

## Melhoria da Eficiência Energética de um Forno Cerâmico Através da Troca de Queimadores

Ricardo Bonetti Sebastião<sup>a</sup>, Paulo Fernandes<sup>b</sup>, Vítor de Souza Nandi<sup>a,b\*</sup>

<sup>a</sup>Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

<sup>b</sup>Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE, CEP 88845-000, Cocal do Sul, SC, Brasil

\*e-mail: vitorsnprof@gmail.com

**Resumo:** Um dos maiores custos em uma indústria cerâmica de revestimento está relacionado ao emprego de energia térmica em seus processos de produção. Baseado nesta informação o presente trabalho consiste em avaliar a eficiência energética após a troca de queimadores de um forno contínuo utilizado na fabricação de telhas prensadas pelo processo via úmida. Algumas das características do produto final exigem um emprego de altas temperaturas no processo de sinterização e conseqüentemente o emprego de uma quantidade maior de energia térmica. A maioria das indústrias do setor cerâmico, principalmente as fabricantes de revestimentos adotaram como fonte de combustível para a geração de energia térmica, a queima do GN (gás natural). A necessidade de redução no custo do processo (fator concorrência), e redução na emissão de poluentes (fator ambiental), aponta para um novo paradigma, a busca de equipamentos e acessórios que promovam uma maior eficiência e aproveitamento dos insumos disponíveis no processo. Um dos equipamentos que aliado a alguns parâmetros de controle pode propor uma economia considerável no processo é o queimador, que através de novos projetos e tecnologias vem se modernizando a cada ano. Com o resultado deste trabalho, ou seja, a troca dos queimadores e algumas medidas de controle foi possível reduzir o consumo de combustível em aproximadamente 26%, um valor este considerado de grande economia.

**Palavras-chave:** gás natural, eficiência energética, troca de queimadores.

### 1. Introdução

Atualmente, um novo conceito no processo de fabricação de telhas vem no mercado, as telhas obtidas através do processo de conformação por prensagem de grânulos atomizados, em substituição ao tradicional processo de conformação extrusão-prensagem e processo via seco. Esse processo permite agregar às telhas, características semelhantes a dos revestimentos cerâmicos por processo de fabricação via úmida, como resistência mecânica, baixa absorção de água, dentre outros, características estas adquiridas durante o processo de queima principalmente em fornos contínuos.

No Brasil os gastos com a energia representam 30% dos custos na produção do segmento cerâmico, esses dados impulsionam cada vez mais as indústrias buscarem alternativas para uma melhor eficiência energética visando ao máximo à redução de custos<sup>1</sup>.

Toda a cadeia produtiva do país gira em torno da utilização da energia, seja ela elétrica, térmica, mecânica, dentre outras. Porém, hoje existe um sistema ineficiente quanto ao uso desta energia, com programas de eficiência energética que contemplam apenas uma pequena parte da matriz energética nacional<sup>2</sup>.

Segundo pesquisa realizada pela associação brasileira das empresas de conservação de energia (ABESCO) e a GTZ – *Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit* (Associação Técnica Para Trabalho de Cooperação) mostram que o desperdício energético no país chega a R\$ 15 bilhões ao ano. Projetos de energia eficientes proporcionam um uso mais inteligente do recurso, preservam o meio ambiente e favorecem a sustentabilidade dos ciclos de negócio de energia<sup>3</sup>.

Dados levantados em 13 setores industriais apontam que 82% das oportunidades de economia de energia na indústria estão em processos térmicos, porém o foco governamental está relacionado ao consumo de energia elétrica. Isso mostra que existe uma deficiência quanto às prioridades nos programas governamentais de eficiência energética<sup>2</sup>.

As indústrias respondem por 35,7% de toda energia consumida no país, enquanto que os setores residenciais, comercial e público respondem por apenas 14% do consumo total e o restante dividido

em outros setores<sup>4</sup>. Atualmente o setor cerâmico vem se destacando no cenário produtivo nacional, pois segundo dados apresentados pela ANFACER, em 2011 foram produzidos 844,32 milhões de m<sup>2</sup>, consolidando o Brasil como segundo maior produtor mundial, perdendo apenas para a China<sup>5</sup>.

Outro aliado a este propósito são as questões ambientais, visando à redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), seja por questões legais ou por cotação da tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no mercado de carbono. A cerâmica Assunção do Ceará<sup>6</sup> e a Eliane Revestimentos Cerâmicos de Santa Catarina<sup>7</sup> são alguns dos exemplos de empresas que ingressaram no mercado de carbono com projetos que reduziram as emissões de CO<sub>2</sub>. Por todas essas razões, as indústrias trabalham de forma intensa na melhoria da eficiência de seus processos<sup>8</sup>.

Outro fator importante que deve ser mencionado está relacionado ao custo para a produção de revestimentos cerâmicos, sendo o processo de queima um dos mais caros, onde uma baixa eficiência de seus queimadores aliados a outros fatores elevam este valor, além de afetar diretamente na qualidade do produto final devido a vários defeitos que podem surgir no processo, citando como exemplo a planaridade das peças, variações dimensionais e de textura, coração negro, dentre outros.

