



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL  
CAMPUS MEDIANEIRA

---



MARVIN ALFREDO STRASSBURGER

# **IMPLANTACÃO DE UM CONTROLE AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA EM SECADORES SEMI-CONTÍNUOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA – PR  
2011

MARVIN ALFREDO STRASSBURGER

# **IMPLANTACÃO DE UM CONTROLE AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA EM SECADORES SEMI-CONTÍNUOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito à obtenção do grau de Tecnólogo, no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial promovido pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Medianeira.

Orientador: Prof. M. Sc. Almiro Weiss

MEDIANEIRA-PR

2011



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### Implantação de um controle automático de temperatura em secadores semi- contínuos

Por

**Marvin Alfredo Strassburger**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 16:00h do dia 01 de dezembro de 2011 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado.

---

Prof.M.Sc. Almiro Weiss  
Orientador  
(UTFPR)

---

Prof. Marcos Fischborn  
UTFPR – Campus Medianeira  
(UTFPR)

---

Prof. Amauri Massochin  
UTFPR – Campus Medianeira  
(UTFPR)

**A Folha de Aprovação assinada encontra-se na coordenação do  
Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial.**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, pelo apoio e compreensão.

Ao Professor Almiro, pela orientação.

A Universidade, pelo espaço e oportunidade.

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso explana sobre a implantação de um sistema de controle automático de temperatura para aumentar a eficiência de secadores semi-contínuos utilizando um sistema automático de acionamento de abertura e fechamento de dampers com a principal função de controlar a vazão e a mistura de ar quente (proveniente dos fornos) para uma melhor estabilização da temperatura.

**Palavras-chave:** Damper. Acionamento elétrico de dampers. Sistema automático de controle de temperatura.

## **ABSTRACT**

This conclusion of course work explains about deploying system of automatic temperature control to increase the efficiency of dryers semi-automatic system using a continuous drive of the opening and closing dampers in the main function of the flow controller and air mixture hot (from the ovens) for improved temperature stabilization.

**Keywords:** Damper. Electric drive dampers. Automatic temperature control.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Fases da secagem: Curva de secagem e diagrama de Scherwood. Brosnan e Robinson (2003)..... | 15 |
| Figura 2 – Exaustor para transferência de calor.....  | 16 |
| Figura 3 – Canal de concreto .....  | 17 |
| Figura 4 – Ajuste manual.....   | 18 |
| Figura 5 – Damper na entrada do secador.....  | 18 |
| Figura 6 – Identificação dos dampers .....  | 20 |
| Figura 7 – Novo sistema .....   | 21 |
| Figura 8 – Manivela de ajuste .....   | 22 |
| Figura 9 – Sistema com ajuste elétrico .....  | 23 |
| Figura 10 – Posição de funcionamento do sistema.....  | 24 |
| Figura 11 – Conjunto montado .....  | 25 |
| Figura 12 – Pintura da estrutura.....   | 26 |
| Figura 13 – Componentes.....  | 26 |
| Figura 14 – Braço mecânico de ajuste .....  | 26 |
| Figura 15 – Peça .....  | 27 |
| Figura 16 – Bucha de acoplamento.....   | 27 |
| Figura 17 – Apoio da rosca sem fim.....   | 28 |
| Figura 18 – Quadro de comando.....  | 28 |
| Figura 19 – Damper .....  | 29 |
| Figura 20 – Manivela.....   | 29 |
| Figura 21 – Indicador com aviso luminoso e sonoro .....   | 30 |
| Figura 22 – Indicador e controlador digital de temperatura .....                                      | 31 |

