

# IMPLANTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO DE GERENCIAMENTO DE CONTROLE DE PROCESSO EM UMA UNIDADE INDUSTRIAL<sup>1</sup>

*Leandro Porto Lusa<sup>2</sup>  
Ariel de Oliveira Kempf<sup>2</sup>  
Luis Gustavo Soares Longhi<sup>3</sup>  
Herbert Campos Gonçalves Teixeira<sup>4</sup>  
Cristhian Alberto Celestino Cortez<sup>5</sup>*

## Resumo

O trabalho apresenta um projeto de implantação de uma solução de gerenciamento de malhas de controle na Unidade de Coqueamento Retardado (UCR) da refinaria Alberto Pasqualini – REFAP S.A., empresa subsidiária da Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS. Serão apresentadas e discutidas as etapas típicas de uma implementação deste tipo, o cronograma de implantação e os detalhes de execução. A unidade operacional em questão apresenta 101 malhas de controle e está em operação a menos de um ano, desta forma, problemas de controle relacionados com configuração do SDCD, projeto e filosofia de operação são bem mais frequentes do que se poderia esperar. A situação inicial do controle da unidade é apresentada neste artigo e constitui o caso base, que será utilizado para monitorar a evolução do sistema durante a execução do projeto.

**Palavras-chave:** Malhas de controle de processo; Gerenciamento de controle de processo; Melhoria de controle de processo; Coqueamento retardado.

## IMPLEMENTATION OF A PROCESS CONTROL MANAGEMENT SOLUTION IN AN INDUSTRIAL UNIT

### Abstract

This paper presents a project of an implementation of a process control loop management solution in a Delayed Coking Unit of REFAP refinery, which is a subsidiary company of Petrobras. It shall be presented and discussed the typical steps of this implementation, its schedule and other execution details. The operational unit has 101 control loops and started up since less than one year ago. In this way, some problems related to DCS configuration, operational philosophy and unit design are more common than we would suppose. The initial situation is presented in this paper, in a base case. This base case shall be used to monitor the evolution of the control system along the project execution.

**Key words:** Process loop control; Process control management; Process control improvement; Delayed coking unit.

*1 Contribuição técnica ao XI Seminário de Automação de Processos, 3 a 5 de outubro, Porto Alegre-RS*

*2 Mestre em Engenharia, Engenheiro Químico, TriSolutions Soluções em Engenharia Ltda.*

*3 Doutor em Engenharia, Engenheiro Químico, REFAP S.A.*

*4 Consultor da Petrobras, Engenheiro Eletrônico, Petrobras/CENPES*

*5 Mestre em Engenharia, Engenheiro Eletrônico, Petrobras/CENPES*

## 1 INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta e discute as etapas e os resultados obtidos até a presente etapa, durante a execução de um projeto de implementação de uma solução de gerenciamento de controle.

A seção 2, denominada “Sistemática de Avaliação de Desempenho de Controladores de Processo”, apresenta inicialmente a revisão da fundamentação da teoria que embasa a avaliação de desempenho de controladores (seção 2.1), a seguir são listadas as características básicas de aplicativos de gerenciamento de controle (seção 2.2). A seção 2.3 detalha o BRPerfX, aplicativo utilizado neste projeto. A seção 2.4 apresenta as etapas típicas e o calendário de implantação da solução.

A seção 3 apresenta e discute os resultados obtidos até então. Neste tópico é apresentado o estado de execução de cada etapa de implantação, indicando os resultados obtidos e ações realizadas. Por fim, a seção 4 traz as conclusões e as referências são citadas na seção 5.

## 2 SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE CONTROLADORES DE PROCESSO

### 2.1 Fundamentação Teórica

Avaliação de desempenho de controladores é um assunto que sempre esteve presente desde que o controle automático de processos químicos começou a se tornar uma exigência na indústria.

Técnicas bastante rudimentares de avaliação de desempenho quanto as suas características determinísticas sempre foram bem dominadas. Análises visuais ou comparativas das respostas dos controladores relativas a degraus ou pulsos na entrada permitem conclusões subjetivas ou pouco quantitativas a respeito do desempenho do controlador na sua atuação servo. A observação do tempo de subida, tempo de assentamento, *overshoot*, integral do erro quadrático entre outras características sempre permitem que o profissional formule conclusões a respeito da ação do controlador. No entanto, estas técnicas não são de prática implementação para monitoramento on-line do processo em operação rotineira, pois requerem a introdução de distúrbios no processo e/ou operação em malha aberta. Adicionalmente, a grande quantidade de malhas de controle em uma unidade industrial de porte tornaria a tarefa de monitoramento do desempenho um trabalho árduo e caro, pois a impossibilidade de automatização destas técnicas requereria a utilização de recursos humanos em tempo integral nesta função. Além disto, estas técnicas não são capazes de fornecer explicitamente alguma informação sobre o desempenho em malha fechada sob mudanças aleatórias, e na maioria das vezes, não fornecem um índice de avaliação que seja apropriado para implementação on-line.

