

GESTÃO DE ATIVOS DE AUTOMAÇÃO: UMA APLICAÇÃO EM PLATAFORMAS MARÍTIMAS DE PRODUÇÃO DE PETRÓLEO

Iara Tammela (UFF)

iaratammela@vm.uff.br

Luiz Antonio de Oliveira Chaves (UFF)

luizchaves@gmail.com

Edio Pereira Neto (UFF)

edio_pereira@hotmail.com



Em plantas de processo, onde o custo das paradas não programadas justifica o investimento, o desenvolvimento de ferramentas de diagnósticos permite antecipar-se à ocorrência de problemas, aumentando a produtividade e a segurança. Essa é uma das ferramentas da Gestão de Ativos, normatizada pela ISO 55.000, que trata das atividades coordenadas de uma organização para potencializar aquilo que gera valor para empresa. Já existem no mercado conjuntos de softwares e hardwares especializados para diversos tipos de processos, mas redes de automação gerenciadas por Controladores Lógicos Programáveis (CLP) possuem a dificuldade da interoperabilidade entre os bancos de dados do controlador e do Sistema Supervisório. Além da complexidade da arquitetura da rede e a utilização de equipamentos de gerações diferentes nos mesmos sistemas também dificultarem a implementação do diagnóstico. O presente trabalho realiza um Estudo de Caso das ferramentas desenvolvidas para implantação de um sistema de monitoração dos cinco níveis da malha de automação de uma Unidade Operacional composta por mais de 30 plataformas marítimas de produção de petróleo, e analisa dispositivos de detecção de fogo e gás e seu Sistema de Automação em uma dessas unidades, sob o conceito das disciplinas de um Sistema de Gestão de Ativos.

Palavras-chave: Gestão de Ativos; diagnóstico; plataforma marítima; produção de petróleo; automação industrial; sensores; fogo; gás.

1. Introdução

No ambiente de produção industrial onde os mercados são cada vez mais competitivos, reduzir a perda de produtividade e evitar condições inseguras para o processo, pessoas ou meio ambiente são tarefas primordiais para qualquer empresa. Dutta (2015) afirma que a segurança e a produtividade podem ser maximizados quando se melhoram a capacidade humana (experiência e treinamento), a confiabilidade operacional (maturidade dos processos) e a confiabilidade da manutenção (equipamentos disponíveis e confiáveis).

Tratando da confiabilidade da manutenção, Hollywood (2012) estima que a indústria de processo global perca anualmente U\$20 bilhões de produção por paradas não programadas, causadas em 1/3 das vezes por falha de equipamentos e que 80% das ocorrências poderiam ser evitadas de alguma forma através do diagnóstico preventivo de potenciais desvios operacionais.

O histórico de acidentes em diversos sistemas de engenharia demonstra, conforme Pellicione *et al.* (2014), que os casos de falhas e acidentes estão associados a diversos fatores e assim existe um número de imponderabilidades associadas ao tipo de projeto, desempenho e a longevidade do tipo de operação.

A prática de diagnosticar falhas é uma das ferramentas da Gestão de Ativos, normatizada pela ISO 55.000 (ISO, 2014), que define ativo como algo que tenha valor real, ou potencial, para uma organização. Ainda de acordo com a norma, a Gestão de Ativos é a atividade coordenada de uma organização para produzir o valor dos ativos, que envolve equilibrar os benefícios de custos, riscos, oportunidades e desempenhos.

Em Silva e Mainier (2009) é constatado que o segmento de Exploração e Produção de Petróleo (E&P) *offshore* é constituído de uma infraestrutura composta por milhares de quilômetros de oleodutos, interligando várias plataformas em uma rede, com objetivo de transferir óleo e gás para terra. Estão presentes nesse tipo de projeto grupos de equipamentos, dispositivos que são continuamente monitorados que requerem um padrão de automação e comunicação para diagnóstico e antecipação de potenciais falhas para possível intervenção.

Os Sistemas de Diagnóstico são utilizados em diversos tipos de processos e equipamentos industriais com a finalidade de auferir garantia das operações e qualidade de produto. Para as plataformas marítimas é utilizado o Controlador Lógico Programável (CLP), um computador

industrial com banco de dados diferente do Sistema Supervisório, onde a interoperabilidade entre equipamentos de fabricantes diferentes pode ser uma barreira no diagnóstico operacional dos equipamentos, além da variedade de gerações de dispositivos instaladas (FREIRE, 2007).