## SUMÁRIO

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1</b>  | <b>INTRODUÇÃO</b>                                      | <b>9</b>  |
| <b>2</b>  | <b>JUSTIFICATIVA</b>                                   | <b>11</b> |
| <b>3</b>  | <b>FUNDAMENTAÇÃO</b>                                   | <b>12</b> |
| <b>4</b>  | <b>FASES DA SECAGEM</b>                                | <b>13</b> |
| 4.1       | FORMAÇÃO DE MICROS CAPILARES                           | 15        |
| <b>5</b>  | <b>SISTEMA DE SECAGEM DE TELHAS</b>                    | <b>16</b> |
| 5.1       | PROCESSO DE SECAGEM                                    | 16        |
| <b>6</b>  | <b>SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA</b>              | <b>20</b> |
| 6.1       | ANTIGO SISTEMA   | 20        |
| 6.2       | NOVO SISTEMA   | 20        |
| <b>7</b>  | <b>ACIONAMENTO DOS DAMPERS</b>                         | <b>22</b> |
| 7.1       | MANUAL COM MANIVELA                                    | 22        |
| 7.2       | AUTOMÁTICO COM MOTOR ELÉTRICO                          | 23        |
| <b>8</b>  | <b>IMPLANTAÇÃO DO NOVO SISTEMA</b>                     | <b>24</b> |
| 8.1       | MONTAGEM   | 24        |
| 8.2       | TESTES   | 24        |
| 8.3       | ACIONAMENTO  | 25        |
| 8.4       | ESTRUTURA  | 25        |
| 8.5       | MECANISMO  | 27        |
| 8.6       | QUADRO DE COMANDO                                      | 28        |
| 8.7       | RETIRADA DO SISTEMA DE AJUSTE MANUAL                   | 29        |
| <b>9</b>  | <b>INDICADOR DE TEMPERATURA</b>                        | <b>30</b> |
| 9.1       | INDICADOR  | 30        |
| 9.2       | INDICADOR E CONTROLADOR DE TEMPERATURA DO SISTEMA NOVO | 30        |
| <b>10</b> | <b>RESULTADOS</b>                                      | <b>32</b> |
| <b>11</b> | <b>RECURSOS</b>  | <b>33</b> |
| 11.1      | RECURSOS HUMANOS                                       | 33        |
| 11.2      | RECURSOS MATERIAIS                                     | 33        |
| <b>12</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                            | <b>34</b> |
| <b>13</b> | <b>REFERÊNCIAS</b>                                     | <b>35</b> |



# 1 INTRODUÇÃO

A secagem é uma etapa bastante delicada e complexa no processo de fabricação de cerâmica vermelha. É comum nesta etapa ocorrerem defeitos de secagem nas peças e que são perceptíveis somente após a queima. A compreensão dos mecanismos envolvidos na secagem permite, por exemplo, uma melhor compreensão dos defeitos e da forma como evitá-los.

O objetivo da secagem é o de eliminar a água, utilizada na etapa de conformação, necessária para a obtenção de uma massa plástica. A eliminação de água ocorre por evaporação através do aporte de calor, efetuado mediante uma corrente de ar.

Sabe-se que quando se mistura uma argila com certa quantidade de água, obtém-se uma massa coesiva que pode ser moldada com facilidade. Esta propriedade é característica dos minerais argilosos e denomina-se plasticidade.

Por sua vez, esta água, denominada de água de conformação, pode ser dividida em dois tipos: o primeiro tipo é denominado de água intersticial. O segundo tipo é denominado de água livre ou água de plasticidade. A água intersticial está relacionada com a água necessária para preencher os poros das partículas. Já a água de plasticidade localiza-se entre as partículas argilosas, separando-as e facilitando a trabalhabilidade no processo de conformação.

É este último tipo de água que é responsável pela retração das peças. A retração que as peças de cerâmica vermelha sofrem durante a etapa de secagem é um parâmetro de grande importância tecnológica. Durante a secagem são geradas tensões que podem levar ao aparecimento de defeitos que comprometem a qualidade das peças.

O secador semi-contínuo realiza o princípio do trabalho 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, percorrida em toda a extensão por trilhos, deslocando-se lentamente de uma extremidade a 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 inicialmente ar quente e rico em umidade, o qual, a medida que as vagonetas avançam, torna-se mais quente e seco e portanto em condições de receber quantidades sempre maiores de calor.

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

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 a umidade do produto que entra.

O secador 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. Nesta 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 a formação de micro capilares mais rápida será a secagem.

**Zona neutra:** Localizada no meio do secador, neste período a peça cerâmica sofre um pequena retração até a entrada da zona seca.

**Zona seca:** Localizada do meio até o final do secador, onde a porcentagem de umidade cai drasticamente em até 2%.

## 2 JUSTIFICATIVA

Durante o processo de secagem, sem o devido controle, elevados gradientes de umidade e temperatura no interior do sólido podem causar defeitos irreversíveis no mesmo, como aparecimento de trincas, deformações e empenamentos. Isto gera perda da qualidade do produto final, ou sua perda total, diminuindo a produtividade do processo e aumentando custos operacionais. Neste contexto, é fundamental conhecer o mecanismo do movimento de umidade e, os efeitos da secagem e o seu controle, uma vez que estes alteram as propriedades físicas e químicas do produto, e tais alterações afetam sensivelmente o processo de transferência de calor e massa.