Na direção de avaliação automática do desempenho de malhas de controle com função regulatória o primeiro estudo foi publicado na data de 1967 por Åström.<sup>(1)</sup> No entanto, a base para a formulação de metodologias para avaliação de desempenho de malhas de controle foi definida em 1970 através de nova contribuição de Åström,<sup>(2)</sup> em outro livro, onde são apresentadas formulações para a predição ótima de processos estacionários lineares discretos, da qual a teoria de controle com variância mínima é então derivada.

Poucos trabalhos foram desenvolvidos na área nos anos subseqüentes. No fim da década de 1980, surgem várias ferramentas que formariam um novo campo, chamado Controle Estatístico de Processos, com o objetivo de monitorar a variabilidade de processos e detectar a presença e fontes de distúrbios. Estas técnicas, no entanto, não avaliam a qualidade das saídas em função das ações de controle.

É natural que, quando se tenta quantificar desempenho, compare-se a avaliação feita contra algum tipo de referência. Seguindo esta linha, surgiu a proposta feita por Harris,<sup>(3)</sup> que usou o controle com variância mínima como referência para comparar o desempenho de controladores. A idéia foi criar um índice que quantificasse o desempenho do controlador em relação ao mínimo teórico possível de variância. Basicamente o índice consiste na razão entre a variância na saída que um controlador de variância mínima produziria e a variância real da saída da malha em questão. Este trabalho conseguiu grande destaque por mostrar como as técnicas estudadas por Åström somadas com simples análises de séries temporais poderiam ser utilizadas para encontrar uma expressão apropriada para a variância do controlador de variância mínima (CVM) a partir de dados rotineiros de processos de sistemas com uma entrada e uma saída (SISO). Sua contribuição foi significativa por definir uma nova direção para a área de monitoramento de desempenho de malhas de controle.

Dando continuidade a este trabalho, Desborough e Harris,<sup>(4)</sup> opuseram a utilização de regressão linear simples para calcular uma estimativa da variância mínima de forma automatizada, que não havia sido desenvolvida no trabalho anterior. Um procedimento recursivo, apropriado para cálculo on-line do índice, também foi apresentado. Uma metodologia automática para monitoramento da qualidade de malhas deve ser simples o suficiente para não requerer intervenções humanas e deve ser não-invasiva. Isto significa que não deve promover alterações no sistema onde o monitoramento é introduzido e deve utilizar a mínima informação possível, de preferência apenas a informação disponível no sistema digital de controle. Este é o grande mérito da metodologia proposta por Desborough e Harris, que requer apenas dados de processo rotineiro em malha fechada ou aberta e o conhecimento prévio do tempo morto.

A partir destes trabalhos, diversos pesquisadores começaram a explorar os mais diversos aspectos da avaliação de desempenho baseada em controladores com variância mínima. Huang e Shah,<sup>(5)</sup> desenvolveram um método baseado em filtragem e correlação (FCOR) para estimar o valor da variância mínima e assim calcular o índice de desempenho.

Paralelamente, novas ferramentas ou modificações nos procedimentos de avaliação de malhas foram introduzidas, tais como procedimentos de detecção de oscilações por Hägglund<sup>(6)</sup> e Thornhill e Hägglund.<sup>(7)</sup> A partir desta série de evoluções, foi possível o desenvolvimento de aplicativos que visam monitorar em tempo real o desempenho de sistemas de controle de processo.

## **2.2 Aplicativos para Aplicações Industriais**

No âmbito do emprego prático de metodologias de avaliação de desempenho, diversos trabalhos relatam experiências de implementação destas técnicas em larga escala em sistemas industriais nos últimos dez anos. Em uma das primeiras publicações relacionadas, Harris et al.,<sup>(8)</sup> relatam o desenvolvimento de um sistema especialista que automatiza o processo de coleta de dados, avaliação de

desempenho e demonstração de resultados, com a implementação deste sistema em uma unidade industrial.

Atualmente muitas empresas de atuação internacional já se propuseram a transformar a tecnologia e o conhecimento desenvolvidos em produtos de software e serviços de suporte e consultoria. Foram desenvolvidos sistemas de avaliação de desempenho de controladores que permitem monitorar todas as malhas do sistema distribuído de controle, auxiliando o diagnóstico de problemas e a definição de ações corretivas.

Invariavelmente estes aplicativos devem realizar a coleta de dados de processo, a filtragem de dados espúrios, execução de rotinas de cálculo de índices e métricas de avaliação de desempenho, o armazenamento e a disponibilização para análises dos resultados das análises. Um bom aplicativo deve: 1) ser fácil de instalar e configurar; 2) possuir boa conectividade com diferentes sistemas de controle de processo; 3) realizar análises precisas; 4) disponibilizar para o usuário interfaces bastante amigáveis de configuração e análise; e 5) gerar relatórios detalhados de avaliação de malhas.

