

DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM SENSORES E ATUADORES DA PLANTA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Thalys de Freitas Fernandes¹; Gerônimo Barbosa Alexandre²; José Nilton Silva³

^{1,3} Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química
E-mails: thalys.fernandes@yahoo.com.br; nilton.ufcg@gmail.com

² Instituto Federal do Maranhão, Coordenação do Eixo de Controle e Processos Industriais
E-mail: geronimo.alexandre@ifma.edu.br

RESUMO

As restrições de qualidade, de segurança e a massificação de variáveis a serem observadas nos sistemas de controle são razões para o desenvolvimento de sistemas de diagnóstico de falhas. Este artigo apresenta uma metodologia para detecção e isolamento de falhas em processos industriais, combinado ao controle tolerante a falhas; técnicas baseadas em modelos fazem a detecção da anomalia; um classificador lógico com limiares fixos para a identificação e o controle tolerante é alcançado por uma lei de controle auto reconfigurável, usando a estimativa da severidade da falha.

Palavras-chave: Detecção e identificação de falhas, Controle tolerante a falhas, Eletrofloculação, Tratamento de efluente.

ABSTRACT

The quality restrictions, safety and massification of variables to be observed in the control systems are reasons for the development of fault diagnosis systems. This paper presents a methodology for detecting and isolating faults in industrial processes, combined with fault tolerant control; Model-based techniques make the detection of the anomaly; a logic classifier with fixed thresholds for the identification and tolerant control is achieved by a self-reconfigurable control law, using the estimate of the fault severity. The proposed strategy is applied to the wastewater treatment plant of biodiesel production.

Keywords: Fault detection and identification, Fault tolerant control, Electroflocculation, Effluent treatment.

1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico, restrições de segurança, de qualidade e ambiental tornam os sistemas de instrumentação e controle de processos industriais cada vez mais complexos e mais sofisticados os algoritmos de controle. Consequentemente, há uma crescente demanda por tolerância a falhas que

pode ser atingido não apenas com a melhoria da confiabilidade das unidades funcionais, mas também por um sistema automático de detecção, acomodação e isolamento de falhas eficiente que atue junto ao supervisor da planta, dando segurança, confiabilidade e suporte ao operador da unidade produtiva.

Neste contexto, a falha é entendida como qualquer tipo de desvio (mal-



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

funcionamento) na dinâmica atual do sistema, em outras palavras uma anomalia na planta que leve a parada total ou parcial do processo. Tal falha pode ocorrer tanto nos sensores (instrumentos), ou atuadores, ou nos componentes do processo.

O diagnóstico de falhas em sistemas de instrumentação e controle de processos industriais contribui para minimizar a ocorrência de interrupções não programadas, na prevenção de acidentes, bem como para evitar condições de operação anormais que degradem a qualidade do produto final. De modo geral um sistema de diagnóstico de falhas contempla as seguintes etapas: (1) a detecção da falha, que provê uma indicação do que está errado no processo; (2) a identificação da falha, que permite localizar onde ocorreu o defeito; (3) a estimativa da falha, que avalia a severidade da falha; (4) a mitigação da falha, que permite restaurar sinais perdidos por conta da ocorrência da falha [ALEXANDRE & LIMA, 2013].

A estratégia proposta para diagnóstico de eventos anormais em sistemas industriais faz uso de técnicas analíticas para detecção de falhas em sensores e atuadores, sendo elas: Equações de paridade ou relações de consistência, obtido pela conservação direta do modelo de entrada-saída ou espaço de estado do sistema; observadores de estado; identificação paramétrica e o filtro de

Kalman. Na identificação é usado um classificador lógico com limiares fixos e para o controle tolerante é utilizada a estimativa da severidade (magnitude) da falha para a reconfiguração da lei de controle, vale destacar que na literatura encontram-se estratégias de monitoramento que envolve apenas uma das técnicas de detecção, aqui serão utilizadas em conjunto gerando um banco de resíduos, os quais serão classificados pelo classificador lógico. O banco de resíduos dará informações ricas do processo, consequentemente, um diagnosticador robusto e eficiente será alcançado, minimizando a ocorrência de alarmes falsos. Cada técnica foi testada individualmente, para determinar qual (ais) técnica (as) é (são) sensível (eis) a desvios de entrada e quais delas são sensíveis a desvios de saída ou ambos, concluída esta etapa definiu-se uma metodologia híbrida para detecção e diagnóstico de falhas. A metodologia foi testada numa planta de tratamento de efluentes do biodiesel. O artigo discute como definir limiares adaptativos para sistemas de monitoramento de unidades processuais, visto que a operação da planta industrial é dinâmica, passando por vários pontos operacionais durante o dia de trabalho, bem como os parâmetros do processo sofrem envelhecimento e estresse, consequentemente o sistema de alarme e gestão de falhas deve

www.conepetro.com.br

br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

ser auto ajustável a variação dos componentes da planta, sendo robusto e rápido na tomada de decisão.

