

Gustavo Perrenoud Cornetti

*Universidade Estadual Paulista - Campus
Guaratinguetá*
big_cornetti@hotmail.com

**Victor Orlando Gamarra
Rosado**

*Universidade Estadual Paulista - Campus
Guaratinguetá*
victor@feg.unesp.br

IMPLEMENTAÇÃO DE UM CONTROLADOR INDUSTRIAL PID INTEGRADO AO SISTEMA DIGITAL DE CONTROLE DISTRIBUÍDO: Estudo de Caso na Indústria Química

RESUMO

Devido às necessidades de se automatizar parte de um processo químico para garantir os resultados projetados e obter maior segurança nas operações, desenvolveu-se a implementação de um sistema para o controle da pressão interna de um reator, na indústria química. Tem se realizado estudos sobre estruturas de controle PID e métodos clássicos de sintonia de Ziegler e Nichols (Z-N), e após simulações e análises do comportamento da resposta na planta diante das ações de controle, tem se proposto um sistema completo, contendo um modelo sintonizado de controlador PID (Proporcional, Integrativo e Derivativo) para ser integrado no Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD), existente na empresa, com estratégia de controle em faixa dividida. Esta estratégia foi utilizada no processo real e mostrou-se eficiente e de fácil aplicabilidade, trazendo resultados satisfatórios no controle da pressão e imediatas justificativas para o investimento.

Palavras-chave: Controle de pressão, Sintonia de controlador PID, Sistema digital de controle distribuído, Controle em faixa dividida.

ABSTRACT

Due to the needs of automating part of a chemical process to ensure the projected results and greater security in operations, developed the implementation of a system to control the internal pressure of a reactor in the chemical industry. Has conducted studies on PID control structures and classical methods of tuning Ziegler and Nichols (Z-N), and after simulations and response behavior analysis in the plant before the control measures, has proposed a complete system, containing a model tuned PID controller (Proportional, Integrative and Derivative) to be integrated into the Digital Distributed Control System (DDCS), existing in the company, with control strategy in split track. This strategy was used in the actual process and was efficient and easily applied, bringing satisfactory results in pressure control and immediate justification for the investment.

Keywords: Pressure control, PID controller tuning, Digital distributed control system. Control in split track.

Correspondência/Contato

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi
Taubaté - SP
CEP 12060-440
Fone (12) 3625-4193

Editores responsáveis

Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
luiz.nunes@unitau.com.br

Profª. Dra. Valesca Alves Correa
valesca.correa@unitau.com.br

1 INTRODUÇÃO

Nos processos produtivos como é o caso da indústria química geralmente utilizasse a automação onde podem se encontrar vários tipos de instrumentos com vários tipos de estratégias de controle, com a finalidade de otimizar a produção e ter o total controle de seu processo. Tais instrumentos, além de tornarem os processos produtivos mais seguros para seus operadores, proporcionam aumento na quantidade e na qualidade dos produtos, juntamente com os preços mais acessíveis (OGATA, 2002).

Controlar um processo industrial significa manter os valores das variáveis medidas dentro de uma faixa operacional aceitável, buscando dentro de cada faixa, encontrar o valor desejado ou setpoint. Um projeto de controle de processos envolve basicamente as seguintes atividades: pesquisa, engenharia básica, engenharia detalhada, montagem, pré-operação e partida, até que se iniciem as operações normais da planta e suas atividades de manutenção. Para o desenvolvimento dessas atividades são necessários, além dos profissionais de instrumentação e automação, aqueles dos setores que estão proximamente relacionados, como profissionais especialistas em: projetos, que procuram conceber um estudo que resulte em produção eficiente, baixos custos e mínimas alterações de campo durante a implantação; tubulações, equipamentos mecânicos, caldeiraria e elétrica, que visam aumentar a produtividade, utilizando o mínimo de recursos energéticos; e gerenciamento, que visa baixos custos, e lucratividade. Todos esses profissionais se dividem para realizar todas as etapas descritas buscando, basicamente, manter os processos em seus pontos operacionais mais eficientes e econômicos, prevenindo condições instáveis, que possam pôr em risco pessoas ou equipamentos (BEGA et. al., 2006).

Neste sentido, este trabalho visa automatizar o controle da pressão de um reator de uma indústria química, com a implantação de um sistema de controle, composto por um controlador PID e seus dispositivos (sensor, transmissor e atuadores), integrados no Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) da referida empresa. Também serão realizadas a sintonia do controlador e a implementação desta estratégia.

2 MÉTODOS CLÁSSICOS DE SINTONIA

A correta determinação dos parâmetros de ajuste de um controlador PID é um problema sério em muitas aplicações. E a maneira mais direta para se configurar os parâmetros do controlador é o uso de regras de ajuste. Para ajudar na escolha destes parâmetros, várias regras clássicas de sintonia foram desenvolvidas. Tem-se como exemplo, as desenvolvidas por Ziegler e Nichols (Z-N), Harriot e Cohen e Coon, dentre outras. A partir dessas regras clássicas, muitas outras regras vêm sendo desenvolvidas, bem como, muitas alternativas para implementação de maneira prática (O'DWYER, 2009; ÅSTRÖM; HÄGGLUND, 2006; VALÉRIO; COSTA, DA, 2006). Atualmente, mais da metade das malhas de controle industrial apresentam tecnologia clássica ou PID modificada, partindo de regras clássicas de sintonia, como as regras Ziegler e Nichols (GOODMAN; GRAEBE; SALGADO, 2009).

Para a realização deste trabalho foi escolhido o método de Z-N, devido as características da planta e por ser mais simples de ser aplicada, em relação aos outros métodos. O método de Cohen e Coon, que é o método que mais se aproxima do primeiro método de Z-N em termos de resultado, não foi escolhido, pois para sua aplicação seria necessária o entendimento e a determinação de mais termos, como o índice de auto regulação, por exemplo. Apesar dessa escolha, deve-se ter em mente que qualquer que seja o método utilizado para a sintonia do controlador, normalmente são necessários reajustes dos parâmetros e a realização de uma sintonia fina, que otimize os valores encontrados devido à não linearidade dos processos reais (BEGA et. al., 2006).