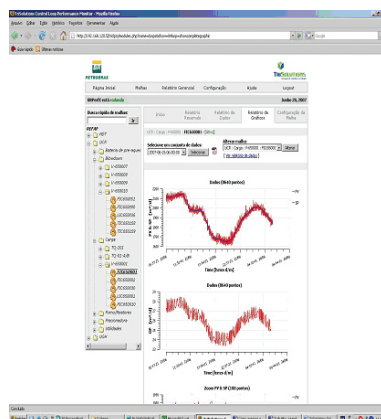
Em geral os aplicativos comercializados disponibilizam: 1) índices de desempenho tradicional e relativo, recursivos e não-recursivos; 2) índices de eficiência operacional (índices de serviço); 3) medidas da saturação do controlador, 4) índices baseados em técnicas de malha aberta, como tempo de subida e resposta ao pulso; 5) ferramentas estatísticas clássicas para auxiliar na análise; 6) análises complementares como análises de oscilações, respostas no domínio da frequência, análise espectral e de correlação cruzada, entre outras.

### **2.3 Aplicativo BRPerfX**

Este trabalho apresenta a implementação de um aplicativo de gerenciamento de controle denominado BRPerfX, que foi desenvolvido em uma parceria formada pela Petrobras, pelo Departamento de Engenharia Química da Universidade do Rio Grande do Sul e pela empresa TriSolutions. O BRPerfX é uma ferramenta para monitoramento e auditoria de desempenho de malhas de controle em tempo real.

Do ponto de vista do aplicativo (*software*), como principais características destaca-se a interface de acesso via WEB a relatórios e configuração do software, como mostrado na Figura 1. O BRPerfX possui comunicação direta com o processo através de OPC ou interfaces proprietárias. O aplicativo dispõe de um sistema de gerenciamento de modificações no controle do processo e disponibiliza notificações de relatórios via correio eletrônico.

Do ponto de vista da tecnologia incorporada, o BRPerfX disponibiliza as mais avançadas e difundidas técnicas de avaliação de desempenho e diagnóstico de problemas utilizadas na indústria, como por exemplo, 1) índices e métricas de detecção de oscilações; 2) índices de desempenho baseados em variância mínima; 3) estatísticas tradicionais, 4) análise de válvulas: saturação, percurso, reversões, entre outras; 5) fatores de serviço de controladores; 6) monitoramento de alteração de sintonia de PID; 6) análises gráficas: autocorrelação, análise espectral, distribuição, entre outras; e 7) índices de desempenho para equipamentos, unidades e plantas.



**Figura 1:** Interface de visualização do BRPerfX em ambiente Web.

Para chegar no estágio atual, o BRPerfX já vem sendo desenvolvido a cerca de seis anos. Os dois primeiros anos foram dedicados à pesquisa das metodologias que já existiam, sua assimilação e adequação ao uso industrial. Durante os anos de 2003 e 2004 foi consolidada a versão que rodava como um suplemento (*addin*) do aplicativo Microsoft Excel. A partir de 2005, se iniciou o desenvolvimento da versão em tempo real, a partir de uma aplicação na Ipiranga Petroquímica, esta aplicação já estava robusta no final deste ano. Desde então o aplicativo BRPerfX em ambiente Web vem sendo aperfeiçoado e aplicado em várias unidades industriais da Petrobras, como nas Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN) da UN-BC (Catu – Bahia), UN-SEAL (Aracaju – Sergipe), UN-RNCE (Guamaré – Rio Grande do Norte), de Cabiúnas da Transpetro (Macaé – Rio de Janeiro), além das refinarias da REFAP S.A. (Canoas – Rio Grande do Sul) e da UN-REVAP (São José dos Campos – São Paulo).

## 2.4 Etapas da Implementação Industrial

Um projeto de implementação industrial de uma solução de gerenciamento de controle é constituído basicamente por quatro etapas de implantação, que devem ser seguidos por ciclos de melhoria contínua. As etapas são detalhadas abaixo:

### 2.4.1 Instalação e configuração do aplicativo BRPerfX

Esta etapa, é normalmente executada ao longo de uma semana (5 dias úteis) e pode ser subdividida em três atividades: 1) instalação do BRPerfX em um servidor com acesso ao servidor de dados de processo em padrão OPC (4 Hora-Homem, ou HH); 2) configuração inicial das malhas de controle (8 HH); e 3) revisão e adequação da configuração de cada malha de controle, a partir dos relatórios gerados periodicamente (28 HH). No caso desta aplicação o período estimado foi suficiente para esta etapa e para a correta configuração das 101 malhas de controle.

