

## Implementação de Servomotores no Controle de Válvulas de Gás para Queimadores de Fornos a Rolos em Indústrias Cerâmicas

Vilson Menegon Bristot<sup>a\*</sup>, Leopoldo Pedro Guimarães Filho<sup>a</sup>, Patrícia Pereira Pacheco<sup>a</sup>,  
Tiago Bonnetti Natal<sup>b</sup>, Dimas Ailton Rocha<sup>c</sup>, Vilmar Menegon Bristot<sup>d</sup>

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

<sup>b</sup> Faculdade SATC, Criciúma, SC, Brasil

<sup>c</sup> Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE, Orleans, SC, Brasil

<sup>d</sup> Instituto Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil

\*e-mail: [vilson.bristot@gmail.com](mailto:vilson.bristot@gmail.com)

### Resumo

Este artigo tem como objetivo contribuir para a melhoria do processo de produção por meio da redução na quebra de placas de revestimentos cerâmicos, consumo de gás e questões ergonômicas. Após uma breve introdução ao processo de produção de cerâmica, o estudo apresenta a implementação de servomotores para um novo sistema de controle de fluxo de gás para fornos a rolos em indústrias cerâmicas, com a intenção de eliminar as intervenções decorrentes do atual sistema de controle, o qual utiliza válvulas solenoides. Os resultados obtidos demonstram que o novo sistema de controle reduz os custos com perdas de placas e com o consumo de gás, gerando, conseqüentemente, maiores lucros para a empresa.

**Palavras-chave:** servomotor, gás, controle.

## 1. Introdução

As indústrias cerâmicas cada vez mais conquistam espaço no meio tecnológico, substituindo a força humana que compunha, em larga escala, a mão de obra direta nos diversos setores da indústria. Tais tecnologias mostram-se de vital importância, principalmente na execução de trabalhos nocivos à saúde humana, sendo também mais ágeis, precisas e eficientes.

Os custos iniciais com a aquisição e preparação de um ambiente apto para a utilização de novas técnicas industriais é relativamente alto, principalmente levando-se em consideração a necessidade de treinamento e a interação humano-máquina. Independentemente da automação de um setor específico, e apesar de serem extremamente rápidas e precisas, essas máquinas ainda são diretamente dependentes de seus programadores e mecânicos.

A robótica visa a construção de componentes capazes de simular a movimentação humana para aplicações em determinados meios, sendo a articulação um dos fatores mais importantes na concepção robótica industrial. São estas articulações as responsáveis pelo número de movimentos que o robô pode fazer; quanto mais movimentos, maior sua aplicação e, proporcionalmente, seu custo.

Nos processos de produção das placas de revestimentos cerâmicos, a parada por quebra do maquinário pode acarretar perdas significativas de produção, devido ao tempo de manutenção para efetuar os devidos reparos, principalmente quando são empregadas válvulas acionadas por solenoides, as quais tornam imprevisível o processo de queima, prejudicam o material e levam a um maior consumo de gás. O problema ocasionado pelo emprego deste tipo de válvula é que, durante as paradas, os

fornos permanecem com espaços vazios, ou seja, sem placas cerâmicas. Neste caso, a temperatura alterna-se, ocasionando variações indesejadas e dificultando que, no reinício da produção, a temperatura se estabilize, obrigando o operador de forno a ajustar manualmente os registros de gás, até que a situação se normalize.

Como as novas tecnologias estão, a cada dia, sendo mais utilizadas pelas indústrias em seus fornos, acredita-se que a substituição de válvulas solenoides por servomotores poderia melhorar a qualidade do produto final e economizar o consumo de gás natural. Além disso, a manutenção de uma elaboração de controle é fundamental para reduzir o investimento e possibilitar uma rápida habituação dos operadores.

Deste modo, o presente trabalho visa contribuir para a melhoria do processo de produção por meio da instalação do servomotor em fornos a rolos, procurando, primeiramente, reduzir a quebra de placas de revestimentos cerâmicos, através do controlador proporcional-integral-derivativo (PID), e, em momento posterior, constatar se a aplicação do servomotor irá reduzir consideravelmente o consumo de gás, gerando lucros satisfatórios.

## 2. Fundamentação Teórica

Para o embasamento teórico desta pesquisa, o presente capítulo descreve conceitos de manutenção, algumas características do processo de produção cerâmica e os equipamentos necessários a um sistema de controle de gás que aproveite os benefícios de uma nova tecnologia.

## 2.1. Conceitos de manutenção

Manutenção pode ser entendida como o conjunto de “[...] medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação ou, ainda, como os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”<sup>1</sup>.

Formalmente, a manutenção é tratada como a combinação de valores técnicos e administrativas. Incluindo as de superintendência, destinadas a preservar ou repor um item em uma circunstância no qual possa exercer uma função exigida. Ou seja, preservar significa efetuar tudo que for necessário para confirmar que um equipamento continue a satisfazer as funções para as quais foi preparado, num grau de funcionamento exigido<sup>1</sup>.

Os principais tipos de manutenção utilizados em indústria são: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

A manutenção corretiva é aquela que providência o reparo depois de a falha acontecer, podendo ser definida como “[...] atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado”<sup>2</sup>. Sua finalidade é “[...] recolocar um componente ou equipamento em condição de executar sua função requerida, ou seja, a função para a qual foi projetado e instalado”<sup>3</sup>.

