

CONTROLE ADAPTATIVO APLICADO À OTIMIZAÇÃO DO CONTROLE DE TEMPERATURA DA PRECIPITAÇÃO DE HIDRATO NO PROCESSO BAYER¹

Francisco Sérgio Clementino Rodrigues²

Victor César Ribeiro da Cruz³

Cleberson Ferreira⁴

Resumo

O objetivo deste trabalho é diminuir a variação de temperatura dos tanques aglomeradores e cementadores, garantindo a mínima variabilidade do produto final devida a esse fator. Para obtenção comercial da Alumina de grau metalúrgico, matéria prima do alumínio primário, é utilizado o Processo Bayer. Antes de chegar à precipitação, o licor passa por várias etapas e sai com a temperatura em torno de 102°C, muito elevada para precipitar o hidróxido de alumínio. Para redução e controle dessa temperatura são utilizados trocadores de calor "de placas", com válvulas de controle automáticas no circuito de água de resfriamento. Através dessas, os operadores selecionavam as temperaturas de *set points*. Esta atuação era contínua, e gerava uma oscilação de até 3,8°C (onde o admissível é 1°C) em torno do set point (aprox. 71°C), provocando a precipitação precoce ou retardada do hidróxido, diminuindo a qualidade e quantidade do produto final. A modificação iniciou-se pela troca da referência de controle do PID, que passou a ser no próprio tanque (ponto influenciado por todas as variáveis de entrada), e não mais na saída do trocador de calor. No segundo momento foi criado um controle adaptativo que inibia as variações bruscas do PID, além de devolvê-lo ao ponto de estabilidade do sistema. O resultado alcançado foi uma variação de 0,3°C (pico a pico), sem qualquer intervenção do operador; além de uma menor variação (e menos brusca) do elemento final de controle, com um sistema totalmente automático.

Palavras-chave: Controle adaptativo; Variação de temperatura; Precipitação de hidrato; Processo Bayer.

ADAPTIVE CONTROL APPLIED TO THE OPTIMIZATION OF THE TEMPERATURE CONTROL OF HYDRATE PRECIPITATION IN THE BAYER PROCESS

Abstract

The objective of this work is reduce the temperature variation of the agglomeration e cementation steps, ensuring minimal variability of the final product due to this factor. To obtain commercial metallurgical grade alumina, the raw material for primary aluminum, Bayer process is used. Before reaching the precipitation, the liquor goes through several steps and leave with the temperature around 102°C, too high to precipitate aluminum hydroxide. To reduce and control this temperature, plate heat exchangers are used with automatic control valves in the cooling water circuit. Through these, the operators selected the set point temperature. This action was continuous, and provoked a range of up to 3.8 degrees C (1°C permissible), around the set point (approx. 71°C), causing the precipitation of early or delayed hydroxide, reducing the quality and quantity of final product. The change was initiated by replacing the reference PID control, which became the tank itself (point influenced by all input variables), and no more in the output of the heat exchanger. In second place was created a adaptive control that inhibited abrupt changes in the PID, and return it to the point of stability. The result achieved was a variation of 0.3°C (peak to peak), with no operator intervention and a variation smaller (and less abrupt) of the final control element in a fully automatic system.

Key words: Adaptive control; Temperature variation; Hydrate precipitation; Bayer process.

¹ Contribuição técnica ao 15º Seminário de Automação e TI Industrial, 20 a 22 de setembro de 2011, São Paulo, SP.

² Engenheiro de Manutenção da Alumina do Norte do Brasil S.A. – Alunorte.

³ Engenheiro de Processo da Alumina do Norte do Brasil S.A. – Alunorte.

⁴ Engenheiro de Automação – Marinha do Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As temperaturas da aglomeração e cementação são dois dos parâmetros mais críticos para o controle do processo de precipitação do hidrato, interferindo em parâmetros de qualidade tais como: soda ocluída, índice de atrito (fragilidade) e granulometria do cristal. Contudo, observou-se que o atendimento às metas definidas pela engenharia de processo não estava sendo satisfatório, de modo que se fazia necessário diagnosticar as causas do problema, a fim de implementarmos ações adequadas para o restabelecimento do controle.

