve-se acender a fornalha mantendo-a com aquecimento lento sem altos e baixos da chama;

▸ **Registro da chaminé** – a abertura do registro da chaminé deve obedecer alguns critérios técnicos para evitar a depressão. Deve-se examinar a puxada da chaminé, pois o excesso de puxada ou a sua falta causam a depressão do forno. É muito comum deixar o registro da chaminé todo aberto durante o esquentar. Esse processo não está totalmente errado, mas deve-se observar que em alguns fornos a puxada é muito forte, e isso, no início do esquentar, é extremamente prejudicial para o aquecimento dos canais.

O registro da chaminé deve ser controlado de acordo com cada puxada, pois os fornos são diferentes, e, se não bastasse, a umidade e o tipo de combustível alteram a velocidade de esquentar;

► **Material com excesso de umidade** – o excesso de umidade do material dentro do forno é outro fator de depressão. É muito comum colocar material com excesso de umidade na carga. Esse excesso provoca um tipo de cortina para o ar quente que não terá forças para eliminar essa umidade, provocando a depressão. Deve-se evitar o excesso de material úmido no forno. Caso não seja possível (na maioria dos casos), deve-se colocar o material úmido na parte superior da carga para evitar a mistura entre eles.

Resolvendo o problema da depressão

Fechar o registro do forno até zerar a puxada. Logo após a saída do fogo pelas fornalhas, abra-o rapidamente até abertura total. Repita este processo por no mínimo quatro vezes, deixando-o regulado na mesma posição que estava anteriormente. Espere alguns minutos até a resposta da temperatura de baixo. É muito comum nestes casos, a temperatura de cima sofrer uma queda, demonstrando que o procedimento foi bem feito e que a parte de baixo começou a aquecer. Deve-se sempre lembrar que essa queda de temperatura não significa a perda de calor, e sim a transferência de calor da parte de cima para a parte de baixo.

Obs.:

Este procedimento só poderá ser realizado se o registro estiver em bom funcionamento e após a retirada da água do produto.

Tipos de canais

Existem inúmeros tipos de canais nos fornos abóbadas. Cada região tem predisposição para um tipo de canal: deu certo, não se mexe. O que é errado, pois a tecnologia muda a cada instante. Os tipos mais comuns são:

► **Tipo Costela** – este tipo de canal é o mais comum e o mais utilizado no Brasil. Seu sistema de puxada centraliza-se no canal principal, onde os canais intermediários (chamados de bancas) são fixados. Não é o mais indicado devido ao excesso de canais intermediários, pois qualquer sujeira no crivo provoca falha na puxada. Outro ponto a ser discutido, é a altura do canal intermediário que, em alguns casos, não ultrapassam a 40cm de altura, o que é extremamente prejudicial para a homogeneização de queima. Caso o forno escolhido seja este, deve-se aumentar a altura do canal intermediário para no mínimo 1m. Lembrando sempre que a altura do canal principal não deve ser inferior a 50% da altura entre o piso e a abóbada;

▮ **Tipo Leque** – este sistema é muito utilizado para quem trabalha com telha. Adotado de um poço central onde são interligados os canais intermediários. Neste caso, a sua eficiência fica comprometida quando o poço é raso e os canais intermediários não são inclinados para o centro (direção do poço). Este tipo de sistema requer uma puxada mais forte da chaminé, ou seja, chaminé mais alta. Outro ponto que se deve observar, é que o poço deve receber uma tampa, pois sua falta conduzirá o calor para o centro do forno, prejudicando a puxada nas laterais do mesmo, elevando o número de materiais crus (enfumaçado). Requer chaminé com elevado diâmetro e altura;

▮ **Tipo Semi Leque** – o sistema é muito parecido com um semiarco com canal frontal onde a puxada é realizada. O canal lateral é acoplado no canal frontal (tipo T). Não é um forno econômico e eficiente, provoca inúmeras depressões durante a queima. Requer do queimador experiência e dedicação durante a queima;

▮ **Tipos Mesa e Gaveta** – estes tipos de fornos não possuem criação no centro, sendo que a puxada é localizada na abertura lateral do forno, rente a parede do mesmo. Não é um forno econômico em relação a outros, justamente pelo sistema de canais. É um forno que demora para aquecer os canais, provocando depressão. Outro fator de risco, é a falta de homogeneização da queima, demora-se mais para igualar a temperatura entre a parte de baixo e a parte de cima. Requer canais mais quentes para ser eficiente. Sendo assim, deve-se evitar o seu resfriamento exagerado. Outro ponto a ser analisado, é que este tipo de forno requer chaminé mais alta do que a normalmente é utilizada por outros fornos, principalmente quando são usadas gavetas;

▮ **Tipo Salão** – é o mais eficiente e econômico da classe, construído com vários arcos e de altura elevada. Possui uma excelente puxada, não requerendo chaminé alta. Não depende da retirada dos crivos para limpeza, tornando-a mais fácil. O seu acesso é externo. Excelente para queima de qualquer tipo de produto, principalmente telhas e blocos estruturais, devido a grande homogeneização de temperatura.