Já a manutenção preventiva é aquela que deve seguir um cronograma feito em intervalo de tempo, de acordo com as necessidades, sendo considerado o tipo de manutenção mais importante, pois envolve algumas tarefas sistemáticas, tais como as inspeções, reformas e trocas de peças, principalmente<sup>1</sup>. “Manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho [...] baseado em intervalos definidos de tempo”<sup>2</sup>.

A manutenção preditiva, por sua vez, é o tipo de manutenção pela qual, através de dados obtidos após a substituição de peças e componentes, busca-se aumentar o tempo do intervalo de manutenção e determinar quando o equipamento está próximo de seu limite de vida útil. “Manutenção preditiva é a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática”<sup>2</sup>.

## 2.2. Processo cerâmico

Na indústria cerâmica, assim como em outros segmentos, existe um processo a ser seguido.

O fluxograma (Figura 1) expressa, de forma simples, as principais etapas da produção de placas de revestimento cerâmico<sup>3</sup>.

O processo cerâmico tem início com a preparação da massa, realizando uma mistura homogênea de matéria-prima, neste caso, a argila, com a intenção de alcançar propriedades de granulometria e umidade necessárias à obtenção das características ideais de utilização. Este processo pode ser feito de duas formas diferentes: preparação de massa via seca ou via úmida<sup>3</sup>.

Na preparação de massa via seco, os principais equipamentos utilizados são moinhos de martelo, moinhos de pinos, peneiras e granuladores. Neste processo, não

é possível ter o controle da granulometria do material e, por causa da conformação da mesma não ser perfeita, há variação em seu tamanho<sup>4</sup>.

Já na preparação de massa via úmida, os principais equipamentos utilizados são os moinhos de bolas (Figura 2).

Para chegar à umidade necessária, boa parte do material resultante do processo de moagem passa pelo atomizador (Figura 3), o qual elimina uma parcela da água<sup>3</sup>.

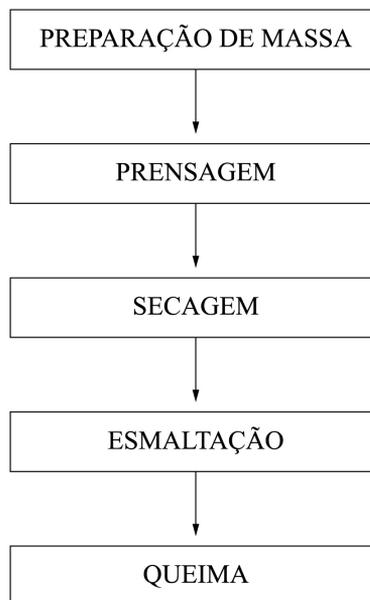


Figura 1. Etapas do processo produtivo de placas de revestimento cerâmico<sup>3</sup>.



Figura 2. Moinho de bolas.



Figura 3. Atomizador.

O método para dar formas às peças de placas cerâmicas é o por pressão, utilizando a prensa hidráulica (Figura 4), que traz resultados mais eficientes ao produto conformado<sup>3</sup>.

Depois de ganhar forma, o material deve passar novamente pela etapa de secagem, na qual um secador (Figura 5) retira o restante da umidade contida na peça. Normalmente, os gases quentes resultantes dos fornos a rolos são aproveitados e levados ao secador, para completar esta etapa<sup>3</sup>.

Segundo as informações técnicas da Associação Brasileira de Cerâmica (AOC), quando o material estiver seco, deve passar por outra etapa, a do processo de esmaltação, no qual a placa de revestimento cerâmico recebe uma camada fina e contínua de um material denominado esmalte. Após a aplicação de esmalte, muitos materiais são submetidos a uma decoração realizada por máquinas, tais como serigráficas, pincéis e outros<sup>5</sup>.

Na sequência da etapa de esmaltação, as placas de revestimentos cerâmicos vão para o processo de queima. Existem vários tipos de queima, porém, o mais utilizado é processo por monoqueima, devido ao baixo tempo de ciclo sem perda na qualidade do produto final. A etapa de queima no processo de fabricação consiste em um tratamento térmico no qual a massa cerâmica sofre alterações microestruturais, como transformações, reações no estado sólido, fase líquida etc., em diferentes intervalos de temperatura<sup>6</sup>.

A queima é um estágio importante para a fabricação de placa de revestimentos cerâmicos, pois é nele que as reações físico-químicas no esmalte e no corpo cerâmico adquirem as suas propriedades definitivas<sup>6</sup>.

Nesta fase, a temperatura dos fornos a rolos (Figura 6) deve ser uniforme, de modo a não alterar as características do produto final, resultando em melhor qualidade<sup>6</sup>.



Figura 4. Prensa hidráulica.



Figura 5. Secador horizontal com 2 canais.

Assim, a queima do forno a rolos necessita de uma atenção especial, principalmente no controle de gás enviado para cada zona de queima. Este controle deve possuir precisão, para não prejudicar os materiais no final da queima e resultar em descartados indesejados.

### 2.3. Sistemas de controle

Existem dois tipos de sistemas de controle: o de malha aberta e o de malha fechada.

Para um sistema de malha aberta (Figura 7), os sinais de entrada são os que determinam a saída desejada, não sendo modificados conforme as condições de operação ou perturbações ocorridas no processo. Deste modo, um sistema de malha aberta não apresenta uma informação do estado da saída do processo<sup>7</sup>.