Após utilização da ferramenta de análise de falhas, baseada no ciclo PDCA, foi diagnosticado que a variável de referência do controle não sofria influência de todos os fatores do processo, e que havia uma grande necessidade de intervenção operacional no controle automático de temperatura, o que provocava constantes oscilações e períodos fora da faixa de especificação. Isso ocorria devido a constantes oscilações nas variáveis de entrada, tais como vazão e temperatura do licor a ser resfriado, bem como vazão de água de resfriamento. Dessa maneira, constatou-se que era necessária a mudança da referência de temperatura da saída do trocador de calor para o sensor de temperatura do tanque aglomerador, e tornar o controle totalmente automático, permitindo ao operador de sala de controle analisar outras variáveis. Ao mesmo tempo precisava-se que esse novo controle se adaptasse às diferentes condições do processo e tivesse uma rápida resposta às perturbações.

Segundo Von Zuben⁽¹⁾ o principal objetivo de controle por realimentação é obter um sistema que seja capaz de manter um nível esperado de desempenho mesmo frente a perturbações e variações nas características do sistema de controle. No entanto, algumas plantas apresentam variações tão amplas e com efeitos significativos sobre o comportamento dinâmico que um ganho de realimentação linear e com coeficientes constantes é incapaz de fornecer a flexibilidade necessária para atender às especificações de desempenho. Sendo assim, passa a ser necessário medir continuamente estas variações e então ajustar devidamente os parâmetros de controle ('ganhos não-lineares'). Este sistema é chamado de controle adaptativo, denominação atribuída à ação de controle de sistemas capazes de modificar seus próprios parâmetros em resposta a alterações verificadas em algum módulo que esteja sendo monitorado. Neste sentido, adaptar-se significa mudar o comportamento em resposta a novas circunstâncias de operação, com o objetivo de manter um nível esperado de desempenho.

Von Zuben⁽¹⁾ descreve que sistemas de controle adaptativo são caracterizados pela existência de duas malhas de realimentação: 1. malha de controle convencional; 2. malha de adaptação, responsável por monitorar o desempenho e ajustar os parâmetros do controlador de acordo com as condições de operação em vigor.

Com isso, o trabalho teve como objetivo implementar um sistema de controle adaptativo como uma alternativa para manter a especificação da temperatura da aglomeração e cementação bem como reduzir a necessidade de intervenção do operador no controle deste parâmetro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A execução do experimento contou com o auxílio de uma poderosa ferramenta amplamente conhecida nos sistema de controle fabris, o SDCC (sistema digital de controle distribuído), dispendo de inúmeros recursos que possibilitam a visualização

e atuação nas principais variáveis de processo (pressão, vazão, temperatura, etc.), controladores PID e uma alta capacidade computacional, propiciando uma resposta rápida e confiável aos elementos finais de controle.

Durante anos, os ajustes de PID's (que controlam a água de resfriamento dos aquecedores de placas da precipitação) foram realizados baseados na experiência e conhecimento das reações do controlador a mínima variação dos parâmetros K_p (ação proporcional/Ganho), T_i (ação integral) e T_d (ação derivativa). Este conhecimento do processo conciliado ao segundo método de Ziegler-Nichols, segundo Ogata,⁽²⁾ determinava até então o único método para os ajustes destes PID's.

O segundo método de Ziegler-Nichols baseia-se em elevar a ação integral a infinito ($T_i = \infty$) com a ação derivativa sendo igual a zero ($T_d = 0$), obtendo então uma malha fechada conforme Figura 1. Em seguida deve-se variar o fator proporcional (K_p) de 0 a um valor crítico K_{cr} , no qual observa-se uma forma de onda com oscilações mantidas. Assim, de forma totalmente experimental obtêm-se os valores de K_{cr} e P_{cr} (Figura 2), e através desses define-se os ajustes dos parâmetros do controlador K_p , T_i e T_d (Tabela 1).

