

# **Solução para Problema de Aquecimento em Acionamento de Exaustor do Processo de Sinterização em Planta de Siderurgia**

**Gil Augusto de Carvalho**  
gilaugusto@uol.com.br  
UBM

**Orlando Moreira Guedes Júnior**  
engorlandojunior@yahoo.com.br  
UBM

**Eduardo Germano Moreira**  
eduardogermanoubm@yahoo.com.br  
UBM

**Georvan de Abreu Xavier**  
georvanxavier@uol.com.br  
UBM

**Regis Pereira Reis**  
harres\_jc@hotmail.com  
UBM

**Resumo:** Este trabalho apresenta um estudo de caso em um sistema de refrigeração de um motor de anéis que aciona um exaustor de potência expressiva em uma usina de siderurgia. O motor citado apresentava aquecimento excessivo nos enrolamentos elétricos do circuito de estator. Essa elevação de temperatura limitava a utilização da potência projetada para o motor e provocava paradas no respectivo processo industrial. Um primeiro diagnóstico para o caso sugeriu uma deficiência no sistema de refrigeração, fato esse que desencadeou uma série de investigações na instalação para obtenção de um diagnóstico mais preciso. Na medida em que os problemas foram diagnosticados houve, em contrapartida, a execução de ações corretivas que melhoraram substancialmente o desempenho do equipamento. Tais ações se basearam no acréscimo de dispositivos de controle e monitoramento, automatizados, no sistema de refrigeração citado. Com o sistema de refrigeração devidamente controlado passou-se então a análise do processo industrial onde se descobriu a causa fundamental do problema. Os resultados satisfatórios obtidos no caso analisado apontam a importância do monitoramento prévio das principais variáveis envolvidas no funcionamento de equipamentos e processos industriais, de forma que haja um maior embasamento na tomada de decisão para a solução de anomalias.

**Palavras Chave:** Automação - Siderurgia - Sinterização - Exaustão de gases -

## 1. INTRODUÇÃO

Os processos de siderurgia, de maneira geral, possuem, na fase de sinterização, exaustores com a função de retirar os gases oriundos da queima superficial originada nesse processo. Esses exaustores, devido a sua potência expressiva, da ordem de milhares de kW, normalmente utilizam-se de motores de anéis, também chamados de motores de rotor bobinado, para seu acionamento. Os motores de anéis citados permitem que, durante a partida do equipamento, sejam inseridas resistências elétricas em seu circuito rotórico, por meio de um sistema de anéis e escovas. Essa inserção de resistências, com um equipamento adequado, denominado reostato, possibilita a alteração da curva de conjugado do motor, durante o processo de partida do mesmo, disponibilizando um torque maior e ao mesmo tempo reduzindo a respectiva corrente elétrica (FITZGERALD; KINGSLEY; KUSKO, 1975).

Essa característica que permite a alteração da curva de conjugado, própria desse tipo de motor, é de fundamental importância para manter a estabilidade do sistema de alimentação elétrica durante a partida do equipamento nesse tipo de aplicação. Devido às elevadas potências desses motores, os respectivos fabricantes projetam, além dos itens especiais relativos ao circuito rotórico, um sistema auxiliar de refrigeração para permitir a retirada do calor gerado pela circulação de corrente nos enrolamentos elétricos. Esses circuitos de refrigeração normalmente utilizam sistemas de troca de calor por meio de ar, a água ou uma combinação de ambos (WEG, 2012).

O estudo de caso em questão envolveu um motor de anéis, com as características dos motores citados anteriormente, cujo meio refrigerante se utiliza um sistema de resfriamento com ar e água tratada para manter adequada a temperatura dos enrolamentos elétricos. A carga acionada pelo referido motor é um exaustor de um processo de sinterização de uma indústria siderúrgica. No acionamento citado, procurava-se detectar a causa fundamental de um problema relativo ao aquecimento dos enrolamentos do circuito estatórico do motor. A alta temperatura dos enrolamentos elétricos, indicada pelos sensores responsáveis por essa medição no motor, restringia a potência que poderia ser fornecida pelo motor e consequentemente limitava a abertura da válvula de controle da exaustão de gases do processo industrial, além de provocar também constantes paradas nesse processo.