### 2.4.2 Avaliação das malhas e elaboração do caso base

A avaliação da condição do controle da unidade pode ser iniciada após a geração de uma certa quantidade de relatórios de análise de malhas de controle, aconselha-se que os relatórios englobem um período operacional de no mínimo 1 mês, para que os resultados obtidos possam ser representativos da situação do processo. O período necessário para proceder a uma avaliação dependerá da natureza de cada processo. Nesta etapa serão escolhidos alguns indicadores globais da unidade e de subsistemas do processo que caracterizarão o caso base e posteriormente serão reavaliados e sua evolução será monitorada, com vistas a quantificar as melhorias

obtidas ao longo do projeto. Uma avaliação rápida para um sistema desta dimensão pode ser realizada em cerca de uma semana, quando se pode classificar os problemas de sintonia de PID, configuração (do BRPerfX ou do sistema digital de controle), de projeto (válvulas ou equipamentos mal dimensionados), de estratégia de controle, de instrumentação (com calibração do sensor, agarramento de válvula) ou de filosofia operacional. Ao longo do mês previsto para esta atividade, cada um dos problemas será melhor entendido, analisado, documentado e serão definidas as ações corretivas e os responsáveis por cada uma delas.

#### **2.4.3 Ações corretivas**

A etapa de tomada de ações corretivas pode se iniciar cerca de uma semana após o início da etapa anterior, de avaliação das malhas, realizando-se ambas as atividades em paralelo. Para que esta ação não prejudique o andamento do projeto, sugere-se que seja colocado um segundo profissional encarregado da execução das ações corretivas, evitando sobrecarregar a pessoa responsável pela avaliação.

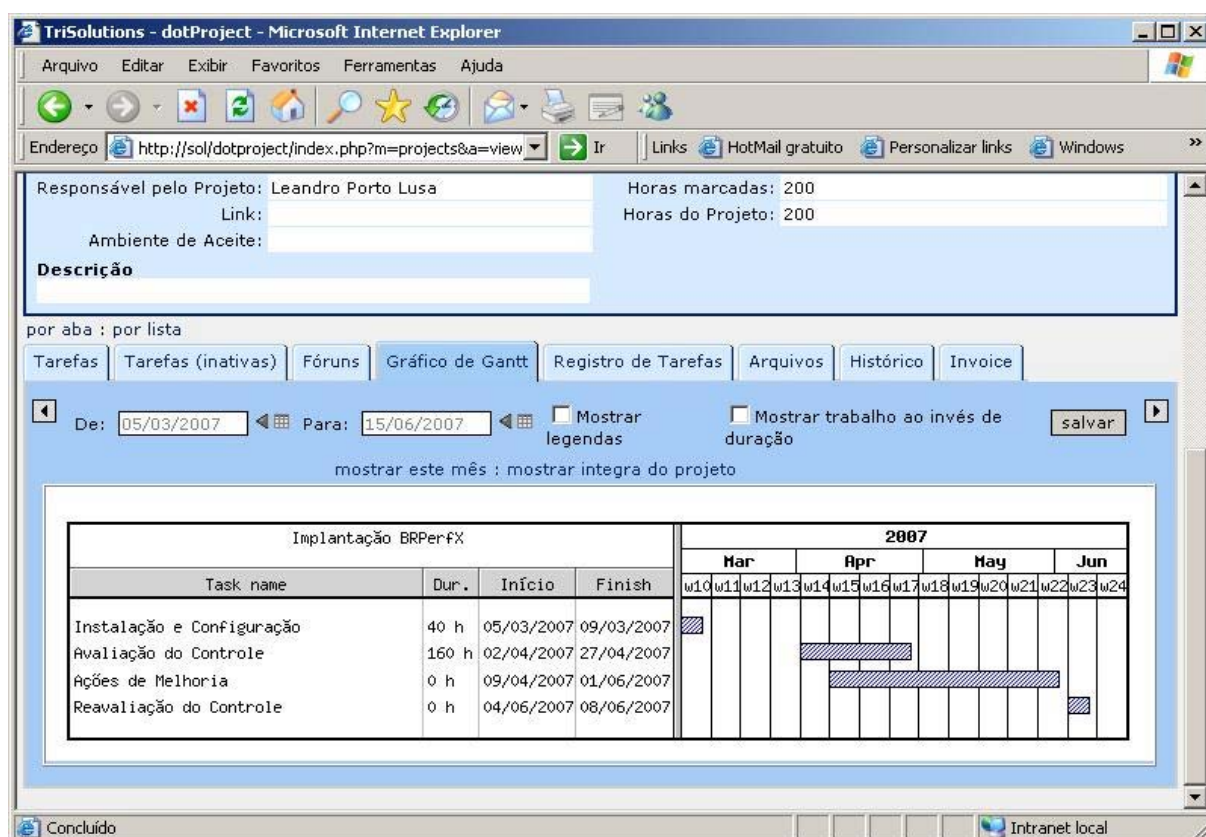
#### **2.4.4 Reavaliação do processo**

Após a tomada das ações corretivas é chegada a hora de reavaliar a condição do controle do processo. Neste momento os indicadores quantificados no caso base devem ser novamente avaliados, procurando associar a sua evolução com as ações corretivas tomadas ao longo do processo e procurando se focar no retorno financeiro decorrente.