É muito raro acontecer a depressão, a não ser que o queimador acelere demais o esquentar inicial. De fácil controle, não requer grandes conhecimentos de combustão.

Tipo de fornalhas

O tipo e o tamanho da fornalha determinam a eficiência do forno, bem como o seu consumo. Inúmeros erros são encontrados nos fornos pelo Brasil afora, que determinam a qualidade do produto e a velocidade de queima. Em alguns casos estudados, o consumo de combustível ultrapassou a casa dos 3m³ por queima, justamente pelo erro de construção da fornalha.

Verdadeiras muralhas são construídas na parte interna da fornalha, prejudicando a condução da chama, requerendo uma puxada maior para compensar este erro.

Deve-se lembrar que a chama e o calor não fazem curvas por isso, quanto mais rampada a fornalha, maior será a eficiência da mesma. Outros pontos que se devem observar são o comprimento, a largura e a altura. São fatores que determinam a eficiência e a economia de uma queima. Estes pontos dependem do diâmetro do forno e da sua altura, devendo-se calcular com exatidão as exigências de cada forno.

As fornalhas de comprimento (profundidade) muito elevado, a combustão acontece dentro da mesma, exigindo maior puxada da chaminé, elevando assim o consumo de combustível. A combustão deve acontecer o mais próximo possível da parede do forno, ou seja, o mais próximo possível da carga.



Foto 91



Foto 92

A foto 91 mostra o super dimensionamento da fornalha onde a combustão é de baixa pressão, causando um aumento considerável no consumo de combustível. Já a foto 92, mostra a parede que é formada dentro da fornalha provocando a redução da pressão da chama, aumentando o consumo de combustível e um considerável aumento no tempo de queima.

Comprimento e altura da fornalha

O comprimento da fornalha não deve ser muito longo, pois, em média, as lenhas utilizadas nos fornos não ultrapassam a 1,20cm. Sendo assim, a lenha é queimada perto da boca da fornalha, causando um aumento de combustível e uma demora considerável no tempo de queima. Se for considerada a espessura da parede do forno, que em média

chega a 1m, e se for somada com o comprimento da fornalha, se chegará a uma profundidade de aproximadamente 2,60cm. Portanto, a chama percorrerá cerca 1,60cm, contando da sua base (final da lenha). Estes valores são altíssimos no processo de combustão, pois a mesma deverá acontecer o mais próximo possível da carga do forno, ou da parede do mesmo. Nos casos de queimas feitas por máquinas de serra-gem, a profundidade é fundamental, quanto mais próxima a máquina ficar da parede do forno, mais rápida é a queima e maior será a economia de combustível.

Outro erro muito comum é a altura da parte externa da fornalha em relação à abóbada. No caso acima, uma parede interna será inevitável o que causará danos para o processo de combustão. A altura deverá ser compatível com a saída da chama, quanto mais próxima do teto do forno, maior será o aproveitamento da calor gerada. Outro ponto importante, é que a chama deverá sair inclinada, procurando o centro da abóbada. Quanto maior for a precisão do direcionamento da chama, maior será a economia de combustível. Na foto 95 é mostrado como ocorre a movimentação da chama durante o processo de queima.

A combustão ocorre no início da fornalha e através da puxada da chaminé. A chama é deslocada para dentro do forno, mas antes de entrar, choca-se com a parede à sua frente, reduzindo drasticamente a sua força, necessitando assim uma compensação na abertura da chaminé, que deverá ficar mais aberta, causando maior consumo de combustível.

A foto 96 mostra como a fornalha deve ser construída para facilitar a entrada da chama de combustão. Quanto mais facilitar a entrada da chama, maior será a economia de combustível, e o tempo de queima será menor.

Outro erro abominável nas construções dos fornos, são as abóbadas (teto), verdadeiras arapucas e sem nenhum critério técnico de curvatura do arco, em relação ao diâmetro do forno. Algumas abóbadas são parecidas com um “cupinzeiro” ou com “chapéu de gnomo”.