Neste contexto este trabalho mostra a sequência de passos seguidos para que o motor conseguisse fornecer a potência adequada ao exaustor, com operação estável e confiável, de forma que a válvula de controle do fluxo de gases pudesse trabalhar com a abertura compatível com as exigências do processo. As ações tomadas para melhorar o controle do sistema de refrigeração do motor, embora tenham contribuído para melhoria desse sistema, não foram suficientes para a solução do problema principal, direcionando as investigações para o processo industrial. Com o sistema de refrigeração devidamente controlado foi possível enfim encontrar a causa fundamental do problema. Na sequência foram programadas as ações para a eliminação definitiva das paradas no processo ocorridas por excesso de temperatura nos enrolamentos do motor. Os passos seguidos para adequação do acionamento do exaustor às condições projetadas para utilização do mesmo no processo são mostrados neste trabalho. Esses passos envolveram a instalação de dispositivos complementares automatizados de forma a possibilitar o controle e o monitoramento de variáveis importantes envolvidas no acionamento, que não foram consideradas no projeto original.

Os bons resultados de desempenho do processo, obtidos com as ações tomadas, mostraram a pertinência das mesmas e, principalmente, o benefício dos investimentos realizados com a automação do controle e monitoramento de variáveis importantes do sistema de refrigeração do motor.

## 2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Mostrar, em um estudo de caso, a importância de se identificar corretamente as causas de uma anomalia em um processo industrial para a tomada de decisão apropriada.

Apresentar, com base no exemplo prático desse trabalho, a contribuição significativa que pode ser obtida com soluções de automação para controle e monitoramento de variáveis.

## 3. DIAGRAMA ORIGINAL DO PROCESSO EM ESTUDO

A Figura 1 mostra o diagrama relativo à parte do processo de sinterização em sua forma original, na situação em que se apresentavam os problemas de aquecimento dos enrolamentos do motor. Nessa figura pode-se observar, do lado esquerdo, o exaustor que é responsável pela retirada dos gases no processo de sinterização e a respectiva válvula para controle do fluxo desses gases. Do lado direito da mesma figura é mostrado o motor elétrico de anéis que aciona o exaustor, onde se pode ver, na parte superior do motor, o sistema de refrigeração com trocador de calor de calor Ar/Água e respectivas tubulações. Nota-se na tubulação de água que no projeto original montado havia somente uma válvula, de acionamento manual, para o controle da água enviada ao trocador de calor.

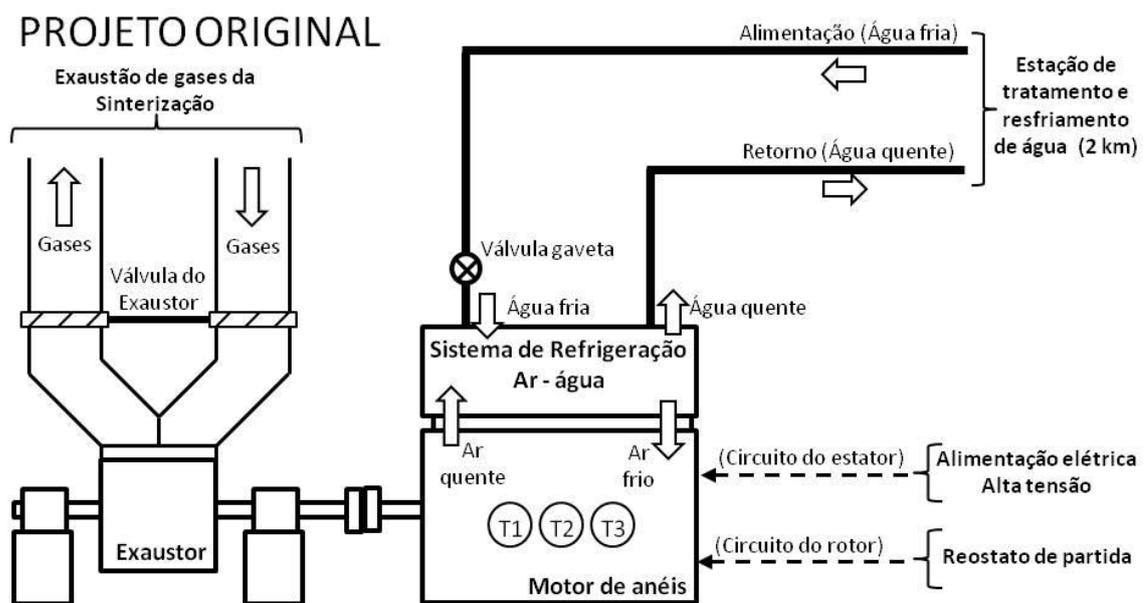


Figura 1 – Diagrama básico do processo estudado

## 4. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O motor de acionamento do exaustor do processo de sinterização em estudo apresentava aquecimento dos enrolamentos do estator, atingindo a temperatura limite de 120°C, quando se trabalhava com valores de corrente elétrica próximos aos valores nominais do motor, provocando com frequência o desligamento do motor por sobretemperatura. Com isso se utilizava um volume expressivo de água de refrigeração e havia necessidade de esperar o resfriamento do motor para que fosse dada nova partida, de forma a restabelecer o funcionamento do processo industrial. Devido a esse problema havia também limitação na abertura da válvula do exaustor para se conseguir a operação e com isso restringia-se a capacidade do exaustor para a retirada dos gases do referido processo industrial. Uma primeira análise, relativa às variáveis envolvidas no sistema de refrigeração evidenciou várias outras limitações conforme citado a seguir:



- O sistema originalmente projetado para a refrigeração do motor não possuía dispositivos para permitir o monitoramento de vazão, pressões e temperaturas.
- O único dispositivo disponível para controle da água do sistema analisado era uma válvula de acionamento manual próxima ao trocador de calor.
- O ajuste da válvula de controle de vazão de água era manual e inadequado caracterizando em algumas situações desperdício de água e em outras vezes provocando paradas do processo por alta temperatura.
- A estação que fornece a água tratada para a refrigeração no motor fica localizada a uma distância de 2 km do motor de anéis e também fornece água a outros setores da indústria, proveniente do mesmo sistema de bombeamento, dificultando as programações de intervenção nesse sistema.
- A temperatura da água na tubulação varia ao longo do dia, devido a variações da temperatura ambiente e a outros fatores, mas não se sabia os níveis dessa variação.
- A pressão e vazão da água de refrigeração sofrem influência da utilização de outro setor da indústria, abastecido pela mesma estação de tratamento da água. Os níveis dessas variações também não eram conhecidos.
- A falta de dispositivos indicadores das pressões na entrada e saída do sistema não permitia uma conclusão sobre possíveis ocorrências de obstruções e entrada de ar no trajeto da água de resfriamento.
- As variações no processo de exaustão de gases e na temperatura ambiente provocavam variações na corrente do motor do exaustor, variando dessa forma a demanda de resfriamento do mesmo.
- Na situação apresentada havia sempre a geração de dúvidas quanto ao correto funcionamento do sistema de refrigeração. As intervenções nesse sistema demandavam um tempo maior por falta de parâmetros de referência para programação das atividades.

O fluxograma da Figura 2 mostra o diagrama inicial de causa e efeito utilizado na análise do problema (CAMPOS, 1999).