Este artigo está organizado da seguinte maneira. Na Seção (1) é feita caracterização da problemática em estudo, as metas traçadas e as contribuições do trabalho. Na Seção 2 é apresentada a metodologia utilizada para consecução dos objetivos propostos. A descrição sucinta da planta de produção de biodiesel, em especial a subunidade de tratamento de efluentes ilustrada na Seção (3). A Seção (4) é destinada aos resultados experimentais e de simulação obtidos da implementação da estratégia de diagnóstico de falhas em sensores e atuadores quando avaliada a planta de tratamento de efluentes, nesta seção é feita uma reflexão da construção de limiares adaptativos as mudanças operacionais, o que leva o sistema de diagnóstico ser robusto nas respostas frente às variações da planta em tempo real. Finalmente na Seção (5) apresentam-se as conclusões e eventuais trabalhos futuros.

2. METODOLOGIA

A metodologia proposta para consecução dos objetivos estabelecidos está ilustrada no diagrama de blocos da Figura 1.

Vale ressaltar que a etapa denominada de diagnóstico de falhas é o foco e ensaja a

realização das etapas de detecção, isolamento e mitigação do defeito.

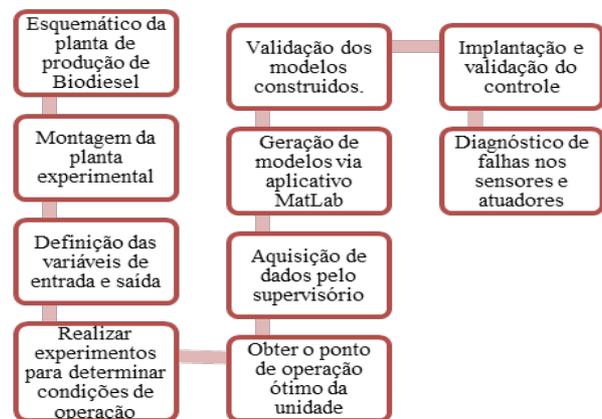


Figura 1: Metodologia para gestão de falhas.

2.1. Descrição da planta experimental

A planta de tratamento de efluentes para realização dos estudos encontra-se instalada no Laboratório de Química e Biomassa da Universidade Federal de Campina Grande, cujo fluxograma de processos está ilustrado na Figura 2 [FERNANDES E ARAÚJO, 2012].

Ela foi projetada com o objetivo de tratar o efluente gerado na etapa da purificação do biodiesel, em especial, o biodiesel obtido da transesterificação via catálise homogênea. Segundo Meneses *et al.* [2012] e Fernandes e Araújo [2011], o efluente gerado nessa etapa apresenta parâmetros tais como: óleos e graxas, DQO, sólidos totais, turbidez e pH, bastante elevados e, portanto, fora das especificações exigidas pela Resolução N°430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional de Meio

Ambiente – CONAMA, impossibilitando-o de ser lançado diretamente no corpo hídrico, sem um devido tratamento prévio, para a normalização dos parâmetros mencionados.

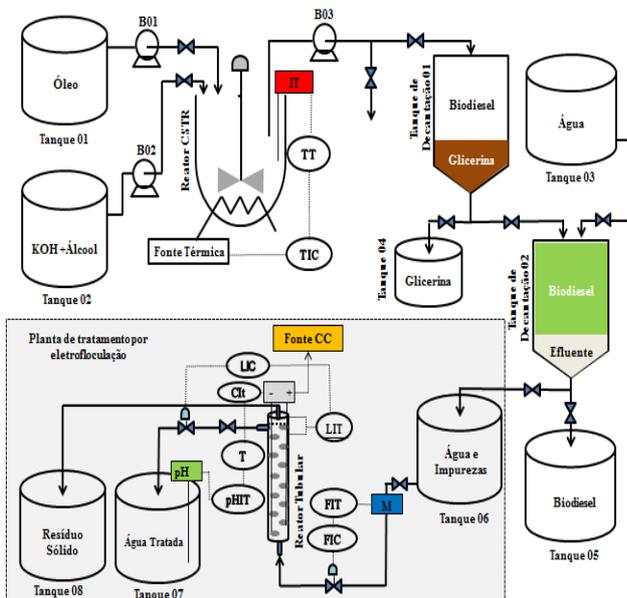


Figura 2: Fluxograma de processo da planta de produção de biodiesel e tratamento de efluentes por eletrofloculação.