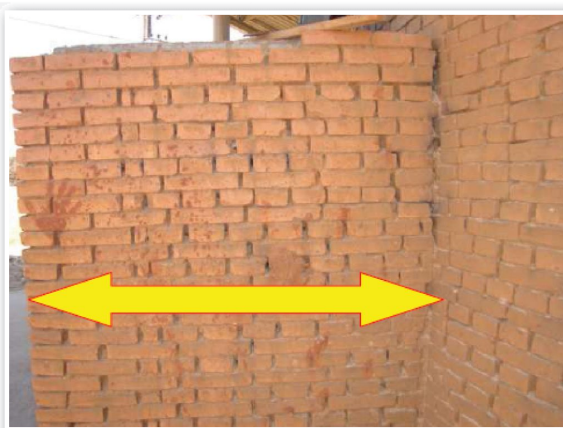


Foto 93



Foto 94

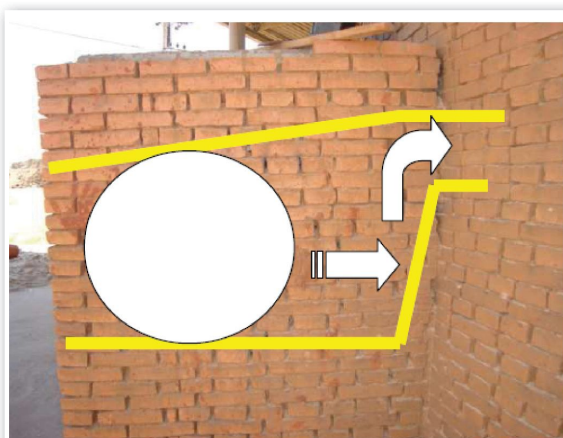
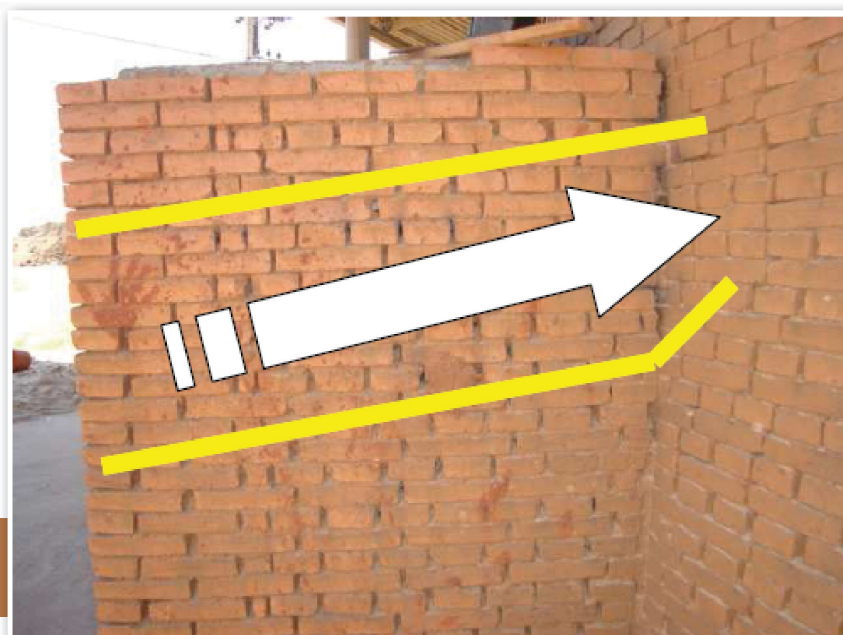


Foto 95

Foto 96



A abóbada é responsável pela distribuição e homogeneização de calor entre as peças, quanto mais suave à curvatura, maior será a distribuição de calor e mais rápida será a queima do forno. Deve-se evitar a conexidade da abóbada, pois retém a caloria gerada em seu interior, provocando requeimas e depressão.

A foto 97 mostra a inclinação do tipo cônica o que é extremamente prejudicial ao processo de homogeneização de temperatura no processo de queima. A foto 98 mostra uma inclinação adequada ao processo, mais suave, permitindo uma maior interação entre temperatura e material a ser queimado.

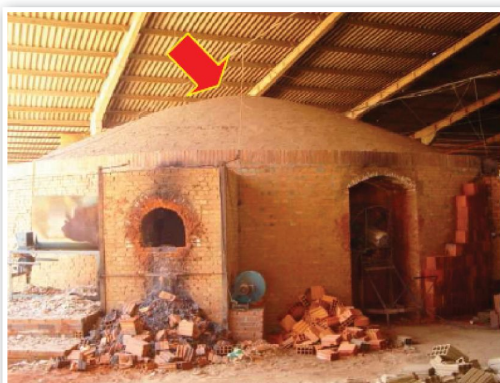


Foto 97



Foto 98

Canal da chaminé

O canal da chaminé aparente (externo) é extremamente prejudicial ao aquecimento e a puxada da mesma. Este é um exemplo que não se pode seguir. Sabe-se que a eficiência da puxada da chaminé, está diretamente relacionada ao seu aquecimento. Jamais o canal deverá ficar na superfície.

Outro erro cometido por várias cerâmicas, é a não observância da abertura do registro da chaminé, onde a entrada de ar frio é constante. Toda a entrada de registro deverá ficar fechada impedindo a entrada de ar frio, pois o mesmo provoca redução na puxada da chaminé.



Foto 99



Foto 100

A foto 100 mostra o descaso e o despreparo dos pedreiros e operadores do forno. O registro possui uma entrada muito acima da espessura da chapa, o que provoca entrada de ar frio no pé da chaminé, provocando o seu resfriamento. Neste caso, a puxada do forno fica comprometida, pois o pé da chaminé frio, dificulta a puxada do calor gerado pelas fornalhas. É de extrema importância a vedação do local com jornal ou borracha para evitar entrada de ar frio.

Dicas para o esquento

O operador deve observar após duas horas de esquento, o direcionamento das fagulhas. São elas que vão determinar a abertura correta do registro da chaminé. As fagulhas têm que procurar o topo da carga, esta é a posição correta da puxada. Lembrando que cada chaminé possui uma pressão diferente da outra.