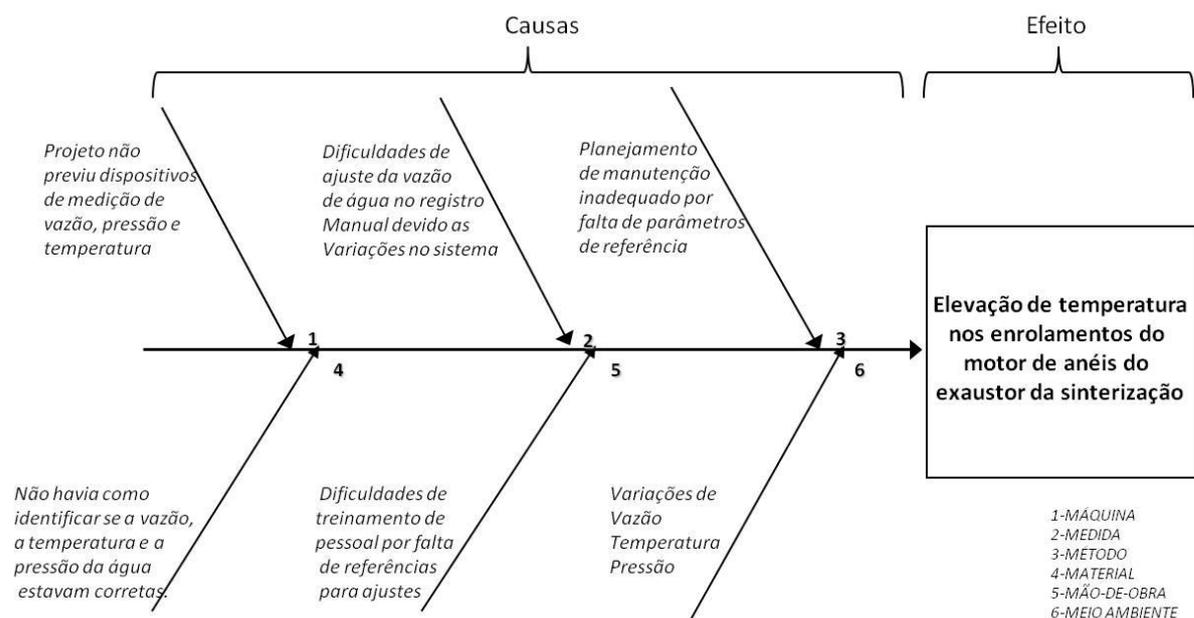


Figura 2 – Diagrama de causas e efeito elaborado para o problema



## 5. MELHORIAS REALIZADAS NO PROCESSO INDUSTRIAL

Após o diagnóstico preliminar de anormalidade do sistema de arrefecimento foi instalada uma válvula para teste, no ponto mais alto da tubulação, para retirada de suposta entrada ar que poderia estar prejudicando a vazão. Após a instalação dessa válvula, como não houve a solução do problema, desmontou-se parte do sistema para análise de possíveis obstruções, o que também não se confirmou. Feito isso, decidiu-se então pela instalação de instrumentos automáticos para medição de temperatura, pressão e vazão nos tubos de entrada e saída do sistema de arrefecimento. Além dos dispositivos de medição citados, foram instaladas na tubulação de água, duas válvulas motorizadas, respectivamente na tubulação de entrada e tubulação de saída do trocador de calor. Com isso pôde-se efetuar, de forma remota, com base nas temperaturas do sistema, os ajustes de vazão de água necessários ao sistema de refrigeração.

Essa automação dos dispositivos instalados no sistema de refrigeração do motor de anéis possibilitou a programação de níveis de alarme e bloqueio, para variações de valores de temperatura, vazão e pressão fora da faixa desejada. Além das melhorias de ajustes de parâmetros operacionais, essas modificações permitiram um planejamento prévio das interferências de manutenção nas paradas programadas do equipamento.

Ainda assim, o problema principal continuou, embora de forma menos representativa e com mais controle e embasamento para a tomada de decisão. Partiu-se então para a análise de possíveis falhas no processo e, com esse direcionamento, descobriu-se que havia falhas nas vedações das tubulações do sistema de exaustão de gases. Após os reparos das tubulações o processo passou a operar, pela primeira vez com os parâmetros projetados, com redução da potência requerida do motor para o acionamento do exaustor. Com isso, baixou-se também o consumo de água de refrigeração e foi possível se ajustar a temperatura ideal de trabalho do motor. O diagrama que mostra as alterações no sistema de refrigeração, com introdução dos novos dispositivos de controle e monitoramento, é apresentado na Figura 3. Nessa figura pode-se perceber, nas tubulações de entrada e saída do trocador de calor, os seguintes acréscimos: i) dois transmissores de pressão, ii) dois transmissores de temperatura, iii) um transmissor de vazão e, iv) duas válvulas motorizadas.