Um dos equipamentos responsáveis pelo crescimento na escala produtiva das indústrias cerâmicas é o forno de cozimento das peças. Na última década, novos fornos surgiram no mercado, ampliando a capacidade de produção, podendo hoje atingir a marca de 800.000 m<sup>2</sup>/mês ou mais produzidos, dependendo do tamanho, do fabricante e do ciclo de queima.

A qualidade dos produtos também é influenciada pelo forno cerâmico, pois quase todos os defeitos aparecem após a queima, porém somente uma parte deles depende exclusivamente desta etapa do ciclo produtivo<sup>9</sup>. Em se tratando de um processo que emprega a energia térmica para o cozimento das peças, tem-se aí um dos fatores

que elevam os custos de produção. Atualmente, tanto as instalações quanto os equipamentos empregados na indústria de revestimentos cerâmicos já apresentam um bom nível de eficiência energética graças a um grande esforço realizado nas últimas duas décadas pelos fornecedores de equipamentos, em colaboração com as empresas cerâmicas e com instituições de pesquisa<sup>10</sup>.

Como por exemplo, um estudo realizado buscando a otimização energética de um forno contínuo cerâmico avaliando a influência no comportamento energético, como, a constituição das paredes do forno e a sua espessura, o tipo de mobília de enfora utilizada e a temperatura de entrada do ar de combustão. Os dois primeiros parâmetros referidos inserem-se numa óptica de seleção de equipamento quanto à aquisição, e os demais parâmetros numa visão de otimização do forno em operação. Com o estudo dos parâmetros acima referidos conseguiu-se uma diminuição do consumo específico em mais de 30%<sup>11</sup>.

Com a falta de incentivo dos órgãos governamentais, as empresas sentem-se obrigadas a investir em projetos que melhorem a eficiência energética dentro de seus processos produtivos com o intuito de reduzir ao máximo esses custos de produção, tornando-as competitivas e garantindo sua sobrevivência no mercado.

Ao longo dos anos, houve diversas mudanças no uso dos tipos de combustíveis (carvão vegetal, lenha, GLP, óleo combustível, etc.) empregado no processo de cozimento (queima) sempre em busca da maior eficiência possível, consolidando hoje o emprego do gás natural de forma intensa nos processos de queima, principalmente em fornos à rolos<sup>12</sup>.

O gás natural é uma mistura de gases, que possui a seguinte composição: CH<sub>4</sub>=83%, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>=13%, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>=0,15%, CO<sub>2</sub>=2,35% e N<sub>2</sub>=1,5% e ocorre a elevada pressão<sup>13</sup>.

Possui como principal característica: PCI (poder calorífico inferior) = 8.900 Kcal/Nm<sup>3</sup> e PCS (poder calorífico superior) = 10.138 Kcal/Nm<sup>3</sup><sup>13</sup>.

Um dos pontos que deve ser avaliado para contribuir em uma melhor eficiência energética, se trata da utilização de queimadores de alta velocidade para aumentar a eficiência de troca térmica, o controle e regulação da temperatura e da pressão na zona de queima<sup>10</sup>. A forma clássica dos queimadores usados atualmente tende a lançar os gases para o interior do forno movendo-se em um eixo longitudinal através de um corpo cônico que termina com um orifício menor.

Baseando-se nesta idéia<sup>10</sup>, o presente trabalho estudou o uso do queimador da marca Ancora, parecido com os queimadores tradicionais com funcionamento controlado por dois eletrodos. O que diferencia é a distância entre a zona de mistura e o corpo do próprio queimador: esta distância foi aumentada em 150 mm para que a chama se desenvolva numa posição mais avançada no interior do cone de combustão, em relação aos queimadores tradicionais (Figura 1).

Objetivou-se estudar uma maneira de reduzir o consumo de gás natural através da troca de queimadores e análise de possíveis regulagens, incentivado pelo elevado desperdício energético, característico do alto índice do consumo de gás natural para fabricação de telhas de uma empresa de Revestimentos Cerâmicos, buscando obter o máximo de eficiência energética possível nesta etapa.



Figura 1. Queimador Ancora modelo B5-Hv. Fonte: Manual Técnico Ancora.

## 2. Materiais e Métodos

A metodologia empregada na realização deste trabalho consiste na coleta e análise de dados de consumo e eficiência energética de um forno utilizado na fabricação de telhas, realizados em uma empresa fabricante de Revestimentos Cerâmicos, contemplando as etapas apresentadas no fluxograma abaixo (Figura 2).

Inicialmente foram realizadas as medições dimensionais do forno (comprimento, largura total, largura útil, altura da entrada (boca do forno), etc.), utilizando uma trena simples de 5 m. Estes dados serviram para a representação construtiva do forno e elaboração da curva de queima. Para a realização das medições de tiragem do forno (pressão/depressão interna), utilizou-se um manômetro inclinado Plexiglas mp/2000 escala 0-10 mmCA distribuído pela Servitech Serv. Tecn. e Repr. LTDA. com líquido de densidade 0,88 g/cm<sup>3</sup>, conforme especificado no equipamento. Por questões construtivas do forno, os dados coletados referem-se apenas a parte superior. Alguns módulos possuem dois pontos de medições, sendo que para estes foram utilizados como resultados a média dos dois pontos. A representação dos resultados refere-se à média das medições para cada módulo, onde foram realizadas três antes e três após a troca dos queimadores.