Ziegler e Nichols (1942) propuseram regras de sintonia para o controle PID básico, que determinam os valores dos parâmetros proporcional, integrativo e derivativo (K_p , T_i e T_d) do controlador, de modo a atender as

especificações de desempenho e as necessidades e particularidades de cada aplicação, de maneira rápida e eficiente (OGATA, 2002; BAHAVARNIA; TAVAZOEI, 2013).

3 O PROCESSO

Trata-se de um processo produtivo de uma indústria química para fabricar fertilizantes e agrotóxicos. O processo, como um todo, é considerado grande e complexo. O prédio produtivo possui quatro andares compostos por vários equipamentos e instrumentos, e o processo de fabricação do produto, desde a adição das matérias-primas até a obtenção do produto final (já na embalagem), demoram cerca de um dia e meio.

Diante de uma planta dessa grandeza, obviamente não será analisado tal processo como um todo. Neste trabalho será abordada apenas uma parte desse processo: o controle da pressão de um reator, dentre os mais de 10 reatores presentes nessa planta. Tal reator, denominado R3200A, possui 2800 mm de diâmetro por 3100 mm de altura. É um reator encamisado, com capacidade de 20 m³, construído em aço inox 316L e que possui agitadores. Sua camisa é aquecida com vapor e resfriada com água, o que regula a temperatura do reator de acordo com a necessidade do processo. A pressão de projeto do R3200A é de 10 bar. Sua função é fazer a mistura e a reação de certas matérias-primas que, quando combinadas da forma correta, formam um novo produto que servirá como um componente essencial (uma nova matéria-prima) para a fabricação do produto final. Porém, quando as matérias-primas não são combinadas da maneira projetada para este reator e o produto resultante dessa mistura não atinge as especificações necessárias, ele não pode ser utilizado na fabricação do produto final, pois resulta em desvios na qualidade ofertada para o fertilizante ou agrotóxico e reclamações ou devoluções de lotes por parte dos clientes. Quando isso acontece, a empresa perde a “batelada” (produto final) daquela mistura específica (aproximadamente 20 m³ de produto), juntamente com toda a matéria-prima utilizada, acarretando em um alto prejuízo financeiro.

Para se fazer tal mistura e processar tal reação de maneira adequada, o reator deve manter sua pressão interna em 2 bar, quantidade estipulada pelos engenheiros de processo da referida empresa para obter as propriedades desejadas do produto final, enquanto promove a agitação e a mistura das matérias-primas. São inseridas no reator doses de soda cáustica e água quente para reagir com outras soluções, preparadas e vindas de outros reatores do mesmo processo. Caso a pressão interna do reator exceda ou fique abaixo de 2 bar no momento da mistura, a reação deixa de acontecer da maneira planejada e traz como resultado, um produto fora das especificações requeridas, o que obriga a empresa a descartar aquela “batelada”, assumindo seu prejuízo.

Até o início deste projeto, tal controle era feito de maneira manual, operação que além de ser muito imprecisa, trazia grandes riscos à segurança dos trabalhadores. O operador analisava os resultados do instrumento de medida de pressão interna do reator e observava o alerta em forma de luz vermelha, controlando manualmente duas válvulas, sendo uma de nitrogênio a 6 bar de pressão e a outra uma válvula de alívio. Assim, quando o operador percebia que a pressão interna do reator estava abaixo de 2 bar, visualizando o alerta, ele abria parcialmente a válvula de nitrogênio (que está com 6 bar de pressão), fazendo com que a pressão interna do reator aumentasse. Por outro lado, quando este operador percebia que a pressão interna do reator estava acima de 2 bar, visualizando o alerta, ele abria a válvula de alívio, de escape dos gases, fazendo com que a pressão interna do R3200A diminuísse. Ao término do tempo necessário para que ocorresse a reação, o operador abria a válvula de alívio e o sistema era despressurizado. A pressão interna do reator passava de 2 bar para 0,4 bar e o reator estava pronto para ser descarregado. O tempo entre o início das operações no reator e sua despressurização era de aproximadamente 17 horas. O processo descrito pode ser visualizado na Figura 1.

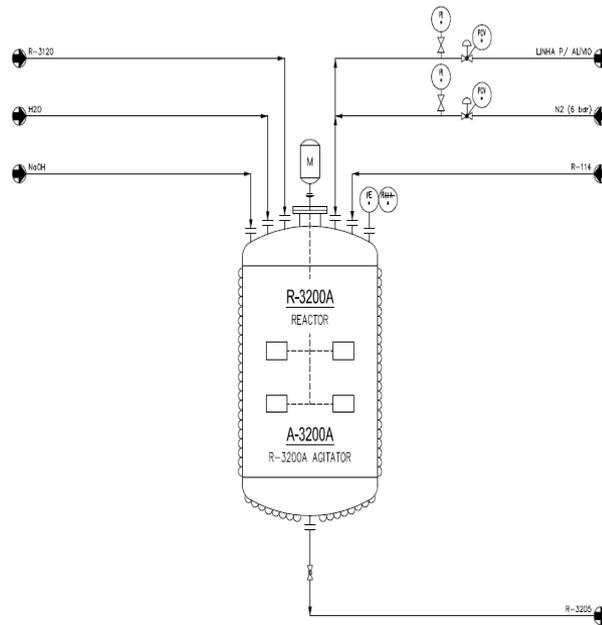


Figura 1: O reator e o processo a ser controlado.

Fonte: Matriz da Empresa.