No sistema em destaque, instalou-se um reator tubular, vertical, constituído de PVC (Policloreto de Venila – Policloreto), com 0,225 m de comprimento e 0,047 m de diâmetro, no qual fora adaptada uma corrente para a entrada do efluente, na parte inferior e duas saídas para a retirada dos produtos, na parte superior, como se observa na Figura 3.

Na primeira corrente de saída, lateral ao reator, obtém-se o efluente tratado que é armazenado no tanque 07. A corrente de saída no topo é por onde se retira uma suspensão predominantemente sólida, constituída pelos

contaminantes presentes no efluente inicial e é estocada no tanque 08. De acordo com Chavalparit e Ongwandee [2009], a análise espectrofotométrica da suspensão obtida para esse tipo de efluente, usando a eletrofloculação, com eletrodos de alumínio, mostra que os grupos funcionais dominantes da composição dessa suspensão são ésteres.

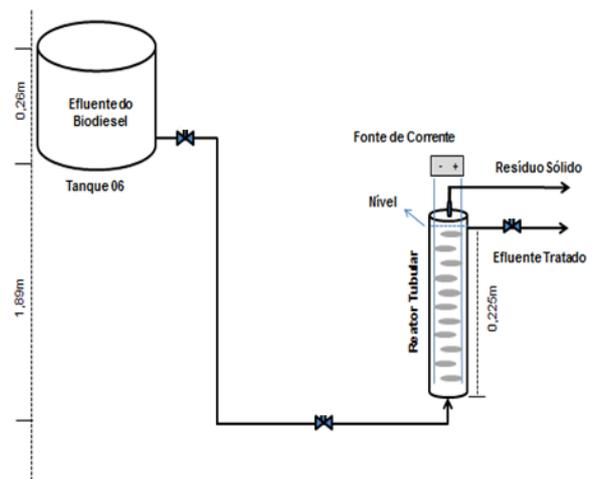


Figura 3: Desenho esquemático do sistema experimental projetado.

Para o reator tubular foi projetada uma malha de controle de nível de líquido, visto que o volume de efluente tem que situar-se na iminência de transbordar pela calha do reator. Se o nível de efluente cair no comprimento do daquele, haverá a contaminação do efluente tratado pelo material oleoso que é flotado, reduzindo a eficiência de tratamento. Ao mesmo tempo, que o efluente também não pode transbordar o volume total do reator. Controlar o nível é necessário em decorrência da queda de pressão do efluente que entra no reator, visto que esse alimentado com auxílio

força gravitacional e pelo peso da coluna de fluido do tanque 06. Assim, à medida que o tanque 06 esvazia-se ocorrem grandes oscilações na vazão volumétrica de entrada e saída, que são inviáveis de ser controladas manualmente.

A instrumentação instalada consiste em: um Medidor de Nível, um Sensor e Transmissor de Nível (LIT) e um Controlador Indicador (LIC), que atua na válvula de controle inserida na corrente para o efluente tratado.

Ainda no reator tubular foi inserida uma malha para o controle do pH do efluente tratado que é lançado no Tanque 07. Esse controle faz a regulação do pH do efluente a partir da tensão elétrica aplicada e, conseqüentemente, da corrente gerada no meio. De acordo com Wu Pi *et al.* [2014], a elevação ou redução da densidade de corrente está diretamente relacionada com a geração dos radicais $OH\cdot$, $OCl\cdot$, formação de cloro gasoso e dos íons de alumínio, que podem evoluir para compostos de alumínio. Estes últimos, são agentes coagulantes que contribuem para a redução ou elevação pH e, conseqüentemente, para a remoção de óleos e graxas, DQO, turbidez e sólidos totais. A instrumentação utilizada consiste em: um pHmetro no Tanque 07, um Transmissor Indicador de pH (pHIT) que envia um sinal para o Transdutor (T), que repassa o sinal

medido para o Controlador Indicador de tensão (CIt), o qual atua na fonte de corrente que alimenta o reator tubular, ajustando a tensão e, conseqüentemente, a corrente no meio reacional.