Para o consumo energético/combustível, os dados (vazão, temperatura e pressão) do gás foram coletados no medidor de vazão (cavalete) instalado na tubulação correspondente ao forno. Foram seis coletas antes e seis após a troca dos queimadores. O intervalo entre a coleta da vazão inicial e final foi de uma hora em todas as amostragens, obedecendo assim à unidade de medida m<sup>3</sup>/h. Após a coleta, realizou-se a conversão do consumo para unidade comercial (Nm<sup>3</sup>/h), entalpia de combustão (kcal/h) e consumo específico (kcal/kg<sub>cozido</sub>).

Os horários de coleta dos dados foram propositalmente selecionados, alternando períodos da manhã (entre 05:00 e 07:00 h) e períodos à tarde (entre 12:00 e 14:00 h), observando o efeito da temperatura ambiente (menor de manhã e maior a tarde) na temperatura do gás registrado no medidor de vazão e calculando sua interferência no consumo final. A normalização da vazão do gás deu-se pela Equação 1:

$$Q_n = Q \times \frac{273,15}{273,15 + T_{Gás}} \times \frac{P_{mbar} + P_{Gás}}{P_{mbar}} \quad (1)$$

Onde:

Q<sub>n</sub>: Vazão real de gás (Nm<sup>3</sup>/h)

Q: Vazão no medidor (m<sup>3</sup>/h)

T<sub>gás</sub>: Temperatura do gás (°C)

P<sub>mbar</sub>: Pressão barométrica do gás nas condições de referência (1013,25mbar)

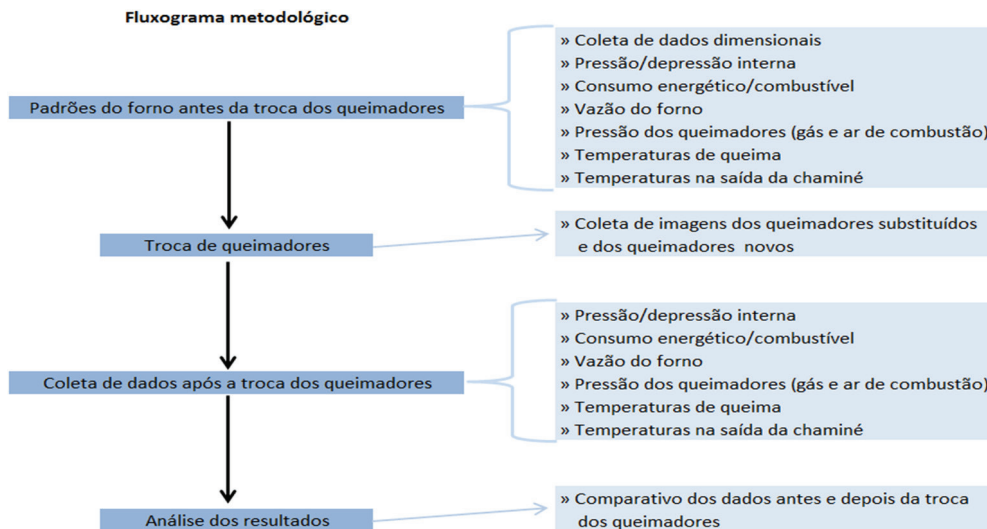
P<sub>gás</sub>: Pressão do gás nas condições efetivas no momento da medida (mbar).

273,15: temperatura do gás (K) nas condições de referência (0 °C)

A equação citada acima e utilizada no desenvolvimento dos cálculos refere-se às condições conhecidas como condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

No Brasil, além da CNTP, é adotada como padrão em algumas indústrias bem como regulamentada pela ANP (Agência Nacional do Petróleo) para o gás natural, a temperatura de 20 °C em vez de 0 °C e mantendo-se a pressão atmosférica padrão [...] <sup>14</sup>.

Como o objetivo do estudo é verificar a eficiência energética e a diferença de consumo e não o consumo comercial adotou-se a CNTP como padrão, uma vez que o range de diferença entre o consumo antes e após a troca dos queimadores foi discrepante. A entalpia de combustão (ΔH<sub>comb</sub>), que determina a quantidade de energia liberada na reação, foi calculada utilizando a Equação 2:



**Figura 2.** Fluxograma da metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho.

$$\Delta H_{comb} = Q_{Vcomb} \times PCI \quad (2)$$

Onde:

$\Delta H_{comb}$ : Entalpia de combustão (kcal/h)

$Q_{Vcomb}$ : Vazão volumétrica combustível (Nm<sup>3</sup>/h)

PCI: Poder calorífico inferior do gás = 9.300\* (kcal/Nm<sup>3</sup>)

Para o cálculo do consumo energético foi realizada a pesagem das peças cruas (seis para cada amostragem), utilizando uma balança digital (Ohaus) com capacidade de 4.000 g e precisão de 0,01 g. Ficaram em repouso por cerca de 10 minutos, até atingirem a temperatura ambiente, só então eram pesadas e colocadas para queimar em fila única (sentido lado tração → lado livre do forno). Após a queima as mesmas peças foram pesadas novamente e obtidas o peso médio por amostragem. Foram realizadas três amostragens em dias diferentes, com os resultados obtidos, foi possível calcular a massa do material cozido aplicando a Equação 3:

$$m_{coz} = Produção \times P_{médio} \quad (3)$$

Onde:

$m_{coz}$ : Massa do material cozido (kg<sub>cozido</sub>/h)

Produção: Quantidade de peças produzidas (pç/h)

$P_{médio}$ : Peso médio das peças (kg<sub>cozido</sub>/pç)

A vazão das peças no forno foi calculada cronometrando (Cronometro Technos) o tempo necessário (em segundos) para a entrada de três filas no forno (cada fila contém seis peças), totalizando 18 peças. Com o tempo cronometrado e a quantidade de peças que entrou no forno, foi realizado o cálculo da produção (Equação 4).

$$Produção = Q_{peças} \times 3600 \quad (4)$$

Onde:

Produção: Quantidade de peças produzidas (pç/h)

$Q_{peças}$ : Quantidade de peças que entrou no forno em determinado tempo cronometrado (pç/s)

3600: Quantidade de segundos contidos em uma hora (s/h)

Somente após os resultados obtidos com os cálculos das Equações 1, 2, 3 e 4, foi possível calcular o consumo específico, o que irá caracterizar o consumo energético através da Equação 5.

\* Valores repassados pela empresa.

$$C_{esp} = \frac{\Delta H_{comb}}{m_{coz}} \quad (5)$$

Onde:

$C_{esp}$ : Consumo específico (kcal/kg<sub>cozido</sub>)

$\Delta H_{comb}$ : Entalpia de combustão (kcal/h)

$m_{coz}$ : Massa do material cozido (kg<sub>cozido</sub>/h)

Também foram coletados os dados referentes à pressão dos queimadores (gás combustível e ar de combustão), para este procedimento utilizou-se um manômetro tipo U SALGAS modelo MCU escala 600-0-600 mmCA, com critérios de escolhas de queimadores que contemplassem as três zonas do forno (aquecimento, pré-queima e queima), sendo efetuadas as medições sempre nos mesmos queimadores. Foram realizadas seis medições antes e seis após a troca, dados estes coletados em dias diferentes. Os resultados representam a média das amostragens.

Em seguida foram realizadas as coletas das temperaturas de saída da chaminé e perda de calor pelas laterais do forno, utilizando um termômetro a laser Mimipa modelo MT-350 com range de -30 °C a 550 °C. A temperatura da chaminé de entrada foi coletada através de um orifício na tubulação. Na chaminé de saída do forno, foi coletada a temperatura da estrutura da tubulação, pois a mesma não possui orifício, além de ser isolado para reaproveitamento da temperatura no secador. Para a perda de calor nas laterais do forno foi feito direcionando o termômetro no isolante (lã de vidro) entre a parte superior dos rolos e a estrutura metálica. Os resultados apresentados referem-se ao menor e ao maior valor encontrado nestes módulos, sendo feito uma medição antes e uma após a troca.

### 3. Resultados e Discussões

Os dados dimensionais obtidos durante as medições estão apresentados conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Dados dimensionais do forno estudado.

Dados do Forno	Dimensões (m)
Comprimento do forno:	72,450
Comprimento médio dos módulos:	2,110
Espaçamento médio entre módulos:	0,017
Largura total do forno:	2,430
Largura útil (boca):	1,990
Altura entrada (boca):	0,115

Ao avaliar a Figura 3, pode-se observar que após a troca dos queimadores a tiragem do ar de combustão ficou menor, ou seja, a aspiração inicial foi diminuída o que provocou uma tiragem positiva nos primeiros módulos, onde anteriormente era negativa. Na zona de queima (módulo 19), a pressão também foi aumentada, tecnicamente para a produção de telhas em forno a rolo a pressão ideal esta entre 0,8 a 1,2 mmCA, bem diferente com relação as placas cerâmicas de revestimento que trabalham na casa de 0,2 a 0,5 mmCA. A pressão deve ser equilibrada em todo o forno, à medida que se aproxima da zona de entrada, onde há o motor de aspiração, menor é a pressão. Ao observar a curva de tiragem após a troca dos queimadores no lado livre, percebe-se no módulo 21 e 22 um aumento da pressão, o que caracteriza um problema, isso é devido a um engalhamento ocorrido no forno que acabou danificando uma barreira de isolamento (mureta), que apesar de ser um problema, não prejudicou a qualidade do material.

O aumento da pressão interna também está relacionado às melhorias realizadas na parte isolante do forno, onde anteriormente havia fugas que ocasionava além de perdas de pressão, também perdas de calor.

### 3.1. Consumo energético/combustível

Quanto ao consumo de gás, pode ser observado na Figura 4, que houve uma redução considerável, chegando a 26,13% se comparado com a situação anterior.

Outro dado a ser considerado está entre a relação do consumo do gás com sua própria temperatura. Pode-se observar na prática as

variações de consumo considerando a temperatura do gás, ou seja, a medida que a temperatura do gás aumenta (em função da temperatura ambiente) o consumo em Nm<sup>3</sup>/h diminuiu e diminuindo a temperatura, aumentou o consumo. Porém, apesar desta relação, as variações na vazão volumétrica não são totalmente proporcionais as variações na temperatura, conforme mostrado na Figura 5a. Nas amostras 2 e 4, 5 e 6 possuem a mesma temperatura, porém o consumo foi diferente. Na Figura 5b a amostra 1 e 3 também apresentam uma variação, embora menor, o mesmo observado na amostra 5 e 6, que embora o decréscimo na temperatura tenha sido maior, a variação no consumo foi mínima.

