

POR QUE A AUDITORIA EM MALHAS DE CONTROLE SERIA MAIS IMPORTANTE NO ENSINO DA GRADUAÇÃO DO QUE O CONTROLE AVANÇADO?

Gustavo Guimarães Moura Pereira – guimakta@gmail.com

Rênia Aparecida de Souza Gomes – reniadesouzagomes@gmail.com

Marlon José do Carmo – marloncarmo@ieee.org

Ângelo Rocha Oliveira – a.oliveira@ieee.org

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Engenharia de Controle e Automação – Campus III
Rua José Peres - Centro
36700-000 – Leopoldina – Minas Gerais

***Resumo:** A teoria de controle já estuda controladores com algoritmo PID desde o início do século passado, sendo que diversos trabalhos comprovam a eficiência deste controlador em estruturas de controle clássico e avançado. Apesar de muito se discutir sobre sintonia de controladores PID, a maioria ainda é utilizada em modo PI ou possuem parâmetros ajustados de forma inadequada, conduzindo a uma vida prematura dos atuadores e outros componentes do sistema. Apesar do estudo e utilização do controlador PID há muito tempo, o desempenho de malhas industriais ainda é insatisfatório em muitos casos. Existem diversos critérios e índices de desempenho (IAE, ITAE, ISE, ITSE, Harris Index, tempo de estabilização, etc.) que permitem definir a eficiência de uma malha de controle. Neste trabalho apresentam-se fatores de motivação que possam fomentar a pesquisa em auditoria de malhas industriais de controle, afim de que tais competências sejam inseridas em programas curriculares dos cursos de graduação e pós-graduação, bem como sua inserção no meio industrial.*

***Palavras-chave:** Auditoria das malhas de controle, Índices de desempenho, Controle de processos, Sintonia de controladores, Controladores.*

1 INTRODUÇÃO

Apesar dos estudos da teoria e dos métodos para a análise de desempenho para sistemas de controle não serem recentes, há que se questionar se todas as malhas operantes evoluem-se em seu máximo desempenho. Atualmente, existem inúmeras aplicações e tecnologias inerentes como sistemas mecânicos, pneumáticos, hidráulicos, elétricos, eletrônicos, microprocessados, biológicos e sistemas inteligentes. Existem critérios e índices estabelecidos dentro da teoria de controle convencional, como por exemplo, pesquisas na área de desempenho das malhas industriais. Vários índices de desempenho trabalham com o conceito de avaliação estatístico em processos onde é usada a comparação do controle em relação a um controlador de mínima variância. Distúrbios determinísticos, como o degrau, ou estocásticos, como o ruído branco, são usados para determinar estes índices. Na “Figura 1” tem-se uma representação de uma malha de controle.

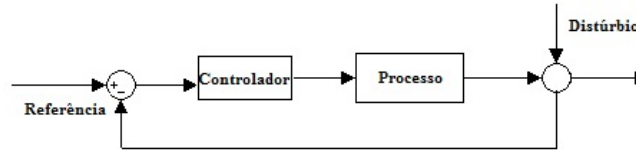


Figura 1: Malha de controle a ser auditada.

Para a operação de sistemas de controle adaptativo modernos, otimização paramétrica de sistemas de controle e projeto ótimo de sistemas é necessária à medida quantitativa do desempenho de um sistema. Os índices IAE, ITSE, ITAE, ISE (CARMO;GOMES, 2006), a variância de controle, a média de controle e a variância da saída da malha (Coelho et al., 2000) são usados para se ter a avaliação de desempenho, mediante distúrbios e variação de referência.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: seção dois - análise dos índices e fatores motivadores para análise das malhas de controle; esta seção está subdividida em auditoria, procedimentos - visão histórica, elementos de motivação e pesquisa; seção três - conclusão do trabalho.

2 DESEMPENHO DAS MALHAS DE CONTROLE

Dentre as preocupações e ações da engenharia de controle está o monitoramento do desempenho de sistemas em tempo real buscando identificar as malhas que operam de forma insatisfatória, ou abaixo do desempenho esperado. Considerando-se que a qualidade final do produto constitui sempre o foco central da produção em um processo industrial, destacam-se, entre várias causas, os crescentes custos energéticos e a contínua demanda pela melhoria da qualidade. A área de controle automático do processo vem buscando continuamente equações corretas e soluções exequíveis para estas questões, com a finalidade de incorporar procedimentos que permitam monitoramento e análise do desempenho das diversas malhas constituintes do processo.