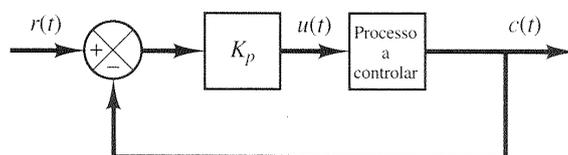


Figura 1. Sistema a malha fechada com controlador proporcional.⁽²⁾

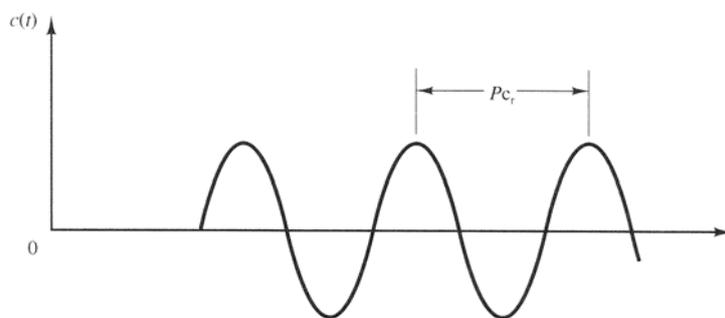


Figura 2. Oscilação mantida com período P_{cr} .⁽²⁾

Tabela 1. Regra de sintonia de Ziegler-Nichols baseada no ganho crítico K_{cr} e no período crítico P_{cr} .⁽²⁾

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0,5K_{cr}$	∞	0
PI	$0,45K_{cr}$	$\frac{1}{1,2}P_{cr}$	0
PID	$0,6K_{cr}$	$0,5P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

Os ajustes desse controle, apesar de simples, deviam ser constantes e demandavam muito tempo da engenharia de automação e atuação dos operadores. O fator que deixou de ser analisado em todo este processo foi a mudança de características das variáveis principais, que com o tempo se alteravam de forma

brusca causando oscilações não-mantidas, ou seja, mudando o Kcr da malha de controle de temperatura.

A solução aplicada para o processo de mudança de variáveis, envolvendo a temperatura do licor rico para precipitação, foi um controle adaptativo, possibilitando mais uma malha de controle que estipula limites de trabalho e aumenta a velocidade de atuação dos elementos finais de controle (Figura 3).

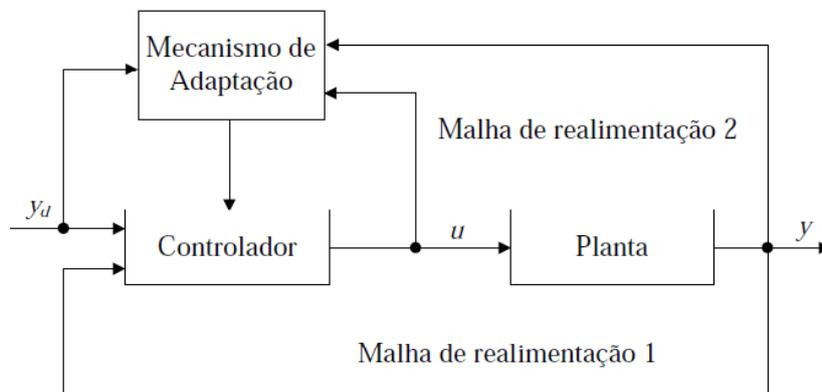


Figura 3. Malhas de realimentação: 1- convencional; 2- adaptativa.⁽¹⁾

O mecanismo de adaptação recebe o set point (SP) do processo e através de blocos lógicos disponibilizados pelo SDCD, o compara com as variáveis medidas em tempo real (Figura 4). Caso a diferença seja superior ou inferior aos limites pré-estabelecidos pela engenharia de processo, o controlador terá uma reação brusca de abertura ou de fechamento das válvulas, até que as condições se estabilizem. Após a variável estar dentro da faixa de trabalho adequada, o processo restabelece as condições iniciais do controlador e o coloca em uma zona de estabilidade dentro da sua dinâmica de operação. Também fazem parte do adaptador, comparadores que garantem reações a todas as exceções do fenômeno de troca térmica dos trocadores de calor de placa e de suas variáveis externas.