Para se realizar todo este procedimento conforme descrito, e com o ajuste manual, o sistema ficava suscetível à imperícia, ao descuido e aos erros dos operadores, o que tornava sua sintonia precária, resultando em muitas “bateladas” perdidas e altos prejuízos financeiros. Da mesma forma, por mais ágil e habilidoso que fosse o operador, ele não conseguia promover uma sintonia sensível às mudanças contínuas sofridas pela planta (NISE, 2002). Focando-se, ainda, na planta e no controle da pressão do reator R3200A, percebia-se também que um sistema suscetível a erros humanos como esse, ficava também vulnerável a danos em equipamentos e à segurança de seus trabalhadores, o que poderia acarretar em gastos desnecessários e elevados para a empresa. Assim, resume-se então que a implantação de um sistema de sintonia para tal processo se faz totalmente necessária, visto que, melhorará as condições de segurança dos operadores, ao passo que evitará danos aos equipamentos e desnecessários custos elevados. Neste trabalho, será projetado um controlador PID para o controle de pressão do reator R3200A. A partir do modelo matemático da planta será sintonizado o controlador de acordo com as regras de Z-N. Tal controlador projetado será implantado no Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) existente na planta estudada, de acordo com a estratégia de controle *Split-Range* e os resultados são apresentados e discutidos.

Neste estudo se consideram instrumentos tais como, sensor, controlador e atuador, e os quais são devidamente especificados, selecionados e integrados no Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD), existente na empresa e com espaço disponível para receber mais este projeto, de controle da pressão do reator R3200A. O SDCD é uma rede de comunicação que foi desenvolvida para substituir os controladores analógicos, no controle de processos industriais e permitir aos operadores uma melhor visualização do processo como um todo, permitindo um melhor controle. Ele já vem de fábrica com uma série de instruções pré-programadas, relativas às várias funções que um usuário pode precisar. Estas instruções incluem vários algoritmos de controle, de aquisição de dados, de montagem das telas de visão geral, de alarme, de registro, dentre outras. A Figura 2 mostra uma visão geral do SDCD (BEGA *et. al.*, 2006).

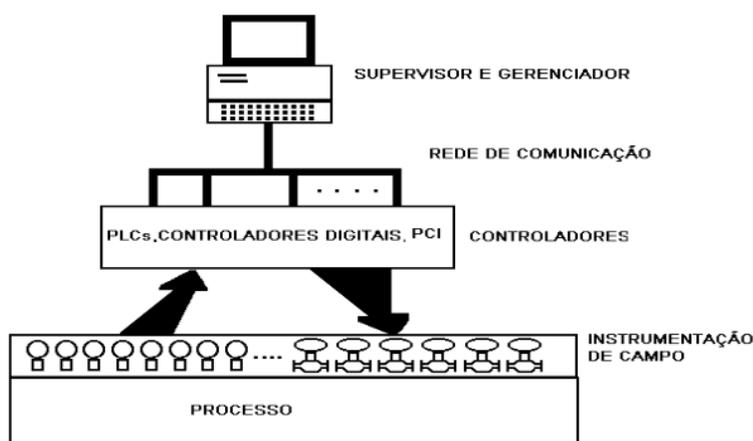


Figura 2: Visão Geral do SDCD.

Fonte: (CORREA, 2002).

Quando o usuário vai instalar no SDCD as instruções relativas à sua aplicação específica, ele segue os seguintes passos:

- Introduce as *Tags* (identificação dos sistemas por letras e/ou números) de seus instrumentos no sistema;
- Define os endereços de entrada e saída dos instrumentos;
- Define os algoritmos que deverão ser utilizados para cada malha;
- Define os parâmetros relativos ao ganho proporcional, integral e derivativo;
- Define níveis de alarme ou ações de controle.

Estas informações são armazenadas na estação de controle, em sua base de dados e os instrumentos são interligados por software, através de configurações adequadas. Em nosso estudo de caso, a empresa está disponibilizando um SDCD já existente em suas instalações e com capacidade de suportar mais este sistema de controle. A função deste trabalho será inserir o controlador que será projetado nas seções seguintes no SDCD da empresa, selecionando para isso, os dispositivos mais adequados que irão compor o sistema de controle (BEGA *et. al.*, 2006).

Com a utilização do SDCD e a adoção da supervisão e do controle centralizado em uma sala própria, tornou-se necessário o envio à distância de um sinal proporcional à variável medida, ou seja, a transmissão do sinal. Entende-se por transmissor, os instrumentos que convertem o sinal de um sensor em um sinal padrão para ser enviado à distância. Com a evolução da instrumentação eletrônica e analógica, foi padronizada a transmissão de sinais na forma de corrente contínua, na faixa de 4 a 20 mA. Um dispositivo desse tipo, também será selecionado e incorporado no projeto (BEGA *et. al.*, 2006).

Outra particularidade na implementação do sistema de controle deste estudo de caso é a utilização de uma estratégia de controle em faixa dividida, chamada *Split-Range*. Este tipo de controle envolve normalmente dois atuadores (duas válvulas de controle) sendo operados pelo mesmo controlador. Neste trabalho, o controle da pressão do reator R3200A será feito por um único controlador PID, através de duas válvulas de controle, sendo uma controlando a entrada de nitrogênio a 6 bar e outra controlando uma válvula de alívio (para escape de gases e diminuição da pressão interna do reator). A Figura 3 mostra como será o controle em faixa dividida.

Figura 3: Controle *Split-Range*.

Fonte: Autoria Própria.

No reator R3200A haverá uma linha de entrada de N₂, na qual estará instalada uma válvula de controle que trabalhará totalmente aberta quando receber do transmissor um sinal de 4 mA e irá fechando gradativamente com o aumento da pressão interna do reator, estando totalmente fechada quando o sinal de transmissão atingir 12 mA. Haverá também, outra linha destinada à saída de gases (alívio da pressão), na qual estará instalada a segunda válvula de controle que trabalhará totalmente aberta quando receber do transmissor um sinal de 20 mA e irá fechando quando o sinal de transmissão for caindo, estando totalmente fechada a 12 mA. Assim, quando a pressão do reator estiver no valor desejado (2 bar), o transmissor estará enviando 50% do sinal (12 mA) e as duas válvulas estarão fechadas. Se a pressão do reator começar a cair e ficar menor que 2 bar, o transmissor começará a diminuir o valor do sinal emitido, baixando de 12 mA até chegar a 4 mA, quando necessário. Tais valores correspondem à abertura automática da válvula que injeta N₂ e faz com que a pressão interna do reator aumente. Por outro lado, se a pressão do reator começar a subir e exceder 2 bar, o transmissor começará a aumentar o valor do sinal emitido, indo de 12 mA até chegar em 20 mA, quando necessário. Tais valores correspondem à abertura automática da válvula de alívio, que faz com que a pressão interna do R3200A diminua (BEGA *et. al.*, 2006).