No processo de secagem, as peças com excesso de umidade residual da secagem, quando colocadas nos fornos, perdem rapidamente água, podendo desenvolver trincas superficiais.

Quando a peça seca primeiramente na superfície, vedando os poros, desta maneira a água, não encontrando saída através da peça, produz trincas, rachaduras ou estouros pós-pressão interna de vapor de água.

Os exaustores-ventiladores de calor são os injetores de calor no secador semi-contínuo. O damper de dosagem controla a mistura de ar proveniente dos fornos mais o ar frio do ambiente num valor por volta de 60°C, conforme seja requerido para atingir menos de 1,5% de umidade residual na peça cerâmica. Misturar o ar do forno e ar do ambiente de modo a manter constantes as temperaturas de referência dentro do secador semi-contínuo, permite reaproveitar melhor o calor recuperado durante a queima ou no resfriamento dos fornos.

Para a Cerâmica Havai que trabalha com calor proveniente dos fornos, os custos de secagem estão envolvidos dentro da conta de combustível dos fornos. Como sobra calor dos fornos, o reaproveitamento se traduz em economia durante a secagem do material cerâmico.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO

A fabricação das peças cerâmicas compreende diversas fases: exploração das jazidas, o tratamento prévio das matérias-primas, a homogeneização, secagem e a queima. Para obter um produto cerâmico, líquidos são usados para umidificar as partículas cerâmicas e gerar um meio viscoso entre elas, que aumenta a consistência da mistura permitindo moldar o produto com certa forma. Na fabricação de tijolos e telhas, água é adicionada a argila antes da conformação até que um teor de umidade de 20-40% (base seca) seja obtido. Após a conformação, o produto deve ser secado e posteriormente ser submetido a um novo processamento e/ou queima. Durante o processo de secagem de um material cerâmico, a água contida no mesmo migra para a atmosfera exterior, enquanto que o calor, proveniente do ar de secagem, penetra do exterior para o interior do material, onde a temperatura é menor. Como a camada exterior do material cerâmico seca mais rápido do que o seu interior (uma vez que está em contato direto com o ar de secagem), essa camada se contrai primeiro.

## 4 FASES DA SECAGEM

De um espelho de água livre que mantenha a sua extensão superficial em contato com um fluxo de ar a temperatura e umidade relativa constantes, evaporam quantidades iguais de líquido, em períodos iguais de tempo. O mesmo fenômeno se manifesta na superfície de uma peça extrudada a úmido, enquanto que esta resulte molhada, mas os limites e o desenvolvimento do fenômeno são diferentes.

Se a evaporação ocorre muito lentamente, uma vez atingido um determinado teor de umidade (umidade crítica), se interrompe o fluxo de líquido do interior para a superfície, e cessa aí o regime constante de evaporação.

Se a evaporação superficial é acelerada além de certo limite, o fluxo de líquido para a superfície se interrompe, e o chamado teor de umidade crítica a menta. Termina, então, o período de evaporação constante das camadas superficiais.

O teor de umidade crítica (ou ponto crítico) é o ponto a partir do qual o regime de evaporação decresce e as quantidades evaporadas se reduzem no tempo. Se o fenômeno ocorre com regularidade e sobre produtos de pequena espessura, a retração conseqüente à perda de água se efetua somente durante a primeira fase de secagem. Na primeira fase da secagem, o transporte interno de água ocorre graças a forças capilares. Se essas forças não forem mais suficientes para garantir o fluxo de massa de água do interior da peça verde (úmida) à sua superfície, a frente de evaporação desloca-se para o interior da peça. Neste momento, a segunda fase da secagem inicia-se – esta fase não é correspondente com a segunda fase de retração. Então a velocidade de secagem sofre uma queda progressiva. Na terceira fase de secagem, a peça verde apresenta um comportamento higroscópico. O produto em secagem alcança um equilíbrio do conteúdo de umidade correspondendo às condições climáticas externas.

A primeira fase de secagem é de grande importância. Mais de 60 % da umidade do produto é liberada nesta fase. Nesse período ocorre também retração, processo de grande interferência na qualidade da peça. As rachaduras não são causadas pela retração em si, mas graças às diferenças de retração. Em algumas ocasiões as trincas são causadas mais por baixa resistência mecânica do que por pequenas contrações.

Supondo-se que a secagem efetua-se em condições exteriores constantes (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar), ela pode ser definida como mostra o gráfico da figura 1.