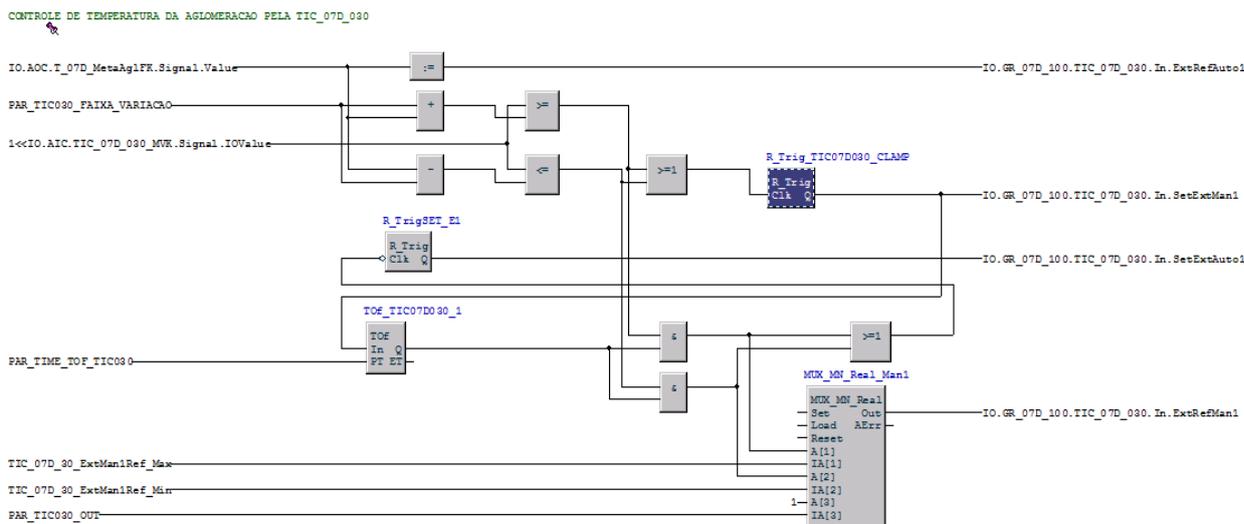


Figura 4. Lógica de controle adaptativo utilizada no controle de temperatura da aglomeração.

3 RESULTADOS

A Figura 5 demonstra o atendimento à especificação do controle de temperatura antes e após a implementação do controle adaptativo.

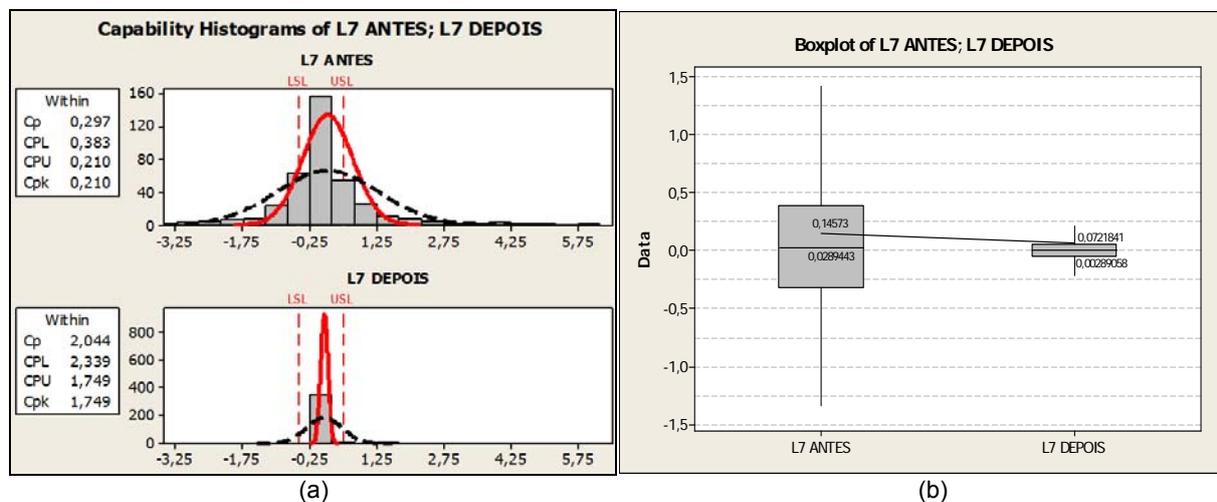


Figura 5. (a) Histograma do desvio da temperatura em relação à meta de controle, antes e após a implementação do controle adaptativo; (b) Boxplot.