A primeira etapa para o gerenciamento de desvios das condições normais de projetos de processos, conforme Venkatasubramanian *et al.* (2003), é a implantação da automação de detecção de falhas com o respectivo diagnóstico devido à variedade de alternativas e demandas para intervenções de soluções em tempo real. Em processos que requerem maior confiabilidade de operação, a automação previne danos com eficiência e fornece significativo valor aos ativos.

Este artigo contempla a avaliação do alinhamento com a literatura de parte de um Sistema de Diagnóstico de Automação implementado, delimitando desde a monitoração de sensores de fogo e gás (F&G) de uma área de bombas de exportação de petróleo de uma plataforma até a chegada destas informações no nível gerencial da empresa. Da literatura foram levantados os requisitos apontados por Venkatasubramanian *et al.* (2003) e as ferramentas das áreas de Gestão de Ativos, discutidas em Minnaar *et al.* (2013).

O objetivo do estudo é utilizar o conceito da Gestão de Ativo com a integração das ferramentas das técnicas de Análise de Risco e o diagnóstico da malha de automação e controle do sistema para demonstrar a maior confiabilidade do sistema de processo. Justifica-se por apresentar os resultados obtidos, como aumento de disponibilidade dos equipamentos e da proteção dos processos, para defender seu investimento.

2. Gestão de Ativos

Segundo Lafraia (2014), a Gestão de Ativos baseia-se na inovação de projetos, alinhamento e integração das áreas da produção, mitigação de riscos, gestão do ciclo de vida dos equipamentos e foco no valor dos ativos, para criar uma vantagem competitiva na tentativa de eliminar totalmente as falhas. Define-se como a atividade coordenada de uma organização para produzir o valor a partir dos ativos, otimizar ao máximo a produtividade de cada um deles, com equilíbrio de custos, riscos, oportunidades e desempenhos.

A NBR ISO 55.000 (2014) é um conjunto de requisitos para o processo do ciclo de vida de um Sistema de Gestão de Ativos (SGA), que ao serem implementados e mantidos, permitem

demonstrar às partes interessadas, como a organização maximiza a probabilidade de alcançar os seus objetivos estratégicos.

Em Minnaar *et al.* (2013) afirma-se que as normas disponibilizam itens mínimos requeridos para um SGA efetivo, mas permitem que a organização determine por si mesma qual o melhor a ser implementado para atender suas necessidades. O gerenciamento deve ser equipado para atingir os objetivos e garantir decisões consistentes que envolvam combinações ótimas de custo-benefício conflitantes, porém a série ISSO 55000 só diz ao usuário “o que fazer”, não “como fazer”, e as organizações determinam as ferramentas e metodologias apropriadas para tomada de decisão. Desta forma, os autores enumeram 6 áreas de atuação e as ferramentas para a Gestão de Ativos ser abrangente e efetiva, apresentadas no Quadro 01.

Quadro 01: Áreas de atuação da Gestão de Ativos que permitem o uso de ferramentas e métodos

Áreas de atuação	Aplicação em Gestão de Ativos	Métodos
Criticidade do Ativo	Estabelecer, implementar e manter planos que identifiquem os ativos críticos, que tenham grande potencial de impacto no desenvolvimento do plano estratégico organizacional; e definir como responder às situações de emergência relativas a estes ativos.	- Análise do Modo, Efeito e Criticidade da Falha (FMECA)
Análise Estatística da Falha	Estabelecer, implementar e manter processo(s) e procedimento(s) para análise, monitoramento e predição da performance passada, atual e futura do ativo. Determinar quando uma máquina/sistema vai falhar ajuda no seu gerenciamento eficiente.	- Tempo Médio entre Falhas (MTBF); - Tempo Médio de Recuperação (MTTR); - FMECA; - Análise da Causa-Raiz de Falha (RCFA); - Análise de Falhas Ocorridas, que envolve a Lei de Pareto; - Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM).
Gerenciamento de Risco	Descrever os riscos relacionados aos ativos, otimizando e priorizando os diferentes tipos, e determinando a magnitude e probabilidade de uma perda. Baseia-se nas melhores informações disponíveis: dados históricos, experiências, <i>feedbacks</i> , observações, previsões, e opiniões de especialistas.	- <i>Brainstorming</i> ; - Análise Preliminar de Perigos (APP); - Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP); - Análise de Camadas de Proteção (LOPA); - Simulação de Monte Carlo.
Sustentabilidade	Aumentar a capacidade produtiva sem investimentos em expansões e/ou plantas novas, trazendo a disponibilidade operacional ao seu ponto máximo, evitando paradas não programadas e desperdícios (devido à falta de informações em tempo real para os tomadores de decisão).	- Avaliação da sustentabilidade de um projeto.
Gerenciamento do Ciclo de Vida	Elaborar plano para a criação/aquisição, utilização, manutenção e descomissionamento/descarte do ativo, incluindo os riscos associados e suas consequências. O gerenciamento deve prover suporte para a tomada de decisão. Envolve estimar, planejar e acompanhar os custos.	- Valor Presente Líquido (NPV); - Custo do Ciclo de Vida; - Taxa Interna de Retorno (IRR); - Índice de Rentabilidade (PI); - Método do Retorno (Payback);
Análise de Dados	Envolve o processamento de dados, visando derivar informações úteis para suporte na tomada de decisão. Envolvida com um dos princípios básicos de GA, que trata de transformar o objetivo da estratégia organizacional em decisões e ações no ativo para tornar seu valor real.	- Entrada para planos e procedimentos de Gestão de Ativos; - Fundamental para todos métodos anteriores.