“Um sistema de controle de processo é um sistema projetado com o propósito de manter uma saída uniforme para um valor de entrada de referência”<sup>8</sup>.

Já em um sistema de malha fechada (Figura 8), a grandeza é monitorada pelo elemento de medição, comparando o valor desejado (*Setpoint*) através de um comparador, produzindo-se um sinal de erro, o qual é corrigido pelo controlador. Os atuadores do processo agirão de tal forma que sejam eliminados desvios causados por modificações nas condições de operação ou perturbações no processo<sup>7</sup>.

Geralmente, um sistema de controle de malha fechada para forno possui um sistema de aquecimento central. A temperatura é programada através de termostato e ou controlador de temperatura para poder controlar a entrada de combustível para uma fornalha, por exemplo. Quando houver uma queda de temperatura na sala, o fluxo de



Figura 6. Forno a rolos.

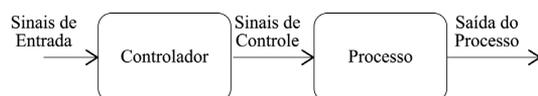


Figura 7. Sistema de controle malha aberta<sup>7</sup>.

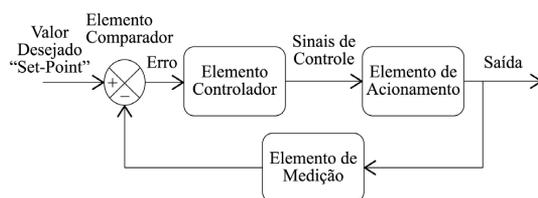


Figura 8. Sistema de controle malha fechada<sup>7</sup>.

combustível é novamente acionado, elevando a temperatura até que chegue ao valor programado (*setpoint*), seguindo um processo de liga-desliga. Se houver temperatura externa sobre a sala, isso fará com que os sensores de temperatura levem em conta a entrada de combustível para a fornalha<sup>8</sup>.

#### 2.4. Controladores microprocessados modulantes

A ideia básica por trás de um controlador PID (Figura 9) seria ler um sensor e calcular sua resposta de saída através do cálculo proporcional, integral e derivativo. Visando oferecer bom desempenho, versatilidade e precisão no controle de processos industriais, a sua utilização é indicada para aplicações como controle de temperatura, pressão, vazão, nível etc. A partir de um sinal de entrada proveniente de termopares, termorresistências, transmissores etc., o controle é utilizado para acionamento de servomotores e servoválvulas<sup>9</sup>.

Importante apresentar o significado de siglas e termos utilizados:

“PV: variável do processo que é controlada, como temperatura, pressão, umidade etc. SV ou SP: *setpoint*. Valor da variável desejada para o processo. MV: variável manipulada. Variável onde o controlador atua no processo, como posição de uma válvula. Erro ou desvio: diferença entre SV e PV. SV-PV para ação reversa e PV-SV para ação direta. Ação de controle: pode ser reversa ou direta. Define genericamente a atuação aplicada a MV na ocorrência de variações da PV. Ação reversa: se PV aumenta, MV diminui. Utilizados em controle de aquecimento. Ação direta: se PV aumenta, MV aumenta. Utilizados em controle de refrigeração”<sup>10</sup>.

No controle tipo PID a saída de controle operará entre 0 a 100% em tempos moderados, adaptando um controle consistente e exato do processo, de acordo com o *set point* regulado e a solicitação de potência necessária.



Figura 9. Controladores microprocessados modulantes.

Os parâmetros PID devem ser ajustados de acordo com o tipo de controle em questão. Sendo realizado este ajuste manualmente ou através da auto sintonia. Auto sintonia é o ajuste automático em coincidência entre o controlador e o equipamento controlado, impedindo que a imobilidade faça com que o valor do processo extrapole o valor do *set point*<sup>9</sup>.

A equação mais usual do PID é representada pela fórmula (Equação 1) abaixo:

$$MV(t) = Kp \times E(t) + Ki \times \int E(t) dt + Kd \times \frac{dE(t)}{dt} \quad (1)$$

De maneira mais simples, o PID é a composição de 3 ações, conforme pode ser observado a seguir (Tabela 1)<sup>10</sup>.

“Segundo o manual da Therma, para ativar a auto sintonia é preciso configurar “yes” no parâmetro AT; ao ativá-la, o LED AT acenderá e o controlador passará a funcionar em ação ON-OFF, desligando e religando no valor do *set point*. A inércia do processo faz com que haja um excesso do valor no processo em relação ao valor do *set point*. O controlador realizará este processo tantas vezes quantas forem necessárias até que a auto sintonia calcule os valores dos parâmetros PID adequados ao processo”<sup>9</sup>.

#### 2.5. Termopares

Quando dois metais diferentes são unidos, formando uma junção, e submetidos a determinada temperatura, surgem propriedades elétricas<sup>11</sup>.

Os termopares (Figura 10) são exemplos de dispositivos que geram um sinal elétrico.

Muitas vezes, os termopares são denominados transdutores elétricos, pois fornecem tensão ou corrente elétrica em resposta ao estímulo. Estes sensores são utilizados para medições de temperatura<sup>12</sup>.

Existem várias combinações de metais condutores atuando como sensores de temperatura (termopares), mas as associações dos fios devem ter uma compatibilidade



Figura 10. Termopar.

Tabela 1. PID<sup>10</sup>.