Dois fatores justificam esta postura frente aos controladores: primeiramente, assegurar que eles não se degradem a ponto de por em risco a qualidade final do produto e em seguida determinar quais benefícios podem advir de uma estrutura mais complexa de controle. O engenheiro de controle obtém informações que possibilitam a adoção de medidas para controle da qualidade do produto, mediante recentes desenvolvimentos teóricos nas técnicas de avaliação do desempenho de controladores, *Controller Performance Assessment*, que geraram técnicas que começam a ser inseridas nos algoritmos usados nos controladores comercialmente disponíveis.

Embora muitas soluções disponíveis nos controladores de processos apresentem indicativos de desempenho, há que se estabelecerem os propósitos, objetivos e limitações das várias técnicas de análise de desempenho, levando-se em conta que cada índice pode conter informações específicas sobre a natureza do processo, isto é, podemos encontrar soluções que trabalham com medidas que variam desde uma simples análise estatística a modelos extremamente complexos de análise de desempenho. Com isto, podemos dizer que as soluções disponíveis para controle de processos que possibilitam monitorar o desempenho das malhas industriais em tempo real tornaram-se importantes ferramentas para o engenheiro de controle.

Ao incorporar estas novas ferramentas ao conjunto de procedimentos sob-responsabilidade do engenheiro de controle, aumentou-se a complexidade das soluções propostas, assim como as possíveis respostas encontradas, pois o número de testes e análises

estatísticas para qualquer malha de controle pode ser exagerado. A questão central é a ausência de diretrizes que possam transformar as estatísticas existentes em informações e práticas consistentes a serem aplicadas na melhoria do desempenho e não a ausência de métodos e técnicas. Consideramos três enfoques das técnicas de avaliação: i) Identificar as características dos processos utilizando os dados já existentes; ii) Utilizar métodos para análise em tempo real, à medida que os dados são adquiridos do processo - técnicas vitais para identificação e interpretação das alterações no comportamento do processo que acarretem degradação da malha de controle; iii) Engloba as técnicas de identificação das interações entre as malhas de controle.

De forma similar ao incremento das concepções e estruturas dos controladores, o estudo da teoria e dos métodos para análise de desempenho para sistemas de controle também recebem destaque crescente (HARRIS et al., 1999). Antigamente, os sistemas de controle eram baseados em mecanismos simples. Atualmente, há uma vasta gama de aplicações e tecnologias inerentes como, sistemas mecânicos, elétricos hidráulicos, eletrônicos, microprocessados, biológicos e sistemas inteligentes. Ainda assim, sempre há que se questionar se todas as malhas estão operando em seu máximo desempenho. Apesar das empresas darem pouca atenção ao desempenho destas malhas industriais ao focarem seus esforços em atender as demandas de mercado, observa-se a procura por resultados de produtividade em todos os aspectos, como buscas de monitoração de desempenho em tempo real ou RtPM “*Real Time Performance Management*”. Dentro desta tendência do RtPM pode-se destacar três linhas de trabalho (TORRES et al., 2004):

I - *Overall Equipment Effectiveness - OEE* - voltada para os sistemas de controle automáticos dependentes de variáveis discretas, onde a produção é monitorada a partir do seu desempenho global;

II - *Gerenciamento de ativos* - voltada para sistemas onde as variáveis inerentes são analógicas. Os sistemas de gerenciamento de ativos disponíveis no mercado consideram basicamente apenas os elementos de medição, como os instrumentos, transmissores, e atuadores (válvulas, posicionadores, etc.), monitorando-os para que fiquem dentro do desempenho esperado. Este sistema de análise apresenta um ponto fraco ao não considerar o controlador e o processo a ser controlado, comprometendo, assim, a análise total do desempenho;

III - *Avaliação de Desempenho das malhas de controle* - busca efetuar uma análise global do sistema, com todos os seus componentes. Possui critérios e índices devidamente estabelecidos na área de desempenho das malhas industriais, mas receberam atenção redobrada e apresentaram um desenvolvimento considerável na década de 90.