Em 1921, Bigot definiu que a secagem ocorre em três fases, após um período de indução (A), que é o período de adaptação do produto com as condições nas quais se efetuará a secagem:

1ª Fase (A-B): Diminuição de volume proporcional à água eliminada. A velocidade de secagem é constante. Nesta fase a resistência de convecção controla o processo.

Ocorrem variações sensíveis nas dimensões da peça, devido à aproximação dos grãos, pela saída da água coloidal. Nesta fase da secagem, a água migra até a superfície da peça, formando uma película e daí, é evaporada. Este período é dito constante porque, à medida que a água evapora, esta é repostada pela difusão do interior da peça. A velocidade com que a água de superfície do sólido é eliminada, é igual à velocidade em que chega do interior do mesmo. Desta maneira a superfície do material mantém-se com umidade constante. A temperatura na interface é constante e o calor que chega é consumido integralmente para evaporar o líquido. Assim a velocidade de secagem é determinada pela velocidade de evaporação. O período de velocidade constante termina quando se atinge o ponto crítico, isto é, quando a peça começa a mudar de cor pelo desaparecimento do filme de água.

2ª Fase (B-C): Esta fase é de pouca duração; ocorre o desaparecimento do filme de água na superfície da peça, que muda de cor. Neste período da secagem, a quantidade de água que se desloca por capilaridade ou por difusão para a interface é cada vez menor em consequência da formação de vazios no interior da peça. A água evaporada decresce gradativamente, correspondendo a uma contração não proporcional.

3ª Fase (C-D): Extinção da diminuição de volume e os poros manifestados são proporcionais à água eliminada. Está caracterizada pela expulsão das últimas quantidades de umidade, de origem intersticial. A velocidade de secagem diminui até valores próximos de zero. Esta fase é controlada pela permeabilidade. A última fase da

secagem nem sempre é alcançada nos secadores, sendo muitas vezes executada nos fornos de queima.

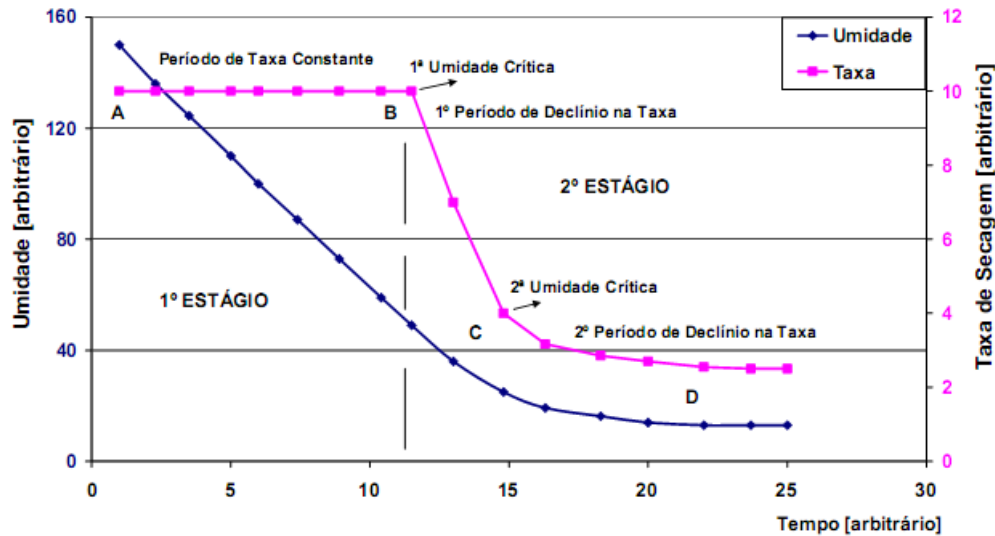


Figura 1 – Fases da secagem: Curva de secagem e diagrama de Scherwood. Brosnan e Robinson (2003).

#### 4.1 FORMAÇÃO DE MICROS CAPILARES

A retirada da água de dentro de uma peça só ocorre quando a densidade e a viscosidade da mesma abaixam e a gotícula de água existente dentro da mesma, passa a ter a mesma temperatura de ambiente externo, formando micros capilares no interior da peça. 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 preparar a peça para a secagem, mais rápida será a retirada de água.

## 5 SISTEMA DE SECAGEM DE TELHAS

### 5.1 PROCESSO DE SECAGEM

O sistema de secagem aproveita o calor recuperado dos fornos através da utilização do calor de resfriamento do forno para aquecer o forno com telhas secas (destino que num sistema convencional seria perdido).

