

Balanco Térmico na Fabricação de Cerâmica Vermelha: Estudo de Caso da Cerâmica Eficind

Mauro D. Berni^{a*}, Rafael R. Silva^b, Flávio R. C. Mathias^b, Sergio V. Bajay^c

^a Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, Brasil

^b Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, Brasil

^c Departamento de Energia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, Brasil

*e-mail: mberni@unicamp.br

Resumo

Em sistemas energéticos, o balanço de entradas, saídas e perdas são fundamentais para dimensionar e propor ações de eficiente energética, visando racionalizar o consumo energético, independentemente da fonte de energia. Esta estimativa é importante tanto na fase de projeto das instalações, quanto na exploração ou operação. Na fase de projeto indica as necessidades energéticas do processo e a contribuição da energia no custo do produto e a capacidade de armazenamento do combustível. Na fase de operação, foco deste trabalho, permitiu avaliar a utilização da energia na fabricação de telhas no segmento de cerâmica vermelha, em seu processo de queima, mostrando os pontos fracos da etapa de queima do forno tipo túnel, os quais devem sofrer intervenção para melhorar a eficiência energética. O forno túnel em estudo está localizado na Cerâmica Eficind, região de Salto, SP, é contínuo com vagonetas, consumido gás natural e produzindo telhas de cerâmicas. Os resultados obtidos com o balanço térmico possibilita a proposição de ações de eficiência energética que podem levar a otimização da queima com vistas ao uso mais racional da energia, bem como permite comparações entre fontes de energia substitutas e empresas produtoras.

Palavras-chave: cerâmica vermelha, balanço térmico de forno, eficiência energética.

1. Introdução

O panorama energético a nível mundial e uma maior conscientização da opinião pública relativamente à questão energética, levou nas últimas décadas a novo olhar para eficiência energética como fonte de suprimento nos mais variados setores econômicos.

O contínuo aumento do preço dos combustíveis, e a consequente elevação dos preços das matérias-primas, levou a que o setor industrial também se visse forçado a melhorar o seu desempenho energético. O setor cerâmico seguindo esta tendência busca implementar ações que levem a otimização de custos e simultaneamente garanta a qualidade final do produto. Nos últimos anos por conta de políticas públicas direcionadas a construção civil, também o segmento de cerâmica vermelha vem buscando melhorar seu desempenho energético, notadamente devido aos preços crescentes da energia e matéria prima, com reflexos relevantes para a mitigação de impactos ambientais. Nesta direção tem-se observado inovações que propiciam ações de eficiência energética, como é caso da ainda grande margem de melhorias no que diz respeito ao aproveitamento de calor residual da fabricação de cerâmica vermelha.

A experiência recente brasileira em eficiência energética na indústria foi mostrada por Bajay et alii¹. Para conhecer o que já foi feito no Brasil e identificar prioridades de investimentos foram analisados 217 projetos de eficiência energética industrial em 13 setores, realizados nos últimos

10 anos. A maioria dos projetos foi desenvolvida dentro das regras do Programa de Eficiência Energética – PEE, sob regulação da ANEEL. O montante total investido neste conjunto de projetos foi de R\$161 milhões, gerando uma economia de 626 GWh, o que apresenta um Custo da Energia Conservada (CEC) de R\$ 79,00 por MWh (para uma duração média das ações de eficiência de 10 anos e a uma taxa de remuneração do capital de 12% ao ano). Considerando o valor de R\$ 138,00 por MWh para o custo marginal de expansão do sistema de energia elétrica, valor estimado pela EPE, a eficiência energética é uma alternativa viável. Ou seja, a mesma quantidade de energia pode ser disponibilizada, a preços mais baixos, sem a necessidade de novas obras e com efeitos positivos no meio ambiente.

A Figura 1 apresenta o valor médio da economia energética obtida por setor de atividade. Dado o valor do custo marginal de expansão da potência disponibilizada pela rede elétrica em 2010 que era de R\$ 138 por MWh. Com este patamar o setor industrial cerâmico era um daqueles com maior potencial para programas de eficiência energética, ressaltando-se que o *pay-back* seria menor que 5 anos.