Fonte: Adaptado de Minnaar *et al.* (2013)

As ferramentas de Análise de Dados são suportadas por uma Arquitetura de Automação e um Sistema de Diagnóstico que envolve o acesso, análise, documentação e integração dos dados, traduzindo-se em informações, para gerar conhecimento e prover suporte à decisão em organizações (WILLIAMS, 1989).

3. Sistemas de Diagnóstico

Usando técnicas de Engenharia de Confiabilidade e manutenção preditiva, é possível maximizar a disponibilidade dos sistemas de automação, identificar ou corrigir as causas das falhas ocorridas, determinar maneiras de lidar com as que ocorrem, se não forem corrigidas e estimar a confiabilidade provável de novos projetos (BOYES, 2010).

Komulainen et al. (2004) apontam que a detecção precoce de perturbações e predição de falhas nos equipamentos de processo pode melhorar a segurança, minimizar o tempo e os recursos necessários para a manutenção, e aumentar a qualidade dos produtos. O objetivo da monitoração *online* é traçar o estado do processo e das condições de seus equipamentos em tempo real, visando detectar defeitos tão cedo quanto possível.

Segundo Venkatasubramanian et al. (2003), ao ocorrer uma anomalia no processo, o Sistema de Diagnóstico deve levantar um conjunto de hipóteses ou falhas que explicam a falha, podendo trabalhar com um conjunto de falhas ou de forma individual. Existe também uma relação de custo-benefício entre exaustividade na busca e resolução dos resultados. Os autores enumeram 10 critérios de eficiência para os Sistemas de Diagnóstico, apresentados no Quadro 02.

Quadro 02: Critérios de eficiência para Sistemas de Diagnósticos

Critério	Descrição
Rápida detecção e diagnóstico	Resposta rápida para falhas do processo.
Isolabilidade	Capacidade de distinguir diferentes falhas.
Robustez	Robustez para ruídos e incertezas. Degradação normal do desempenho, ao invés de falha total e abrupta.
Identificação de sinais espúrios	Definição de funcionamento do processo: normal ou anormal (causada por uma avaria conhecida, desconhecida, ou um mau funcionamento).
Classificação da estimativa de erro	Confiança do usuário na sua confiabilidade, fornecendo uma estimativa a priori na classificação do erro que pode ocorrer.
Adaptabilidade	Capacidade de desenvolver gradualmente o escopo do sistema no surgimento de novos problemas/informações (alteração de insumos, perturbações, mudanças estruturais, condições ambientais ou quantidade de produção)
Habilidade de explicação	Capacidade de fornecer explicações sobre a origem da falha e propagação para a atual situação, “raciocinando” sobre causa e efeito, explicando suas hipóteses, e o porquê de não ter proposto outras hipóteses, e apoiando à decisão.
Requisitos de modelagem	Mínimo esforço possível na modelagem para o desenvolvimento do sistema.
Requisitos de armazenamento e computacionais	Deve-se atingir o equilíbrio entre armazenamento e processamento de algoritmos de busca (exigências concorrentes).
Identificação de falhas múltiplas	Capacidade de distinguir falhas simultâneas.

Fonte: Adaptado de Venkatasubramanian et al. (2013)

4. Metodologia de Gestão de Ativo

No projeto, a implementação do Sistema de Diagnóstico foi prevista para abranger diversos equipamentos das redes de automação de dezenas de plataformas marítimas de uma Unidade Operacional (UO) de uma empresa do setor de petróleo e gás, e integrá-lo com células de análise na base terrestre. Trata-se de um projeto abrangente, em que caberiam diversas análises e estudos, não sendo do escopo desta pesquisa a avaliação da integração entre toda a vigilância possível com a implementação; o estudo de outros métodos de análise e ferramentas; ou realizar abordagens quanto ao plano e gestão da manutenção dos equipamentos envolvidos.