Para o reator tubular foi construído uma colmeia de eletrodos, contendo 12 placas circulares de alumínio, distribuídas em forma de chicanas, alternando, entre cátodos e ânodos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a planta experimental de tratamento de efluentes foi projetado o arranjo do sistema de monitoramento de falhas nos sensores atuadores presentes, ilustrado na Figura 4. Continuamente o sistema em operação interatua com o módulo controlador e suas variáveis são medidas (entrada e saída) e organizadas pelo sistema de aquisição de dados. O sistema de aquisição processa os dados na forma de uma matriz de dados que são enviados ao módulo de diagnóstico de falhas. A assinatura de anormalidade é caracterizada observando os resíduos gerados pelas técnicas clássicas de controle. As etapas da *detecção* e do *diagnóstico* são alcançadas utilizando *lógica de decisão com limiares fixos*, que avalia o banco de resíduos gerado e indica a ocorrência de defeito e onde aconteceu o defeito. Já a etapa da mitigação é computada executando o algoritmo recursivo

para reprogramação da lei de controle, tomando como entradas o sinal lógico de ocorrência de falha ($S(k)$) e a estimativa da magnitude da falha ($f(k)$), ambos fornecidos pelas etapas de *detecção* e *diagnóstico*.

Vale ressaltar que o *controle tolerante* é alcançado pelo algoritmo da reprogramação da lei de controle. A é a estimativa da severidade da falha (magnitude), S é o sinal lógico da ocorrência de falha (nível alto “1”, houve falha ou nível baixo “0”, não houve falha) proveniente do diagnosticador de falhas, y é o sinal de entrada da planta provenientes das leituras dos atuadores, u é o sinal de saída da planta, proveniente dos sensores, corresponde a falhas aditivas ocorridas nas leituras dos atuadores e corresponde a falhas aditivas ocorridas nos sensores presentes na instrumentação da planta. Na Figura 4 encontra-se o fluxograma resumo dessa estratégia monitoramento.

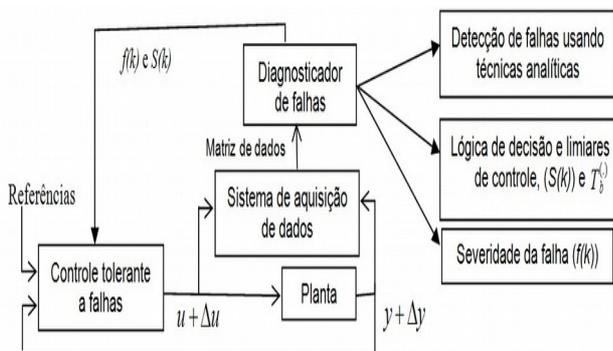


Figura 4: Estratégia de monitoramento de falhas em sistemas industriais.

O sistema de monitoramento irá detectar e identificar falhas nos instrumentos de medição e nos instrumentos de atuação, falhas internas ou estruturais não serão diagnosticadas visto que produzem um pequeno efeito no resíduo.

A lógica utilizada no classificador é descrita como,

Proposição 01. Se:

$$r_b^{pa} > T_b^{pa} \Rightarrow \text{falha_atuador_b};$$

Proposição 2. Se:

$$r_b^{obs} > T_b^{obs} \ \& \ r_b^{Ident} > T_b^{Ident} \ \& \ r_b^{Kal} > T_b^{Kal} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{falha_Sensor_b};$$

Se proposição 1 ou proposição 2 verdade \Rightarrow falha no processo.

Onde $r_b^{(.)}$, $T_b^{(.)}$, é o resíduo gerado pela técnica detecção (equação de paridade (*pa.*), observador de estados (*obs.*), filtro de Kalman (*Kal.*), identificação paramétrica (*Ident.*)) e o limiar fixo para o b sensor respectivamente.

O resíduo gerado é calculado como sendo a diferença entre as medições reais (sinais medidos), indicados pelos diversos sensores e atuadores espalhados na planta de produção industrial, com os valores estimados pelo algoritmo de detecção falhas. Se o resultado desta operação matemática estiver dentro de um faixa (*range*), não houve falha em nenhum instrumento, caso contrário há algum instrumento defeituoso no processo.