A Figura 2 mostra o cronograma proposto para o projeto de implantação do BRPerfX. Este projeto foi gerenciado com o auxílio do aplicativo denominado DotProject, que é um sistema de gerência de projetos em software livre de fácil utilização, com um conjunto de funcionalidades e características que o tornam indicado para implementação em ambientes corporativos, pois atende a diversas necessidades de gerentes e escritórios de projetos.

#### **2.4.5 Novos ciclos de melhoria contínua**

Após a execução das quatro etapas de implantação do BRPerfX, deve-se executar um ciclo contínuo de melhoria do sistema de controle, quando as etapas de avaliação, ações corretivas e reavaliação deverão ser repetidas periodicamente, de modo a garantir que o sistema esteja definitivamente implantado e consolidado no fluxo de trabalho da empresa.



**Figura 2:** Interface de visualização do gráfico de Gantt no DotProject, mostrando o Cronograma proposto para um projeto de implantação de um sistema de gerenciamento de controle utilizando o BRPerfX.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As etapas de instalação e configuração do BRPerfX, bem como a etapa de avaliação do sistema de controle e desenvolvimento do caso base transcorreram conforme o previsto, atualmente estão sendo executadas as ações de melhoria do sistema de controle. A seguir serão apresentados e discutidos os principais resultados de cada etapa de implantação da solução.

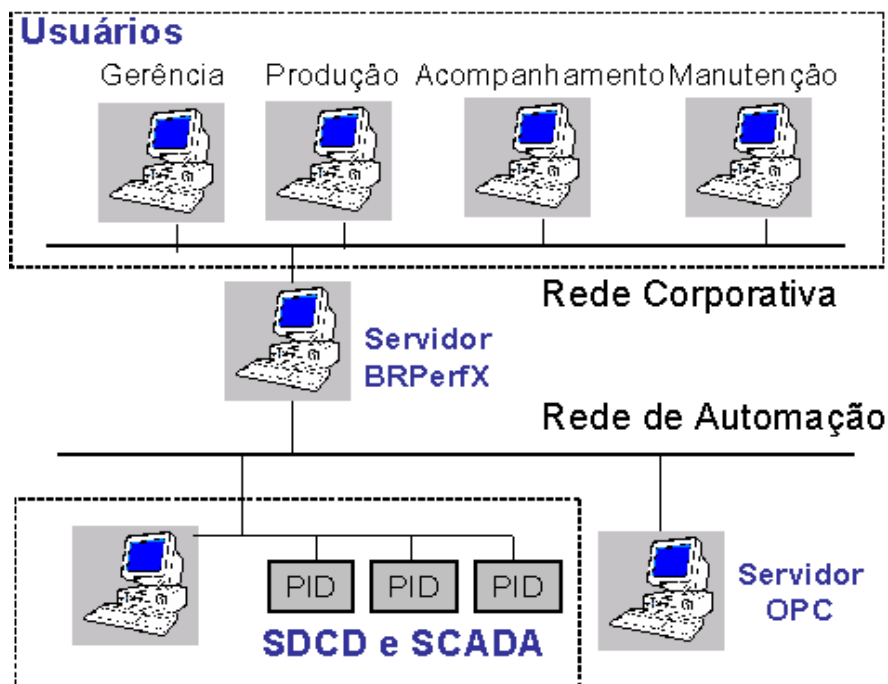
#### 3.1 Execução da Etapa de Instalação e Configuração do BRPerfX

Esta etapa transcorreu exatamente no período previsto de uma semana. A instalação do aplicativo foi realizada em uma manhã, a Figura 3 mostra a arquitetura do sistema. O BRPerfX foi instalado em um servidor com acesso a rede de automação, onde poderia acessar o servidor de dados de processo em padrão OPC (*OLE for Process Control*). Este servidor está também interligado a rede corporativa da REFAP.

Qualquer usuário da rede corporativa, desde que cadastrado no BRPerfX, pode acessar a aplicação, podendo consultar os relatórios gerados (conta de usuário) ou inclusive alterar as suas configurações, desde que possua permissão para tanto (conta de administrador). Todas essas ações são realizadas em interfaces disponibilizadas em ambiente *WEB*.

A equipe de implantação necessária para esta etapa envolveu um profissional da TriSolutions que no primeiro dia instalou o BRPerfX com o apoio de um profissional da TI da REFAP. Nos demais dias, o profissional da TriSolutions realizou a configuração das malhas, sendo apoiado pelo pessoal da produção e de

acompanhamento do processo. Ao longo da semana, o profissional da TI ficou apto a dar suporte técnico ao software e o responsável pelo acompanhamento do processo foi capacitado e passou a ser o responsável pela inclusão e configuração de novas malhas de controle no BRPerfX.