Os resultados de um balanço térmico fornece um meio de comparar o uso de energia de uma empresa ou planta ao de outras instalações semelhantes, que produzam produtos semelhantes. Essa abordagem pode ser utilizada

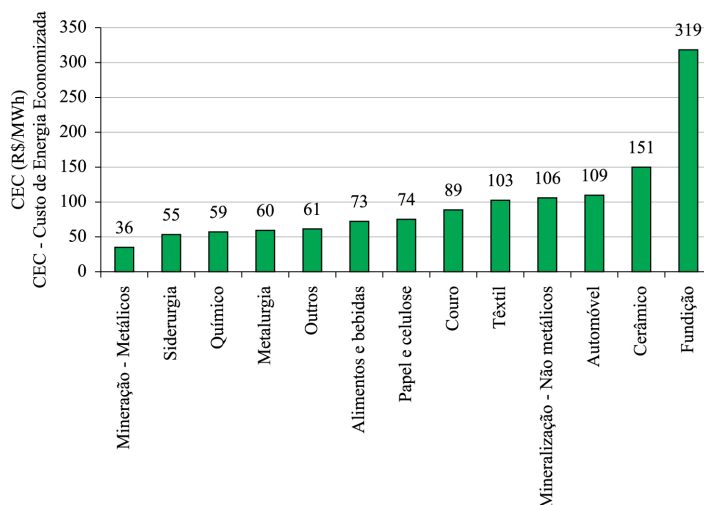


Figura 1. Custo da Energia Economizada (CEC) por setor industrial. Fonte: Bajay et alii¹.

para comparar plantas, processos ou sistemas; também pode ser aplicada a uma classe de equipamentos, como aconteceu no âmbito do Diagnóstico Energético da Cerâmica Eficind, localizada na Região de Salto, Estado de São Paulo, produzindo telhas.

A cadeia produtiva do segmento industrial de cerâmica vermelha é relativamente simples, o que significa dizer que os seus efeitos encadeadores para trás são reduzidos, existindo basicamente a exploração da jazida e o transporte da matéria prima. Entre os principais insumos utilizados destacam-se o gás natural (GN) e a lenha. Neste segmento, novos programas de conservação de energia envolvem sobretudo a inovação tecnológica com seu viés de reduzir o consumo de energia, mas também tecnologias mais eficientes, a incorporação de melhores práticas e novos arranjos gerenciais. Estes programas visam otimizar o perfil e o *mix* do consumo de forma a diminuir tanto os gastos com energia, quanto os impactos ambientais associados ao consumo dela e garantir a competitividade, cujo principal requisito é a qualidade dos produtos com sustentabilidade². Neste contexto, a inovação voltada para a sustentabilidade neste segmento industrial, deve ser considerada como programas de conservação de energia nos processos produtivos, métodos de gestão ou negócios, novos ou significativamente melhorados, para a organização e que traz benefícios econômicos, sociais e ambientais, comparados com alternativas pertinentes³. Não se trata apenas de reduzir impactos negativos, mas de adicionar benefícios líquidos ao segmento de cerâmica vermelha.

Em um cenário onde o segmento de cerâmica vermelha comprometa-se com o desenvolvimento sustentável, passa necessariamente por mudar sua forma de atuação para, no mínimo, reduzir os impactos sociais e ambientais adversos. A mudança nas formas de produzir cerâmica vermelha pode ser impulsionada pela melhor compreensão da magnitude e dos riscos dos impactos ambientais globais. A regulamentação ambiental é necessária para promover os incentivos ao investimento, à inovação tecnológica e

ao aperfeiçoamento da gestão ambiental⁴. Do ponto de vista da eficiência energética, deve ser ressaltado que o planejamento de oferta de energia considera como uma de suas premissas básicas programas de conservação de energia. É sabido que uma parcela do crescimento do mercado pode ser atendida mais rapidamente através de ações de eficiência energética do que com a oferta, mesmo que sejam com usinas térmicas. A inovação pode propiciar a penetração de equipamentos mais eficientes, levando a otimização dos processos produtivos em plantas industriais de cerâmica vermelha.

2. Estudo de Caso: Cerâmica Eficind (CEFI)

Na CEFI a energia elétrica representa em média cerca de 30% do custo de fabricação de telhas. De acordo com a Diretoria Industrial este custo de produção tem impactado o lucro, sobretudo a partir de janeiro de 2015, quando entrou em vigor o Sistema de Bandeiras de consumo de energia elétrica. No tocante aos combustíveis para geração térmica, a CEFI também vem tendo problemas devido ao elevado aumento dos custos com a utilização de gás natural. Os resultados do balanço térmico do forno túnel a GN auxiliam na comparação da CEFI vis-a-vis o uso de cavacos.