Como houve variação na temperatura mas a pressão foi constante no sistema, foi possível realizar uma simulação de consumo obtendo a média da temperatura ambiente da Figura 5a e 5b e aplicada na Equação 1 para a normatização, mantendo os demais valores, mostrando que, por mais que a temperatura ambiente seja uma influência ao consumo em Nm<sup>3</sup>/h, os resultados não apresentaram interferência significativa neste estudo, ou seja, a eficácia está relacionada diretamente a troca dos queimadores.

Como se pode observar na Figura 6, houve uma pequena mudança nas linhas de consumo. Os valores apresentaram-se mais próximos e a redução no consumo (antes 26,13%) passou agora para 24,09%. Já o consumo energético em Kcal/kg<sub>cozido</sub> para a produção de telhas antes da troca dos queimadores o consumo específico estava em 576,44 kcal/kg<sub>cozido</sub>. Após a troca dos queimadores, o consumo específico reduziu para 424,20 kcal/kg<sub>cozido</sub>. Uma redução de 26,41% no consumo energético, calculado através das Equações 1, 2, 3, 4 e 5.

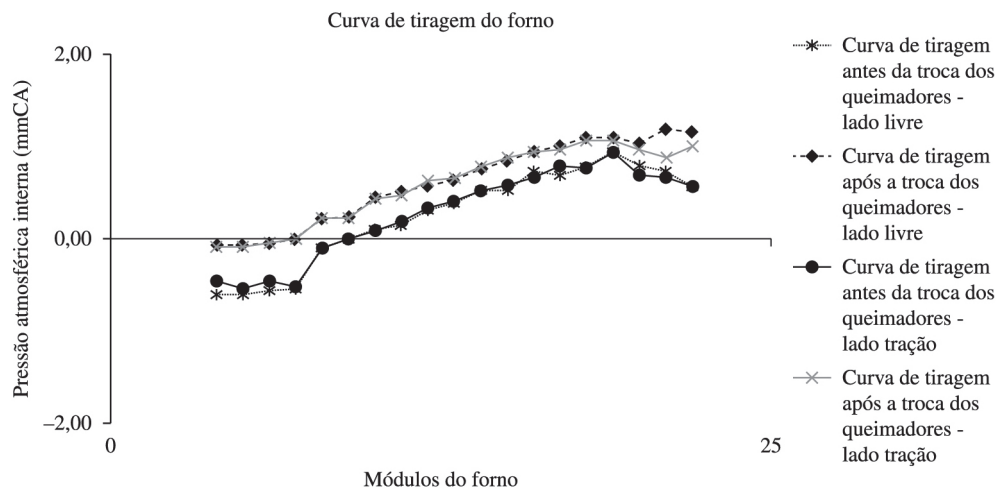


Figura 3. Curva de tiragem do forno, antes e após a troca dos queimadores.

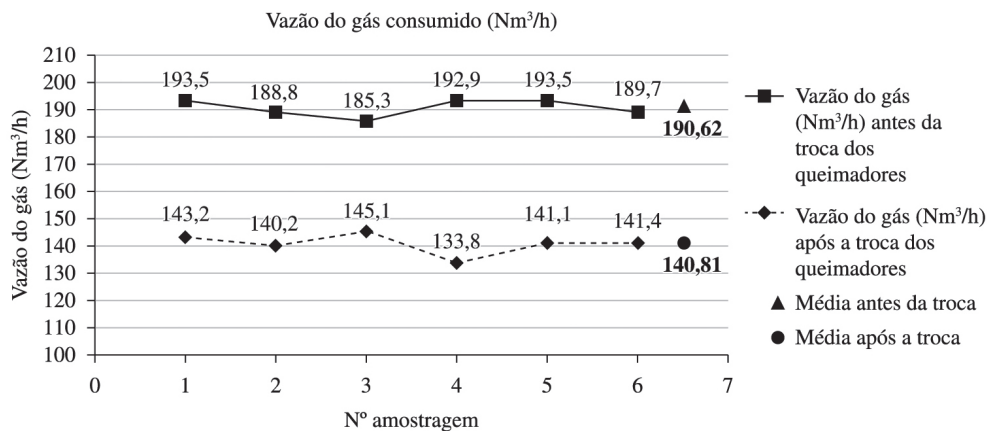


Figura 4. Curva de vazão do gás (Nm<sup>3</sup>/h).