Caso o resíduo não seja controlado, informações serão repassadas para os controles industriais, que irá tomar decisões errôneas no processo, causando danos materiais, econômicos, ambientais e humanos. O dano material diz respeito à perda de equipamentos prioritários no funcionamento da planta industrial, danos econômicos estão relacionados aos prejuízos na qualidade do produto final e na perda dos equipamentos, danos humanos e ambientais estão atrelados aos riscos de explosões na unidade fabril, contaminações gasosas e derramamentos de líquidos, devido à parada parcial ou total do processo, flutuações de leituras e perda de vidas humanas.

Desta forma o sistema de detecção de falhas faz parte da chamada manutenção preventiva e antecipatória da linha de produção.

As falhas consideradas no presente texto são as abruptas aditivas intermitentes e abruptas aditivas permanentes, tendo em vista serem mais usuais e deletérias ao processo do que as falhas incipientes. As falhas abruptas, devido a sua forma, são mais fáceis de detectar que as falhas incipientes, que produzem um pequeno efeito nos resíduos. O cenário de falhas é descrito na Tabela 1. Os ruídos inseridos são ruído branco, contaminando todas as frequências.

Para exibir o desempenho do diagnosticador de falhas foram simuladas as

falhas intermitentes e permanentes do cenário da Tabela 1. A simulação foi feita no Simulink®-Dynamics Systems, do ambiente Matlab, usando passo de integração fixo, tolerância de 0.0001, método de integração ODE45-Dormand-Prince solver, com duração de 300 segundos.

Tabela 1: Cenário de falhas nos componentes.

Componente	Tipo de falha	Tempo (s)	Amplitude da falha
Sensor de pH	Abrupta: degrau	100-250	+ 60% no valor de operação normal.
	Ruído de medição	0-300	Média nula e variância 0.0001.
Sensor de vazão	Abrupta: degrau	100-300	1dm ³ s ⁻¹ no valor de operação normal.
	Ruído de estado	0-300	Média nula e variância 0.0001.

O resultado da simulação é apresentado na Figura 5. O comportamento das saídas controladas na presença de falhas é ilustrado na Figura 6. Pode-se observar que a dinâmica das malhas é alterada no instante da

ocorrência da falta e a ação de controle não é suficiente para manter a saída no ponto de operação desejado.

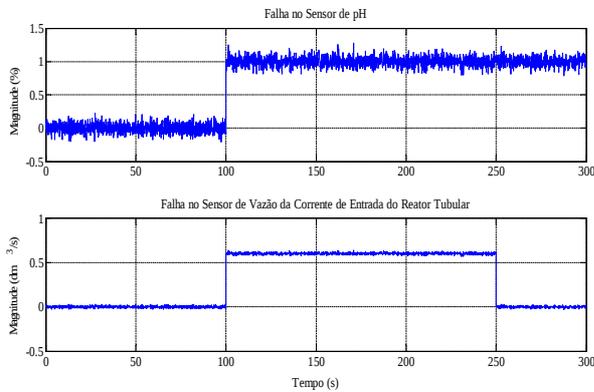


Figura 5: Falhas aplicadas aos medidores.

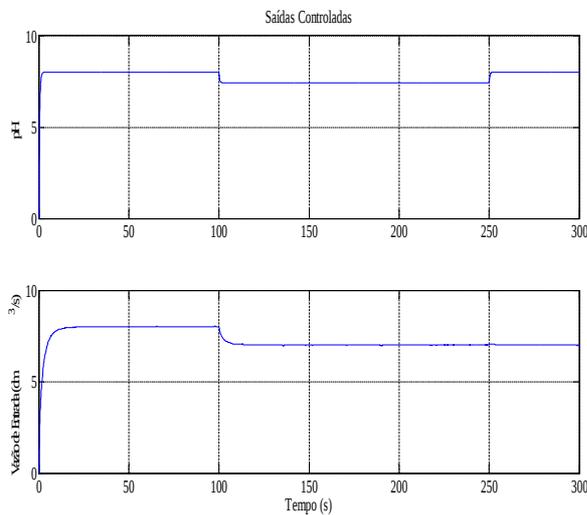


Figura 6: Saídas controladas na presença de falhas.