Muitos dos índices de desempenho trabalham com o conceito de avaliação estatístico em sistemas SISO (*single input - single output*), onde se utiliza a comparação do controle em relação a um controlador de variância mínima. Para se determinar estes índices utilizam-se distúrbios determinísticos, como o degrau ou estocásticos como o ruído branco. Na maioria dos casos as malhas industriais apresentam problemáticas como:

- I - Sintonia inadequada;
 - II - Manutenção dos elementos da malha de controle;
 - III - Variações na dinâmica do processo (Tempo morto, constante de tempo, etc.);
 - IV - Dimensionamento inadequado de componentes;
 - V - Problemas de instalação;
 - VI - Implementação errônea dos controladores PID, principalmente quando for implementados em CLPs;
 - VII - Desgaste dos elementos
- Dentre as ferramentas industriais podem-se citar:
- I - ABB: Loop optimizer suite™ (ABB, 2006);

- II - Honeywell: Loop scout™, @sset.MAX™ (HONEYWELL, 2006);
- III - Pulp and Paper Research Inst. of Canada (PAPRICAN): LoopMD™ (PAPRICAN, 2006);
- IV - Matrikon: ProcessDoc™ (MATRIKON, 2006);
- V - ExperTune: Plant Triage Manual™ (EXPERTUNE, 2006)

Além dos índices como IAE, ITAE, ISE, ITSE, que permitem definir a eficiência de uma malha de controle, outros índices permitem monitorar a malha de controle como um todo e não apenas o desempenho do controlador como, por exemplo, o esforço de uma válvula e variações na dinâmica do processo. A “Tabela 1” mostra alguns índices de desempenho utilizados no ambiente industrial e sua aplicabilidade (TORRES et al., 2004).

Avaliações constantes devem ser feitas para o bom desempenho das malhas e, para isto, uma boa ferramenta para análise deve permitir a combinação da avaliação contínua das variáveis do processo e o cálculo dos seus índices de desempenho. Com isto haverá adequação de determinado processo em função da qualidade, da produtividade, da redução do consumo e, conseqüentemente, dos ganhos econômicos, obtendo-se parâmetros de sintonia ótimos, que resulta em ganhos expressivos para as indústrias como a redução do tempo de parada para manutenção, a diminuição dos custos de manutenção e o aumento de produção, devido a menos variabilidade dos produtos gerados.

2.1 Auditoria nas malhas de controle

Após o diagnóstico de uma malha de controle devem-se desenvolver ações que permitam alcançar o desempenho desejado, isto é, além da análise de desempenho é preciso identificar e corrigir todos os problemas que afetam o seu desempenho. Para tanto, é implementada a auditoria em todos os elementos de uma malha de controle, que irá levantar os problemas e indicar as correções necessárias. Após todas as correções, são feitos os ajustes finais necessário ao seu bom desempenho. As ferramentas de auditoria para malhas industriais devem ser usadas em conjunto com as ferramentas para análise de desempenho maximizando a utilização dos dados do processo e reduzindo o tempo necessário para as atividades de auditoria. A “Tabela 2” apresenta os ganhos típicos alcançados após a etapa de auditoria em um processo.

Tabela 1: Índices de Desempenho utilizados pela Plant Triage - ExperTune (TORRES et al., 2004)

Índice de Desempenho	Aplicação
Average Error	Desvio do Set - point
ExperTune index	Melhoria do controle através da sintonia
Harris(Normalized)	Problemas de controle, processo ou alteração de desempenho
Harris Index	Controle comparado com o controlador de variância mínima
Integral Absolute Error	Desvio de Set - point
Model Quality	Adequabilidade do último degrau de SP ou CO para sintonia
Noise Band	Problemas de medição
Oscillating	Oscilação
Oscillating (disturbance)	Oscilação devido a perturbações
Oscillating (hardware)	Oscilação devido a problemas de válvula
Oscillating (tuning)	Oscilação devido a problemas de sintonia
Oscillating Period (1-3)	Interação entre malhas, fontes de oscilação
Oscillation Strenght (1-3)	Contribuição da oscilação para com a variabilidade
Output at limit	Problemas com o dimensionamento da válvula

Output Standard Daviation	Faixa de movimento da válvula
Process Dead Time	Alterações de processo
Process Gain	Alterações de processo
Process Lag1	Alterações de processo
Process Lead	Alterações de processo
Response Time	Interação ou sincronismo entre malhas
Robustness	Capacidade da malha de lidar com alterações no processo
Set Point crossings	Oscilação, problemas de válvula
Time in normal	Problemas de controle ou de operação
Valve Reversals	Desgaste da válvula, alteração da variabilidade do processo
Valve Travel	Desgaste da válvula, alteração da variabilidade do processo
Variability	Variância como porcentagem de média
Variance	Desvio da média

