Implementação de Sistema Inteligente para Interpretação, Classificação e Análise de Situações Anormais em Sistemas de Automação Industrial na Petrobras

Kaku Saito, Marcos M. Calôr Filho, Bruno Máximo Menezes, Adler Fonseca de Castro*
Eliane Valvano C.S. Mello**
Danilo Curvelo de Souza, Gustavo Leitão, Diego Cabral Silva, Luiz Affonso H. Guedes de Oliveira***

**PETROBRAS, Av. Henrique Valadares, Rio de Janeiro, Brasil*
(e-mail: kaku@petrobras.com.br; calor@petrobras.com.br; bruno.maximo@petrobras.com.br; adler.fonseca@petrobras.com.br)
***PETROBRAS, Refinaria Duque de Caxias – REDUC, Rio de Janeiro, Brasil (e-mail: valvano@petrobras.com.br)*
**** Universidade Federal do Rio Grande do Norte,*
Rio Grande do Norte, Brasil, (e-mail: danilocurvelo@imd.ufrn.br; gustavo.leitao@imd.ufrn.br; diego@ect.ufrn.br; affonso@dca.ufrn.br)

Abstract: This work presents the development and implementation of a system for detecting, interpreting and classifying failures of industrial automation system infrastructures. The work was implemented at Petrobras' Duque de Caxias Refinery, currently covering about 70% of the refinery's infrastructure. The methodology adopted makes it possible to extend the results to other industrial automation equipment, enabling the unification of data in order to compose a large environment of asset reliability. This work addresses the project methodology, the technologies adopted, the solution architecture and the results achieved.

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a implantação de um sistema de detecção, interpretação e classificação de falhas de infraestruturas de sistemas de automação industrial. O trabalho foi implementado na Refinaria Duque de Caxias da Petrobras, cobrindo atualmente cerca de 70% da infraestrutura da refinaria. A metodologia adotada possibilita a abrangência dos resultados para outros equipamentos de automação industrial possibilitando a unificação dos dados de modo a compor um grande ambiente de confiabilidade dos ativos. O presente trabalho aborda a metodologia do projeto, as tecnologias adotadas, a arquitetura da solução e os resultados alcançados.

Keywords: Industrial Automation; Failure Detection; Diagnostic; Predictive Maintenance

Palavras-chaves: Automação Industrial; Detecção de Falhas; Diagnóstico; Manutenção Preditiva

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de monitoração de falhas em equipamentos são ferramentas muito importantes para o acompanhamento de confiabilidade de ativos que são essenciais para a operação contínua das plantas industriais. Na indústria de óleo e gás, os equipamentos operam em regime de 24 por 7, ou seja, de forma contínua durante os chamados tempos de campanha das Unidades que podem durar de 4 a 6 anos ininterruptos entre paradas de manutenção programada. Neste contexto, os equipamentos de automação industrial, que desde a década de 80 possibilitam a operação segura e otimizada destas plantas, sofreram uma grande evolução. Hoje praticamente todos os processos são operados por sistemas digitais de controle, e em uma refinaria de petróleo, por exemplo, é encontrada uma base instalada de equipamentos que compõe uma infraestrutura de centenas ou mesmo milhares de controladores gerando uma quantidade muito grande de informações.

No tocante a confiabilidade destes equipamentos, é fundamental que estes estejam disponíveis face a natureza dos processos de operação contínua, e a detecção, interpretação e classificação de falhas se torna importante para possibilitar uma gestão adequada de sua manutenção.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a implantação de um sistema de detecção, interpretação e classificação de falhas de infraestruturas de sistemas de automação industrial agregando um grande valor às atividades das equipes de manutenção. O trabalho foi implementado na Refinaria Duque de Caxias da Petrobras, cobrindo atualmente cerca de 70% da infraestrutura da refinaria. O sistema consiste na aquisição dos alertas gerados através de mensagens nativas fornecidas pelos sistemas de automação, a interpretação destas mensagens e a classificação de falhas para fins de diagnóstico.