Os valores dos limiares de decisão utilizados no classificador lógico devem ser escolhidos de forma a minimizar a ocorrência do falso alarme e a perda de alarme. Assim, o valor do *threshold* (limiar) deve ser escolhido entre o valor máximo de resíduos, quando não existem falhas, ao valor de erro máximo aceitável na medição. Na ocorrência de múltiplas falhas é necessário definir os limitadores do sinal de amplitude: o limiar de

decisão para evitar falsos alarmes; e os limitadores de diminuição do sinal, para evitar perda de alarmes. Devendo ser feito para cada resíduo gerado por qualquer uma das técnicas de detecção e para cada ponto de operação da unidade industrial.

Para evitar o problema de falsos alarmes ou a perda do alarme, devem-se usar limiares adaptativos baseados nas estatísticas do processo ou em algoritmos inteligentes que se baseiam no histórico (passado) do processo para realizar uma assinatura de padrão. Embora tenha usado limiares fixos no diagnosticador PCA, propõe-se uma metodologia para projeto de limiares adaptativos, apresentados no fluxograma da Figura 7.

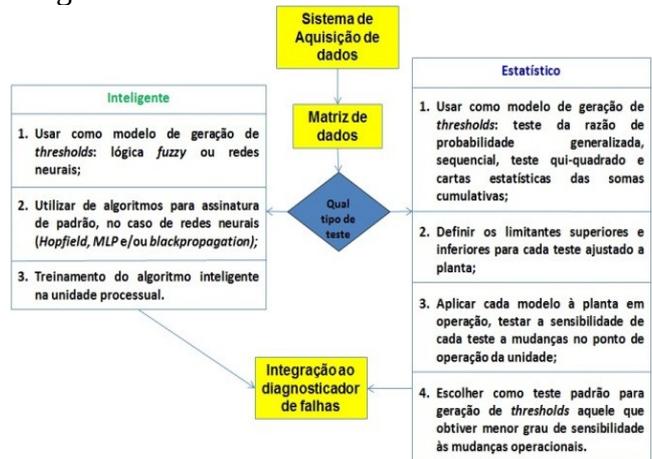


Figura 7: Etapas para construção de limiares adaptativos as mudança operacionais.

A detecção e identificação de falhas na unidade pela lógica de decisão com limiares fixos podem ser visualizadas Tabela 2 e na Figura 8, respectivamente, onde temos os intervalos de tempo para a detecção e isolamento

do sistema de monitoramento de anomalias da unidade.

Tabela 2: Intervalo para detecção e isolamento de falhas.

Instru-mento	Tipo de falha	Interva-lo da falha	Intervalo para detecção e isolamento da falha.
Sensor de pH	Abrupta, intermi-tente: <i>off-set</i>	100 s - -250 s	100,4s -250,02 s
Sensor de vazão	Abrupta-mente: constante	100 s - 300 s	100,15 s

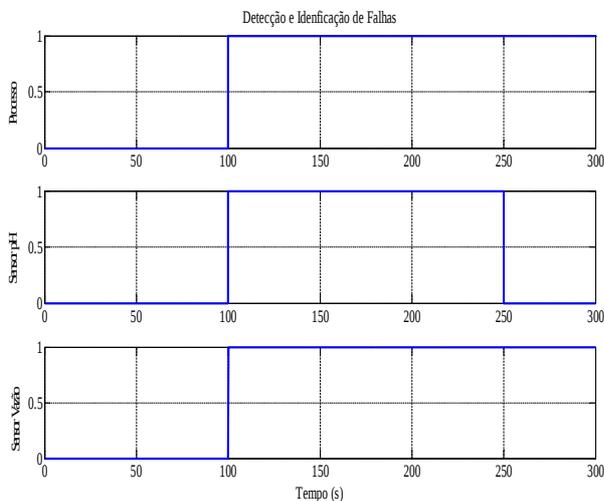


Figura 8: Detecção e Identificação de falhas pelo sistema de monitoramento.

O objetivo do controle tolerante a falhas é prevenir a deterioração do sistema através do desenvolvimento de um controlador que possui algumas capacidades para compensar

as falhas, isto é, a acomodação da falha ou controle tolerante a falhas. A estimação da falha feita pelo diagnosticador é de primordial importância para compensar essa falha e para preservar o desempenho do sistema. A estratégia para acomodação da falha deve ser feita pelo ajuste ou modificação *on-line* da lei de controle nominal, a fim de manter a segurança dos operadores e da confiabilidade do processo. Com a estimação da falha feita pelo sistema de detecção e diagnóstico de falhas, uma nova lei de controle deve ser computada para contrariar e aniquilar o efeito da falha sobre o sistema. Esta nova lei de controle aplicada ao sistema é dada pela lei de controle anterior subtraída da magnitude da falha determinada pelo sistema de diagnóstico de anomalias na estimação da falha para o caso de falhas na entrada do processo e alterando a expressão do erro, somando a estimativa da falha feita pelo diagnosticador ao *set-point* de malha, caso a falha seja na saída do processo.