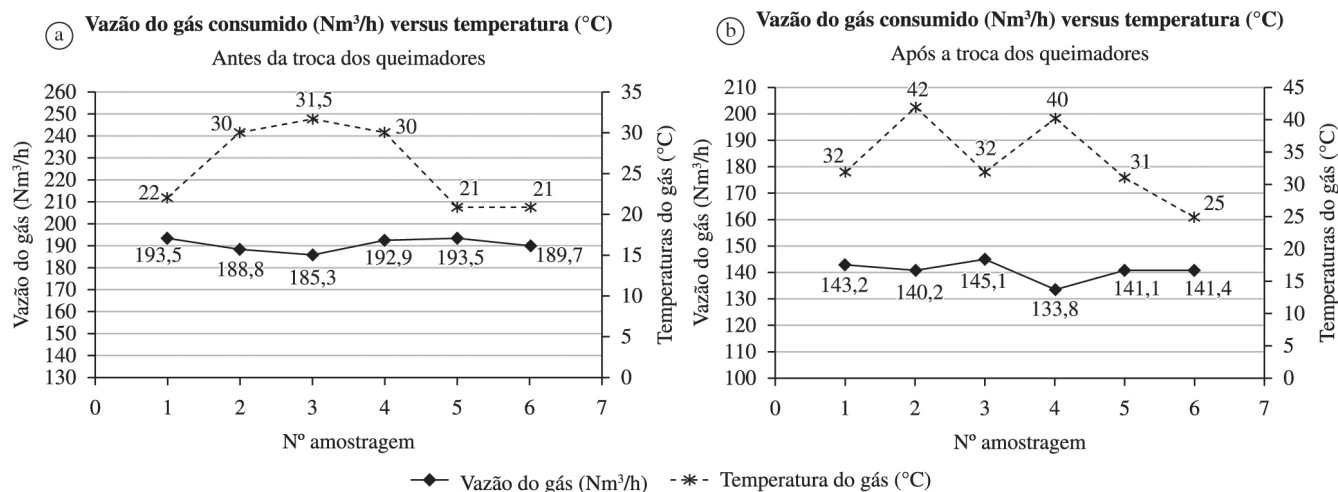


Figura 5. Curva de vazão do gás (Nm³/h) versus temperatura (°C): a) antes da troca dos queimadores; b) após a troca dos queimadores.

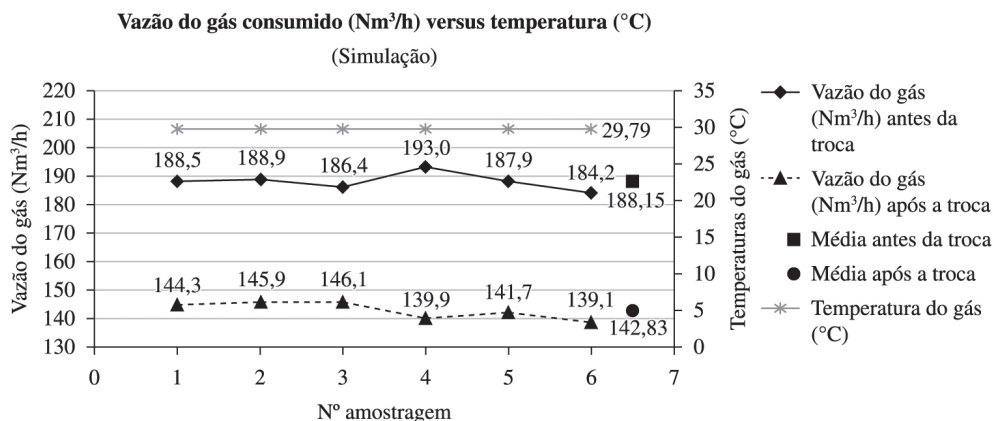


Figura 6. Vazão do gás consumido (Nm³/h) com relação a temperatura ambiente (°C) (simulação).

### 3.2. Pressão dos queimadores (gás e ar de combustão)

Na Figura 7 pode-se notar que não existe relação estequiométrica alguma nos dados coletados antes da troca dos queimadores. Embora a linha representante do ar de combustão em ambos os gráficos antes da troca apresentar uma “certa” tendência de estabilidade, a linha representante do gás combustível mostra-se instável, com picos que variam hora para uma pressão muito alta, hora para uma pressão baixa. As linhas não seguem uma forma estequiométrica. Em momentos a pressão do ar de combustão é baixa (menos ar de combustão), enquanto a do gás é muito alta (mais gás combustível) e vice versa. Isso demonstra o elevado consumo de gás combustível no processo de queima, pois ao se trabalhar com pouco ar e muito gás, não ocorre a queima total do combustível. Por outro lado, ao utilizar-se maior quantidade de ar e pouco gás, os gases inertes a combustão irão roubar calor do sistema para o seu aquecimento e posterior perda pela chaminé através do seu arraste e eliminação.

Já as linhas que representam os dados após a troca dos queimadores, mostram-se satisfatórias, uma vez que nestas linhas ocorre a relação estequiométrica não observada na situação anterior. Mesmo que os picos do ar de combustão estejam apresentados de uma forma “agressiva” (por questões de escala), os altos e baixos nas linhas são acompanhados pelo gás, o que comprova a redução no consumo do gás de combustão, tendo em vista que não ocorreram situações extremas de falta ou excesso de ar de combustão.