<b>P</b>	Correção proporcional ao erro	A correção a ser aplicada ao processo deve crescer na proporção que cresce o erro entre o valor real e desejado.
<b>I</b>	Correção proporcional ao produto erro * tempo	Erros pequenos, correções mais intensa.
<b>D</b>	Correção proporcional à taxa de variação do erro	Se o erro está variando muito rápido, reduz para evitar oscilações.

razoavelmente clara, de modo a serem detectáveis pelos equipamentos de medição. São pares de ligas metálicas, de uso industrial ou de uso específico de laboratórios. Essas associações foram feitas de modo a se adquirir uma potência termoelétrica elevada, associada, ainda, às melhores qualidades, como igualdade dos fios e proteção contra corrosão. De acordo com sua utilização (Tabela 2), cada modelo de termopar possui uma temperatura padrão de trabalho<sup>11</sup>.

### 2.6. Servomotores

O servomotor teve origem durante a Segunda Guerra Mundial. Em seguida, contribuiu para que fossem alcançados benefícios como qualidade de vida e competitividade entre empresas que buscavam vender seus produtos e serviços. Durante esta evolução, houve aumento em demanda de produtos e serviços que, comparados ao passado, não existiam e/ou não eram realizados. Substituição de maquinários antigos por mais modernos não era o ideal no momento, pois geraria custos altíssimos às indústrias. Foram utilizadas, então, técnicas de *retrofitting*, e, por ser mais barato e possuir melhor qualidade, foi criado o servoacionamento<sup>13</sup>.

O enrolamento do estator do servomotor é trifásico, embora não possa ser alimentado em uma rede trifásica porque foi desenvolvido para tipos de funções específicas e especiais, tais como torque, velocidade e posicionamento. O rotor do servomotor também é diferente dos motores comuns, ele possui ímãs permanentes e um sistema de controle para monitorar sua velocidade e posicionamento. Os dados para acionar o estator do servomotor são enviados para um servocontrole ou servoconversor<sup>14</sup>.

Servomotores (Figura 11) são normalmente utilizados em movimentos angulares, entre 0° e 180°, utilizando motores do tipo *direct current* – DC (ou corrente contínua – CC). Sua estrutura possui, basicamente, um circuito para controle, um conjunto de engrenagens e fios condutores para a ligação do mesmo.

Ao ser ligado, o motor do servomotor faz girar o conjunto de engrenagens redutoras, as quais visam o aumento do torque do motor, possibilitando a movimentação de objetos com maior precisão<sup>15</sup>.

Os tipos de servomotores mais utilizados em servossistemas, levando em conta a necessidade do sistema,

são os de corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC). Sistemas de posicionamento e alta velocidade, aplicados para cargas pesadas, utilizam os motores do tipo CC, enquanto sistemas com cargas leves e baixa velocidade fazem uso dos motores CA<sup>16</sup>.

## 3. Material e Métodos

O processo de queima das placas de revestimentos cerâmicos acontece ao longo do forno a rolos, em três zonas de queima, cada qual com uma temperatura programada. Estas zonas de queima são divididas em aquecimento superior e aquecimento inferior, cada um destes setores de aquecimento possuem uma válvula solenoide, um controlador de temperatura e um termopar. Com base nisto, foi analisado que, devido às paradas de linhas de produção, o forno a rolos ficava com espaços vazios, ou seja, sem placas de revestimentos cerâmicos, fazendo com que a temperatura se alternasse e ocasionasse uma variação indesejada. Tal fato dificultava que, logo após o reinício de produção, a temperatura se estabelecesse, obrigando o operador do forno a ajustar manualmente os registros de gás (Figura 12), até normalizar a situação.

Conforme o histórico da cerâmica, o fluxo de gás enviado para cada um destes setores de aquecimento era acionado por válvulas solenoides (Uma bobina cilíndrica que ao ser percorrida por uma corrente, cria um campo magnético que é mais intenso no seu interior. Se colocarmos nas proximidades de um solenoide um núcleo de material



Figura 11. Servomotor.

Tabela 2. Alguns termopares comerciais e suas características básicas (Padrão ANSI)<sup>12</sup>.

Tipo (ANSI)	Range (°C)	Saída (fundo de escala – mV)	Incerteza (°C)
B	38 a 1800	13,6	---
C	0 a 2300	37,0	---
E	0 a 982	75,0	+/- 1,0
J	184 a 760	43,0	+/- 2,2
K	- 184 a 1260	56,0	+/- 2,2
N	-270 a 1300	51,8	---
R	0 a 1593	18,7	+/- 1,5
S	0 a 1538	16,0	+/- 1,5
T	-184 a 400	26,0	+/- 1,0

ferroso, que concentre as linhas do campo magnético, uma força aparece no sentido de puxar este núcleo para o interior da bobina. A partir deste fato podemos elaborar dispositivos capazes de produzir força mecânica ao puxar um núcleo e que justamente são denominados solenoides). Devido a este tipo de acionamento, foi constatado que o processo de queima do forno acabava sendo imprevisível, prejudicando o material produzido e consumindo maior quantidade de gás. Reconhecido o problema, foi desenvolvido um projeto que visava substituir as válvulas solenoides por outra forma de controle da queima do forno a rolos.



Figura 12. Válvulas solenoides e registros.



Figura 13. Válvula e solenoide.



Figura 14. Servomotor já instalado no local.