De acordo com o fluxograma d a Figura 9, f é a magnitude da falha (estimada) dada como,

$$f(k) = x_i(k) - x_i(k - 1), i = 1, 2, \dots, n$$

[1]

sendo, $x_i(k)$ a amostra no instante em que houve a falha obtido pelos testes de detecção e $x_i(k - 1)$ é a amostra anterior a falha

(amostra normal, sem anomalia), n é número de amostras, k é o instante de tempo da ocorrência da falha, S é o sinal lógico produzido pelo sistema de detecção de falhas, u é lei de controle do controlador PID discretizado dada por,

$$u(k) = u(k-1) + k_p [e(k) - e(k-1)] + \frac{T_s}{\tau_i} (e(k)) + \tau_d T_s (e(k) - e(k-1)),$$

[2]

sendo, k_p o ganho proporcional, T_s o tempo de amostragem por se tratar de um sistema discretizado, τ_i constante do ganho integral, τ_d é a constante de tempo do ganho derivativo, $e(k)$ é o sinal de erro e u_n é a nova lei de controle.

O fluxograma da Figura 9 resume a lógica da geração da nova lei de controle.

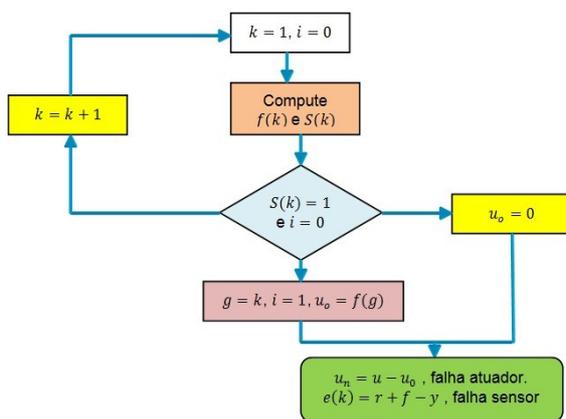


Figura 9: Geração de uma nova lei de controle.

O sistema de controle tolerante a falhas age somente quando a falha é detectada, isolada e identificada, onde ele computa a

nova lei de controle, sendo capaz de reduzir os efeitos da falha no sistema. Uma vez identificada, o sistema tolerante soma a magnitude estimada da falha a referência, gerando a nova lei de controle que é usado pelo sistema. Daí a importância da estimação da falha.

A habilidade do método de acomodação de falha é apresentada na Figura 10 e 11. Uma vez que a falha é isolada e estimada, a nova lei de controle é computada de forma a reduzir o efeito da falha sobre o sistema. Na Figura 10 é visto a lei de controle (ações de controle) da variável controlada, nível. Em ponto-traço mostra a lei de controle anterior à reprogramação, e em pontilhado, a lei de controle reconfigurada, pode-se notar que o sistema de controle tolerante a falhas consegue acomodar a falha aplicada, a resposta do controle tolerante a falhas aplicado a malha da vazão volumétrica de entrada do reator pode ser visualizada na Figura 11.

A mitigação de falha nas malhas de controle não foi total, visto que não podemos estimar os ruídos de estado e de medição inseridos no processo, ao menos que seja feita uma filtragem ou um tratamento estatístico de alto desempenho, fato este que compromete a qualidade da estimativa da falha.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

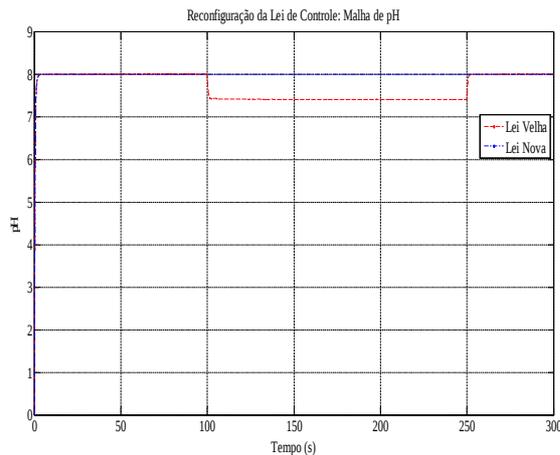


Figura 10: Resposta da malha de pH ao sistema tolerante para o cenário de falhas.