Tabela 2: Ganhos típicos alcançados após a etapa de auditoria (TORRES et al., 2004)

Desempenho	Melhoria Relativa
Erro IAE	Redução em 50%
Excursão de acomodação	Redução em 80%
Número de inversões do movimento da válvula (desgaste)	Redução em 80%
Oscilações	Eliminação Total
Percentual do tempo de modo manual	Redução em 50%
Robustez	Redução em 100%
Tempo de acomodação	Redução em 50%
Variabilidade	Redução em 50%

2.2 Procedimentos de avaliação de Desempenho: visão histórica

A década de 90 trouxe grande contribuição para os trabalhos nesta área. Em Harris (HARRIS, 1989), Qin (QIN, 1998), Huang (HUANG et al., 1997) podemos encontrar revisões e análises críticas dos vários enfoques utilizados para a avaliação da malha de controle. Harris propôs a utilização do controle da variância mínima – CVM – como padrão de comparação, assim como a autocorrelação para indicar o quanto o desempenho do controlador em operação aproxima-se daquele conseguido por um controlador de variância mínima – CVM. Em prosseguimento, DeVries estendeu o trabalho de Aström para o caso de processos multivariáveis estimando a variância do erro de predição de um estágio a partir dos dados normais do processo; na proposição de Harris o controlador de variância mínima é adotado como um limite inferior, que permite avaliar o desempenho dos demais controladores mono variáveis, estimando-se este limite a partir da operação em malha fechada, para um processo com atraso de transporte, atraso este não considerado por DeVries.

As estatísticas referentes às capacidades dos sistemas de controle baseados em índices associados à variância mínima para sistemas mono variáveis constituíram a base conceitual para diversos trabalhos. Outras situações, como a regulação para perturbações estocásticas e determinísticas, rastreamento de referências, extensões para o caso de sistemas de múltiplas entradas realimentadas com saída mono variável - MISO foram rapidamente acomodadas nesta estrutura conceitual, procedimentos estes abordados nas citadas referências. Ko e Edgar (KO;EDGAR, 2000) estenderam estas idéias para avaliar o desempenho de sistemas de controle em cascata. Horch e Isaksson (HORCH, 2000) propuseram modificações nas medidas básicas de desempenho apresentando, de forma mais direta, os objetivos de

monitoramento e controle. Thornhill (THORNILL et al., 1999) disponibilizaram diretrizes básicas para avaliação do desempenho de malhas de controle enquanto Miller (MILLER; DEBOROUGH, 2000) descreveu produtos e serviços comerciais para análise de malhas de controle. Embora o atraso temporal possua importante papel na estimação da variância possível para o controlador de Variância Mínima, a estimação do atraso temporal a partir dos dados operacionais de malha fechada não foi considerada até o trabalho de Lynch e Dumont (LYNCH;DUMONT, 1996). Neste artigo, Lynch e Dumond discutiram: i - A utilização de regressores com modelo fixo para estimar o atraso do processo; ii - O emprego da malha de Laguerre para modelar a saída do controlador, em substituição ao modelo ARMA de Harris e iii - A determinação do grau de não linearidade do processo, monitorando a relação entrada - saída estática.

Extensões da avaliação de desempenho para processos de fase não-mínima foram discutidos por Huang (HUANG et al., 1997). A utilização de enfoques de resposta em frequência para monitorar o desempenho da malha foi efetuada por Kendra e Cinar (KENDRA;CINAR, 1997). Um sumário dos trabalhos na área publicados até 1996 pode ser encontrado em Kozub (KOZUB, 1996). O melhor desempenho de um processo, baseado no Controlador de Variância Mínima - CVM será conseguido quando a variância de sua saída for mínima: esta situação ocorrerá quando um CVM for utilizado em um processo com modelo e distúrbios perfeitamente conhecidos, o que requer, pelo menos, a incorporação de um preditor de Smith, para processos com atrasos temporais. Na prática, a maioria das malhas industriais de controle são do tipo PID sem compensação de atrasos temporais. Portanto, não importa quão bem o controlador seja sintonizado, a variância baseada no CVM não será plenamente alcançada para controladores PID, principalmente quando os atrasos temporais são significativos ou o processo apresenta distúrbios não estacionários. Eriksson e Isaksson (ERIKSSON;ISAKSSON, 1994) estudaram este aspecto e propuseram a utilização de um controlador PI como padrão para um tipo especial de modelo de distúrbios. Postura mais realista foi proposta por Ko e Edgar (KO;EDGAR, 2000) que calcularam um limite inferior da variância restringindo o tipo de controlador somente ao PID e utilizando modelos mais gerais para os distúrbios. Este limite inferior possível para o PID é geralmente superior ao calculado para o CVM, mas será, possivelmente, alcançável por um controlador PID.