A solução encontrada foi substituir as válvulas solenoides por servomotores e os controladores de temperatura atuais por controladores microprocessados modulantes, os quais possuem maior precisão e controle, reduzindo o consumo de gás e facilitando o processo operacional do forno a rolos.

### 3.1. Início da implementação do novo sistema

Em maio de 2014, os novos controladores e servomotores já tinham sido adquiridos e estavam aguardando o início da modificação do sistema de controle do forno a rolos e uma lista do material estrutural (Tabela 3) necessário à mudança, a qual foi montada pela equipe de manutenção elétrica.

Porém, para efetuar esta etapa, a cerâmica não poderia parar a qualquer momento, de modo que foi desenvolvido um projeto de parada do forno a rolos por 15 dias, tanto para uma manutenção preventiva geral quanto para implementação do novo sistema de controle. Foi decidido que a parada aconteceria no dia 15 de junho.

Então, em junho do ano de 2014, foi dada a parada para a manutenção preventiva e iniciada a modificação do sistema de controle do forno a rolos. No início da operação e mudanças, foi necessário desligar o forno e esperar sua temperatura reduzir à temperatura quase ambiente, até que se pudesse iniciar a retirada das 6 válvulas solenoides (Figura 13) que compunham o forno.

Em seguida, iniciada a implementação dos servomotores no mesmo local, houve a necessidade de modificação para adaptação dos mesmos, pois o diâmetro das válvulas não era compatível (Figura 14). No momento em que os mecânicos retiravam as válvulas solenoides e adaptavam os servomotores no mesmo local, os eletricitistas aproveitavam para retirar os controladores de temperatura.

Em aproximadamente 2 dias, os 6 servomotores e os 6 controladores microprocessados modulantes já estavam colocados no forno a rolos, os termopares permaneceram os mesmos, num total de 6 termopares tipo S (para temperaturas de 0 °C a 1538 °C), 2 para cada zona de queima, sendo um superior e outro inferior.

### 3.2. Instalação elétrica do servomotor

A parte de instalação elétrica no painel teve início no terceiro dia da parada. Assim, foi necessário desligar o disjuntor geral do mesmo na subestação, para evitar riscos de choques elétricos. Feito isso, iniciou-se a retirada dos 6 contactores que acionavam as válvulas solenoides. Boa parte da fiação elétrica permaneceu a mesma, já que não haveria muita mudança nesta parte do projeto.

Tabela 3. Lista de materiais estruturais.

DESCRIÇÃO	DIMENSÕES	QTDE.
CABOS ELÉTRICOS	PP 3x1 mm <sup>2</sup>	300m
CABOS ELÉTRICOS	1 mm <sup>2</sup>	100m
TRANSFORMADOR	ENTRADA 220V SAÍDA 24V POTÊNCIA 300VA	01 un
RELÉS	14 PINOS 220V	12 un

Quando todos os componentes elétricos citados anteriormente foram retirados, foi instalado um transformador de entrada 220V e saída 24V, para ligar o motor do servo, (5Va, 450N, 73s). Esta tensão de saída do transformador passa pelo contato aberto dos 12 relés (2 para cada servomotor, sendo um para abrir a válvula e outro para fechar). A alimentação dos relés é enviada pelo controlador microprocessado modulante, em tensão de 220V. Para cada servomotor, foi posto um fusível de vidro de 1A para sua segurança. Segue a imagem da instalação dos componentes no painel elétrico (Figura 15):

### 3.3. Instalação dos controladores de temperatura

O próximo passo foi instalar os novos controladores microprocessados modulantes (Figura 16), com alimentação de 85/265Vca. Os disjuntores anteriores foram aproveitados, na sua entrada, foram ligados os termopares tipo S, e sua saída de controle do servomotor alimentada em 220 V.

Na sequência, os cabos PP 3x1 mm foram adicionados aos servomotores e aos bornes do painel.

No oitavo dia, praticamente toda a parte elétrica e mecânica estavam completas, restando somente alguns ajustes a serem feitos.

Em 30 de junho de 2014, o projeto de implementação estava praticamente concluído, faltando apenas as configurações dos parâmetros PID dos controladores microprocessados modulantes. Dado início ao aquecimento do forno a rolos, foi necessário aguardar um tempo de aquecimento, pois, por estar em uma temperatura ambiente durante os 15 dias de parada, se fosse aumentada rapidamente poderia acarretar um choque térmico e problemas para o forno, o que seria uma situação indesejada.



Figura 15. Relés e transformador já instalados.



Figura 16. Controladores microprocessados modulantes instalados.

Quando o forno a rolos praticamente estava próximo à temperatura SP programada, foi acionada a auto sintonia dos parâmetros PID, ao atingir os níveis estabelecidos, manteve a temperatura homogênea, sem problema algum. Nestas condições, o forno a rolos já estava apto a receber placas de revestimentos cerâmicos.

Abaixo (Figura 17) podem ser observadas as temperaturas logo após a auto sintonia. A temperatura se manteve a programada após o material entrar no forno.

### 3.4. Instrumento utilizado para medir o consumo de gás natural

Após o término da instalação foi necessário estabelecer um método para determinar como se comportaria o novo sistema de controle, em relação ao anterior, quanto ao consumo de gás natural.

O método adotado foi uma rígida verificação diária, anotando-se o consumo de gás direto no medidor (Figura 18) da fornecedora de gás natural.