2.1. Utilização de energia: onde, quando, porque e quanto

Inicialmente foi necessário entender onde, quando, porque e quanto de energia estava sendo utilizada na CEFI. Essas informações forneceram os pontos de referência e indicações para a otimização energética na produção de telhas. Onde está usando a energia? Os principais consumidores de energia elétrica na produção de telha são os motores e acionamentos, e os sistemas de iluminação. Quanto aos combustíveis os principais consumidores são as etapas de secagem (secador) e cozimento (forno

túnel). Quando usa a energia? A hora do dia em que a energia é utilizada. Com um gráfico, pode-se determinar a produção “zero” e sua evolução no tempo. Com isto obtendo-se indicadores de carregamento máximo, cuja redução por ações de eficiência energética e/ou inovações poderão levar a otimização do consumo energético e minimização dos custos com energia. Por que está usando a energia? A resposta a esta pergunta fornece os indicativos possíveis a tomada de decisão de medidas para reduzir o uso de energia. Idealmente, deve-se buscar o mínimo de energia na produção. Daí decorre para o processo produtivo o consumo específico de energia: kWh/tonelada e KJ/tonelada. Com este indicador pode-se comparar o processo produtivo da CEFI frente a indústrias similares concorrentes, e assim definir objetivos para reduções no consumo de energia. Quanto de energia está usando? Custos com energia elétrica e combustíveis resultam da combinação de inúmeros fatores do processo industrial e de caráter regulatório, requerendo levantamento inicial para revelar áreas e/ou equipamentos com os maiores potenciais para minimizar o consumo de energia.

Com este indicativo metodológico de onde, quando, porque e quanto de energia estava sendo utilizada na CEFI, conseguiu-se através de estudo de caso levantar o balanço térmico com o consumo específico de energia térmica para o forno túnel CEFI. O resultado obtido permitiu avaliar a importância do grau de umidade no consumo de energia térmica, bem como a eficiência conversão do forno de GN para cavacos. De acordo com Tangram⁵, mais de 60% dos 10.700 TJ consumidos pela indústria de cerâmica vermelha do Reino Unido é utilizado na etapa de queima ou cozimento em fornos. Os custos de energia são responsáveis por até a 30% dos custos de produção. Como se vê melhorar a eficiência energética dos fornos é essencial para reduzir os custos de produção.

2.2. Etapa de queima ou cozimento: forno contínuo tipo túnel

Os produtos conformados e passados pela secagem ainda não possuem as propriedades adequadas para suportarem as solicitações inerentes à utilização para que foram previstos. Com o tratamento térmico de queima, realizam-se as transformações necessárias para que as propriedades, a composição e a microestrutura finais sejam as mais ajustadas ao tipo de aplicação projetada para os produtos. Atingir estes objetivos depende de fatores como a temperatura, a pressão, a velocidade de aquecimento ou de arrefecimento e a natureza da atmosfera em que decorre o tratamento térmico.

Durante a queima, os produtos cerâmicos sofrem expansões e contrações reversíveis e irreversíveis. Por exemplo, o quartzo transforma-se reversivelmente a 573 °C, enquanto a caulinita se transforma irreversivelmente (perda de água de cristalização) entre 400-600 °C, o que faz com que, no final do tratamento, o corpo cerâmico apresente dimensões inferiores às iniciais⁶. O estabelecimento do ciclo de queima depende de fatores diversos, relacionados com o material a cozer, o tipo de forno e a fonte de energia usada, necessário pois conhecer estes fatores para se estabelecer a curva de queima, que melhor se adapta ao produto.

2.3. Forno túnel: evolução e o balanço térmico

O balanço térmico do forno é ferramenta essencial para identificar os fatores de produção vis-a-vis o consumo de energia térmica. Com esta ferramenta identificou-se a quantidade de calor perdido e as oportunidades disponíveis, bem informações quantitativas para melhorar eficiência de utilização do forno e reduzir valores de consumo específico. As Figuras 2 e 3 mostram, respectivamente, o fluxograma de processo e o esquema do forno túnel da cerâmica CEFI.