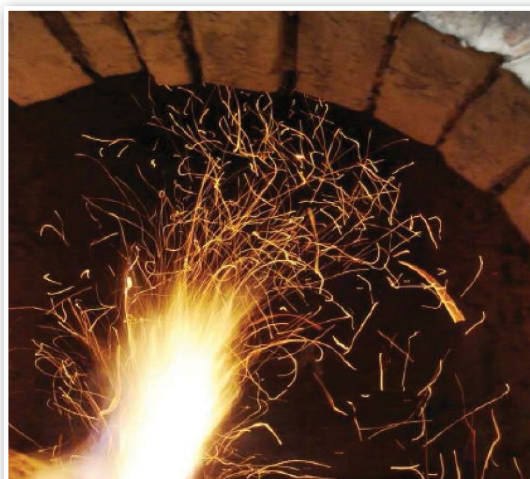


Foto 101

Forno do tipo Hoffmann



Foto 102:
Sistema contínuo

É a excelência dos fornos existentes no Brasil. Possui um índice de produtividade altíssimo e consumo de combustível baixíssimo. Funciona também como secador. É a estrela dos fornos.

Possui dois sistemas de queima: semicontínuo e contínuo. Sua queima é realizada por cima (teto) em boquetas localizadas e distribuídas conforme o seu tamanho, que pode chegar a 160m de comprimento.

O consumo de combustível (lenha de eucalipto) por milheiro queimado chega a 40cm³, embora em alguns casos gaste mais que o necessário, devido ao tipo de combustível empregado. Este tipo de forno exige combustível (lenha) próximo à altura da carga. A sua eficiência está diretamente ligada a este fator. Abaixo, algumas dicas de queima com o tipo de combustível empregado.



Foto 103:
Sistema
semi
contínuo

► **Lenha curta** – não é a mais indicada, pois o forno tem que trabalhar sobre pressão (bufando). E, sendo assim, o seu consumo por milheiro é elevado. A qualidade e a produtividade também ficam comprometidas devido à altura da lenha.

É muito comum a requeima e o esfumaçamento no pé da carga. O combustível fica trancando a passagem de ar e fogo.

Outro problema causado por este tipo de combustível, é a falta de queima no teto do forno. Neste caso, a condução do fogo fica comprometida, elevando assim o risco de trincas e estouros dos produtos.

Outro fator de risco, é a secagem da linha de frente, devido ao retardo do fogo que fica muito concentrado em uma única linha, não permitindo a secagem gradual da frente do forno.

Vale lembrar, que sapear ou deixar a queima cor de rosa não significa queimar o produto. Muitas empresas acham que o combustível utilizado é o mais indicado, não percebendo o erro e a deficiência energética gerada na combustão.

► **Lenha comprida** – é a maneira mais fácil e econômica de se queimar este tipo de forno. A lenha concentra-se em todo o perfil da carga, mantendo uma pressão homogênea em todo o corredor de fogo. O tamanho da lenha deve ter, no mínimo, 70% da altura da carga (não há necessidade de ser do mesmo tamanho da carga). Sendo assim, o forno torna-se mais econômico e produtivo. Neste caso, a condução fica muito mais fácil e a secagem da linha de frente muito mais rápida. O problema com requeima ou esfumaçamento torna-se raro, a não ser que o operador cometa erros durante o processo de alimentação das bocas (excesso de lenha).

► **Serragem** – este tipo de forno aceita muito bem a serragem como combustível. Alguns procedimentos iniciais devem ser tomados, como, por exemplo: secar previamente; manter a granulometria do pó baixa, evitando pedaços de madeira, reduzir a puxada da chaminé, modificar o sistema de carga (mais fechada), evitar excesso de alimentação, e trabalhar mais com as válvulas.

No Brasil, a alimentação da serragem é feita de várias formas. Em alguns casos, é colocada através de pás, o que não é indicado, pois o volume jogado para a câmara de combustão é muito alto, prejudicando a oxigenação do combustível e deixando resíduos (cinzas), que podem requeimar ou esfumaçar o pé da carga. Já existem máquinas de alimentação de serragem para este tipo de forno (foto 104).



Foto 104:
Queima com
serragem

► **Gás natural** – a queima através do gás é a mais eficiente de todas. Limpa e com excelência na homogeneização de calor na câmara. Confere ao material uma qualidade inigualável. Mesmo com essas qualidades, alguns procedimentos devem ser tomados:

- 1) O arranjo de carga deve ser remodelado, principalmente o pé que deve ficar mais fechado;
- 2) As válvulas devem ser reguladas a todo o momento, pois cada vez que se anda com o fogo à frente fica mais leve. Sendo assim, a fuga de calor é maior, aumentando o consumo de gás;
- 3) Devem-se evitar trincas nas paredes e válvulas com fugas de ar quente;



Foto 105:
Queimadores
a gás

- 4) As tampas das boquetas deverão estar vedadas, pois toda entrada de ar frio acontece neste local, causando baixa temperatura no teto;

5) Os maçaricos devem ser regulados periodicamente, para se manter a mistura de ar e gás balanceados;

6) A queima com gás exige pressões equilibradas por ser muito leve. Neste caso, o uso do deprimômetro é obrigatório;