## 4. Análise e Resultados

Conforme histórico e estimativas fornecidos pelos setores de manutenção e de controle de qualidade das placas de revestimentos cerâmicos, para um período de 6 (seis) meses, a linha de produção sofre paradas desnecessárias de cerca de 10 (dez) minutos por turno, em virtude de manutenção corretiva. Lembrando que a cerâmica possui três (3) turnos, tinham-se, aproximadamente, trinta (30) minutos de parada por dia.



Figura 17. Temperatura após a auto sintonia.



Figura 18. Medidor digital usado para conferir o consumo de gás.

#### 4.1. Dados obtidos com o uso de válvulas solenoides

Estas paradas de produção ocorriam em virtude de troca de produção, manutenção corretiva e troca de telas serigráficas. Quando a produção retornava, era preciso reestabelecer a temperatura, motivo pelo qual os espaços vazios no forno a rolos levavam à queima irregular do mesmo, e consequentemente ocasionando o descarte de cerca de trezentas (300) peças por dia.

Com base nos dados fornecidos pela cerâmica, é possível analisar as perdas de produção geradas pela situação das paradas. Nos números expressos abaixo (Tabela 4), observa-se a quantidade de peças de revestimento cerâmico perdidas por mês, sendo que cada caixa representa 20 peças.

Os valores expressos nesta tabela representam, aproximadamente, 1 *pallet* de material descartado por mês. Como foi mensurado um período de seis (6) meses, percebe-se, abaixo, a perda total (Tabela 5).

As consequências em virtude de paradas implicavam em prejuízos financeiros indesejados, os quais são temidos pelas indústrias em geral, além de não poder faturar com o produto, ainda têm os gastos gerados pela manutenção. Em valores monetários, pode-se dimensionar os custos gerados por dia, os quais envolvem materiais perdidos e manutenção gerada, com preço de R\$ 27,00 por caixa (Equação 2).

$$\begin{aligned} & \text{VALOR POR CAIXA} \times \text{TOTAL DE CAIXAS PERDIDAS} \\ & \text{EM SEIS MESES} = \text{PRODUÇÃO PERDIDA TOTAL} \quad (2) \\ & (\text{R}\$27,00) \times (2.700 \text{ m}2) = \text{R}\$72.900,00 \end{aligned}$$

Considerando-se o período de seis meses, este valor de produção perdida, acrescido de custos com mão de obra e peças substituídas devido às paradas de linha de produção, resulta nos valores expostos abaixo (Tabela 6).

Além dos gastos com manutenção, devido às paradas estimadas em 30 (trinta) minutos por dia, consideradas inevitáveis pela cerâmica, tinham-se outros dois problemas: o descarte placas de revestimentos cerâmicos e o consumo de gás natural decorrente do uso de válvulas solenoides e controladores de temperatura, os quais traziam prejuízos, tornando maiores os custos financeiros da cerâmica.

Em relação aos valores em metros cúbicos de gás natural consumido pela cerâmica no período de 6 (seis) meses, os mesmos podem ser observados abaixo (Tabela 7).

Onde se obteve uma média de consumo conforme mostra a (Equação 3).

$$(135.490 \text{ m}^3) / (6 \text{ MESES}) = 22.581,66 \text{ m}^3 \quad (3)$$

Com base no preço por metro cúbico fornecido pela distribuidora de gás, acrescido da tarifa industrial TG1, pode-se determinar o valor gasto com o consumo de gás (Tabela 8).

A tarifa industrial TG1 é destinada a contratos com Quantidade Mínima de Pagamento de 90% da Quantidade Contratada, sendo indicada a clientes cuja produção atinja um nível constante no consumo de gás natural durante o ano, sem grandes oscilações, podendo assumir elevado

compromisso de Quantidade Mínima de Pagamento (QMP) pelo combustível disponibilizado. São permitidos 20 dias/ano de parada programada e a quantidade mínima de gás natural a ser consumida é de 10 m<sup>3</sup>/dia.

Nesta tarifa estão incluídos os valores do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), do Programa de Integração Social (PIS) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS).

De forma mais exemplificada, observa-se, abaixo (Equação 4), o cálculo descrito do valor do consumo de gás utilizando as válvulas solenoides, para um período de seis meses.

$$(135.490 \text{ m}^3) \times (\text{R}\$ 1,3397) = \text{R}\$ 181.515,95 \quad (4)$$

**Tabela 4.** Perda de produção por mês.

PERDA DE PRODUÇÃO POR MÊS		
PEÇAS DIA	PRODUÇÃO POR MÊS	TOTAL PERDA
300 PEÇAS	9.000 PEÇAS	450 CAIXAS

**Tabela 5.** Perda de produção no período de seis meses.

PERDA DE PRODUÇÃO / PERÍODO DE SEIS MESES		
TOTAL DE PERDA POR MÊS	SEIS MESES	TOTAL PERDA
450 CAIXAS	2.700 CAIXAS	2.700 m <sup>2</sup>

**Tabela 6.** Custos no período de seis meses.

CUSTOS / PERÍODO SEIS MESES		
PRODUÇÃO PERDIDA	MÃO DE OBRA/NOVAS PEÇAS	TOTAIS CUSTOS
R\$ 72.900,00	R\$ 7.982,40	R\$ 80.882,40