A metodologia adotada possibilita a abrangência dos resultados para outros equipamentos de automação industrial viabilizando inclusive a unificação dos dados de modo a

compor um grande ambiente de confiabilidade dos ativos de diversos fabricantes. O presente trabalho aborda a metodologia do projeto, as tecnologias adotadas, a arquitetura da solução e os resultados alcançados. Ao final, são propostos os próximos passos do projeto em andamento.

2. SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PROCESSOS

Os equipamentos de automação nas indústrias de óleo e gás são constituídos dos chamados Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCD) (Beecroft et al, 2005) ou a combinação de Controladores Programáveis (CP) com softwares de supervisão em tempo real, denominados de Supervisory Control and Data Acquisition System, ou Sistemas SCADA (Boyer, 2010). Ambos constituem a camada de monitoração e controle do processo. Toda a operação das plantas é realizada por meio destes equipamentos que, além de controlarem o processo, são responsáveis pela sua segurança e otimização.

2.1 Arquitetura dos Sistemas de Automação

Estes sistemas de automação consistem em um conjunto de sistemas digitais interligados em rede, compostos por estações de engenharia, estações de operação e controladores interligados em rede cobrindo uma imensa área das instalações industriais. A figura 1 ilustra uma arquitetura simplificada destes sistemas. Como as refinarias são compostas de diversas plantas industriais, esta infraestrutura pode crescer na proporção do tamanho e da complexidade destas plantas, formando uma grande rede de equipamentos industriais, conforme figura 2. Estes equipamentos podem variar conforme a idade das plantas, podendo coexistir equipamentos de um mesmo fabricante fornecidos em épocas diferentes, bem como de fabricantes diferentes, integrados a partir de interfaces de comunicação padrões da indústria.

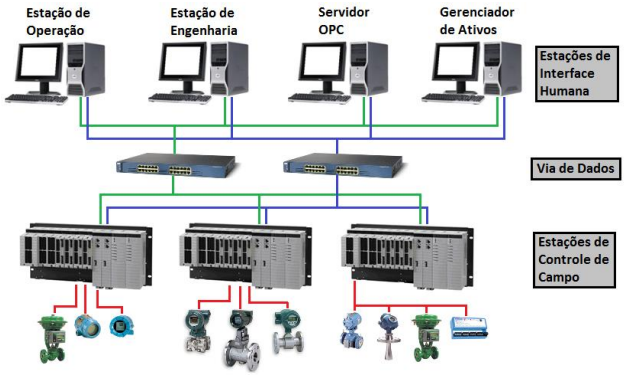

Fig. 1 Arquitetura simplificada de sistema de automação industrial

2.2 Gerenciamento de Situações Anormais

A monitoração de alarmes em equipamentos industriais foi objeto de atenção da indústria a partir da década de 2000. A geração de quantidade excessiva de informações de situações anormais nas plantas na forma de alarmes levou ao desenvolvimento de metodologias para racionalização dos mesmos desde a fase de sua concepção até a fase de operação. Tecnologias foram desenvolvidas adicionalmente para monitoração da saúde do sistema de alarmes. Este processo passou a ser conhecido como gerenciamento de alarmes, levando à publicação de diversos estudos (Ayral et al, 2013; Eljack et al, 2016; Leitão et al, 2008) sobre o assunto. Dada a grande relevância do assunto para a indústria, normas internacionais consolidaram conhecimentos para a uniformização de metodologias e critérios de engenharia, onde a referência maior é a publicação da International Electrotechnical Commission (IEC). O resultado possibilitou a redução efetiva da anunciação de alarmes e o aumento da confiabilidade humana para atuação adequada frente as situações anormais do processo.