A seguir, são selecionados os dispositivos adequados para essa aplicação e será inserido o sistema de controle no SDCD da indústria. São selecionados: um sensor, que será posicionado no reator, para medição da pressão interna do reator; um transmissor de pressão, que receberá as informações do sensor e transmitirá tais informações, adequadamente, para o controlador, na sala de controle; e dois atuadores, que serão duas válvulas de controle, sendo uma para injeção de N₂ e outra para o alívio dos gases, que receberão o sinal de comando do controlador e farão a ação de controle para o valor desejado. Com o sistema devidamente selecionado por completo, são inseridos os parâmetros encontrados para o controlador PID no SDCD e se integram todos os dispositivos no controlador, colhendo os resultados e a resposta do processo, esperando obter seu total controle.

4 PROJETO E SINTONIA DO CONTROLADOR PID

Para controlar a pressão do reator R3200A em 2 bar e se ter o resultado esperado é necessário fazer a sintonia do controlador PID, sendo esta, dependente do modelo matemático que descreve a resposta da planta estudada (GOODWIN; GRAEBE; SALGADO, 2009).

Neste estudo, não foi preciso realizar processos experimentais para se obter o modelo matemático da planta. A própria empresa forneceu o modelo matemático do processo a controlar, e justificada pela bibliografia. Para determinar a função de transferência, a matriz da empresa utilizou um procedimento experimental, introduzindo no sistema um sinal de entrada, degrau unitário, e se avaliou a resposta (Figura 4).

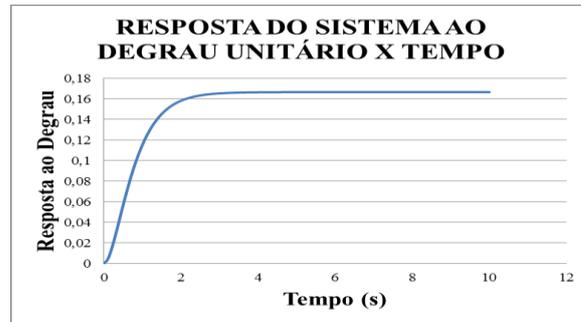


Figura 4: Resposta do sistema no domínio do tempo.

Fonte: Matriz da Empresa.

A função que representa a curva de resposta do sistema é mostrada na Eq. (1).

$$f(t) = \frac{1}{6} (1 + 2 e^{-3t} - 3 e^{-2t}) \quad (1)$$

Considerando-se o sinal de entrada, como sendo o degrau unitário, pode-se deduzir que a função de transferência que representa o modelo matemático do sistema é conforme a seguir:

$$F(s) = \frac{\text{saída}}{\text{entrada}} = \frac{1}{s(s+2)(s+3)} = \frac{1}{\frac{1}{s}(s+2)(s+3)} \quad (2)$$

Com o modelo matemático da planta conhecido, foram feitas análises da resposta pelo método Root-Locus (OGATA, 2002), no ambiente computacional de simulação do Matlab®. Observa-se que o lugar das raízes do processo localiza-se totalmente à esquerda do eixo imaginário do plano S e, portanto o processo terá comportamento estável para qualquer valor de ganho inserido, o que facilitará os estudos e experimentos, principalmente no momento da aplicação prática.

O diagrama de blocos que representa o controle do processo está representado na Figura 5. O passo a seguir é utilizar as regras de Z-N, e determinar os parâmetros do controlador PID: K_p , T_i e T_d , e depois de análise da resposta desejada, sintonizar estes parâmetros.

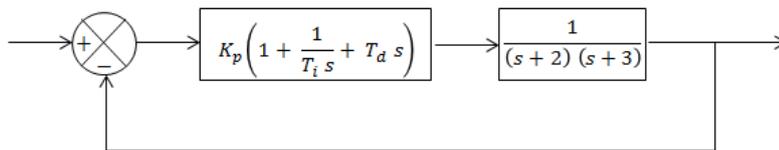


Figura 5: Controle PID do processo.

Fonte: (OGATA, 2002, adaptado).

Para aplicar as regras de Z-N neste caso, o primeiro passo é simular a resposta do processo, em malha aberta, a uma excitação em degrau, e analisar o comportamento de tal resposta. Para isso, será utilizado, novamente, o MatLab®, para realizar as simulações.

A curva de resposta da planta, em malha aberta, excitada com a função degrau unitário, apresenta formato em S e, portanto, o primeiro método de Z-N pode ser aplicado. Para isso, traça-se uma reta tangente ao ponto de inflexão da curva e encontram-se as constantes L e T , que representam o tempo de retardo do sistema e a constante de tempo, respectivamente (Figura 6).

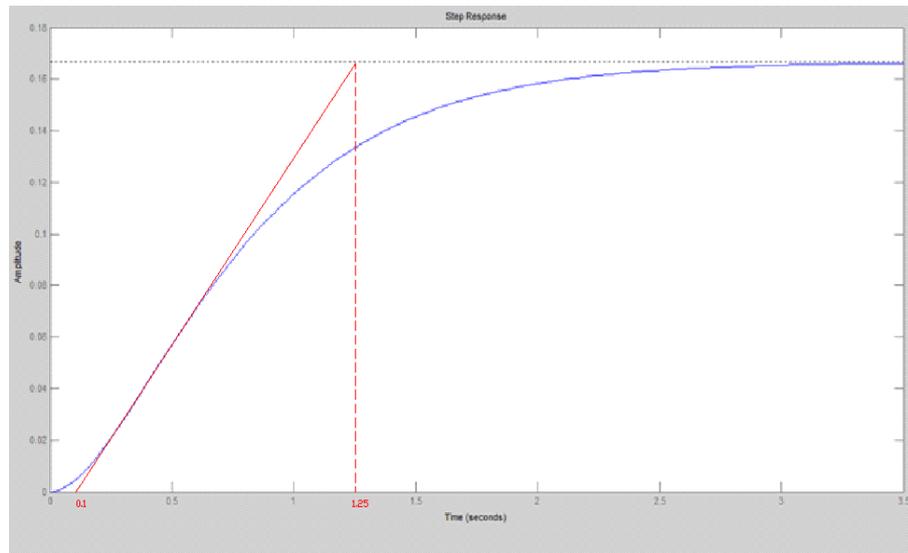


Figura 6: Obtenção dos valores das constantes L e T .