A Cerâmica Havaí possui um exaustor no sentido horizontal, conforme figura 2, para ser efetuada a transferência de calor entre os fornos.

A utilização do exaustor juntamente com dois dampers ajusta a temperatura automaticamente utilizando um CLP (controlador lógico programável) para controlar os motores elétricos que se ajustam conforme a rampa de aquecimento pré-determinada pelo software de monitoramento.



**Figura 2 – Exaustor para transferência de calor**

**Fonte: O Autor**

Após ligar o exaustor, os dampers atuam de maneira independente conforme parâmetros definidos pelo gerente da empresa. Após percorrer todo forno em aquecimento, o calor excedente percorre canais de concreto, conforme figura 3, situados em frente aos fornos até chegar na entrada dos secadores semi-contínuos.





**Figura 3 – Canal de concreto**

**Fonte: O Autor**

Durante a transferência de calor, o calor retirado do forno queimado, passa por dampers e exaustores onde é realizado o ajuste manualmente da temperatura conforme a faixa de operação do sistema que é entre 57°C e 63°C. No início da queima, o forno inicia-se em 200°C (final da transferência) e aumentando gradativamente 50°C/hora até atingir 820°C, como o processo de queima dos fornos aumenta a quantidade de calor recuperado dos fornos para a entrada do secador, os fornos intermitentes permitem alimentar os secadores com calor recuperado. Este ar quente dos fornos é aspirado por um exaustor-ventilador e expedido para os secadores através de canal apropriado.

Como o sistema antigo era realizado manualmente, conforme a figura 4, através do operador que efetuava o ajuste a cada hora para não ocorrer perdas durante a secagem (trincas pelo excesso de calor acima de 63°C) e no término do processo de queima do forno (diminuição de temperatura provoca redução na eficiência do secador).

Na medida em que a peça percorre o sentido longitudinal do secador, vai sendo submetida a um aumento gradual e lento de temperatura e de redução de umidade, de modo que a umidade evolua da ordem de 20% para 1,5% do material e a temperatura do secador de 38°C para 60°C. Para tanto é preciso que tenha o monitoramento e controle desses parâmetros, de modo a ajustá-los à curva ideal de secagem.



**Figura 4 – Ajuste manual**

**Fonte: O Autor**

No sistema de ajuste de temperatura dos secadores semi-contínuos, o ajuste era realizado através de dois dampers, um damper ajustava a quantidade de ar frio que seria misturado com o ar quente dos fornos. E o segundo permitia o ajuste da vazão do exaustor conforme figura 5.



**Figura 5 – Damper na entrada do secador**

**Fonte: O Autor**

O responsável pelo ajuste de temperatura realiza a tarefa no início da queima (após a transferência), depois de algumas horas de queima do forno, onde a

temperatura obedece à taxa de aquecimento °C/hora e principalmente no final da queima, onde nesta etapa o secador diminui significativamente a quantidade de calor na entrada do secador.

Durante os finais de semana, as temperaturas dos secadores semi-contínuos diminuía pelo fato de utilizar pouco calor dos fornos, pois os mesmos se encontram queimados e somente um efetuando o processo de transferência de calor e que neste período não possui monitoramento do operador.

Quando a recuperação de calor de resfriamento ou dos gases de exaustão do forno possui um bom nível de eficiência térmica, é possível transferir mais de 50% da demanda de calor do secador.

Buscando melhorar o sistema e eficiência térmica dos secadores, partimos para o desafio de desenvolver um sistema de controle automático de temperatura através da abertura e fechamento dos dampers motorizados e ajustados sem a presença do operador. As seguir será apresentado o sistema de controle de temperatura implantado na empresa Cerâmica Havaí Ltda.

## 6 SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA

### 6.1 ANTIGO SISTEMA

O sistema de controle de temperatura nos secadores semi-contínuos da Cerâmica Havai, funcionavam através de dois dampers, onde o damper 1 (um) realiza o controle da vazão no exaustor do secador no sentido vertical, e o damper 2 (dois) no sentido angular, conforme figura 6, para regular a entrada de ar frio que se mistura com o ar quente (reaproveitamento do calor dos fornos), para a estabilização da temperatura, nesse caso envolve a presença e atenção do operador.

Utilizava uma manivela para o ajuste nos dampers, para que não tivesse excesso de calor nos secadores (alta temperatura) ocasionando perdas durante a secagem.