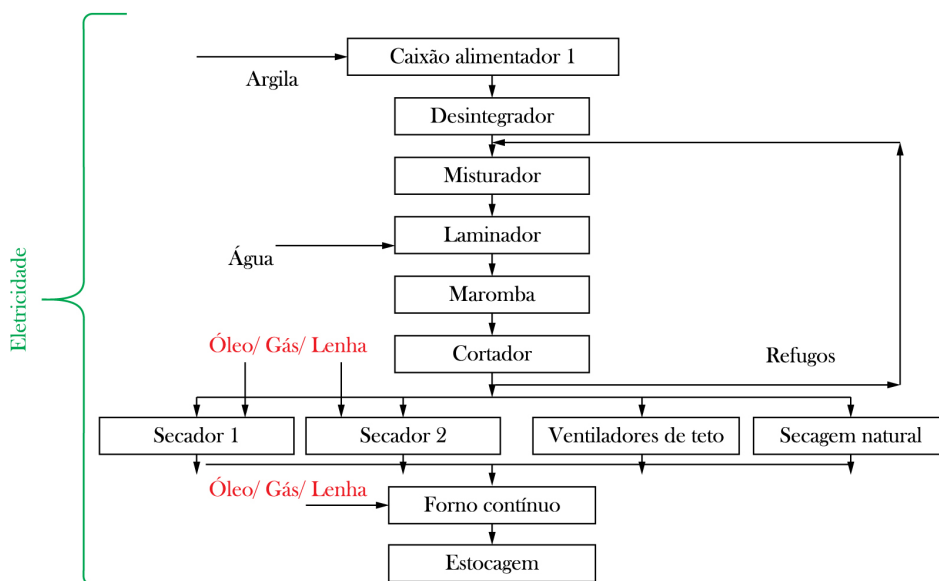


Figura 2. Fabricação na cerâmica CEPI.

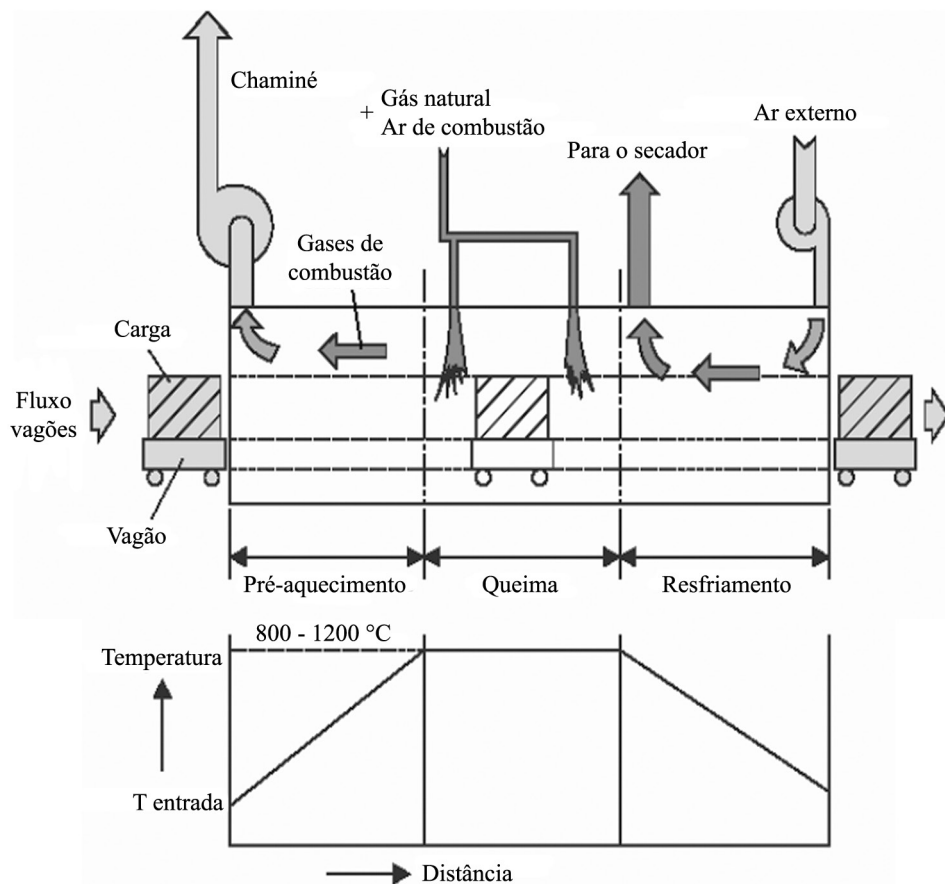


Figura 3. Forno Túnel: balanço térmico. Fonte: Adaptação a partir de Dadam⁷.

O forno túnel da CEFI possui três seções: pré-aquecimento, queima e resfriamento (Figura 3). Ar fresco entra na seção de resfriamento realizando o arrefecimento dos produtos cozidos e, aquecido, segue para a câmara de combustão. O ar quente é utilizado para combustão e ajuda a reduzir o consumo de combustível ou aumentar a temperatura dos gases de combustão. Os gases de combustão que deixam a zona de queima são dirigidos à zona de pré-aquecimento ou secagem, aproveitando-se o calor residual.