7) Os maçaricos devem ser compatíveis com a altura do forno. Lembrando que maçaricos curtos queimam mais próximo ao teto. Sendo assim, é inevitável o aumento da pressão do mesmo, o que resulta em um maior consumo de gás. Para que isto não ocorra, é aconselhável manter o comprimento do maçarico próximo a um 1m abaixo do nível do teto;

8) As portas são outras fontes de fugas e de entrada de ar frio. Neste caso, colocar portas duplas;

9) Rever a puxada do forno através do deprimômetro. É através dela que determinamos o consumo de combustível;

10) Evitar a mistura de cargas (vários tipos de produtos na mesma câmara), isto provoca turbulência na câmara causando maior consumo;

11) Colocar cargas mais fechadas (mais densa) no início o no meio do forno;

12) Evite cargas mais fechadas (mais densa) no final ou próxima à curva;

13) É aconselhável em fornos semicontínuos, o uso de lenha no início da marcha, isto reduz o consumo de gás. A frente geralmente está muito fria e úmida;

14) Trabalhar mais com os registros próximos da umidade, isto agiliza a saída de água e acelera o aquecimento da frente, tornando o forno mais econômico e produtivo;

15) O uso do vergalhão para medir a umidade na frente é indispensável em qualquer tipo de combustível, principalmente quando se queima com gás.

Processo de queima

Alguns procedimentos durante a queima deverão ser adotados para tornar a queima mais produtiva e econômica.



Foto 106

Dentre eles está a montagem de carga, que define a velocidade de queima, qualidade do produto queimado, consumo de combustível. Por isso, alguns detalhes importantes deverão ser observados: tipo de combustível, tamanho da lenha, tipo de produto (mais denso e menos denso), umidade da carga, altura e largura do forno, distância entre boquetas e distância entre válvulas. São pré-requisitos que definem os procedimentos mais adequados para se queimar com eficiência.

Vamos analisar alguns casos.

A foto 106 mostra que a queima foi realizada com lenha curta. O pé da carga apresenta-se requeimado. Outro erro visível, é a não observância dos forneiros no alinhamento do pé da carga, o que é extremamente prejudicial para a passagem de fogo. Erros como estes aumentam o consumo de combustível e reduz sensivelmente a produtividade do forno.

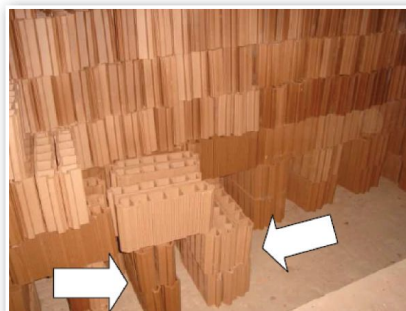


Foto 107

A falta de continuidade na quantidade de laje no pé cria uma zona de turbulência, provocando requeimas e trincas. Na foto 107 observa-se que alguns pés contêm duas lajes e outros com três pés.

Outro erro grave no arranjo de carga (foto 108): os blocos que permitem mais vazão e circulação da combustão são colocados antes da massa compacta (laje). Isto retém ou estrangula a passagem do fogo, prejudicando, não só a qualidade do produto, mas também uma redução na produtividade do forno.



Foto 108

As cargas mistas deverão ser colocadas com critérios técnicos. Primeiramente coloca-se a carga de vazão mais difícil e, logo após, a mais fácil.

O exemplo acima mostra dois erros no arranjo de carga: os pés não estão alinhados, prejudicando a pressão de queima. As colunas estão muito distantes prejudicando a queima, principalmente quando se utiliza lenha de pequeno porte.

Estas colunas devem ficar próximas umas das outras, em torno de 40cm². Isso faz com que a lenha queime em pé, melhorando assim a temperatura da parte superior e reduzindo o consumo da mesma.



Foto 109

Não se devia deixar de lado um exemplo tão grotesco como este (foto 109): a arrumação de carga é totalmente desprezada. Este tipo de erro é muito comum nas cerâmicas. Erros que prejudicam a alimentação do combustível e o processo de queima como um todo.

As fotos 110 e 111 mostram bem um forno com alta pressão de trabalho (bufando). Isto significa prejuízos para a empresa, não só com o combustível, mas também com o produto. O sistema adotado é para justificar a lenha curta. Que, mesmo curta, não justifica tal procedimento. Sabe-se que o combustível está cada vez mais escasso, e que temos que trabalhar com o que aparece.



Foto 110

Pode-se adotar outros procedimentos na queima como, por exemplo: modificar o sistema de carga, fazendo com que o calor suba através de selos, colocar colunas mais estreitas que permitam a lenha engaiolar, ficando umas sobre as outras. Nestes casos, o controle das válvulas são fundamentais para a movimentação e pressão da combustão.



Foto 111

No caso da lenha curta, deve-se evitar a utilização de materiais muito úmidos. Sozinhos, formam uma barreira para o fogo, aumentando assim a pressão interna, causando saída de fogo pela boqueta.

Um procedimento correto para acelerar a secagem no forno Hoffmann é a colocação de lenha nas portas. Isto faz com que a frente de trabalho fique mais leve, aumentando assim a produtividade do mesmo, principalmente em dias em que o material

tem dificuldades na secagem. No entanto, deve-se tomar muito cuidado para não acelerar demais a secagem, pois as trincas são inevitáveis.