### PROJETO MELHORADO

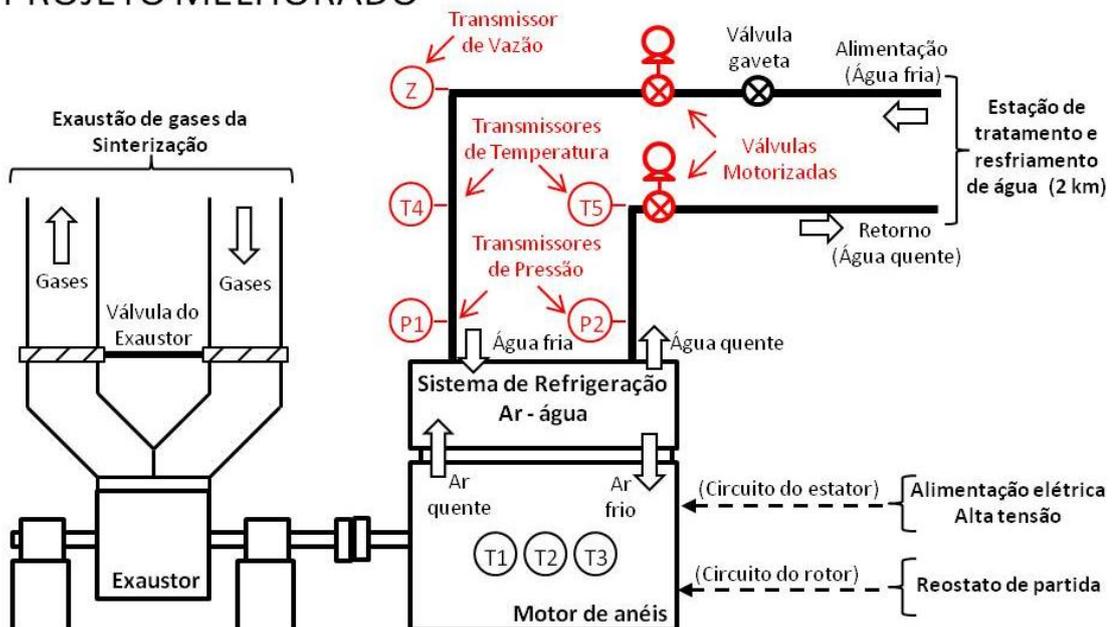


Figura 3 – Diagrama do processo estudado após as alterações



### 6. ALTERAÇÕES NO PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DA AUTOMAÇÃO

Para o monitoramento da vazão da água de refrigeração foi criado um bloco de controle, no programa de gerenciamento da arquitetura de automação existente, no software SIMATIC PCS 7 do fabricante SIEMENS (SIEMENS, 2012). Esse bloco, mostrado na Figura 4, monitora a vazão de água presente no sistema e faz comparações com os valores ajustados. Como o sistema de refrigeração trabalha em média com uma vazão de água em torno de 98 m<sup>3</sup>/h, ocorrendo qualquer variação superior a 110 m<sup>3</sup>/h será emitido um alarme e caso esse valor atinja 120 m<sup>3</sup>/h será desligado o sistema para se evitar outros danos. Da mesma forma, para valores de vazão inferior a 80 m<sup>3</sup>/h será gerado alarme, com bloqueio em 55 m<sup>3</sup>/h.

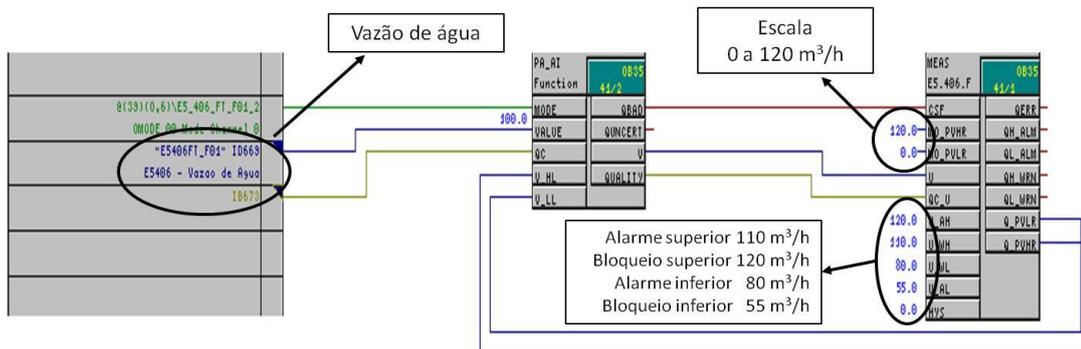


Figura 4 – Bloco de controle da vazão de água do sistema de refrigeração

De forma similar, para o monitoramento dos valores de temperatura de entrada e saída da água de refrigeração, foram criados também os respectivos blocos de controle. Nesse caso, a elevação de temperatura na saída do trocador, em relação à entrada do mesmo, significa que está havendo a troca de calor prevista no sistema, ou seja, entre o ar quente proveniente do motor e a água do sistema de resfriamento. Assim, foi utilizada a temperatura da entrada de água do trocador de calor apenas para monitoramento e configurado o alarme da temperatura de saída da mesma água para valores acima de 32 °C com bloqueio ajustado em 35 °C. Na figura 5 é mostrado bloco com a programação relativa ao valor da temperatura de saída do trocador de calor, considerando que, conforme estabelecido na empresa desse estudo, a temperatura da água na entrada do trocador de calor, proveniente da estação de tratamento de água, não deverá ser superior a 30 °C.

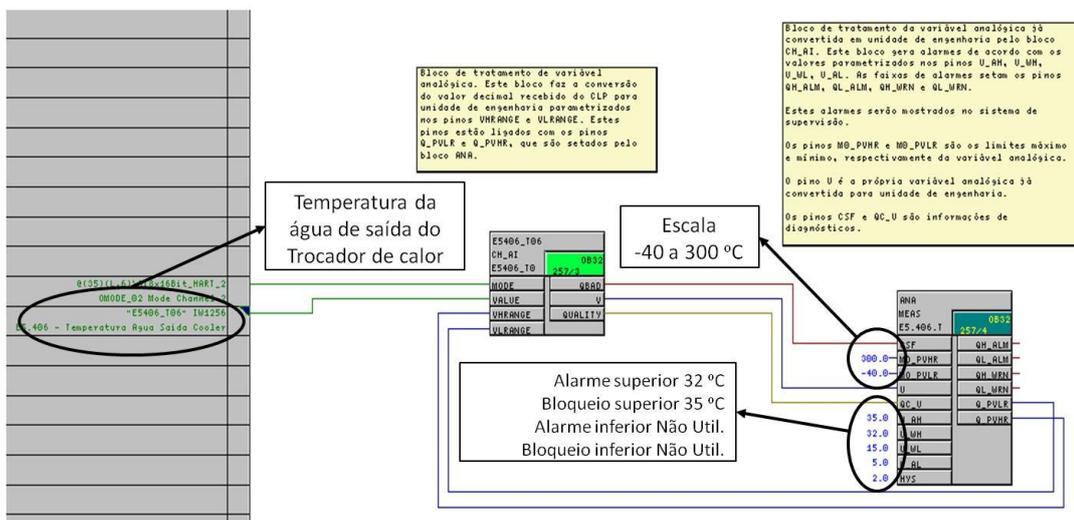


Figura 5 – Bloco de controle da temperatura da água na saída do trocador de calor