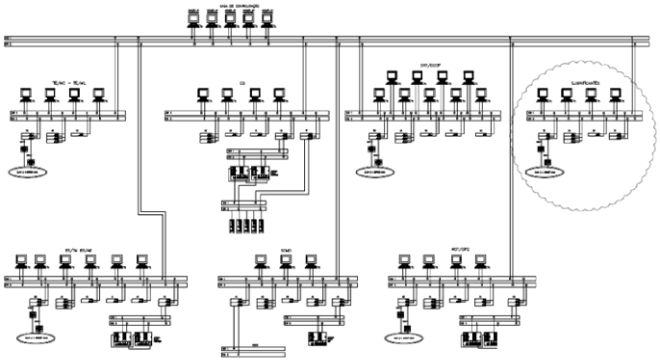

Fig. 2 Integração entre sistemas de automação na indústria

Uma parte importante desta metodologia teve como foco a análise estatística dos dados gerados pelos sistemas de automação e o tratamento dos chamados “bad actors” com o objetivo de questionar a qualidade destes dados e propondo soluções “offline” de modo a fazer com que estes passem a ser validados, manutenidos e “ajustados” através de uma avaliação multidisciplinar, com o envolvimento de diversos especialistas. O processo de análise estatística desses dados, no entanto, limitou-se a segregá-los e classificá-los através de filtros mais genéricos, como o tipo do alarme, se de processo ou de um equipamento, e sua localização física, como a planta associada.

2.3 Gestão de Ativos e Manutenção Preditiva

Um avanço seguinte no tratamento dos dados gerados pelos sistemas de automação consistiu na modelagem dos ativos de forma a capturar informações que estejam associadas à confiabilidade de equipamentos e sistemas. Esta visão adicional possibilita não somente o tratamento de um alarme da planta que anuncia muitas vezes num período, ou a duração desta anunciação, mas uma observação de aspectos de confiabilidade e integridade de equipamentos, possibilitando antecipar ações de intervenção com uma visão preditiva. Esta monitoração se integra em um processo maior conhecido internacionalmente como gestão de ativos, segundo a International Organization for Standardization (ISO). Realizar então a gestão dos ativos implica na detecção de situações anormais de equipamentos e sistemas de modo a tornar possível um melhor planejamento e gestão dos processos de

manutenção de modo a garantir confiabilidade e disponibilidade das Unidades Industriais.

3. DESAFIOS E METODOLOGIA PROPOSTA

O desafio da detecção e tratamento de situações anormais reside na qualidade dos dados, na capacidade de interpretá-los adequadamente e na capacidade de lidar em escala com a quantidade situações anormais que ocorrem na indústria.

Perguntas práticas em relação a este desafio são: Como lidar com a grande quantidade de informações geradas e como visualizá-las? Como priorizar as ações frente a diversos tipos de falhas e comportamentos anormais observados? Como realizar a gestão adequada e efetiva sobre as ações em andamento e aquelas que estão pendentes?

A quantidade e a diversidade de equipamentos da indústria de óleo e gás são imensas. Existem dezenas de fabricantes, cada um com características próprias no que diz respeito à forma de apresentar as situações anormais relativas a seus equipamentos. Além da forma de reportar dados, existe uma dificuldade de traduzir e padronizar o significado dos dados de modo a se obter uma uniformização de ontologias que possibilite uma visão integrada dos ativos. Esta visão possibilitaria uma boa gestão de inventário, que incluiria a visão de obsolescência, cada vez mais relevante na indústria, de modo a otimizar o compartilhamento de recursos além de um melhor planejamento de aquisições.

Um trabalho de organização e estruturação do conhecimento sobre os equipamentos de automação foi então necessário para a construção de uma biblioteca de componentes e de falhas associadas aos principais ativos dos sistemas de automação industrial.