O vergalhão deve ser utilizado para determinar o volume de água que está evaporando. Caso o mesmo saia muito molhado, deve-se

reduzir a passagem de ar quente, e as lenhas em chamas devem ser retiradas das portas.



Foto 112

Procedimentos corretos de condução de queima

- ▶ Manter alinhados os pés, evitando colocar materiais à frente do canal formado por eles;
- ▶ Fazer selos (contenções) de acordo com o comprimento da lenha para facilitar a subida da chama;
- ▶ Colocar todo material com excesso de umidade na parte superior da carga, evitar colocá-los no meio;
- ▶ Não colocar materiais de difícil passagem de fogo na frente da carga, e sim atrás;
- ▶ Vedar todas as tampas das boquetas, para evitar a entrada de ar frio;
- ▶ Trabalhar sempre com as válvulas mais próximas, isso aumenta a produtividade e deixa o forno mais econômico;
- ▶ Colocar porta dupla;
- ▶ Trabalhar com as linhas de frente acesas, quanto mais acesas, mais produtivas e econômicas o forno ficará;
- ▶ Utilizar o vergalhão continuamente. É o melhor equipamento para se medir a umidade da frente;
- ▶ Verificar os vazamentos nas válvulas, pois podem reduzir a eficiência do forno;
- ▶ Esquente.

Tanto no forno contínuo como no semicontínuo, o esquite deve obedecer alguns critérios técnicos para o seu início, meio e fim.

A foto 113 mostra bem o erro de esquite: a fornalha é superdimensionada, causando inúmeros problemas no início da queima. Não existe a necessidade da fornalha ser maior, o que queima um forno não é a quantidade de combustível utilizada, e sim a qualidade do calor gerado na combustão. Fornalhas muito grandes favorecem a entrada de ar frio e, consequentemente, reduz drasticamente o poder calorífico do combustível tornando a queima mais cara.



Foto 113:
Forno semi
contínuo

O esquite deve ser feito em fornalhas compactas para dar pressão e direcionamento da chama. Deve-se evitar também a ausência de tampas nas mesmas.

Após início do esquite, coloca-se lenha na boqueta da frente. Depois do acendimento da mesma, o esquite inferior deve ser reduzido, dando ênfase a queima propriamente dita.

A lenha só pega fogo na fornalha, quando chega a aproximadamente 450°C. Este tipo de processo acelera o forno, tornando-o mais econômico.

Não há necessidade de se deixar o material avermelhado para iniciar a queima por cima. Isso é perda de tempo e dinheiro. Lembrando que quanto mais boquetas acesas, maior será a economia de combustível, e o forno produtivo.

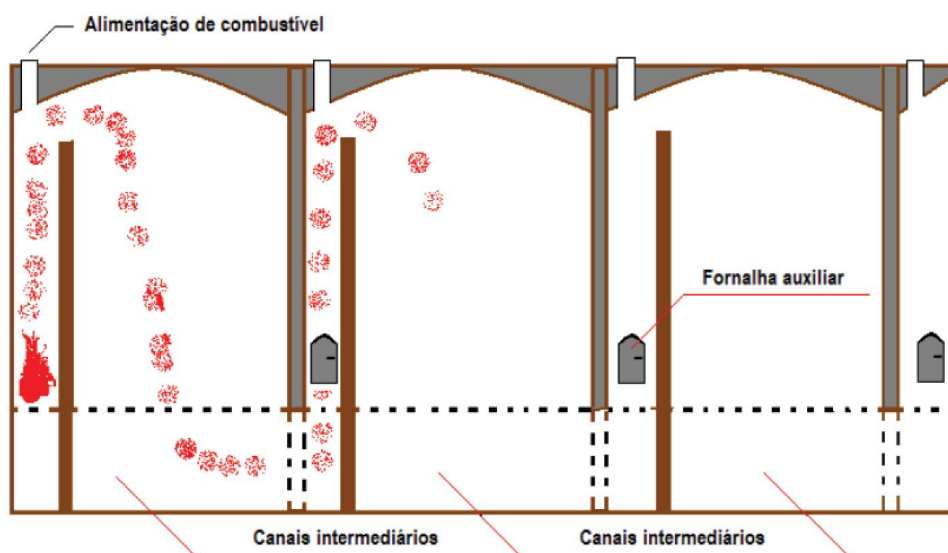


Figura 5:
Forno do
tipo Câmara

Evitar durante o esquite, altos e baixos na combustão. Isto atrasa o forno. Manter a chama sempre constante, não significando que a chama deva ser lenta demais.