A Figura 4 apresenta um desenho esquemático de como são as instalações de gás natural (tubulação, acessórios para a regulagem de pressão, queimadores e ventiladores) junto ao forno túnel da CEFI. No forno CEFI as peças são transportadas em vagonetas que atravessam o túnel. Durante a travessia, as peças variam de temperatura de acordo com a curva de queima. À medida que novas vagonetas carregadas com peças secas e cruas vão sendo empurradas para dentro de uma das extremidades do forno, na outra extremidade vão saindo peças cozidas sem, portanto, haver necessidade de interromper a queima para carga e descarga, trabalhando de forma contínua. As vagonetas são constituídas de material metálico em sua parte inferior, rodas e chassi, que sustentam uma

camada de material isolante, embaixo, e refratário, em cima, com este sustentando o material processado.

2.3.1. Evolução do forno túnel da CEFI

Com o auxílio de Sontag, engenheiro e ceramista por mais 40 anos, pode-se avaliar o consumo de energia térmica do forno túnel em uso na CEFI. Este forno sob a orientação do Eng. Sontag⁸ passou ao longo dos anos por modificações construtivas objetivando melhorar sua eficiência através de otimização da queima e do aproveitamento de calor residual. A seguir é descrita algumas das modificações que foram incorporadas até a configuração atual do forno túnel. Para a configuração atual faz-se um balanço de energia “expedito”, demonstrando a influência do teor de umidade na entrada do forno e o consumo específico de energia térmica do mesmo. O forno túnel cheio de vagonetas deslocam-se em um único sentido. Nesta configuração, mais antiga era bastante difícil o controle da queima como os queimadores localizados em seu centro.

Após algumas horas de queima as vagonetas saiam do forno, a temperaturas extremamente altas para serem descarregadas, pois estas absorvem uma carga térmica e carregariam com elas no sentido da porta de saída; notou-se então a necessidade da chaminé ou extração, a

fim de direcionar o fluxo de gases no sentido contrario a movimentação das vagonetas.

Entretanto como a entrada do forno era aberta, o exaustor puxava o ar externo ao invés de fazer com que o ar se direcionasse através do túnel do forno. Cria-se assim a “porta de entrada”, cuja função é permanecer o maior tempo possível fechada para que se consiga uma condição câmara. Esta configuração funciona para produções pequenas de telhas (Figura 5). Com a expansão da produção da CEFI outras alternativas foram buscadas e implementadas.

Visando aumentar a produção e simultaneamente fazer com que as vagonetas circulassem mais rápido; criou-se a recuperação de calor residual. A recuperação de calor residual foi necessária para que as vagonetas saíssem do forno com alta temperatura. Nesta configuração o forno possuía todos os elementos necessários para a otimização do processo de queima das telhas (Figura 6).

Todavia, com o aumento da velocidade de passagem das vagonetas, houve a necessidade do aumento da tiragem do exaustor de recuperação. Por este estar mais perto dos queimadores que o exaustor de extração ou chaminé, a recuperação começava a roubar o calor da zona de queima, diminuindo assim a eficiência do forno túnel. Criou-se então o contra fluxo ou contra-vec (Figura 7). A função do contra-vec é alimentar todo o ar que exaustor de recuperação for precisar, criando-se assim um ponto entre a recuperação e os queimadores de pressão nula.

Com a necessidade de ampliar a produção de telhas com maior eficiência térmica inovações foram implementadas no forno túnel. Assim partiu-se para reformas na altura dos fornos. Fornos mais altos possibilitaria que a carga térmica consumida pelo aquecimento do vagão seja dividida por uma maior quantidade produto. Todavia, foi observado que as camadas inferiores da carga das vagonetes saiam sempre com trincas, prejudicando a qualidade final do produto. O diferencial grande de temperatura entre as camadas superiores e inferiores não permitia a aderência à curva de queima das telhas. Para minimizar este problema de processo, a solução foi a de implantar o reciclo (Figura 8). O reciclo são exaustores de 300 a 500 mca colocados no teto do forno, cuja finalidade é formar uma cortina de ar para homogeneizar a carga da vagoneta. O reciclo não altera as zonas de pressão do forno, pois ele retira o gás da parte inferior da vagoneta e joga na parte superior fazendo assim com que haja uma recirculação de gases, com o objetivo de homogeneizar as temperaturas nos diversos pontos da carga e, com isto ser aderente a curva de queima típica das telhas.

2.3.2. Consumo de energia térmica

O balanço térmico ou energético do forno é verificado através de todas as formas de energia que entram no forno e toda energia perdida ou gasta durante o processo de cozimento das telhas. As variedades de argilas representam uma grande dificuldade para comparação de balanços térmicos entre fornos similares. Cada argila é possuidora de curva ótima de cozimento. Existem casos em que mudanças bruscas na composição das argilas é necessário

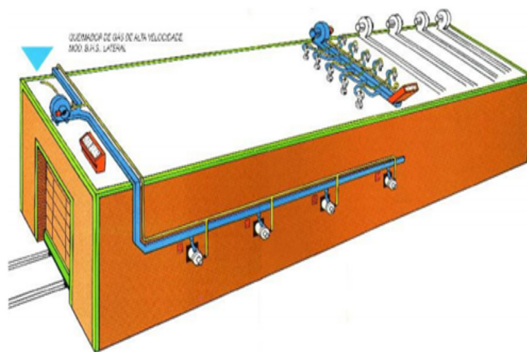


Figura 4. Esquema de tubulações, válvulas e acessórios do forno túnel CEPI.