Um primeiro passo foi a construção de um framework para identificação e qualificação de cada tipo de ativo, e um segundo passo foi a identificação de todos os tipos de falhas possíveis para cada tipo de ativo. Esta biblioteca consiste na modelagem dos ativos e seus respectivos modos de falha, podendo-se adaptar a qualquer outro equipamento de automação industrial, independentemente de como cada fabricante nomeie seu sistema, embora o framework também seja capaz de realizar agregação de ativos de modo a representar uma entidade particular com as nomenclaturas de fabricantes específicos.

A construção de um coletor de dados que se comunica de forma adaptável sobre o formato dos dados disponibilizados por cada fabricante foi peça chave para possibilitar a identificação do ativo e a interpretação das mensagens geradas por cada sistema de automação. A extração de informações a partir da detecção de conteúdos específicos foi realizada através de algoritmos de interpretação de mensagens fornecidas pelos sistemas de automação, baseado em um ambiente de alto nível para construção de regras.

A classificação das falhas, bem como seu grau de importância foi trabalhada em conjunto com os especialistas no acompanhamento da integridade dos ativos.

Destacou-se a importância de avaliar a dinâmica das falhas no tempo, uma vez que se trata de equipamentos que podem apresentar falhas intermitentes, o que permitiu inferir um grau de degradação especialmente em componentes passivos de rede, cujas respostas possuem um certo grau de aleatoriedade.

4. SOLUÇÃO DESENVOLVIDA, TECNOLOGIAS ADOTADAS E ARQUITETURA DA SOLUÇÃO

Definido o problema, foi concebida e desenvolvida uma solução computacional para monitoramento contínuo da saúde de ativos de automação industrial, com especial foco no gerenciamento de alertas gerados pelo sistema de automação industrial. Ressalta-se que a identificação célere de estados de operação indesejados de ativos de automação industrial, que precisem de atenção ou manutenção, é uma tarefa muito importante para maximizar a disponibilidade operacional da planta industrial como um todo, pois são justamente esses ativos os responsáveis pelo controle e monitoramento da sua operação.

Para tal monitoramento, a solução desenvolvida provê a modelagem de ativos de automação, possibilitando sua parametrização para que seja possível, a partir de suas características, realizar as análises necessárias. Como exemplo, um controlador industrial possui pelo menos fontes de alimentação, unidades de processamento em tempo real, cartões de interface de sinais analógicos e digitais, além de interfaces de rede entre controladores e para outros subsistemas de automação.

Um mesmo ativo pode gerar múltiplos alertas, sendo estes modelados a partir do que foi descrito como um "monitor de alerta". O monitor de alerta consiste na execução de regras de identificação dos problemas, realizado através de um algoritmo que monitora a transição de estados entre ativação e retorno a condição normal de diversos tipos de alertas. Tais regras são implementadas a partir de avaliações comparativas entre as observações de variáveis lidas do sistema de automação e valores de referência conhecidos. Por exemplo, uma determinada falha pode ser identificada a partir da avaliação do valor de um único bit de uma medição observável sobre um ativo.

Uma vez implementados, o sistema inicia o monitoramento contínuo destes alertas de forma padronizada e centralizada, permitindo assim, que sejam reportados todos os eventos gerados durante a operação. Gerado um alerta, o sistema permite que o operador o gerencie manualmente e indique o seu tratamento.

A partir dos eventos coletados o sistema disponibiliza diversos elementos de visualização de dados, tais como indicadores, estatísticas, gráficos, relatórios e totalizações que possibilitam auxiliar no processo de tomada de decisão.

Em termos de arquitetura a solução foi concebida baseada em micros serviços, onde cada um destes é um serviço único criado para acomodar uma responsabilidade específica. De maneira macro, a arquitetura computacional da solução pode

ser subdividida em três grandes componentes: coleta e armazenamento; processamento; e visualização e gestão. Esta arquitetura está ilustrada na figura 3.