**Figura 3:** Arquitetura do sistema utilizada na aplicação BRPerfX.

### 3.2 Resultado da Avaliação das Malhas e Elaboração do Caso Base

Conforme o previsto, em uma semana foi realizada uma análise superficial de todas as malhas do processo e foi confeccionado o caso base (Tabela 1).

A Nota Global da Unidade é o resultado da média das notas de todas as malhas de controle ponderadas pelas suas respectivas importâncias. A importância de cada nota leva em conta aspectos de segurança operacional, de sua influência na carga processada e/ou na qualidade do produto final e do impacto no meio-ambiente decorrente de um eventual problema causado por seu mau funcionamento.

A nota de cada malha de controle, por sua vez, pode ser personalizada, mas em geral leva em conta o índice de desempenho baseado na mínima variância, saturação e modo de operação.

Em termos da classificação dos problemas, alguns pontos chamam a atenção, como por exemplo, o elevado número de problemas de configuração (19%), de projeto (24%) e de filosofia de operação (21%). Os problemas de configuração são explicados devido a esta ser uma unidade de produção nova, que está em operação a menos de um ano, ou seja, muitos problemas de configuração do SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído) ainda estão sendo detectados e corrigidos.

Isto também explica a existência de muitos problemas relacionados com a filosofia de operação, pois além desta ser uma unidade nova, não havia um processo similar na REFAP. Alguns problemas de projeto também podem ter sido causados pelo fato de que esta é apenas a terceira unidade de coqueamento retardado a entrar em operação utilizando projeto próprio da Petrobras, ou seja, ele ainda está em evolução.



**Tabela 1:** Caso Base da Unidade de Coqueamento Retardado da REFAP, calculado a partir dos relatórios gerados pelo BRPerfX, de 25 de abril até 07 de maio de 2007. Observe que, no que diz respeito à classificação de problemas, o somatório dos percentuais ultrapassa 100%, isto se explica pelo fato que uma mesma malha de controle pode ter apresentado mais de um tipo de problema.

<b>Nota Global da Unidade</b>	<b>40%</b>	
<b>Número de Malhas Avaliadas</b>	<b>101</b>	
<b>Classificação dos Problemas</b>	<b>Número de Malhas</b>	<b>Percentual</b>
Problemas de configuração	19	19%
Problemas de manutenção	3	3%
Problemas de sintonia	51	50%
Problemas de filosofia de operação	21	21%
Problemas de projeto	24	24%
Malhas sem problemas	13	13%
<b>Saturação</b>		
Malhas com saturação	64	63%
Malhas com >=25% tempo saturado	32	32%
Malhas com >=50% tempo saturado	30	30%
Malhas 100% tempo saturado	12	12%
<b>Modo de Operação</b>		
Malhas com >0% do tempo em manual	37	37%
Malhas com >=25% do tempo em manual	17	17%
Malhas com >=50% do tempo em manual	17	17%
Malhas 100% do tempo em manual	13	13%

Em outra análise, verifica-se que 63% das malhas apresentam saturação pelo menos durante algum período. Isto se deve ao fato desta unidade possuir uma parte do processo em batelada, visto que os tambores de reação que operam em períodos intercalados. Durante a alteração de um tambor para outro (*switch*), uma perturbação bastante pronunciada é propagada ao longo do processo. Neste momento, a operação passa boa parte dos controladores para modo manual. Conseguir propor uma estratégia de controle regulatório robusta o suficiente para não ser desligada (modo manual) durante o *switch* é o grande desafio deste projeto. O *switch* parece ser o responsável pelo elevado índice de malhas que operam saturadas durante algum período.

A etapa de avaliação envolveu um profissional da TriSolutions com conhecimento de análise e melhoria de controle regulatório. Além dele, um profissional indicado pela REFAP foi treinado na avaliação do desempenho do controle do processo, a partir dos relatórios gerados no BRPerfX. As conclusões provenientes das análises foram revisadas e consolidadas com o pessoal de operação e de acompanhamento do processo. Além destes profissionais, o pessoal da manutenção também participou da definição das ações corretivas que serão tomadas.

### 3.3 Execução da Etapa de Ações Corretivas

A etapa de tomada de ações corretivas está bastante atrelada à disponibilidade tanto da unidade operacional como do acompanhamento da equipe técnica da unidade onde está sendo implementada a solução. No caso da UCR da REFAP, o início desta etapa foi atrasado e ainda não foi concluído.

Nesta etapa, o profissional da TriSolutions e um técnico da REFAP são responsáveis por darem encaminhamento a todas as ações corretivas no seu devido tempo, de acordo com a prioridade definida anteriormente. As ações de alteração de configuração no BRPerfX serão executadas pelo profissional da TriSolutions. Estas ações são rapidamente tomadas, não impactando o andamento do projeto.