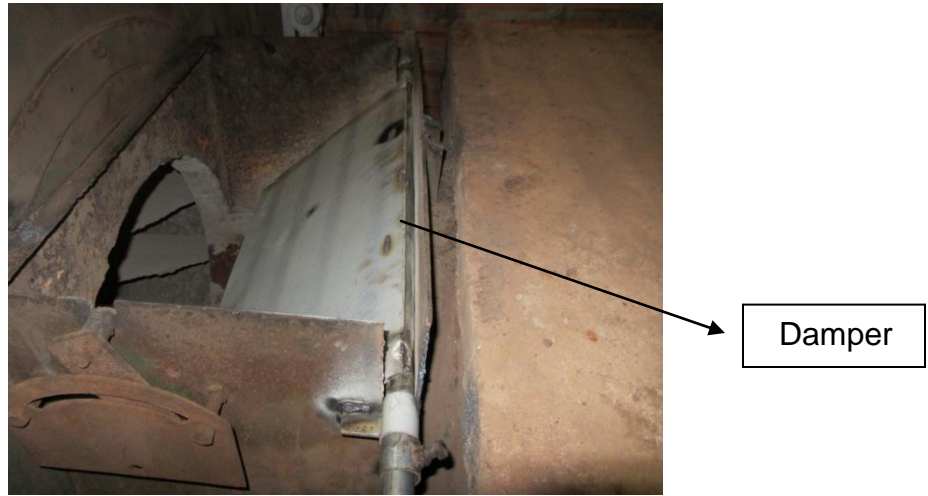


**Figura 6 – Identificação dos dampers**

**Fonte: O Autor**

### 6.2 NOVO SISTEMA

A construção do damper foi estudada, a fim de realizar o ajuste através de um único damper, para abertura e fechamento de entrada de ar frio na entrada do secador e conseqüentemente a vazão do mesmo, conforme figura 7.



**Figura 7 – Novo sistema**

**Fonte: O Autor**

## 7 ACIONAMENTO DOS DAMPERS

### 7.1 MANUAL COM MANIVELA

O sistema contava com uma manivela para regulagem da temperatura na qual gira uma rosca sem-fim e ajusta a vazão do exaustor e também a mistura do ar do forno e ar do ambiente de modo a manter constantes as temperaturas na entrada dos secadores semi-contínuos, conforme figura 8. O operador necessitava aguardar a estabilização da temperatura em torno de 2 min.



**Figura 8 – Manivela de ajuste**

Fonte: O Autor

## 7.2 AUTOMÁTICO COM MOTOR ELÉTRICO

O acionamento automático é realizado através de um controlador fabricado pela empresa Flyever Indústria de Componentes Eletrônicos. Utiliza aparelhos eletrônicos que irão realizar o ajuste da temperatura através de um motor elétrico que faz girar uma rosca sem-fim e ajusta somente um damper para abertura e fechamento de entrada de ar frio na entrada do secador e conseqüentemente a vazão do mesmo conforme a figura 9. Caso o controlador encontre algum problema de mau funcionamento, o sistema possui, através de uma chave seletora, a opção de ajuste manual ou automático.



**Figura 9 – Sistema com ajuste elétrico**

**Fonte: O Autor**

## 8 IMPLANTAÇÃO DO NOVO SISTEMA

### 8.1 MONTAGEM

Durante o período de montagem do sistema encontramos dificuldades em relação à atuação do mecanismo, ângulo de ajuste e também em relação ao posicionamento dos fins de curso responsáveis pela parada do motor na abertura e no fechamento total do damper.

### 8.2 TESTES

Nos testes busca-se uma maneira de simular a real situação encontrada na entrada do secador; colocamos o sistema na mesma posição que iria funcionar, conforme a figura 10. Utilizamos um fogareiro e um termopar para realizar os testes para estabelecer o *set point* do controlador. Quando o termopar foi perto da chama do fogareiro para ver qual seria a reação do controlador, realizou o acionamento de abertura do damper, indicando que a temperatura estava alta. Com o afastamento do termopar o mesmo realizou o acionamento de fechamento do damper, o que permitiu uma situação idêntica ao qual ira trabalhar. Somente depois da implantação do sistema os parâmetros serão identificados como tempo acionado e tempo parado para estabilizar a temperatura do secador semi-contínuo.