A Figura 6, demonstra o comportamento das principais variáveis de entrada, de modo a avaliar se há influência das mesmas no atendimento à especificação.

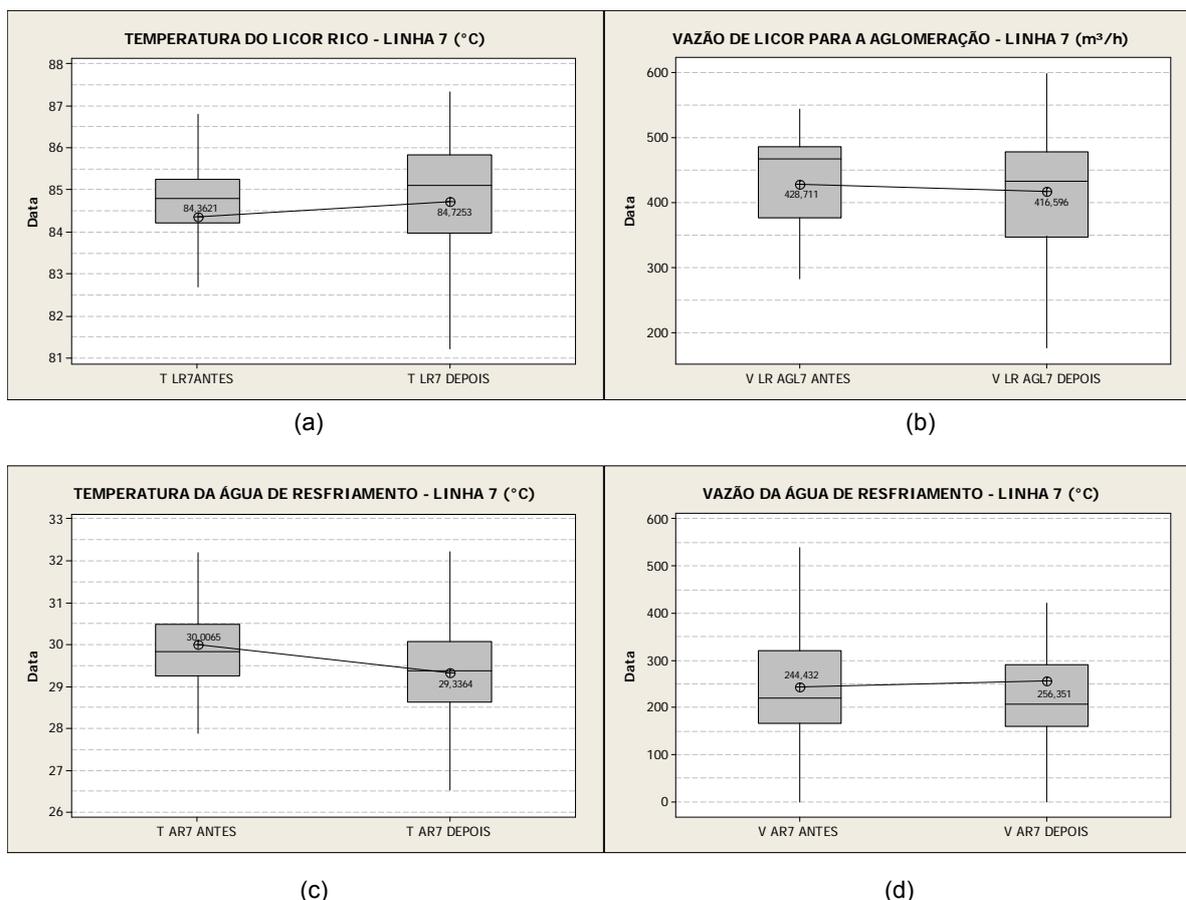


Figura 6. Comportamento das variáveis de entrada: (a) Boxplot demonstrando a variação da temperatura do licor rico antes e após a; (b) variação da vazão de licor rico para a aglomeração; (c) variação da temperatura da água de resfriamento; (d) variação da vazão da água de resfriamento.