No componente de coleta e armazenamento estão implantados os sistemas de coleta de dados industriais, onde os servidores utilizam o protocolo OPC para captura de dados industriais de tempo real, que são armazenados em historiadores de dados industriais (como o OSIsoft Plant Information[8]). Visando a robustez e consistência dos dados na aplicação, o componente de processamento consome apenas os dados industriais historiados via o protocolo gRPC. O componente de processamento é constituído de scripts em linguagem Python, cujos fluxos de execução são gerenciados e orquestrados com alta escalabilidade e disponibilidade pela plataforma open source Apache Airflow. Tal módulo é responsável propriamente pelo monitoramento contínuo de todos os monitores de alertas, gerando eventos de alerta sempre que identificado a ativação de uma regra previamente modelada. Por fim, o módulo de visualização e gestão oferece uma plataforma de identificação e qualificação de cada tipo de ativo, permitindo a modelagem de todos os tipos de falhas possíveis para cada tipo de ativo. Este módulo foi desenvolvido a partir de tecnologias robustas e consolidadas, tais como Java, Spring e React.

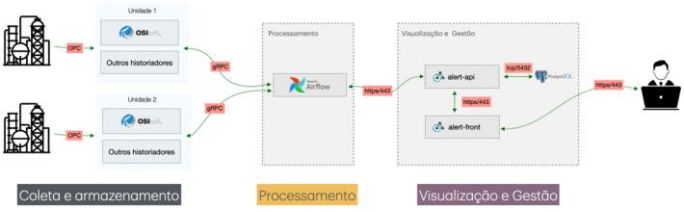

Fig. 3 - Arquitetura da solução para gerenciamento de alertas de ativos de automação industrial.

5. RESULTADOS - MONITORAÇÃO DOS ALERTAS DOS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO NA REDUC

A Refinaria Duque de Caxias (REDUC), uma das mais antigas refinarias do Brasil, conta com uma infraestrutura de sistemas de automação composta por SDCDs de mais de um fabricante, e de diversos modelos datados das épocas diferentes de implementação das plantas. Além dos SDCDs, a refinaria possui diversos CLPs e outros equipamentos digitais de monitoração, como de grandes máquinas (compressores, turbogeradores, bombas de alta potência, etc), compondo uma infraestrutura diversificada e complexa.

O projeto consistiu em cobrir 70% dos equipamentos mais antigos da refinaria, que possuíam um grau de dificuldade e risco maior no acompanhamento de integridade. O resultado do trabalho de coleta, interpretação, classificação e visualização de dados é apresentado a seguir.

O dashboard da Figura 4 apresenta um painel de alertas gerados e não tratados em abril de 2024, com o número total de 146, sendo que 42 permanecem ativos e 104 com status de retorno a condição de normalidade. Esta normalização significa que o estado de falha que gerou o alerta deixou de existir sem tratamento por parte da equipe de manutenção, indicando um problema intermitente e que requer atenção em função do comportamento de novas ativações. Alertas intermitentes configuram um risco iminente de falhas que podem ter como causa básica, um problema estrutural. Os gráficos de barras e de pizza nesta mesma figura informam quanto tempo cada alerta permanece ativo e a distribuição de prioridades destes alertas, o que possibilita avaliar se as equipes estão atendendo com priorização e em intervalos de tempo adequados para realizar as ações corretivas.

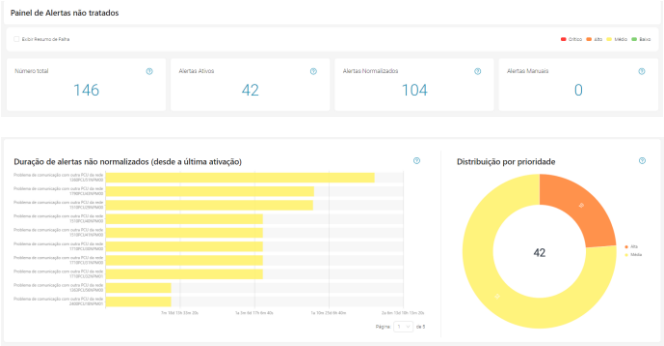

Fig. 4 Dashboard de alertas não tratados

A figura 5 apresenta um dashboard de alertas gerados por tipo de equipamento informando em detalhes a natureza do problema, o tempo desde sua primeira anunciação, sua prioridade de tratamento e se alguma ação de gestão foi realizada para corrigir o problema.