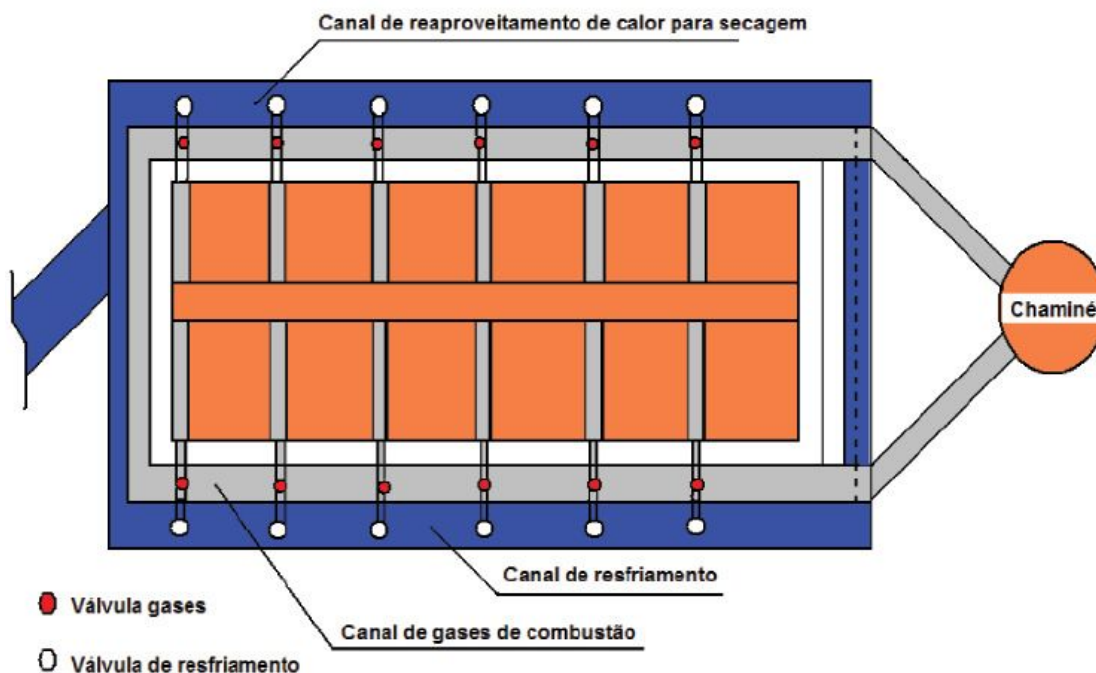


Figura 6:
Como exemplo
planta baixa
sem escala

Trata-se de um forno econômico e eficiente. Sua combustão acontece em fornalhas laterais à carga, não permitindo o contato do combustível com as peças. De fácil condução, apresenta algumas vantagens em relação ao forno Hoffmann, apesar de serem iguais e terem o mesmo processo de queima (por cima), a homogeneização de calor é muito mais eficiente.

O sistema de passagem de ar quente para outra câmara acontece através do crivo, entrando pelo cinzeiro da câmara seguinte. A sucção de calor é realizada através da chaminé e de canais abaixo ou nas laterais do forno. Sua queima é extremamente econômica chegando a 35cm³ de combustível por milheiro queimado (dependendo da argila). Indicado para queima de telhas e blocos estruturais, devido a sua excelência em homogeneizar a temperatura na câmara.

O procedimento correto para conduzir a queima, é a utilização de duas ou três câmaras ao mesmo tempo. Quanto mais câmaras acesas, mais econômica é a queima e maior será a sua produtividade.

A retirada de umidade requer conhecimento por parte do operador. A utilização de registro faz-se necessária o tempo todo. Por exemplo: a queima está acontecendo na câmara 1, a umidade deve estar próxima a câmara 6, sendo assim deve-se abrir a válvula mais próxima da câmara 6 para retirar a água mais rapidamente. As outras válvulas também devem estar abertas, mas com um controle rígido de vazão. A barra de ferro é o melhor indicador de umidade. Depois de retirada da água deve-se fechar a válvula e dar seqüência às seguintes.

As aberturas das tampas após a queima, devem obedecer o seguinte critério: se a chama ficar boba é a indicação de que a mesma deverá ficar fechada. Neste caso, o mais correto é a utilização de depressômetro.

Forno do tipo Túnel

Existem inúmeros modelos de túneis no Brasil e com eles, também, inúmeros problemas técnicos, tanto na queima, como na qualidade e produtividade dos mesmos. Existe a necessidade da criação de literaturas enfatizando as deficiências e os erros construtivos, como também, as possíveis soluções.

Não se pretende relatar aqui todos os problemas, e sim dar algumas dicas para a melhoria dos mesmos, principalmente nos pontos onde a economia e a produtividade são atacadas.

► **Sistema de fornalhas no fim do forno** – este tipo de forno é indicado para cerâmicas que possuem dificuldades em secar o seu produto, devido ao seu longo túnel de préaquecimento, onde o material passa lentamente até chegar à zona de queima.

Em relação aos outros, não é um forno econômico. As fornalhas ficam muito próximas à saída e, na maioria das vezes, não possuem porta, permitindo dessa forma, a entrada de ar frio.

Geralmente entram em turbulência na zona de queima devido à entrada de ar frio, provocando requeima na lateral da carga.

As zonas de resfriamentos rápidos e lentos são muito curtas, provocando em algumas argilas, sensíveis ao choque térmico, trincas indesejáveis.

As fotos 114 e 115 mostram bem a turbulência gerada na saída do forno, provocada pela entrada de ar frio pela ausência de porta ou uma antecâmara que retém esta circulação.