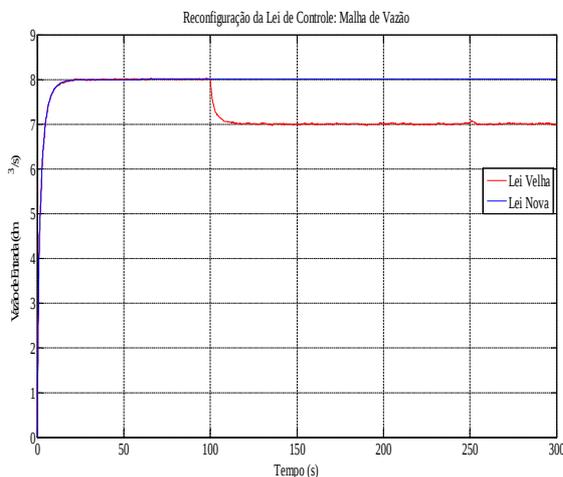


Figura 11: Resposta da malha de vazão de alimentação ao sistema tolerante para o cenário de falhas.

O sistema de monitoramento de falhas e gestão de alarmes é eficiente em suas métricas, detectar, isolar e reconstruir os sinais perdidos na ocorrência de um defeito no processo, sendo auto-reconfigurável e atuante em tempo real. Para validar a proposta de sistema de diagnóstico de falhas a equipe de pesquisadores está desenvolvendo um *software* para dar suporte a plantas do setor de

Petróleo e gás, em especial parceria com a Petrobras (Petróleo S.A).

4. CONCLUSÕES

A solução proposta para detecção, isolamento de falhas mostrou-se eficiente quando avaliada para a unidade de tratamento de efluentes da planta de produção do biodiesel operando em malha fechada, em termos da identificação de condições anormais de funcionamento, bem como a metodologia para reconfiguração da lei de controle quando da ocorrência de falhas em sensores e atuadores.

Tendo em vista, o classificador lógico está utilizando limiares fixos discutiu-se uma metodologia para consecução de limiares adaptativos, os quais devem ser definidos pelas informações estatísticas e históricas do processo, de modo a minimizar a ocorrência de falsos alarmes ou a perdas de alarmes (fato que compromete o controle tolerante).

Ainda que no estudo realizado tenha sido utilizada uma lei de controle clássica para controlar a planta, o procedimento para prognóstico de falhas em sistemas industriais proposto é relativamente independente, sendo possível utilizá-lo no caso de outras estratégias de controle.

www.conepetro.com.br

br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, G. B. & LIMA, A.M.N. *Diagnose de Falhas e Gestão de Alarmes em Sistemas de Instrumentação e Controle Industrial*. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, 2013, Campina Grande, Brasil.

CHAVALPARIT, ORATHAI.; ONGWANDEE, MANEERAT. *Optimizing electrocoagulation process for the treatment of biodiesel wastewater using response surface methodology*. Journal of Environmental Sciences, v. 21, n. 11, p. 1491-1496, 2009;

FERNANDES, T. DE FREITAS & ARAÚJO, G. TRINDADE. *Desenvolvimento de tratamento para o efluente gerado na produção de biodiesel por eletrofloculação*. Projeto de Iniciação Científica (PIBIC), Centro de ciências e Tecnologia, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, Brasil, 2011.

FERNANDES, T. F. & ARAÚJO, G. T. *Desenvolvimento de um reator tubular para tratamento de efluente gerado na produção de biodiesel por eletrofloculação*. Projeto de Iniciação Científica (PIBIC), Centro de ciências e Tecnologia, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, Brasil, 2012.

MENESES, J. M. & ARAÚJO, G. TRINDADE. *Tratamento do efluente gerado na produção de biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB. 2011.

WU PI, KE.; XIAO, QU.; ZHANG, HUI – QIN.; XIA, MIN.; GERSON, ANDREA R. *Decolorization of synthetic Methyl Orange wastewater by electrocoagulation with periodic reversal of electrodes and optimization by RSM*. Process Safety and Environmental Protection, v. 92, n. 6, p. 796 – 806, 2014;