Já as ações relacionadas com alterações de sintonia de controladores de processo PID, inserção de filtros digitais no *setpoint* ou na medição do valor de processo são executadas pelos profissionais da Petrobras e da TriSolutions. Este tipo de ação corretiva deve ser realizado quando a unidade opera com sua carga normal, ou seja, eventualmente podem ocorrer atrasos por paradas não programadas, operação em condições anormais, execução de outros testes no processo, entre outros eventos. No caso da UCR da REFAP especificamente, por ser uma unidade que está há pouco tempo em operação, este tipo de situação ocorre com uma frequência um pouco maior que o esperado e tem impacto na etapa de tomada de ações corretivas. As alterações de configurações no SDCD, que envolvam mudanças de estratégias de controle são realizadas com o apoio da equipe de automação da REFAP. Porém estas alterações só são realizadas após a sua consolidação junto ao pessoal de operação, acompanhamento de processo e de projeto. Este processo acaba sendo bastante lento e pode durar semanas ou até mesmo alguns meses, dependendo da disponibilidade dos possíveis envolvidos e da complexidade do gerenciamento de mudança da unidade operacional.

As solicitações de manutenção serão consolidadas com o pessoal de operação e, através destes, encaminhadas para a equipe de manutenção. As malhas que apresentam problemas relacionados com a filosofia de operação serão reavaliadas com o pessoal de operação e acompanhamento. Estas situações são corrigidas de duas formas: uma, mais informal, que envolve a conversa diária com a operação e outra, mais formal, que envolve a comunicação via instruções operacionais e a realização de treinamentos específicos. Os técnicos de operação e engenheiros de acompanhamento têm grande importância neste momento.

As solicitações de alterações de projeto, como dimensionamento de válvula, substituição de trocadores de calor, redimensionamento de linhas e outros equipamentos, são encaminhadas, via acompanhamento de processo, para a equipe de engenharia e/ou para a equipe do CENPES (Centro de Pesquisa da Petrobras), que realizou o projeto da unidade. Este tipo de ação demora meses ou até anos para ser executado.

### 3.4 Execução da Reavaliação do Processo

O atraso da etapa de ações corretivas fez com que apenas poucas malhas tenham sido melhoradas até agora. Foram atacadas duas subseções do processo, priorizadas de acordo com o ponto de vista da operação e do acompanhamento de processo. A Tabela 2 sumariza as alterações observadas até este momento.

As colunas de notas se referem à nota dos dois subsistemas (Carga e V650010) e de cada malha em si. A nota de cada equipamento é uma média das notas das malhas contidas neles, ponderadas pela criticidade de cada malha. A criticidade de cada malha leva em conta os seguintes fatores: impactos na segurança, meio ambiente, qualidade do produto e carga processada.

A nota de cada malha pode ser personalizada, porém, inicialmente, foi utilizada a seguinte equação para compô-la:

$$\text{NotaMalha\%} = 100\% * (1 - \text{PotencialRedVM}) * \text{TempoModoNormal\%} / \text{TempoSat\%}$$

onde:

**NotaMalha%** é a nota da malha de controle em que varia de 0% (ruim) até 100% (desejado).

**PotencialRedVM** é o Índice de Harris variando de 0 (mínima variância possível) até 1 (maior distância da mínima variância da malha). Este índice foi detalhado por Kempf.<sup>(9)</sup>

**TempoModoNormal%** é a percentagem de tempo que a malha operou em modo normal, durante o período avaliado.

**TempoSat%** é a percentagem de tempo que a malha operou saturada, durante o período avaliado.

**Tabela 2:** Situação das malhas de controle que estão passando por ações corretivas. A situação Base foi obtida a partir dos relatórios gerados pelo BRPerfX, de 25 de abril até 07 de maio de 2007. A situação Atual foi observada em 01 de julho 2007.

	Notas		Comentário
	Base	Atual	
<b>CARGA</b>	<b>48%</b>	<b>52%</b>	
FIC650002	0%	0%	Problema de projeto - válvula danificada por ser inadequada para o serviço, opera em malha aberta
PIC650010	1%	5%	Malha atende sua função - readequar a nota da malha BRPerfX
FIC650030	20%	40%	Malha atende sua função - readequar a nota da malha BRPerfX
LIC650001	100%	100%	Nova sintonia para operar como vaso <i>pulmão</i>
FIC650046	0%	100%	Malha atende a sua função
FIC650001	75%	50%	Malha atende sua função - readequar a nota da malha BRPerfX
FIC4020	33%	17%	Malha atende sua função - readequar a nota da malha BRPerfX
<b>V650010</b>	<b>22%</b>	<b>60%</b>	
LIC650036	0%	100%	Sintonia para operar como vaso <i>pulmão</i> , amortecendo distúrbios. Passou a operar em modo automático
TIC650158	0%	0%	Malha deve operar saturada - readequar a nota da malha BRPerfX
TIC650159	0%	0%	Malha deve operar saturada - readequar a nota da malha BRPerfX
FIC650051	10%	19%	Malha atende sua função - readequar a nota da malha BRPerfX
FIC650090	50%	25%	Deve-se alterar a estratégia desta malha

De acordo com a equação usada para compor a nota das malhas, quanto mais próxima a variância do controlador estiver da variância mínima teórica possível do sistema, maior será a nota da malha.