Fonte: Autoria própria.

Pela figura 6, é possível ver que o valor do tempo de retardo (L), no caso, é de aproximadamente 0,1 segundos e que o valor da constante de tempo do sistema (T) é de aproximadamente 1,15 segundos. De posse dos valores de L e T , o método de Z-N sugere ajustar os valores dos parâmetros (proporcional, integrativo e derivativo). Assim, os valores encontrados para K_p , T_i e T_d estão a seguir:

$$K_p = 1,2 \frac{T}{L} = 1,2 \frac{1,15}{0,1} = 13,8 \quad T_i = 2L = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \quad T_d = 0,5 L = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05 \quad (3)$$

Considerando-se estes parâmetros no controlador PID observa-se que a resposta do sistema (Figura 7) apresenta um elevado valor máximo de ultrapassagem, de aproximadamente 55%, muito distante dos 25% desejados pelo método de Z-N.

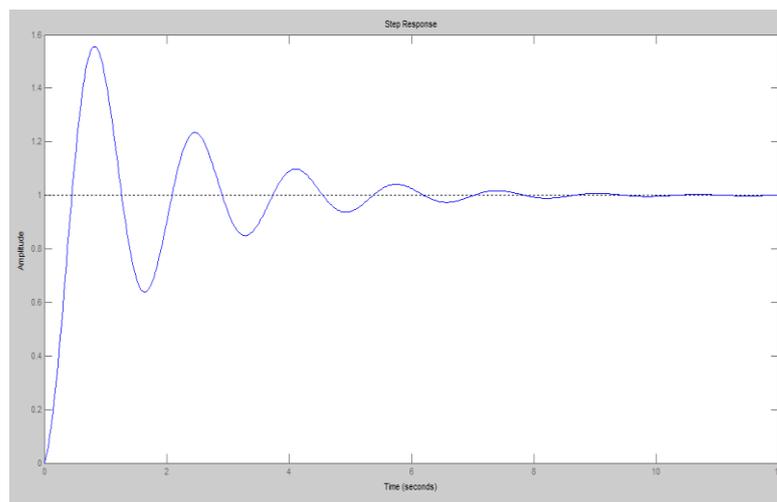


Figura 7: Resposta do sistema ao degrau considerando os parâmetros da Eq. (3).

Fonte: Autoria própria.

Na prática, este comportamento pode significar valores elevados na pressão do reator, e até que o sistema se estabilize, condição esta, que é totalmente indesejada por parte do processo, já que, o aumento de pressão a valores muito elevados pode danificar os equipamentos do sistema, projetado para trabalharem com pressões menores.

Como os parâmetros iniciais, segundo o método de Z-N, não foram os mais satisfatórios para o processo, se realiza uma sintonia fina. Percebe-se ainda que, além do valor máximo de ultrapassagem precisar ser diminuído, o tempo de estabilização do sistema, foi de aproximadamente 6,8 segundos (4,8 segundos a mais que o requerido), e o tempo de subida, foi de aproximadamente 0,82 segundos. Esses valores também podem ser diminuídos e o erro estacionário do sistema também ser eliminado. Assim, o modelo mais adequado para o controlador, ou seja, o que mais se aproxima aos valores requeridos de valor máximo de ultrapassagem e tempo de estabilização foi aquele com $K_p = 20$, $T_i = 0,4$ e $T_d = 0,1$. A resposta do processo com o novo modelo de controlador inserido, a uma excitação em degrau, pode ser vista na Figura 8.

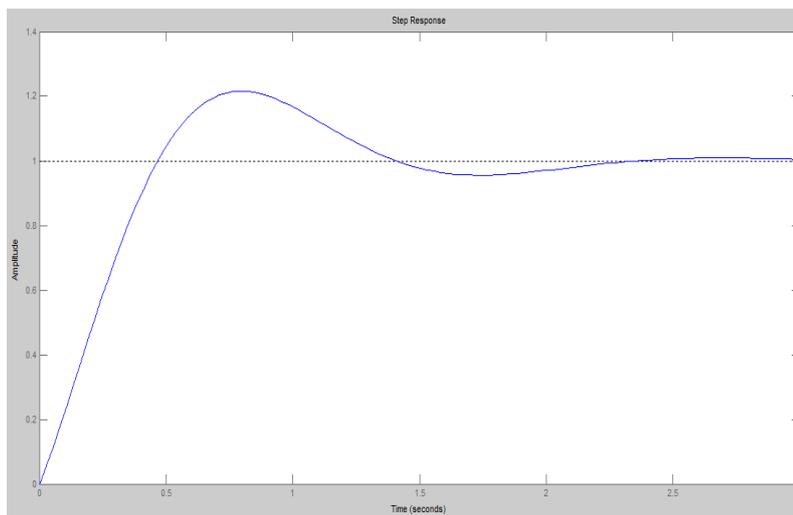


Figura 8: Resposta do sistema a uma excitação em degrau com o novo controlador.

Fonte: Autoria própria.

Observando a Figura 8, nota-se agora, que o valor máximo de ultrapassagem foi de aproximadamente 21,5%, bem próximo dos 25% requeridos pelo método Z-N. Tal *overshoot* apresentou um valor adequado também em termos práticos, já que, poderá se inserir no reator uma pressão inicial no máximo 21,5% maior do que a desejada, valor totalmente aceitável e menor do que as pressões de projeto dos equipamentos componentes do sistema. Observou-se também que o tempo de estabilização do sistema diminuiu consideravelmente, passando de 6,8 segundos para 2,1 segundos, tempo bem próximos do tempo requerido e aplicável em termos práticos (em 2,1 segundos, o sistema estará estabilizado). O tempo de subida diminuiu bem pouco em relação ao do processo com o controlador inicial, passando de 0,82 segundos para 0,79 segundos, valores estes também considerados aceitáveis (o processo estará com a pressão no valor de pico por menos de 1 segundo). E o erro estacionário do processo foi minimizado, garantindo a robustez do controlador.