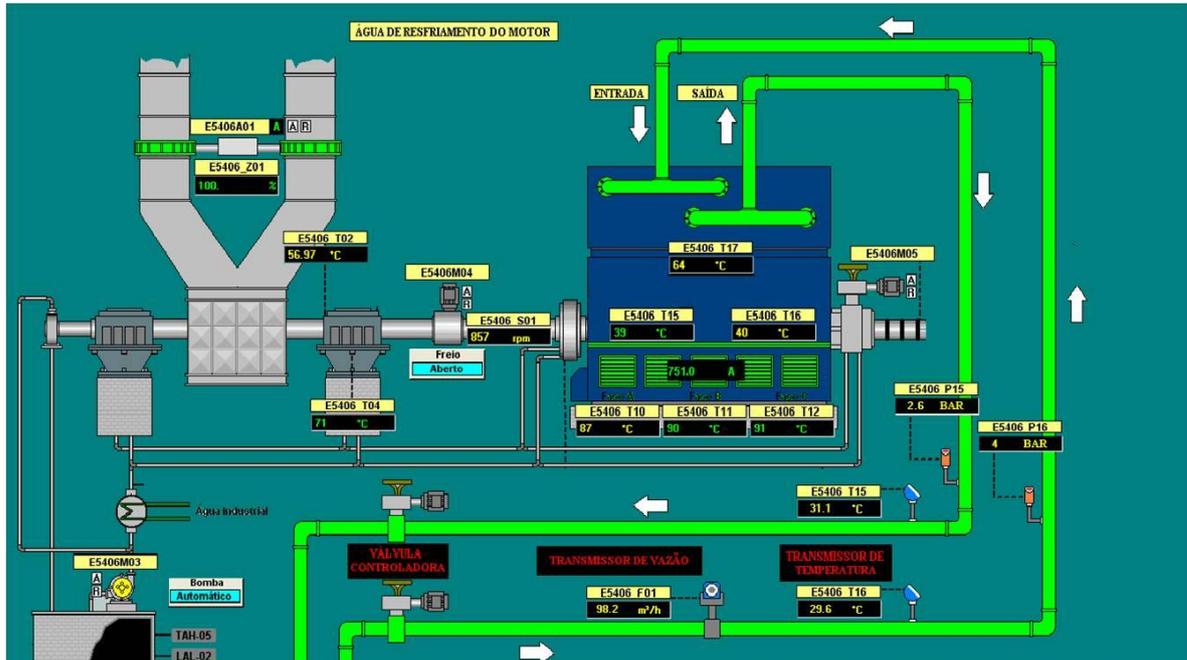


Figura 7 – Janela de supervisão do exaustor e motor de anéis com sistema de refrigeração.

## 8. RESULTADOS

A instalação dos equipamentos de controle e monitoramento permitiu às equipes de operação e manutenção acompanhar o comportamento do sistema de refrigeração do motor de anéis e controlar a sua vazão em modo remoto.

Quanto à automação, os recursos do software de gerenciamento do sistema asseguram a atuação dos controles nos níveis ajustados e o sistema de supervisão possibilita amplo monitoramento, por meio das janelas de operação, lista de eventos, lista de alarmes e gráficos, com históricos e tendências das variáveis.

O funcionamento correto do sistema de refrigeração do motor, devidamente monitorado e controlado, possibilitou ao pessoal envolvido na operação ajustar o foco no processo e encontrar a causa fundamental do problema objeto desse estudo.

A instalação das válvulas motorizadas nas tubulações de entrada e saída de água do trocador de calor permite que as atuações de controle do fluxo de água estejam embasadas pelas indicações de temperatura e pressão do sistema.

As válvulas instaladas possibilitam o fechamento do fluxo de água durante os trabalhos de manutenção, como em verificações de obstruções nos dutos do trocador de calor. Nessa situação a contenção da água nas tubulações evita os desperdícios ocorridos no sistema anterior, que chegavam a mais de 1.000 m<sup>3</sup> por intervenção na válvula controladora de água, devido a necessidade de esvaziamento das tubulações.

Com a válvula controladora instalada programou-se o seu fechamento, no programa de gerenciamento, após 60 minutos decorridos da parada do motor, tempo esse necessário para o esfriamento do equipamento após seu desligamento, evitando-se a circulação de água desnecessariamente nos períodos em que o equipamento se encontra parado.