Na Figura 7, pode-se observar a evolução no controle de temperatura.

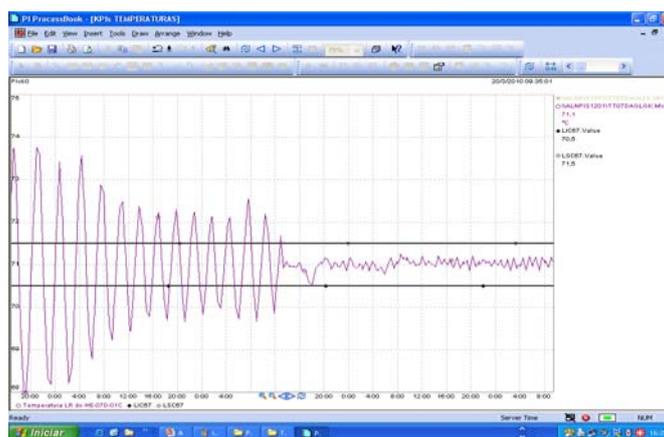


Figura 7. Perfil da temperatura antes e depois da implementação do controle.

4 DISCUSSÃO

Um processo é considerado capaz quando C_p e C_{pk} forem maiores do que 1,33; e o processo é centrado quando C_p e C_{pk} forem iguais, conforme menciona Campos.⁽³⁾ Percebe-se que, utilizando-se o controle antigo, o processo era incapaz e deslocado para o limite superior de especificação, fato identificado pelo C_p de 0,297 e C_{pk} de 0,210, que é o C_p referente ao limite superior. Com a modificação, o processo tornou-se capaz (C_p de 2,044 e C_{pk} de 1,749).

Apesar do bom resultado obtido, faz-se necessário avaliar se o mesmo se deve somente à mudança no controle ou a alterações no comportamento do processo. Nota-se que o licor rico a ser resfriado apresentou maior variação e média após a implementação do controle adaptativo, porém esse fato não provocou distúrbios negativos no resultado; a vazão de licor reduziu insignificamente, porém também apresentou elevação da variação; a temperatura da água de resfriamento reduziu cerca de $0,5^\circ\text{C}$, o que é pouco relevante para a temperatura do licor resfriado e; a vazão de água de resfriamento teve elevação de aproximadamente $10 \text{ m}^3/\text{h}$ na média, e apresentou menor variação do que na condição anterior.

Dessa maneira, pode-se concluir que o processo apresentou condições menos favoráveis ao atingimento da meta após modificação no controle, porém mesmo assim os resultados foram bem melhores.

5 CONCLUSÃO

Através dos dados expostos, observa-se uma significativa evolução no controle de temperatura da precipitação, fato confirmado pela evolução do C_p de 0,297 para 2,044 e do C_{pk} de 0,210 para 1,749. O controle adaptativo mostrou-se uma excelente solução para o problema, visto que se comportou muito bem mesmo com a elevação na variação do processo, observada após sua implementação. Além disso, reduziu a intervenção operacional no controle automático, visto que as oscilações nas variáveis de entrada são identificadas e absorvidas pelo controle. Com isso, obtem-se menor oscilação no processo como um todo, menor utilização da mão-de-obra do operador de sala de controle e um melhor controle da qualidade do produto final.

Agradecimentos

Agradecemos à Alunorte pela oportunidade de desenvolver este trabalho e à toda a equipe da Área de Automação e de Precipitação pelo apoio e incentivo.

REFERÊNCIAS

- 1 ZUBEN, Von. Tópicos Avançados: Controle Robusto, Controle Adaptativo e Controle Inteligente. Disponível em: < ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzuben/ea932_03/aulas/topico10_03.pdf > Acesso em: 10 maio 2011.
- 2 OGATA, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno. Universidade de Minnesota. Terceira Edição, 1998. Cap. 10, p. 544 - 547.
- 3 CAMPOS, S. Lean 6 Sigma. Porto Alegre: Siqueira campos Associados, 2011. P. 227.