2.3 Motivação para a pesquisa em Análise de Desempenho

As referências na literatura especializada à importância do controlador PID são múltiplas e extensas. Contudo, a melhor forma de destacar o tema é buscar suporte nas palavras de Aström. De sua publicação especializada no assunto (ASTRÖM;HÄGGLUND, 1995) podem ser destacados trechos, em tradução livre, apresentados a seguir: “O controlador PID possui diversas e importantes funções: fornece realimentação, possui a habilidade para eliminar erros de offsets em regime através da ação integral e pode antecipar ações futuras pela ação derivativa. Os controladores PID são suficientes para solucionar muitos dos problemas de controle, particularmente quando a dinâmica do processo não é muito complexa e os requerimentos de desempenho são modestos. (...) No controle de processos, mais de 95% das malhas de controle são do tipo PID, com muitas operando, realmente, na concepção PI. No controle de processos, mais de 95% das malhas de controle são do tipo PID, com muitas operando, realmente, na concepção PI. Muitas das características do controle PID não têm sido largamente disseminadas por serem considerados segredos industriais, tais como modos de chaveamento e *antiwindup*”.

Ao discorrer sobre a aplicabilidade desta estrutura de controle, Aström afirma que “o controlador PID é frequentemente combinado com lógica, máquinas sequenciais, seletores a blocos de funções simples que integram complexos sistemas de automação utilizados na

produção e transporte de energia e nas manufaturas. Muitas estratégias sofisticadas de controle, tais como o Controle Preditivo baseado em Modelo - MPC são também organizadas hierarquicamente: o controle PID é utilizado no nível mais inferior enquanto o controlador multivariável fornece referências para estes controladores. O controlador PID, portanto, pode ser considerado como o ‘feijão com arroz’ do engenheiro de controle e constitui, necessariamente, importante componente em qualquer de seus ‘*toolboxes*’. Apesar desta importância e disseminação, Aström destaca que ‘existe espaço potencial para melhoria do controle PID’.

Evidência deste fato pode ser encontrada nas salas de controle de qualquer processo industrial. Muitos controladores são colocados em modo manual e, dentre aqueles que são colocados em modo automático, a ação derivativa é geralmente desligada pela razão elementar que sua sintonia é mais complexa. As razões chave para um desempenho insatisfatório dos processos industriais podem ser encontradas em problemas de equipamentos, como válvulas e sensores, e nos procedimentos equivocados de sintonia dos controladores. Os problemas das válvulas incluem dimensionamento equivocado, histerese e *stiction*. Os problemas de medida incluem filtros *anti-aliasing* insuficientes ou inexistentes, excesso de filtragem em sensores inteligentes, ruídos excessivos e calibração imprópria. Melhorias substanciais podem ser conseguidas. Conhecimento e compreensão são os elementos fundamentais para se alcançar melhorias no desempenho das malhas de controle. Para isto, são necessários não só conhecimentos específicos sobre os processos, mas também sobre os controladores PID.

Concluindo, Aström afirma acreditar que “baseado na experiência (por ele) acumulada, uma nova era do controlador PID está emergindo”. As questões colocadas por Aström refletem-se, atualmente, em uma questão fundamental colocada para os engenheiros de controle e de operação: “Apesar do controle automático estar funcionando há séculos será que o desempenho apresentado é o melhor possível?” Uma análise desta questão é muito bem sintetizada por Fonseca e Torres (TORRES et al., 2004) e colocada a seguir. A razão desta pergunta é que até hoje as indústrias dedicaram boa parte dos seus esforços em atender a outras demandas de mercado sem dedicar atenção ao desempenho dos sistemas de controle automático. Contudo, de alguns anos para cá, o mercado está redescobrendo os sistemas de controle automático e percebendo que os mesmos são determinantes na realização de resultados em todos os aspectos. Isto pode ser observado pelos recentes investimentos das empresas no gerenciamento de ativos e na busca pela monitoração de desempenho em tempo real - *Real Time Performance Management* - RtPM, como anteriormente analisado. O RtPM surgiu no mercado recentemente, já sendo considerado a ‘bola da vez’ para melhorias de produtividade, qualidade, redução do consumo de insumos e consequente aumento dos lucros, dentre outros quesitos.