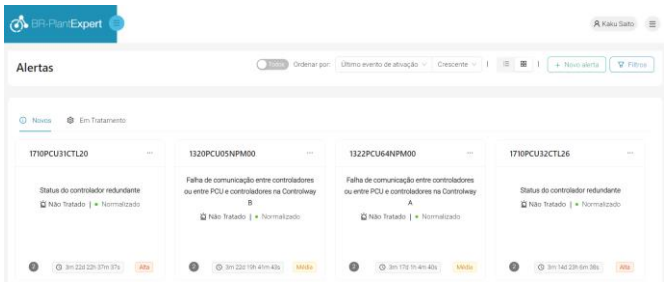

Fig.5 Dashboard de alertas por prioridade e tempo desde a primeira ativação

A figura 6 apresenta um detalhamento de um alerta específico apresentando informações adicionais para a contextualização do ativo, como a localização física do equipamento dentro da refinaria, seu endereço lógico na rede, a planta industrial associada, dentre algumas informações complementares.

Esta figura também apresenta o histórico de como os alertas foram gerados e normalizados sem que houvesse percepção por parte das equipes encarregadas. A manutenção de um histórico de ativação e normalização enquanto o alerta não é tratado foi considerada uma informação bastante relevante sobre o grau de instabilidade dos sistemas.

As figuras 7 e 8 apresentam estatísticas importantes, como o tempo médio de tratamento de um tipo específico de problema, bem como uma percepção de dificuldades para a solução dos problemas. Estatísticas sobre os tipos mais frequentes de

falhas, bem como quais ativos são mais impactados também são resumidos para possibilitar um planejamento mais adequado de aquisição de material a ser substituído.

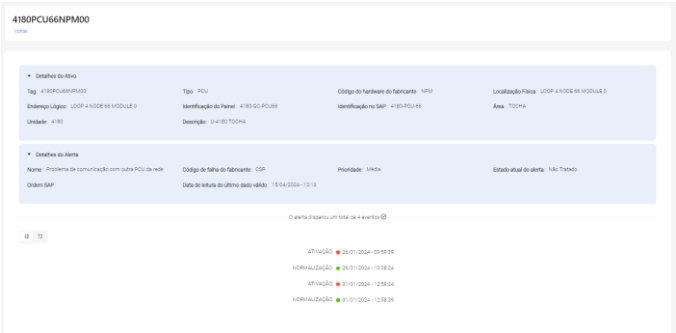

Fig. 6 Detalhe do alerta com histórico de ativações e normalização

A ferramenta desenvolvida tem sido utilizada pelas equipes de monitoração dos sistemas de automação da REDUC, possibilitando avaliar com antecedência o grau de degradação da infraestrutura antes que uma manutenção corretiva emergencial seja requerida, e evitar possível perda financeira devido a parada das plantas.