Foto 114



Foto 115

► **Sistema de fornalhas no centro do forno** – Este sistema é o mais utilizado no Brasil, embora apresente alguns problemas nas zonas que não são bem definidas. É considerado um bom forno.

O forno túnel de fornalha central, possui cinco zonas pré-definidas: zona de pré aquecimento, zona de oxidação, zona de queima, zona de resfriamento rápido e zona de resfriamento lento. Podendo ser queimados pela parte superior, o que, em muitos casos, trazem problemas

ao pé da carga, devido ao tipo de combustível utilizado. Este modelo requer combustíveis de fácil combustão em queda. Exemplos mais utilizados: gás natural ou GLP, serragem (tem que estar muito seca), óleo BPF, e outros combustíveis líquidos.

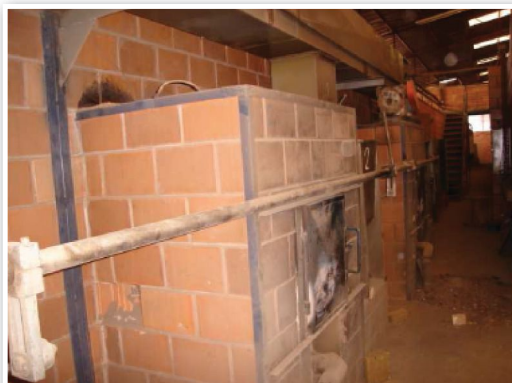


Foto 116



Foto 117

Veja a distribuição das zonas (tabela 3).

Tabela 3 - Distribuição das zonas

ZONA DE PRÉ ESQUENTE	ZONA DE OXIDAÇÃO	ZONA DE QUEIMA	ZONA DE RESFRIAMENTO RÁPIDO	ZONA DE RESFRIAMENTO LENTO
180°C	180°C	950°C	600°C	280°C

Fonte: Elaborada pelo autor.

As temperaturas indicadas na tabela acima pertencem a uma média entre os fornos existentes. Não significa que as temperaturas descritas são obrigatórias. Deve-se, no entanto, realizar alguns ensaios térmicos para se determinar as temperaturas adequadas para cada tipo de argila.

Função de cada zona

► **Zona de pré es quente** – tem a função de retirar o excedente de água preparando o material para a fase seguinte;

► **Zona de oxidação** – nesta zona é retirada a maioria dos gases formados pela combustão de matérias orgânicas e outros contaminantes. É nesta fase que se forma o coração negro, tão indesejável na área de revestimentos;

► **Zona de queima** – é nesta zona que o material recebe a temperatura necessária para fundir os óxidos, permitindo ao material dureza e resistência mecânica;

► **Zona de resfriamento rápido** – nesta zona o material recebe ventilação fria para que endureça e passe a resfriar. É nesta zona que acontece o choque térmico. É próxima a esta temperatura que acontecem as inversões do quartzo Beta para Alfa.

Regulagens das zonas

As regulagens das zonas deverão ser realizadas com o apoio de um deprimômetro e de um termopar, para registrar tanto a pressão do local, bem como a temperatura.

O uso do deprimômetro é obrigatório. É o que determina exatamente a pressão adequada para cada zona. Geralmente estes fornos (construídos no Brasil) têm a sua depressão no canal principal por volta de 25 mmca (milímetros de coluna de água), considerada uma depressão adequada aos padrões técnicos.

Todo registro deve ser regulado com o deprimômetro e não com trenas ou réguas, como normalmente utilizadas, devido às variações de pressão externa. O lado que recebe maior ventilação trabalhará com maior depressão, ou seja, este lado consumirá maior quantidade de combustível, sendo assim, os registros devem receber regulagens diferentes.

Este tipo de forno é muito utilizado por aqueles que desejam alta produtividade em fornos intermitentes. Sua carga é colocada em vagões com trilhos pelo lado externo do forno, enquanto o outro vagão está queimando. Após a queima e resfriamento deste vagão é retirado para dar entrada ao outro.

Alguns cuidados devem ser tomados na colocação do vagão no forno, pois o mesmo encontra-se muito quente podendo chegar até 400°C. Neste caso, a carga deverá estar totalmente seca, caso contrário, às trincas e os estouros das peças serão inevitáveis. Estes tipos de forno, para serem produtivos, as peças deverão ter no máximo 1% de umidade residual, e, sem um bom secador, o forno passa a ter a sua produtividade prejudicada.

As regulagens dos registros são iguais ao do forno Paulista (um de cada lado) que deverão receber alguns cuidados no processo de queima, porque a variação de pressão em cada lado é muito grande.



Foto 118



Foto 119



Foto 120

E, neste caso, deve-se utilizar o deprimômetro. Outra observação necessária é o vazamento de portas que é muito comum neste tipo de forno, deve-se, no entanto, vedá-las com cordoalhas de amianto.

Outro lugar crítico neste forno, é o porão localizado abaixo do vagão, onde a entrada de ar frio é constante, prejudicando a queima do pé da carga, deve-se, no entanto, vedar qualquer entrada de ar frio.