A importância da avaliação do desempenho das malhas de controle destaca-se imediatamente: não há garantias de que a malha de controle, como um todo, esteja no seu melhor desempenho, apesar dos sistemas de gerenciamento de ativos cuidarem para que os elementos de medição e atuação desempenhem corretamente suas funções. Para uma malha de controle ter um desempenho ótimo, além dos elementos de medição e atuação, há mais dois elementos fundamentais: o controlador e o processo controlado. Sobre o processo, nem sempre é possível alterá-lo de forma que o mesmo possa se comportar da melhor forma possível. Já para o controlador é possível verificar a sua estratégia, sua implementação e sintonia de forma a garantir o melhor desempenho para a malha como um todo, uma vez que este é o elemento que toma as ações de controle em função do comportamento dos demais elementos da malha.

O controlador é o principal responsável pelo desempenho dos sistemas de controle automático, pois sua ação pode compensar deficiências dos demais elementos da malha. Com

isto, a malha de controle torna-se um dos principais ativos de uma empresa e seu funcionamento, atendendo aos quesitos de desempenho, esteja diretamente associado à obtenção de ganhos (produtividade, qualidade, eficiência) dentro de uma planta. A “Tabela 3” mostra claramente que uma das grandes deficiências do desempenho das malhas de controle, dentre outros fatores, reside em sintonias inadequadas dos controladores, especialmente os de estrutura PID.

Embora os métodos iniciais de sintonia existam há mais de 60 anos, atualmente, a questão é tema contínuo de pesquisas e desenvolvimento, sem perspectivas de se esgotar. Vale citar que uma busca na Internet, com a expressão ‘*controller tuning*’, retorna mais de 75.000 páginas. Se o enfoque é específico para a estrutura PID, o retorno ultrapassa 45.000 páginas.

Tabela 3: Problemas típicos encontrados em malhas auditadas

Problemas Típicos das Malhas de Controle	Percentual das Malhas Auditadas
Controlador em modo manual	30%
Desempenho da malha insatisfatório	85%
Estratégia de controle inadequada	15%
Malhas com melhor desempenho automático que manual	25%
Problemas de sintonia (comprometimento do desempenho)	15%
Problemas de sintonia (parâmetros incoerentes)	30%
Válvulas de controle com problemas	30%

3 CONCLUSÃO

Somando-se à questão da sintonia, temos a questão da avaliação de desempenho das malhas de controle, tema que só recentemente começou a despertar o interesse da academia, embora já venha sendo trabalhado no meio industrial há algum tempo. Vale destacar que não foram detectados, praticamente, conteúdos programáticos curriculares de graduação na área de controle de processos que abordem o tema. Uma pesquisa efetuada em 34 cursos de 29 universidades do Brasil não oferece auditoria em malhas de controle em seus currículos. Embora estes métodos coloquem importantes aspectos relacionados ao desempenho do controlador, não fornecem quaisquer informações sobre desempenho quando as perturbações, por exemplo, são do tipo degrau na referência ou nas variáveis de perturbação, bem como não traçam correlações com variáveis como tempo de decaimento, taxa de amortecimento e margem de estabilidade do sistema de controle. Estas técnicas de monitoramento são conhecidas como monitoramento de desempenho determinístico. Ressalta-se que uma avaliação de desempenho não pode ser efetuada para os dois procedimentos: estocástico e determinístico simultaneamente. Apresentou-se, neste trabalho, uma revisão bibliográfica, bem como justificativas que levem os pesquisadores na área de controle de processos a desenvolverem trabalhos em auditoria de malhas de controle, levando-se em consideração, que como foi sumarizado nas seções anteriores é possível levar o controlador PID a ter o mesmo comportamento do controlador de variância mínima. Portanto, é injustificável que tal controlador seja totalmente substituído por controle avançado em cursos de graduação, tais como controle preditivo, robusto. A auditoria em malhas que operem com o controlador PID é a questão chave para que se tenha um sistema servo-regulatório com suas características otimizadas, sem a necessidade do ensino de técnicas avançadas as quais podem ser plenamente alcançadas pelo controlador PID.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao MEC/SESu, FNDE, CAPES, FAPEMIG, Fundação CEFETMINAS e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB. Abb: Loop optimizer suite. **In:** Artigos publicados no site da empresa, , 2006.