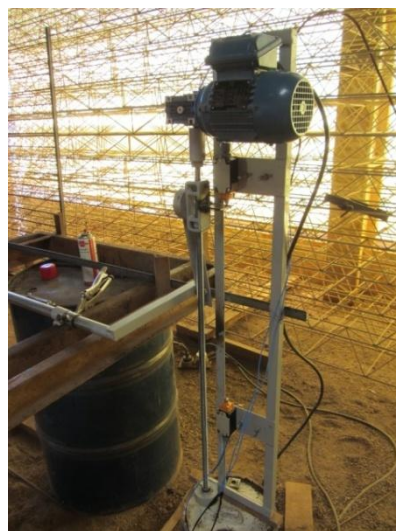


Figura 10 – Posição de funcionamento do sistema

Fonte: O Autor



### 8.3 ACIONAMENTO

O acionamento é através de um motor elétrico que realiza o movimento de giro de uma rosca sem-fim, durante o movimento, um braço mecânico se desloca no sentido vertical até chegar ao fim de curso e quando o damper estiver totalmente aberto ou fechado o motor se desliga automaticamente. Na figura 11, podemos observar o conjunto montado com todos os componentes do sistema, pronto para ser colocado no local de ajuste do damper. Utiliza-se um motor elétrico juntamente com um redutor acoplado, rosca, buchas de fixação, cano galvanizado, chapa, buchas com parafuso para fixação do conjunto.



**Figura 11 – Conjunto montado**

**Fonte: O Autor**

### 8.4 ESTRUTURA

Utiliza-se na estrutura cano galvanizado para evitar a corrosão do material devido aos gases de queima provenientes do combustível de queima. As figuras 12, 13 e 14 mostram a preparação dos demais componentes.



**Figura 12 – Pintura da estrutura**

**Fonte: O Autor**



**Figura 13 – Componentes**

**Fonte: O Autor**



**Figura 14 – Braço mecânico de ajuste**

**Fonte: O Autor**

## 8.5 MECANISMO

Foi desenvolvido um mecanismo especialmente projetado para a situação, figura 15, onde o sistema dificilmente irá parar de funcionar, pois os dispositivos e técnicas adotadas garantem que não ocorra defeito na rosca no momento do ajuste do damper. Na bucha de acoplamento da rosca, a fixação é através de parafusos, figura 16, que tem como objetivo segurar a rosca sem-fim no eixo do redutor. O apoio da rosca sem-fim foi fabricado com rolamentos em vez de buchas, figura 17.



**Figura 15 – Peça**

Fonte: O Autor



**Figura 16 – Bucha de acoplamento**

Fonte: O Autor



**Figura 17 – Apoio da rosca sem fim**

**Fonte: O Autor**

## 8.6 QUADRO DE COMANDO

A montagem do quadro de comando para acionamento dos motores elétricos foi realizado a fim de realizar o ajuste dos dampers nos secadores semi-contínuos, no qual estão dispostos disjuntores gerais, contadoras, relés, figura 18.



**Figura 18 – Quadro de comando**

**Fonte: O Autor**

## 8.7 RETIRADA DO SISTEMA DE AJUSTE MANUAL

Utilizamos um maçarico para a remoção do damper de ajuste manual, no detalhe a manivela que ajustava os dampers, figuras 19 e 20.



**Figura 19 – Damper**

**Fonte: O Autor**



**Figura 20 – Manivela**

**Fonte: O Autor**

## 9 INDICADOR DE TEMPERATURA

### 9.1 INDICADOR

Composto de um indicador digital de temperatura fabricado pela Alutal, figura 21, o quadro possuía um indicador luminoso que no caso de excesso de temperatura permanecia aceso, e um indicador sonoro no caso de alta temperatura muito acima do *set point*.

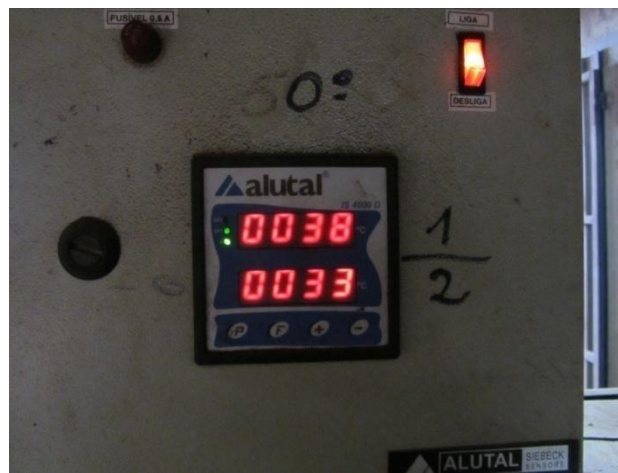


Figura 21 – Indicador com aviso luminoso e sonoro

Fonte: O Autor

### 9.2 INDICADOR E CONTROLADOR DE TEMPERATURA DO SISTEMA

#### NOVO

Composto de um quadro de comando, o sistema automático de controle de temperatura, possui indicador e controlador, para os dois motores elétricos, figura 22.