O aumento do K_p (de 13,8 para 20) garantiu um bom tempo de subida para a resposta do processo; o aumento de T_i (de 0,2 para 0,4) ajudou a minimizar o erro estacionário do sistema; e o aumento de T_d (de 0,05 para 0,1) fez com que o tempo de estabilização e o valor máximo de ultrapassagem, diminuíssem consideravelmente, passando a ter valores aceitáveis na prática. Pode-se dizer então, que o aumento dos ganhos (K_p , T_i e T_d) resultou em comportamentos adequados, tornando a resposta do processo da maneira desejada e, portanto, o controlador sintonizado, mostrou-se uma excelente alternativa para o problema do controle de pressão do reator R3200A.

Seguindo com o procedimento, foi dada continuidade à sintonia fina, com o objetivo de encontrar valores ainda melhores para os parâmetros do controlador PID, entretanto, o aumento dos valores dos parâmetros do controlador PID nessa segunda sintonia fina, não melhorou as condições de resposta do processo e, portanto novos valores foram desnecessários.

Assim, as condições que melhor ajustam o controlador PID neste caso, de acordo com as regras de Z-N e com a engenharia de processos da empresa, foram as desenvolvidas na primeira sintonia fina e, tais parâmetros foram os implementados no processo real, e verificar se o modelo e o ajuste do controlador proposto realmente funcionam na prática. Os valores dos parâmetros que foram adotados são apresentados na equação 21, que são os que foram implementados no controlador real da indústria química conforme a seguir:

$$K_p = 20 \qquad T_i = 0,4 \qquad T_d = 0,1 \qquad (4)$$

Da análise do gráfico do lugar das raízes (*Root-Locus*) do processo já com o controlador PID sintonizado observa-se que sempre o comportamento da resposta será estável, o que facilitará sua implementação na planta real.

5 INSTALAÇÃO DO SISTEMA

Com o sistema totalmente selecionado e o controlador sintonizado, se instalaram todos os componentes e a integração dos mesmos no SDCD da empresa. Primeiro, instalou-se o transmissor eletrônico de pressão manométrica, na tubulação comum ao escape de gases e à entrada de nitrogênio, bem próximo ao bocal do reator, garantindo que a medição seja de excelente qualidade, dado a proximidade do instrumento com o local de medição (interior do reator). Utilizou-se uma alimentação a dois fios, de baixo consumo de energia, proporcionada pelo próprio sinal de 4 a 20 mA, com uma tensão nominal de 24 volts, em corrente contínua. Como os fluidos são gasosos, a principal preocupação é com a presença de líquidos condensados que poderiam interferir na tomada de pressão, trazendo possíveis erros de medição. Para evitar esses erros, o transmissor foi instalado acima do ponto de medição (acima do reator) para que o líquido não se acumule próximo ao instrumento, como mostra a Figura 9.

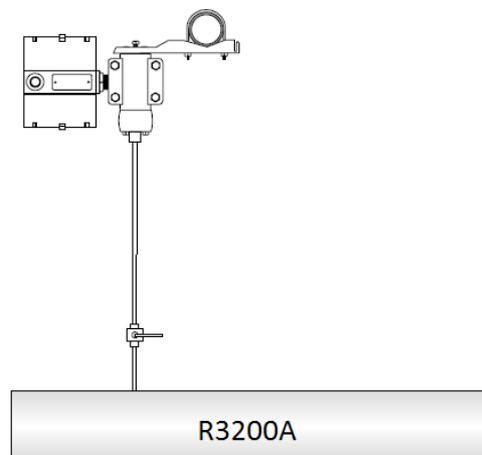


Figura 9: Representação da instalação do transmissor.

Fonte: (CORREA, 2002).

Com o transmissor instalado fisicamente, interliga-se sua saída num receptor do sistema, que transmitirá os dados medidos ao computador com o sistema controlador, localizado na sala de controle, através da comunicação serial em protocolo Hart®. Na sala de controle, inserem-se as instruções relativas à aplicação específica do projeto no SDCD, ou seja, introduzem-se os *tags* do transmissor, das válvulas de controle e do reator, definem-se os endereços de entradas e saídas, quais algoritmos usarem para cada malha de controle, os valores relativos aos ganhos proporcional, integrativo e derivativo encontrados para o controlador (Eq. 4) e configura-se o valor desejado (*setpoint*) para a pressão do sistema (2 bar). Estas informações são armazenadas na estação de controle, em sua base de dados. O SDCD já vem de fábrica com uma variedade de instruções pré-programadas, incluindo algoritmos de

controle, de aquisição de dados, de montagem das telas para visão geral, para as várias funções que um usuário pode precisar. A Figura 10 mostra um tipo de tela para entrada dos parâmetros do controlador.

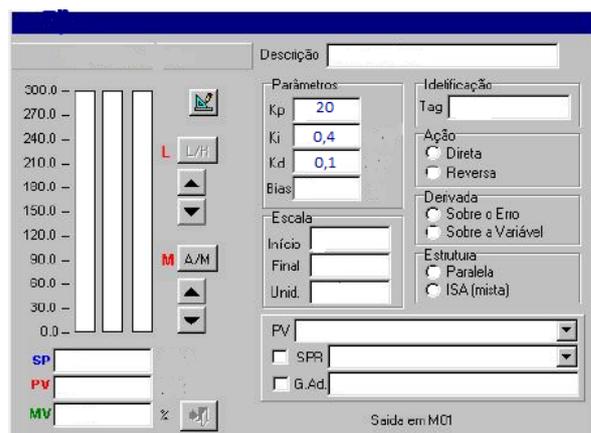


Figura 10: Tela de entrada dos parâmetros do controlador.