ASTRÖM, K. J., HÄGGLUND, T. PID controllers: Theory, Design, and Tuning. **Instrument Society of America**, North Caroline, EUA, 1995

COELHO, A. A. R., ALMEIDA, O. M., COELHO, L. S. Controlador nebuloso PID autoajustável com especificação de margem de fase e de ganho: implementação e análise de um processo não linear de luminosidade. **Anais: CBA**, pp. 747–752, Florianópolis. SBA, 2000

CARMO, M. J., GOMES, F. J.. Diagnóstico de controladores pid e performance de malhas industriais em ambiente multifuncional integrado. **In:** XII Latin-American Congress on Automatic Control, 2006.

ERIKSSON, P., ISAKSSON, A. J.. Some aspects of control loop performance monitoring. **In:** 3th IEEE conference on control applications, 1994.

Expertune. Expertune: Plant triage manual. **In:** Performance assessment, 2006.

HARRIS, T. J.. Assessment of control loop performance. **Canadian Journal of Chemical Engineering**, vol. 67, pp. 856–861, 1989.

HARRIS, T. J., Boudreau, F., GREGOR, J. F. M. A review of performance monitoring and assessment techniques for univariate and multivariate control system. **J. Process Control**, vol. 9, pp. 1–17, 1999.

HONEYWELL. Loop scout. **In:** Honeywell, 2006.

HORCH, A. Condition Monitoring of Control Loops. **PhD thesis:** Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2000.

HUANG, B., SHAH, S. L., KWORK, K. E.. Good, bad or optimal? performance assessment of multivariable process. **Automatica**, vol. 6, pp. 1175–1183, 1997.

KENDRA, S. J., CINAR, A.. Controller performance assessment by frequency domain techniques. **J. Process Control**, vol. 7, pp. 181 – 194, 1997.

KO, B. S., EDGAR, T. F.. Controller performance assessment by frequency domain techniques. **J. Process Control**, vol. 7, pp. 181–194, 2000.

KOZUB, D. J.. Controller performance monitoring and diagnosis: experiences and challenges. **In:** Proc. 5th Int. Conf. on Chemical Process control and Tahoe Cs and AIChE and CACHE, 1996.

LYNCH, C. B., DUMONT, G. A.. Control loop performance monitoring. **IEEE Trans. Cont. Sys. Tech**, vol. 4, pp. 184–192, 1996.

Matrikon. Process doc. **In: Matrikon**, 2006.

MILLER, R. M., DEBOROUGH, L. D.. Web-enabled control loop assessment. **In: Chemical Engineering**, 2000.

PAPRICAN. Loopmd. **Pulp & Paper Research Inst.** of Canada, 2006.

QIN, S. J.. Control performance monitoring a review and assessment. **Computers and Chemical Engineering**, vol. 23, pp. 173–186, 1998.

THORNILL, N. F., OETTINGER, M., FEDENCZUK, P.. Refinery-wide control loop performance assessment. **J. Process control**, vol. 9, pp. 109–124, 1999.

TORRES, B. S., O. FONSECA, M., AQUINO, R. D., FARIA, D. C. Aplicação de software dedicado para diagnóstico de malhas de controle, sintonia e redução de variabilidade de processos. **In: ATAN**, 2004

WHY IN THE AUDIT CONTROL LOOPS WOULD BE MORE IMPORTANT IN SCHOOL GRADUATION OF THE ADVANCED CONTROL?

Abstract: *The control theory is already studying controllers with PID algorithm since the beginning of last century, and many studies have confirmed the effectiveness of this controller in classical control and advanced. Very control loop about PID controllers, the majority is used in PI mode or parameters are adjusted improperly, leading to an early life of the actuators and other system components. The study and use of PID controller for a long time, your performance at the industry is unsatisfactory in many cases. There are several criteria and performance indices (IAE, ITAE, ISE, ITSE, Hariss Index, settling time, etc.) are using for representing the efficiency of a control loop. In this paper are presented motivating factors that would foster research in auditing of industrial control loops, and your included in curricula of undergraduate and postgraduate.*

Key-words: *Performance assessment, Index performance, Process control, controllers tuning, Controllers.*