O controlador verifica se há a necessidade de ajuste de temperatura e aciona o comando de abertura ou o fechamento motorizado do damper e depois de realizado o ajuste o controlador aguarda a resposta da temperatura na entrada do secador, caso a temperatura nem esteja no *set point* programado o motor volta a ser acionado até

atingir a temperatura desejada. O controlador possui parâmetros essenciais para um bom funcionamento do sistema:

- SP – temperatura que deve ficar o ar do exaustor (*Set Point*)
- tOLE – Ajuste da histerese ex.: SP=100, toLE=005 o relé RL2 liga (fecha o damper), com 95 e desliga com 100 e o RL1 liga (Abre o damper) com 105.
- tbAt – Ajuste do tempo que o relé fica ligado(RL1 ou RL2);
- tEbA – Ajuste do tempo para verificar a temperatura antes de ligar ou desligar os relés.

Este controlador possui características essenciais para um perfeito ajuste do tempo de resposta que uma vez acionado irá permitir um aumento ou diminuição da temperatura.

O acompanhamento do mecanismo de controle automático de temperatura é realizado através de um software de monitoramento, no qual são registrados os gráficos das temperaturas do secador, verificando se o sistema esta atuando corretamente.



**Figura 22 – Indicador e controlador digital de temperatura**

**Fonte: O Autor**

## 10 RESULTADOS

Comparando com o sistema antigo, o controle automático de temperatura dos secadores semi-contínuos permitiu uma melhoria significativa na eficiência do secador, com a diminuição de umidade após a secagem da telha cerâmica, que através do novo sistema, obteve resultados de redução de 2,5% de umidade do material para 1,5% do material seco o que possibilita um maior aproveitamento do calor recuperado do forno.

No controle de temperatura dos secadores semi-contínuos, a empresa conseguiu atingir níveis de perdas durante a secagem considerada satisfatória para a indústria cerâmica, com valores abaixo de 0,5% de perdas durante a secagem e queima, perdas que antes oscilavam até 3%, principalmente no aparecimento de trincas, deformações e empenamentos, gerando perda da qualidade do produto final, ou sua perda total, diminuindo a produtividade do processo e aumentando custos operacionais.



## 11 RECURSOS

### 11.1 RECURSOS HUMANOS

|                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| Custo de pesquisa, tempo utilizado. | Valor: R\$ 500,00. |
|-------------------------------------|--------------------|

### 11.2 RECURSOS MATERIAIS

- Motores elétricos
- Painel de acionamento dos motores
- Controlador de abertura e fechamento dos dampers
- Componentes elétricos diversos
- Construção do damper

Valor: R\$ 4.000,00.

## **12 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O protótipo proposto e desenvolvido se mostrou eficiente, atendendo perfeitamente a sua principal função. A implantação se mostrou satisfatória e obteve uma melhora significativa nos resultados de perdas na secagem e uma melhor estabilização da temperatura nos secadores semi-contínuos.

Devido a sua construção, o damper instalado permitiu um controle na vazão e na mistura de ar quente proveniente de fornos da empresa Cerâmica Havai Ltda., obtendo uma mistura mais homogênea do ar quente e ar frio para que não atingisse seu ponto crítico que seria uma temperatura acima de 63°C.

### 13 REFERÊNCIAS

[http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v08n02/v8n2\\_4.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v08n02/v8n2_4.pdf), acesso em 21 de julho de 2011.

<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10682/>, acesso em 28 de julho de 2011.

[http://www.emc.ufsc.br/labtermo/siteLabCET/Dissertacao\\_Willian.pdf](http://www.emc.ufsc.br/labtermo/siteLabCET/Dissertacao_Willian.pdf), acesso em 25 de julho de 2011.

ALVES DE OLIVEIRA, Amando. **Tecnologia em Cerâmica**. Florianópolis, Editora Nova Letra, p. 123-124. 2011.

ALVES DE OLIVEIRA, Amando. **Tecnologia em Cerâmica**. Florianópolis, Editora Nova Letra, p. 108-111. 2011