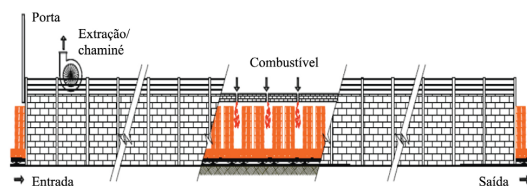


Figura 5. Forno túnel básico. Fonte: Sontag⁸.

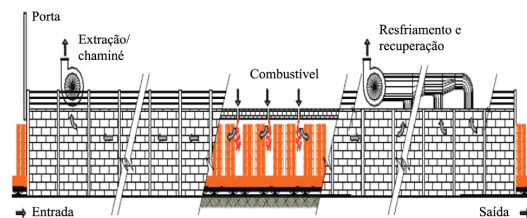


Figura 6. Forno túnel com recuperação de calor residual. Fonte: Sontag⁸.

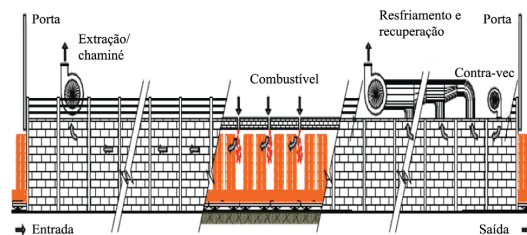


Figura 7. Forno túnel com recuperação de calor residual e contra-vec. Fonte: Sontag⁸.

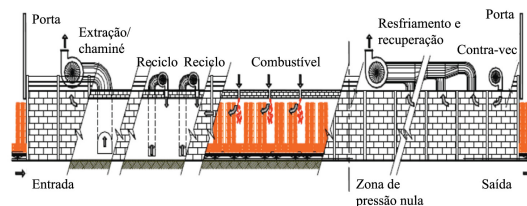


Figura 8. Forno túnel com recuperação de calor residual e contra-vec. Fonte: Sontag⁸.

mexer em todo o fluxo de gases que circulam no interior do forno, fazendo com que este assumira um perfil de temperatura completamente diferente do perfil adotado na queima do produto anterior. O forno túnel CEFI possui alguns recursos técnicos para correções no processo, pois o seu sistema de queima utiliza ar e combustível estequiométricos, através de sistemas automáticos que controlam as vazões de ar e de combustível, conforme as necessidades do forno. Deste modo é possível corrigir os perfis de temperatura, através de controles de vazão instalados e através de queimadores de altas velocidades de queima, que provocam grande turbulência no interior do forno.

Os dados de campo utilizados neste estudo de caso possibilitam comparações energéticas com outras empresas cerâmicas produtoras de telhas com forno túnel. O forno túnel CEFI tem 3,0 metros de largura, 2,6 metros de altura e 110 metros de comprimento. A Tabela 1 mostra a produção diária, consumo de gás natural e características térmicas médias na produção telhas.

O calor necessário para a queima pode ser obtido da Equação (1), abaixo.

$$Q_T = m \times c \times Dt \quad (1)$$

Onde:

QT calor total (kcal),

m massa (kg),

c calor específico, e

Dt é a diferença de temperatura (°C).

O calor total para a queima é decomposto conforme a Equação (2).

$$Q_T = Q_{H_2O} + Q_{argila} - Q_R \quad (2)$$

Q_{H_2O} é o calor consumido pela umidade presente na telha a ser queimada, calculada através da Equação 3.

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} \times \left\{ \left[c_{H_2O} \times (100 - t_A) \right] + \left[Q_{latente} + c_{vapor} \times (t_{Forno} - 100) \right] \right\} \quad (3)$$

Substituindo na Equação (3) $C_{H_2O} = 1$, $C_{vapor} = 0,48$, $t_A = 25$ °C, $t_{Forno} = 850$ °C, e $Q_{latente} = 550$ kcal/kg, obtém-se a Equação (4).

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} \times 985 \quad (4)$$

Tabela 1. Produção telhas, consumo de GN, umidade e temperatura de telhas.