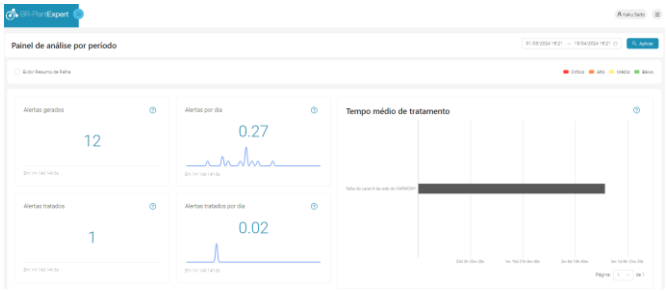

Fig 7 Estatísticas de geração e tratamento de alertas

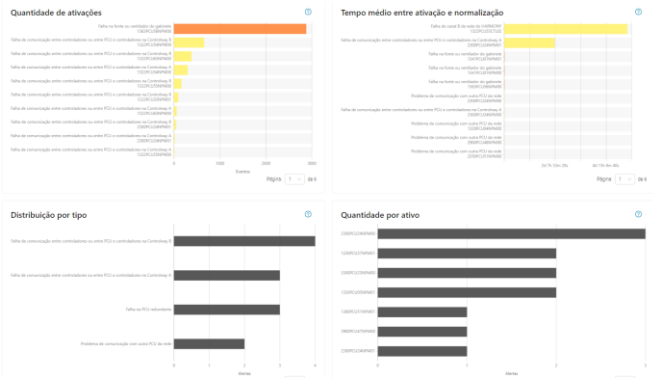

Fig.8 Estatísticas de ativações e distribuição de alertas por tipo de falha e tipo de ativo

6. CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS

A implementação de um sistema de detecção, interpretação, classificação e tratamento de falhas em sistemas de automação trouxe resultados importantes de aumento de confiabilidade da infraestrutura dos sistemas de automação na REDUC. A solução desenvolvida possui escalabilidade e flexibilidade para abrangência de implementação em outros equipamentos da indústria, consistindo em uma ferramenta muito útil de aumento de produtividade para as equipes de gestão de manutenção, proporcionando aumento de disponibilidade das plantas industriais.

Os resultados obtidos possibilitaram avançar na proposta de um projeto mais ambicioso de gestão de ativos de equipamentos de automação industrial que considera a integração com o sistema corporativo de gestão de manutenção da companhia. Este próximo passo possibilitará visualizar em tempo real as ações em andamento para o tratamento das situações anormais, bem como os tempos envolvidos em todo o processo, permitindo ampliar o espectro de análise. Cálculos de confiabilidade, como MTBF (Mean Time Between Failures) e MTTR (Mean Time to Repair), bem como avaliação de inventário de equipamentos de automação e seu grau de obsolescência possibilitarão um planejamento e gestão da manutenção de forma mais integrada, permitindo inclusive colaboração entre as equipes de diferentes refinarias.

REFERÊNCIAS

Apache Airflow: https://airflow.apache.org

Ayral, T., Bilyk, J., Brown, K. (2013) – Case history: quantifying the benefits of alarm management, *Hydrocarbon Processing*, November 2013, pp. 57–61

Beecroft, H., Cahill, J. (2005). Fundamentals of Industrial Control-Distributed Control Systems/Digital Automation Systems, *International Society of Automation*

Boyer, S.A. (2010). SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition, *International Society of Automation*

Eljack, F. and Kazi, M.K. (2016) – Process safety and abnormal situation management, Current Opinion in *Chemical Engineering*, Volume 14, November 2016, Pages 35-41, ISSN 2211-3398

gRPC: http://grpc.io

IEC 62682 (2022). Management of Alarm Systems for the Process Industries, *International Electrotechnical Commission*

ISO 55000 (2014). Asset Management – Management systems – Overview, principles and terminology, *International Organization for Standardization*

ISO 55001 (2014). Asset Management – Management systems – Requirements, *International Organization for Standardization*

ISO 55002 (2018). Asset Management – Management systems – Guidelines for the application of ISO 55001, *International Organization for Standardization*

Leitão, G., Pifer, A., Guedes, L. A., Saito, K., Costa, L. A. (2009) – Sistema para análise e otimização de alarmes em plantas petroquímicas, *13th Rio Oil & Gas Conference 2008*, Rio de Janeiro, Brasil, Setembro, 2008

OPC: http://www.opcfoundation.org

OsiSoft Plant Information: https://pisquare.osisoft.com