Fonte: SDCD da empresa adaptado.

Com o sistema integrado no SDCD e o transmissor instalado, parte-se, por fim, para a instalação física das válvulas de controle. A válvula de 1 polegada é posicionada na tubulação de nitrogênio e a de 2 polegadas na tubulação de escape de gases. O controle em faixa dividida é implementado configurando o sinal de 4 a 12 mA para comandar a abertura da válvula de nitrogênio e o sinal de 12 a 20 mA para comandar a abertura da válvula de escape de gases. Em caso de falha, a válvula de nitrogênio foi configurada para ficar na posição totalmente fechada e a válvula de escape de gases na posição totalmente aberta, no sentido de despressurização do sistema. As válvulas recebem do controlador um sinal de 4 a 20 mA e se comunicam com o sistema e com o usuário em Hart®. O sinal de saída é pneumático, compatível com o atuador da válvula. A alimentação pneumática é feita por uma linha de ar comprimido, que é interligada no posicionador com pressão de 7 bar e o sinal pneumático emitido ao atuador da válvula é proporcional ao sinal recebido pelo controlador, sendo controlado por uma válvula reguladora.

6 RESULTADOS

Com o sistema devidamente instalado e funcionando, pode-se comprovar a seleção adequada e se funciona conforme especificado. A Figura 11 mostra o processo com o sistema de controle projetado desligado, ou seja, sem a atuação do controlador. Pode-se notar que, com o sistema operando de maneira manual (sem o controlador), a pressão do processo (linha verde) oscila muito em torno do *setpoint* (2 bar, linha rosa), o que pode ser prejudicial ao processo, como já exposto anteriormente, acarretando em possíveis perdas do lote. Pode-se observar também que a abertura das válvulas (linha amarela), feita de maneira manual, ficava muito limitada, atingindo sempre os mesmos valores de abertura e, conseqüentemente, inserindo ou retirando os mesmos valores de pressão do sistema.

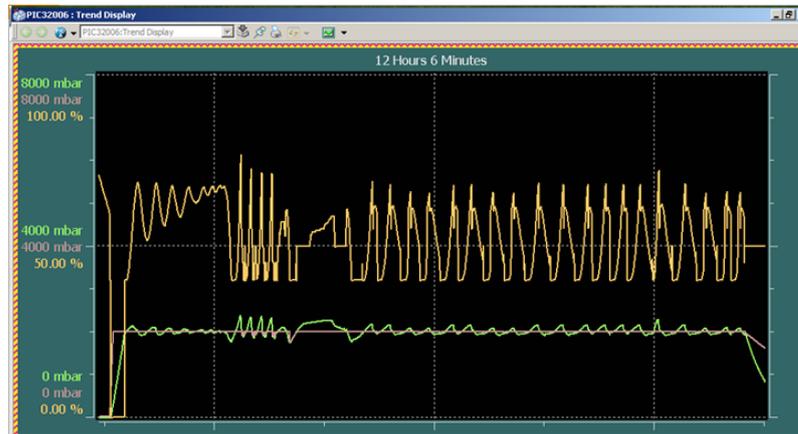


Figura 11: Processo operando de maneira manual.

Fonte: SDCD da empresa.

Com a ativação do sistema de controle projetado, o controlador começa a atuar juntamente com os instrumentos e o sistema passa por uma rápida fase de transição, como pode ser visto na Figura 12.

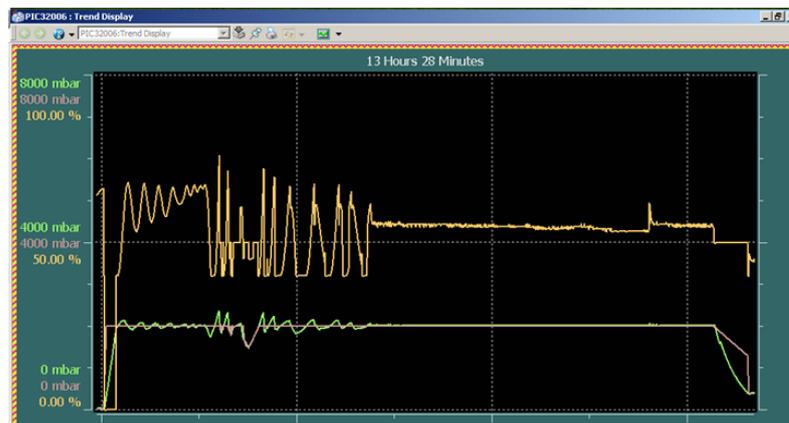


Figura 12: Início do funcionamento do sistema.

Fonte: SDCD da empresa.

Nota-se agora que as oscilações nos valores da pressão interna do reator (linha verde), em torno do *setpoint* (linha rosa), começam a deixar de existir, diante das ações de controle automático e que a abertura das válvulas (linha amarela) passa a atingir valores que não eram possíveis de atingir com a operação manual, valores estes que proporcionam um controle mais preciso da pressão interna do reator. Pela Figura 12, é possível observar o exato momento em que o sistema é ligado e as operações deixam de ser manuais e se tornam automáticas.

Conforme projetado, o sistema demora um tempo de aproximadamente 2,1 segundos para se estabilizar. A Figura 13 mostra o comportamento do sistema após esse tempo de estabilização.

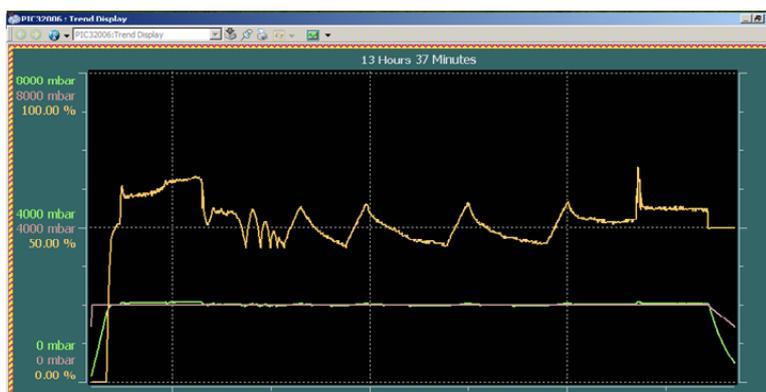


Figura 13: Sistema estabilizado com o controlador atuando.