Produção diária (pçs)	40.500
TemPeratura entrada do forno (°C)	35
Temperatura saída do forno (°C)	70
Umidade entrada do forno (%)	2
Umidade saída do forno (%)	0
Temperatura da exaustão do forno (°C)	90
Consumo de GN (m ³ /h)	140

O calor consumido pela argila em reações químicas (QArgila) é calculado conforme a Equação (5)

$$Q_{argila} = m_{argila} \times c_{argila} \times (t_{forno} - t_A) \quad (5)$$

Substituindo c_{argila} pelo valor de 0,26, chega-se a Equação (6).

$$Q_{argila} = m_{argila} \times 214,5 \quad (6)$$

O calor (QR) liberado pela reação exotérmica provocada pela queima, adotado na CEFI é obtida pela (7).

$$Q_R = m_{argila} \times 25 \quad (7)$$

Considerando as entradas e saídas de calor na queima, tem-se a Equação (8).

$$Q_T = m_{H_2O} \times 985 + m_{Argila} \times 214,5 - m_{Argila} \times 25 \quad (8)$$

No balanço térmico final chega-se a forma simplificada da Equação (8).

$$Q_T = 985 \times m_{H_2O} + 189,5 \times m_{argila}$$

A avaliação da influência do grau de umidade no consumo de energia térmica em cenário onde a massa cerâmica entra no forno com 2% e 4% de água residual. Os resultados mostram que para uma elevação no grau de umidade em 2% tem-se um aumento de 7,6% no consumo de energia térmica.

$m_{H_2O} = 0,02$ kgH₂O/kgmassa e $m_{Argila} = 0,98$ kgArgila/kgmassa

O calor total por QT2% = 205,41 kcal/kg e QT4% = 221,32 kcal/kg

O cálculo do consumo de gás natural no forno da CEFI foi realizada a partir do total de massa cerâmica sinterizada por dia, da ordem 101.250 kg/dia (40.500 pç × 2,5 kg/pç), com um consumo de 140 m³/h de gás natural, com produção em dois turnos de 8 horas (16 h/dia). Para um consumo diário de gás natural de 2.240 m³/dia, aproximadamente 21.056.000 kcal/dia (PCS gás natural = 9.400 kcal/m³, a 20 °C e 1 atm). Utilizando gás natural tem-se um consumo de energia térmica no forno CEFI de 208 Kcal/kg de produto.

Na hipótese de consumo de cavacos no forno da CEFI utilizou-se a informação ACERVIR⁹ de que cada metro cúbico de lenha comercial equivale a 390 kg e o PCS de 3300 Kcal/kg (BEN, 2012). A partir do consumo médio de cavacos médio de 22 m³ durante os testes e da relação de 1.287.000 Kcal/m³ de cavaco, tem-se um consumo total de 28, 3 milhões de Kcal para queima de 101.250 Kg de telhas. Utilizando cavacos obteve-se nos testes iniciais um consumo de energia térmica no forno CEFI da ordem de 279 Kcal/kg de produto, 34% mais comparativamente ao gás natural.

Em termos energéticos, a opção cavacos poderá ser viável. Necessita-se de mais testes e novos comissionamentos do forno CEFI. Deve ser destacado a perda de qualidade

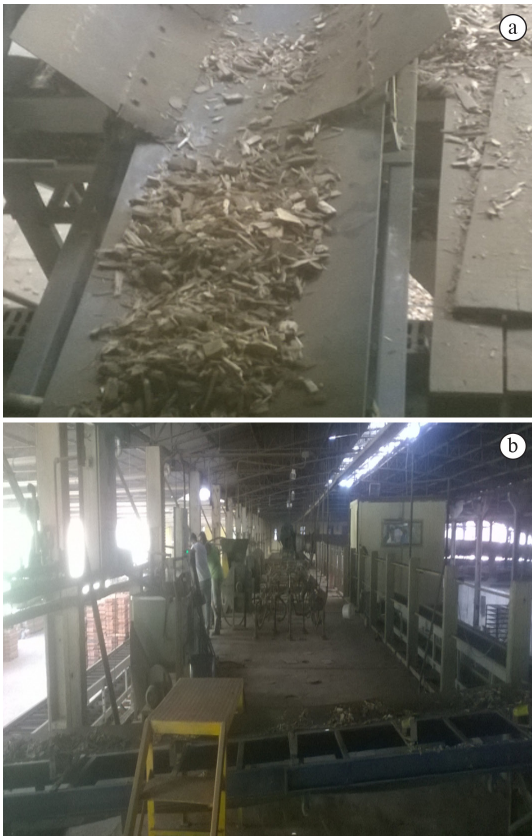


Figura 9. Esteira com cavacos no forno tunel.

final das telhas. Dificuldades no controle de processo com a nova fonte de energia. Observa-se o agravante de que argila queimada com trincas não pode ser reaproveitada no processo produtivo. Atualmente seu uso ocorre em melhorias de estradas vicinais rurais.