**Tabela 7.** Consumo de gás em m<sup>3</sup> no período de seis meses.

CONSUMO / PERÍODO SEIS MESES USO DE VÁLVULAS SOLENOIDES		
VALOR EM JANEIRO	VALOR EM JUNHO	TOTAL CONSUMO
648.265 (m <sup>3</sup> )	783.755 (m <sup>3</sup> )	135.490 (m <sup>3</sup> )

**Tabela 8.** Valor do gás por m<sup>3</sup> em 2014.

FAIXA DE CONSUMO	VALOR (R\$/M <sup>3</sup> ) COM ICMS, PIS E COFINS
Até 5	3,1004
6 a 10	2,2969
11 a 70	2,2317
71 a 1.000	1,4916
1.001 a 5.000	1,4460
5.001 a 10.000	1,3964
10.001 a 25.000	1,3631
25.001 a 50.000	1,3397
50.001 a 100.000	1,3147
100.001 a 150.000	1,2448
150.001 a 200.000	1,2365
200.001 a 1.000.000	1,2292

#### 4.2. Dados obtidos com o uso de servomotores

Após a implementação do novo sistema, é possível observar os resultados obtidos quanto à perda de placas de revestimentos cerâmicos (Tabela 9).

Também é possível analisar o consumo de gás após 4 (quatro) meses da instalação dos servomotores (Tabela 10).

Onde se obteve uma média de consumo conforme mostra a (Equação 5).

$$(76.569 \text{ m}^3)/(4 \text{ MESES}) = 19.142,25 \text{ m}^3 \quad (5)$$

Com base nos dados obtidos com o consumo, pode-se considerar um consumo reduzido de gás, comparado ao uso de válvulas solenoides que, anteriormente, por mês, consumiam, em média, 22.581,66 m<sup>3</sup>. Observe a (Equação 6)

$$\begin{aligned} & \text{MÉDIA USO VÁLVULAS SOLENOIDES} - \\ & \text{MÉDIA USO SERVOMOTORES} = \text{CONSUMO GÁS NATURAL} \quad (6) \\ & (22.581,66 \text{ m}^3) - (19.142,25 \text{ m}^3) = 3.439,41 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Assim, é possível fazer uma estimativa para um período de 6 (seis) meses (Equação 7).

$$(3.439,41 \text{ m}^3 \text{ MÊS}) \times (6 \text{ MESES}) = 20.636,46 \text{ m}^3 \quad (7)$$

Assim, tem-se o cálculo do consumo de gás conforme estes valores (Equação 8).

$$(20.636,46 \text{ m}^3) \times (\text{R\$ } 1,3397) = \text{R\$ } 27.646,66 \quad (8)$$

**Tabela 9.** Custos mês de agosto 2014.

CUSTOS POR MÊS		
PRODUÇÃO PERDIDA	MÃO DE OBRA/NOVAS PEÇAS	TOTAIS CUSTOS
zero	R\$ 1.330,40	R\$ 1.330,40

**Tabela 10.** Consumo de gás em m<sup>3</sup> no período de quatro meses.

CONSUMO / PERÍODO QUATRO MESES USO DE SERVOMOTORES		
VALOR EM JULHO	VALOR EM OUTUBRO	TOTAL CONSUMO
783.755 m <sup>3</sup>	860.324 m <sup>3</sup>	76.569 m <sup>3</sup>

**Tabela 11.** Investimentos do projeto.

	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
CONTROLADORES, SAÍDA CONTROLE MODULANTE, (85 a 265Vac)	6	R\$ 805,00	R\$ 4.830,00
SERVOMOTORES 24V, 450N, 73s	6	R\$ 2.872,00	R\$ 17.232,00
CABOS ELÉTRICOS	300 Metros	R\$ 130,00 rolo 100 metros	R\$ 390,00
RELÉS	12	R\$ 47,00	R\$ 564,00
TRANSFORMADOR	1	R\$ 199,00	R\$ 199,00
		TOTAL GERAL	R\$ 23.215,00

Para ficar mais claro, o lucro aproximado em relação ao consumo de gás seria este (Equação 9).

$$\begin{aligned} & (135.490 \text{ m}^3) - (20.636,46 \text{ m}^3) = 114.853,54 \text{ m}^3 \\ & (114.853,54) \times (1,3397) = \text{R\$ } 153.869,28 \quad (9) \\ & \text{R\$ } 181.515,95 - \text{R\$ } 153.869,28 = \text{R\$ } 27.646,66 \end{aligned}$$

#### 4.3. Resultado final quanto aos lucros

Abaixo (Equação 10), tem-se o lucro total com base no consumo de gás e na redução de quebra de placas de revestimentos cerâmicos:

$$\begin{aligned} & \text{R\$ } 72.900,00 \text{ (PRODUÇÃO PERDIDA)} + \\ & \text{R\$ } 27.646,66 \text{ CONSUMO DE GÁS} \quad (10) \\ & = \text{R\$ } 100.546,66 \end{aligned}$$

Com a implementação do novo sistema de controle do forno a rolos, foi possível reduzir os gastos gerados, pois não existem mais as perdas de placas de revestimentos cerâmicos decorrentes do antigo sistema de controle de temperatura. Reduzidos os custos, aumentam os lucros para a cerâmica.

Para colocar o novo projeto em funcionamento, foram necessários investimentos em materiais e equipamentos, conforme valores expressos a seguir (Tabela 11).