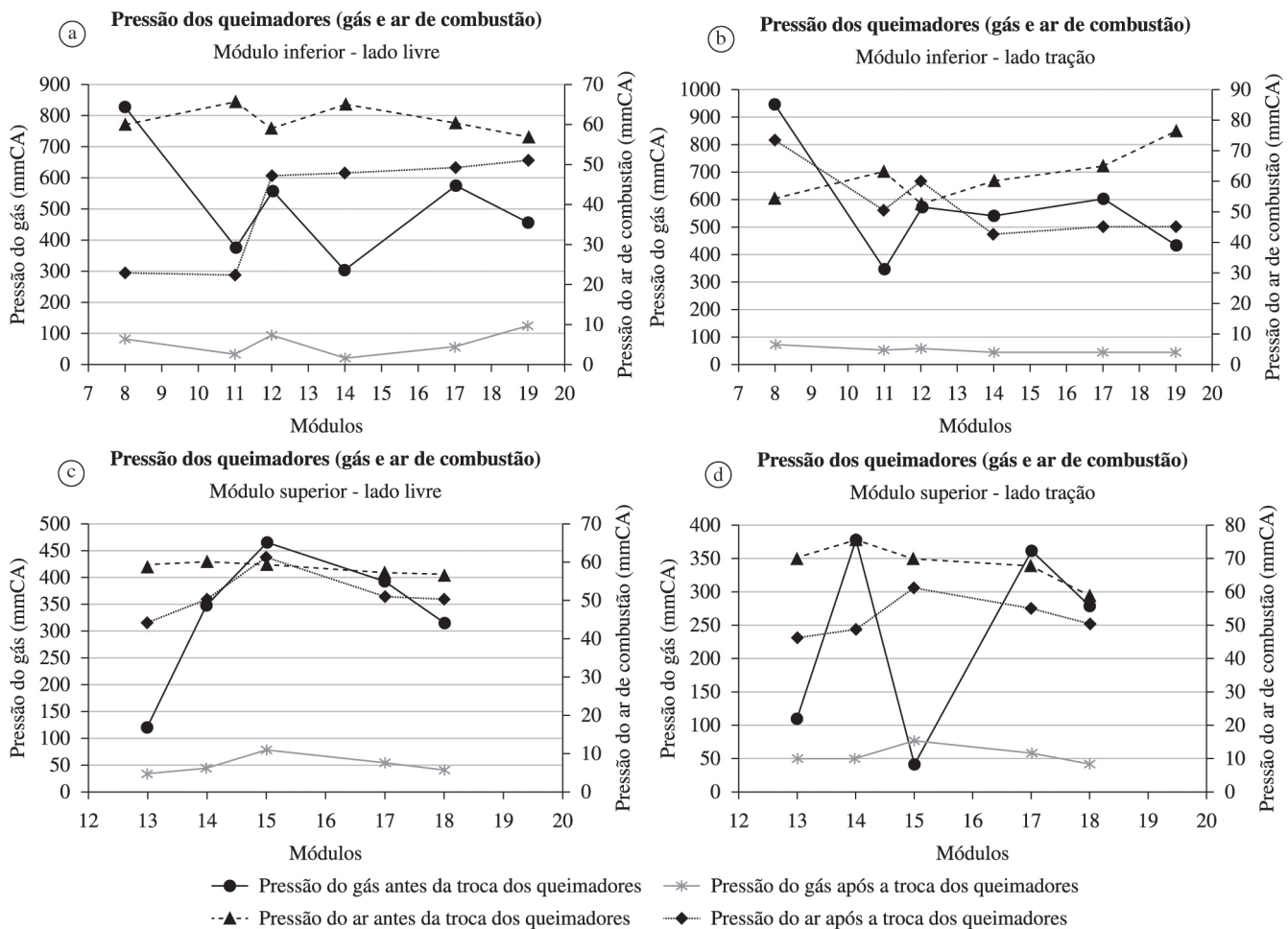
Os dados apresentados referem-se apenas as coletas e comparações das pressões dos queimadores obtidos no momento da medição, não sendo realizado os cálculos estequiométricos e a devida regulagem dos queimadores.

### 3.3. Temperaturas de queima

A temperatura de queima do material é um item importante na avaliação do estudo, pois cada temperatura utilizada em cada zona do forno determina a quantidade de gás e ar de combustão que irá entrar no forno. É importante relatar que as temperaturas se mantiveram as mesmas antes e após da troca dos queimadores.

### 3.4. Temperaturas na saída da chaminé e lateral do forno

A medição da temperatura da saída da chaminé de entrada do forno foi realizada através de um orifício na parede, verificado assim a temperatura interna da chaminé. Antes da troca dos queimadores foi verificada a temperatura de 107 °C e após a troca 113 °C. Já na chaminé de saída (resfriamento), a medição foi feita na parte externa da chaminé, pois a mesma é isolada para reaproveitamento dos gases quentes na secagem das peças antes da esmaltação, não havendo assim orifício para a medição interna. A temperatura foi coletada em um ponto em que não havia este isolamento térmico, diretamente na parede. Antes da troca dos queimadores a temperatura encontrada foi de 123 °C e após a troca 133 °C. Não houve uma variação significativa nas temperaturas antes e após a troca que possa interferir



**Figura 7.** Curva de pressão dos queimadores: a) módulo Inferior – lado livre; b) módulo Inferior – lado tração; c) módulo superior – lado livre; d) módulo superior – lado tração.

**Tabela 2.** Perda de temperatura pelas Laterais do forno antes e após a troca dos queimadores.

Módulos	Antes da troca		Módulos	Após a troca	
	Temperaturas (°C)			Temperaturas (°C)	
	Lado tração	Lado livre		Lado tração	Lado livre
4 a 10	45 a 145	41 a 152	4 a 10	39 a 150	39 a 103
11 a 16	200 a 324	197 a 330	11 a 16	85 a 360	89 a 336
17 a 20	300 a 350	294 a 345	17 a 20	153 a 275	150 a 370
21 a 23	200 a 230	201 a 220	21 a 23	100 a 203	88 a 227

nos resultados. Quanto à perda de calor pelas laterais do forno, os resultados seguem conforme Tabela 2.