Esta abordagem é válida para as malhas onde a ocorrência de uma elevada variância possa ser a responsável pela elevação da variabilidade de qualidade de produtos ou redução de produção. Este é o caso das malhas FIC650002, FIC650046 e FIC650090.

Esta filosofia nem sempre é válida, pois há malhas de controle onde não se procura necessariamente obter a menor variância possível, pois isso poderia fazer com que o controlador atuasse de forma muito agressiva. Isto faz com que seja necessária a proposição de uma nova fórmula de cálculo para a nota destas malhas. Uma sugestão que será avaliada ao longo do projeto será admitir que a variância do controlador possa ser inferior a mínima sem que isso penalize a nota da malha, através da implementação de uma faixa de tolerância. Nesta linha, serão readequadas as notas das malhas PIC650010, FIC650030, FIC650001, FIC4020 e FIC650051.

As malhas TIC6500191 e TIC6500192 operam com uma estratégia semelhante a um *override*, permanecendo normalmente saturadas. Elas também deverão ser reconfiguradas para que isso não penalize suas notas.

As LIC650034 e LIC650001 são malhas de controle de nível que devem operar como pulmão, para estes casos, a nota da malha é calculada por:

$$\text{NotaMalha\%} = 100\% * (\text{PotencialRedVM}) * \text{TempoModoNormal\%} / \text{TempoSat\%}$$

Nestes casos, a nota será reduzida na medida em que a variância do sistema se aproxime da variância mínima teórica possível. Esta forma de cálculo vem se mostrando satisfatória e reflete a melhoria promovida no LIC650036, que possuía uma sintonia muito agressiva e que foi readequada para que o vaso passasse a promover o amortecimento de distúrbios de processo.

## 5 CONCLUSÃO

O cronograma do projeto de implantação do sistema de gerenciamento de controle na unidade de coqueamento retardado da REFAP com o BRPerfX tinha uma previsão de execução de quatro meses. A fase de instalação e configuração do software foi executada dentro do previsto. Para isso contribuiu a satisfatória infraestrutura de TI disponibilizada pela REFAP. A etapa de avaliação do controle transcorreu conforme o previsto e constituiu uma ótima oportunidade para a transferência de conhecimento entre as equipes da REFAP e da TriSolutions. Porém, a dinâmica própria da unidade industrial acabou afetando a etapa de tomada das ações corretivas. Por muitas vezes, problemas operacionais ou testes de aceitação desta unidade, que está em fase de consolidação, acabam sobrecarregando o pessoal da REFAP e impossibilitam a tomada de ações corretivas. Este tipo de contratempo será comum em novos projetos e deve ser previsto durante o planejamento de novas implantações. Embora, até então, ainda não tenha sido possível quantificar os ganhos decorrentes do projeto, a visibilidade que ele proporcionou aos problemas de controle da unidade está sendo fundamental para que as ações corretivas sejam, de fato, executadas, mesmo no que se refere àquelas que já eram conhecidas pela operação ou pelo pessoal de acompanhamento, porém nunca eram priorizadas.

## REFERÊNCIAS

- 1 Åström, K. "Computer control of a paper machine – an application of linear stochastic control theory", IBM Journal, July, 1967.
- 2 Åström, K. J.; "Introduction to Stochastic Control Theory", Academic Press; 1970.
- 3 Harris, T. J.; "Assessment of Control Loop Performance", The Canadian Journal Of Chemical Engineering, Vol. 67, 856-861; October, 1989.
- 4 Desborough, L.; Harris, T. "Performance Assessment Measures for Univariate Feedback Control", The Canadian Journal Of Chemical Engineering, Vol. 70, pp. 1186-1197; December 1992.
- 5 Huang, B.; Shah, S. L.; "Performance Assessment of Control Loops – Theory and Applications", Springer-Verlag; 1999.
- 6 Hägglund, T.; "A Control Loop Performance Monitor", Control Engineering Practice, Vol. 3, pp. 1543-1551; 1995.
- 7 Thornhill, N. F.; Hägglund, T.; "Detection and diagnosis of oscillation in control loops", Control Engineering Practice, Vol. 5, No. 10, pp. 1343-1347; 1997.
- 8 Harris, T. J.; Seppala, C. T.; Jofriet, P. J.; Surgenor, B. W.; "Plant-Wide Feedback Control Performance Assessment Using An Expert-System Framework", Control Engineering Practice, Vol. 4, No. 9, pp. 1297-1303; 1996b.
- 9 Kempf, A. O.; "Avaliação de Desempenho de Malhas de Controle", M.Sc. Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química, 2003.