Unindo os valores obtidos aos valores para implementação do projeto tem-se o valor final do lucro (Equação 11) gerado pelo novo sistema de controle proveniente de servomotores.

$$\begin{aligned} & \text{R\$ } 100.546,66 \text{ (LUCRO TOTAL)} - \text{R\$ } 23.215,00 \\ & \text{(INVESTIMENTOS DO PROJETO)} = \text{R\$ } 77.331,66 \quad (11) \end{aligned}$$

Então, com base no valor do lucro total (R\$ 100.546,66), a cerâmica teria, em média, R\$ 16.757,77 de lucro mensal, o que faria o valor investido no projeto ser recuperado em, aproximadamente, um mês e meio.

#### 4.4. Questão ergonômica operacional

No antigo sistema de controle, a questão operacional representava um problema ergonômico para os operadores, os quais precisavam regular os registros de gás manualmente até que a temperatura programada fosse alcançada.

Este processo era realizado inúmeras vezes diariamente, tornando-se um ciclo repetitivo que levava a maioria dos operadores a reclamar de dores musculares.

Após a implementação do novo sistema de controle do forno a rolos, não houve mais a necessidade de regulagens de registros de gás, pois o uso de servomotores faz com que a temperatura se estabilize automaticamente na programada, em um período de tempo menor que o sistema anterior, eliminando as queixas de dores musculares na questão operacional.

## 5. Conclusão

O presente trabalho apresentou um estudo sobre controle térmico de um forno a rolos para placas de revestimentos cerâmicos, discutindo algumas características do processo e do sistema de controle.

Almejando uma produção cerâmica com o mínimo de desperdícios resultantes de falhas no processo produtivo, as técnicas de produção e manutenção têm caminhado juntas, com o objetivo de analisar e eliminar estas falhas, as quais interferem diretamente no produto acabado e no desenvolvimento geral da empresa.

Inicialmente, por meio de dados coletados do forno a rolos, realizou-se o estudo para definição de amostras, procurando determinar a regulagem final do controlador através de sua estabilidade e comportamento e respeitar as diferentes condições de trabalho abordadas no sistema real.

Em seguida, realizaram-se os testes no forno a rolos, utilizando os valores obtidos através da auto sintonia dos parâmetros PID, alcançando bons resultados. Após os ajustes dos controladores terem sido finalizados, foi realizado um acompanhamento do funcionamento do forno a rolos, durante um período de 4 meses. Neste processo, algumas variáveis foram encontradas, a exemplo do tipo econômico-industrial, que avalia a magnitude das modificações incorporadas.

Dentre as melhorias observadas, destaca-se que a primeira foi um aumento na qualidade do produto final devido à eliminação dos defeitos e quebras de placas de revestimentos cerâmicos, os quais eram provenientes do antigo sistema de controle.

A segunda melhoria foi o aumento da produção, pois, com o sistema antigo, de válvulas solenoides, quando a temperatura do forno a rolos variava, as placas de revestimento cerâmico acabavam perdendo a resistência mecânica e quebrando, o que não acontece no novo sistema.

A terceira melhoria foi uma economia considerável de gás natural, já que as quantidades foram mensuradas de forma exata e rigorosa, diariamente, através do medidor de vazão da distribuidora de gás natural.

Pode-se dizer, então, que, até o momento, o novo sistema de controle implantado atendeu às necessidades de

funcionamento do equipamento, sem apresentar defeitos. O valor financeiro investido para a sua implementação gerou certo custo, porém, quando comparado à produção perdida, pelas falhas que ocorriam no sistema de controle antigo, apresenta um resultado considerado significativo, principalmente pelo curto tempo de implantação.

## Referências

1. XENOS, H. G. P. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.
2. PINTO, A. K.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
3. BRISTOT, V. M. et al. Manutenção preditiva em indústrias de revestimentos cerâmicos. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 17, n. 1, p. 29-35, 2012.
4. GALDINO, J. N. **Influência do teor e granulometria da calcita e da temperatura de sinterização no desenvolvimento de massas cerâmicas para revestimentos poroso (BIII)**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Química)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Informações técnicas: processos de fabricação**. São Paulo: ABCERAM, 2014. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/?area=4&submenu=50>>. Acesso em: 31 ago. 2014.
6. VIEIRA, L. E. **Avaliação do comportamento térmico de uma placa cerâmica ao longo do processo de monoqueima em forno a rolos**. 2002. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
7. OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1998.
8. BOLTON, W. **Instrumentação e controle**. Curitiba: Hemus, 2002. 197 p.
9. THERMA. **Controladores microprocessados modulantes: manual de operação**. 3. ed. São Paulo: Therma, 2007.
10. NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS. **Controle PID básico: artigo técnico**. São Paulo: NOVUS, 2003.
11. FIALHO, A. B. **Instrumentação industrial: conceitos, aplicações e análises**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2005.
12. BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. Rio de Janeiro: LTC, 2006. v. 1.
13. OTTOBONI, A. Servo-acionamentos. **Mecatrônica Atual**, n. 6, p. 7-14, 2002.
14. NASCIMENTO JUNIOR, G. C. **Máquinas elétricas: teoria e ensaios**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008. 260 p.
15. ARAPONGA, M. S. **Controle de um braço mecânico por celular com aplicativo Android via Bluetooth**. 2013. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia da Computação)-Faculdade Independente do Nordeste, Vitória da Conquista, 2013.
16. U. S. NAVY. **Synchro, servo and gyro fundamentals**. Tradução do Centro de Instrução da Marinha. São Paulo: Hemus, 2004. 167 p.