As perdas de calor pelas laterais do forno também não houve variações de extrema significância, porém observa-se após a troca do queimadores que em alguns pontos a temperatura esteve mais baixa que antes da troca, apesar da pressão interna ter aumentado as perdas diminuíram. Essa melhora esta relacionada ao isolamento do forno que juntamente com a troca dos queimadores foi revisado alguns pontos críticos. Um melhor isolamento nesta parte do forno principalmente onde a pressão e temperatura são maiores, ou seja, na zona de queima, certamente este procedimento irá contribuir ainda mais para redução do consumo de gás e consequentemente uma contribuição para melhoria da eficiência energética.

#### 4. Considerações Finais

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que houve uma redução significativa no consumo energético de 26,41% através da substituição dos queimadores tradicionais pelo queimador da marca Ancora e as melhorias executadas. O investimento realizado neste trabalho foi recuperado em aproximadamente 180 dias. As análises dos gráficos comparativas dos dados antes e após a troca mostram uma melhora, principalmente no comportamento das pressões dos queimadores (gás combustível e ar de combustão). Mesmo não sendo feito uma relação estequiométrica entre os reagentes, observa-se uma melhor relação se comparado ao queimador anterior. Observou-se também que existe perda de calor pelas laterais do forno, o que pode ser ocasionado por um mau isolamento entre a parede e os rolos. O

trabalho teve como objetivo principal, avaliar a eficiência energética deste novo queimador, que apresentou melhor eficiência com relação ao anterior. Porém essa eficiência energética não vem apenas do queimador, e sim de um conjunto, ou seja, das condições do forno e de trabalho. Estudos futuros, envolvendo a parte de isolamento do forno e uma boa avaliação estequiométrica dos reagentes, certamente comprovará uma eficiência energética muito além dos resultados apresentados neste trabalho.

## Agradecimentos

O grupo agradece ao CNPq, a CAPES e as empresas do sul de Santa Catarina que apoiaram a realização deste trabalho.

## Referências

1. ALVES, H. J.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O levantamento inicial do consumo de energias térmica e elétrica na indústria brasileira de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v.12, n.1-2, p. 1, 2007.
2. EFICIÊNCIA energética na indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2009. Disponível em: <<http://www.cni.org.br/portal/data/files/>>. Acesso em 25 maio 2012.
3. SEHN, J. C. **Desperdício de energia chega a R\$ 15 bilhões**. Disponível em: <<http://www.abee.org.br/index.php?view=article&catid=1:latest-news&id=51:desperdicio-de-energia-chega-a-r-15-bilhoes&format=pdf>>. Acesso em: 25 maio 2012.
4. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço Energético Nacional - BEN 2011. **Resultado final**. EPE, 2011. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2011.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf)>. Acessado em: 25 maio 2012.
5. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES – ANFACER. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br>>. Acesso em: 27 maio 2012.
6. EMPRESA CEARENSE COMERCIALIZA CRÉDITO DE CARBONO NO MERCADO INTERNACIONAL. **Informativo semanal do Sistema Federação das Indústrias do Estado do Ceará**. Fortaleza, ano 10, ed. 484, fev. 2010. Disponível em: <[http://www.fiec.org.br/portalv2/sites/fieconlinev2/home.php?st=exibeConteudo&conteudo\\_id=34582](http://www.fiec.org.br/portalv2/sites/fieconlinev2/home.php?st=exibeConteudo&conteudo_id=34582)>. Acesso em: 15 jun. 2012.
7. SCHUSTER, A. S. Eliane é a primeira cerâmica a entrar no mercado de Carbono. **Revista liderança empresarial**. Disponível em: <[http://www.acicri.com.br/revista\\_detalhes.php?conteudo\\_cod=336](http://www.acicri.com.br/revista_detalhes.php?conteudo_cod=336)>. Acesso em 15 jun. 2012.
8. MATHIAS, M. C.; SZKLOL, A. Lessons learned from Brazilian natural gas industry reform. **Energy Policy**, v. 35, p. 6478-6490, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.08.013>
9. SACMI-IMOLA. Defeitos de revestimentos cerâmicos como uma consequência de regulagem errada do forno. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 1-2, jan./abr. 1997.
10. NASSETI, G. Como Melhorar a Eficiência Energética na Indústria de Revestimentos Cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 15, n. 1, jan./fev. 2010.
11. FERREIRA, C. et al. Otimização Energética de um Forno na Indústria Cerâmica. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 1-2, jan./abr. 2008.
12. ENRIQUE, J. E. et al. Racionalização de energia em fornos de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 1, jan./fev. 2000.
13. BARDINI, C. Considerações sobre a utilização de gás natural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 34., 1990, Blumenau. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 1990. v. 2, p. 410.
14. VAZ, C. E. M.; MAIA, J. L. P.; DOS SANTOS, W. G. **Tecnologia da indústria do Gás Natural**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2008. p. 33-34.