Fonte: SDCD da empresa.

Percebe-se agora que, após a estabilização do sistema, a variável do processo (linha verde) fica a todo instante bem próxima do valor desejado de 2 bar (linha rosa) e a abertura das válvulas vai variando de acordo com o necessário para manter este valor de pressão, conforme requerido.

Diante desses resultados, pode-se afirmar que o sistema foi selecionado, sintonizado e instalado corretamente, visto que o reator R3200A deixou de operar manualmente, com oscilações de pressão interna, que poderiam causar desvios de qualidade no produto final e até a perda total do produto, e passou a operar automaticamente, de maneira confiável, com a pressão interna sempre muito próxima ou igual a 2 bar, como requerido.

7 CONCLUSÕES

Neste estudo foi possível traçar um plano de ação para a implementação de um sistema de controle de pressão de um reator de uma indústria química. A estratégia de controle implementada mostrou-se eficiente, mantendo a pressão interna do reator muito próxima ao valor desejado durante todo o tempo da reação, ao contrário do que ocorria com o processo conduzido de maneira manual. Com o sistema, agora automático, a empresa consegue garantir o fornecimento de seu produto sempre dentro das especificações, evitando assim, o descontentamento de seus clientes e, principalmente, prejuízos financeiros.

No desenvolvimento tem-se usado o modelo matemático do processo fornecido pela empresa, o qual foi verificado na literatura. E com auxílio do programa de simulação MatLab®, tem-se analisado o comportamento dos parâmetros do controlador PID no sistema e sintonizado segundo as regras clássicas de sintonia de Z-N. Assim, o comportamento da variável controlada, a pressão no reator, tem-se mostrado eficiente quando implementado este tipo de controle. O controlador, o transmissor eletrônico de pressão e as válvulas de controle selecionados de acordo com as especificações do processo, foram implementados na indústria química, no SDCD existente na empresa, num controle em faixa dividida, que também se mostrou eficiente no estudo.

Das imagens do comportamento do sistema, obtidas pelo SDCD da empresa (Figuras 11, 12 e 13), pode-se comprovar a importância da implementação do sistema de controle para o processo estudado. Inicialmente, com o controlador desligado e o sistema atuando de forma manual (Figura 09), exatamente como era feito antes da execução deste trabalho, pode-se perceber a presença de oscilações na pressão interna do reator estudado, em torno do valor desejado (2 bar), o que poderia danificar e invalidar o produto e trazer muitos prejuízos econômicos. Isso acontecia, pois, com as operações realizadas manualmente, havia uma limitação na abertura das válvulas de controle e, com isso, sempre se injetava ou retirava, os mesmos valores de pressão do interior do reator, e não os valores que

realmente se precisava naquele momento. Na sequência dos resultados (Figura 12), pode-se perceber perfeitamente o momento em que o controlador é ligado e o sistema deixa de ser manual e começa a operar de forma automática. Ao se ligar o sistema, percebe-se que as limitações de abertura de válvula e as oscilações de pressão começam a deixar de existir, mantendo-se a pressão interna do reator muito próxima ao valor desejado. Na última imagem (Figura 13), pode-se perceber que o sistema implementado se mostra eficiente durante todo o tempo de reação e, com isso, a empresa pode garantir a qualidade de seu produto e a segurança de suas operações, o que não podia ser realizado com as operações sendo feitas manualmente.

Devido ao sucesso na implementação deste sistema de controle, devido ao baixo custo de instalação e rápido retorno financeiro, fica como sugestão a utilização desse trabalho como consulta para aplicações semelhantes, tanto para controle de pressão de outros reatores e de outros equipamentos, como para o controle de outras variáveis de processo, como temperatura, vazão, nível, dentre outros, estudando e implementando as particularidades no controle de cada variável específica. A partir deste trabalho, é possível também, desenvolver e implementar sistemas de controle mais complexos, envolvendo o controle de mais de uma variável na mesma malha e envolvendo várias malhas de controle diferentes gerenciadas por controladores semelhantes ao utilizado neste trabalho.

Outra sugestão de atividade futura é a exploração de todas as funções que um SDCD pode fornecer para controle de processos. Neste trabalho foi apresentada somente uma aplicação, com controlador PID, dentre muitas outras possibilidades existentes para um SDCD.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos gerentes da empresa Multitec – Engenharia e Automação, por acreditarem que o conhecimento científico aplicado dentro da indústria pode trazer resultados significativos para toda a sociedade e aos engenheiros de processo pelas orientações em relação a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- ÅSTRÖM, K. J.; HÄGGLUND, T. *Advanced PID Control*. Lund: ISA – Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006.
- BAHAVARNIA, M.; TAVAZOEI, M. S. A New view to Ziegler–Nichols step response tuning method: Analytic non-fragility justification. *Journal of Process Control*, v. 23, n. 1, p. 23–33, 2013.
- BEGA, E. A. et al. *Instrumentação Industrial*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- CORREA, Paulo Vicente. *Fundamentos de Instrumentação e Controle*. Manaus, 2002.
- GOODWIN, G. C.; GRAEBE, E.; SALGADO, M. E. *Control System Design*. Prentice Hall, 2000. 908 p.
- NISE, Norman S. *Engenharia de Sistemas de Controle*. 3. ed. São Paulo: Ltc, 2002.
- O'DWYER, A. *Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules*, 3rd ed., Imperial College Press, London, 2009.
- OGATA, K. *Engenharia de Controle Moderno*. 3. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2002.
- VALÉRIO, D.; COSTA, J. S. DA. Tuning of fractional PID controllers with Ziegler-Nicholstype rules. *Signal Processing*, v. 86, n. 10, p. 2771–2784, 2006.
- ZIEGLER, J.G.; NICHOLS, N.B. *Optimum settings for automatic controllers*, Trans. ASME 64, p. 759–768, 1942.