Neste contexto, dois aspectos requerem atenção. O primeiro, relacionado com a necessidade da continuidade dos testes com cavacos e uma nova validação do balanço térmico. O segundo é imprescindível com as “saídas” de novos testes realizar também uma avaliação econômica criteriosa, considerando perdas e a necessidade de investimentos em controle de processo, comparações de preços de mercado e perspectivas de evolução de oferta da lenha e gás natural. Os preços praticados no mercado para a lenha comercial na região de Salto é da ordem de R\$ 116,00/m³, enquanto o gás natural no Estado de São Paulo possui um preço médio de US\$ 17,80/MMBTU.

De posse destes dados de campo iniciais será realizado balanço de energia para as três fases da queima, considerando as respectivas temperaturas da curva de queima, chegando-se ao balanço global de energia no forno, considerando um volume de controle que envolva o mesmo. Com este balanço será possível saber efetivamente onde a energia fornecida, quase que totalmente, pela combustão, está sendo consumida, ou seja, quanto desta

energia está sendo perdida pelas paredes, pelos gases da chaminé, vagonete, entre outros.

Entre os ganhos de energia no forno temos os gases de combustão da fonte de energia, ar de pré-aquecimento, entrada de ar na saída do forno, a energia que com a vinda da secagem. No tocante as perdas para fechar o balanço tem-se as paredes laterais (convecção, radiação e condução), teto e fundo do forno, gases chaminé, reações endotérmicas da argila, evaporação da água residual e a desidroxilação da caulinita, entre outros. No caso de utilizar cavacos também deve ser considerado as perdas de calor nas cinzas.

3. Considerações Finais

A Cerâmica Eficind tem buscado a atualização tecnológica de seu processo produtivo. Esta atualização ocorre com testes visando à alteração do principal combustível utilizado no seu forno túnel. É uma mudança que envolve toda a estrutura da empresa, tanto administrativa quanto produtiva. A principal razão esta atrelada a elevação dos custos de gás natural. Alternativa em teste é a utilização de cavacos de madeira, e daí a otimização energética do forno de túnel tem sido analisada para ambos os combustíveis: gás natural e cavacos. A Figura 9 mostra a esteira transportadora de cavacos passando por cima do forno indo aos seus queimadores laterais. No entanto, para um bom funcionamento do conjunto, isto é, com eficiência e economia, deve-se compreender que o forno trabalha continuamente e que a planta produtiva, incluindo um secador, deve prever esta operação contínua, havendo a necessidade de implantação de ferramentas de planejamento e controle da produção, concomitantemente.

Este estudo de caso teve por objetivo auxiliar a empresa na ampliação do entendimento do funcionamento de forno túnel, que ocorre de forma empírica podendo-se levar a resultados negativos com perdas no processo produtivo e de capital investido na mudança de combustível e a otimização do processo de queima.

Referências

1. BAJAY, S. V., et al. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatórios setoriais - vários.** Brasília: CNI, 2010.
2. BERNI, M. D., BAJAY, S. V., GORLA, F. D. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial - setor cerâmico.** Brasília: CNI, 2010. 75 p.
3. FARIAS, A. S. et al. Utilização de eco-inovação no processo de manufatura de cerâmica vermelha. **RAI – Revista de Administração e Inovação**, v. 9, n. 3, p. 154-174, 2012. DOI: 10.5773/rai.v9i3.533.
4. GRICOLETTI, G. C., SATTLER, M. A. Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Rio Grande do Sul. **Revista ANTEC Ambiente Construído**, v. 3, n. 3, p. 19-32, 2003.
5. TANGRAM. **Energy efficiency in ceramics processing.** Hitchin: Tangram Technology Ltd, 2015. Disponível em: <www.tangram.co.uk>. Acesso em: 21 abr. 2015.

6. FREITAS, F. C. G. **Balço energético de um forno túnel de cerâmica estrutural convertido de lenha para gás natural**. 2007. 90 p. Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
7. DADAM, A. P. **Análise térmica de um forno túnel utilizado na indústria de cerâmica vermelha**. 2005. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
8. SONTAG, A. A. B. **Forno túnel e telhas ecológicas**. Salto: Cerâmica Mundi, 2011. 9 p.
9. Associação das Cerâmicas Vermelhas de Itu e Região. Disponível em: <<http://www.acervir.com.br/>>. Acesso em: 21 abr. 2015.