A instalação dos transmissores de temperatura nos dutos de entrada e saída do trocador de calor possibilitou acompanhar a temperatura da água antes e após o processo de resfriamento. Nesse sentido, os níveis alarmes ajustados permitem a ação do operador antes que seja necessária a parada do equipamento e, caso a parada seja inevitável, o sistema



bloqueia o funcionamento do motor antes que haja danos no mesmo. O gráfico da Figura 8 mostra o comportamento da temperatura da água antes e após a passagem pelo trocador de calor.

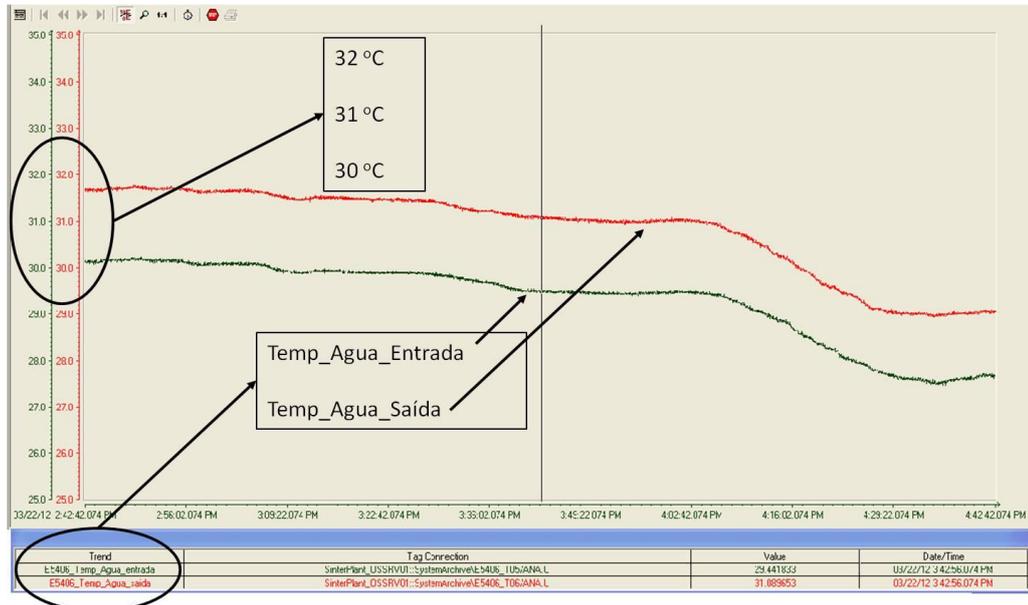


Figura 8 – Temperaturas da água na entrada e na saída do trocador de calor

A instalação de transmissores de pressão possibilitou, por meio da leitura das pressões de entrada e saída do trocador, a verificação de ocorrências de obstruções e outras anomalias nas tubulações do trocador de calor, bem como o acompanhamento da evolução das mesmas.

A Figura 9 mostra o gráfico relativo ao comportamento das pressões de água na entrada e na saída do trocador de calor.

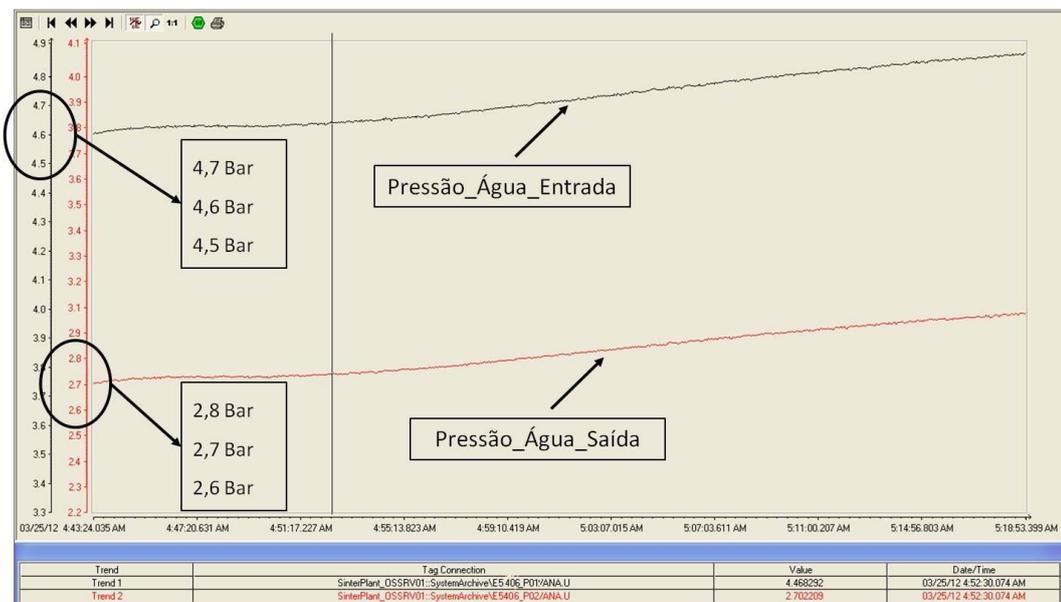


Figura 9 – Pressões da água na entrada e na saída do trocador de calor

A instalação do medidor de vazão na tubulação permite um controle mais eficiente desse parâmetro para otimização do consumo de água de refrigeração em função da temperatura dos enrolamentos do motor. No gráfico mostrado na Figura 10 pode-se ver a faixa



de trabalho da vazão de água do sistema de refrigeração do motor. Essa faixa foi reduzida e ficou mais estável após a implantação do sistema de controle citado.

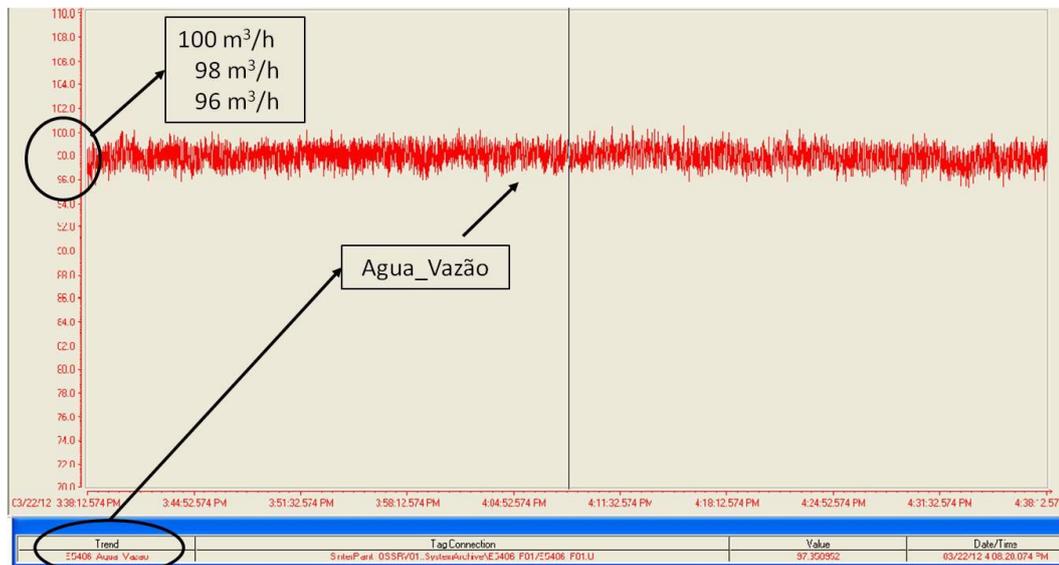


Figura 10 – Vazão de água no sistema de refrigeração.

## 9. CONCLUSÕES

O trabalho apresentado mostrou, com os benefícios obtidos no estudo de caso em questão, a importância de se identificar corretamente as causas de uma anomalia em um processo industrial para a tomada de decisão apropriada.

A automação aplicada nesse estudo de caso permitiu o controle e monitoramento de variáveis do sistema de refrigeração do motor de anéis e contribuiu de forma decisiva para os resultados obtidos na solução do problema apresentado.

Em continuidade ao processo de melhorias do sistema estudado sugere-se no futuro a implantação de controle automático da válvula da entrada do trocador de calor, por meio de controle PID (Controle Proporcional, Integral e Derivativo), em função de temperatura ajustada para os enrolamentos do motor, para tornar o sistema mais estável e ainda mais econômico.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**CAMPOS, VICENTE FALCONI.** Gerenciamento da Rotina do trabalho do dia-a-dia. 6ª Edição. Belo Horizonte – MG: EDG - Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

**FITZGERALD, A. E., KINGSLEY, J. C., & KUSCO A.,** Máquinas Elétricas – Tradução de Josafá Neves. [S.l.]: McGraw-Hill, 1975.

**SIEMENS,** Disponível em: <<http://www.automation.siemens.com/mcems/process-control-systems/en/distributed-control-system-simatic-pcs-7/pages/distributed-control-system-simatic-pcs-7.aspx>>. Acesso em: 22 de Março de 2012.

**WEG,** Disponível em: <http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Motores-Eletricos/Industriais-Especiais-de-Baixa-e-Alta-Tensao/Linha-Master-MAF-BT-AT-TEAAC-Aneis>. Acesso em: 22 de Março de 2012.