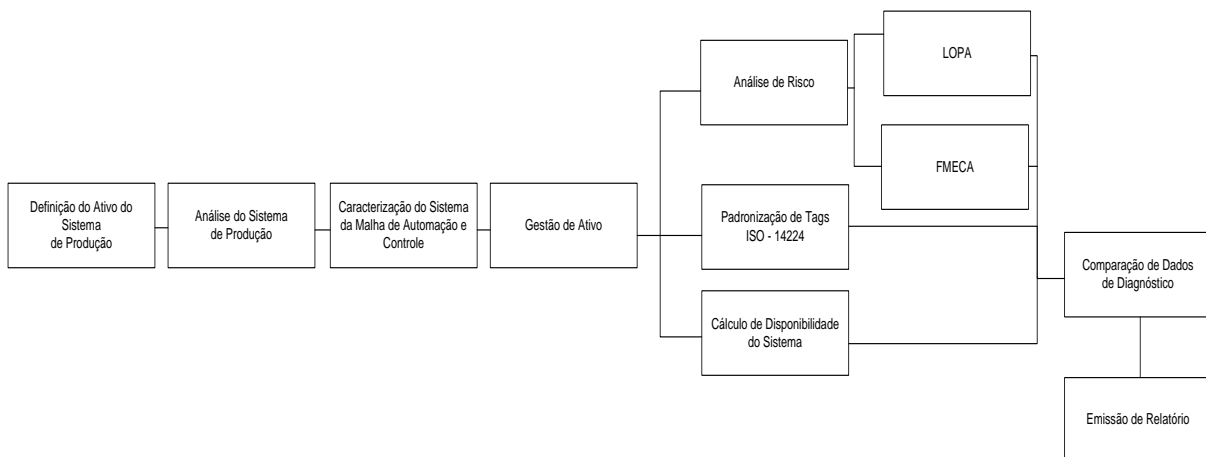
Foi considerada a implementação em uma das unidades da UO, e escolhidos os ativos de automação que compõem o diagnóstico desde a monitoração de sensores de F&G de uma área de bombas de exportação da plataforma. Esse sistema foi definido por corresponder a função de proteção das instalações físicas, pessoas e meio ambiente, até a chegada destas informações no nível gerencial da empresa.

A análise será realizada em alinhamento com as áreas de Gestão de Ativos definidos na literatura. A proposta é avaliar somente ferramentas de aplicação de quatro das seis áreas, por fazerem uso evidente do Sistema de Diagnóstico para prevenção de perdas: aplicação das técnicas de Criticidade do Ativo; Análise Estatística de Falha (métricas de disponibilidade); Gerenciamento de Risco (Análise de Risco); Análise de Dados (padronização de *tags*). Além disso, é realizada uma avaliação de atendimento aos 10 critérios de eficiência de malhas de automação encontrados na literatura, apontados por Venkatasubramanian *et al.* (2003).

O gerenciamento de risco trata do estudo de Análise de Risco de forma sistemática do processo onde é preconizado o uso de ferramentas como a análise do modo e efeitos de falha críticas do sistema (FMECA) e a análise das camadas de proteção (LOPA).

As etapas da metodologia são apresentadas na Figura 01, abordando desde a definição do objeto de estudo, sua análise e caracterização, e a escolha das ferramentas e métodos aplicados, finalizando com a emissão do relatório.

Figura 01: Metodologia aplicada no projeto



5. Estudo de caso: Sistema de Diagnóstico de Automação

Na análise de uma Unidade Operacional, composta por cerca de 30 plataformas de petróleo, foi identificado que as informações de falhas de equipamentos eram isoladas e incompletas, no padrão de cada fabricante, e com poucas telas de diagnósticos. A parada de algum equipamento só era percebida com a interrupção do sistema de produção ou com a indicação no *led* do mesmo no campo. Para falha de sensores de F&G, existia ainda o risco de áreas classificadas ficarem descobertas de monitoração por períodos prolongados.

Baseado em Sistemas de Gestão de Ativos, um Sistema de Diagnóstico integrando informações de todas as plataformas na base terrestre favorece uma visão macro da confiabilidade e disponibilidade e se mostra de grande importância para garantir o mínimo de paradas de produção e condições de segurança. Utilizou-se a padronização de *tags* de diagnóstico, a construção e implantação de agentes nos sistemas e sua integração com os bancos de dados em terra e suas equipes. No Quadro 03 é apresentado cada passo do desenvolvimento do Sistema e as principais tarefas dentro destas fases.

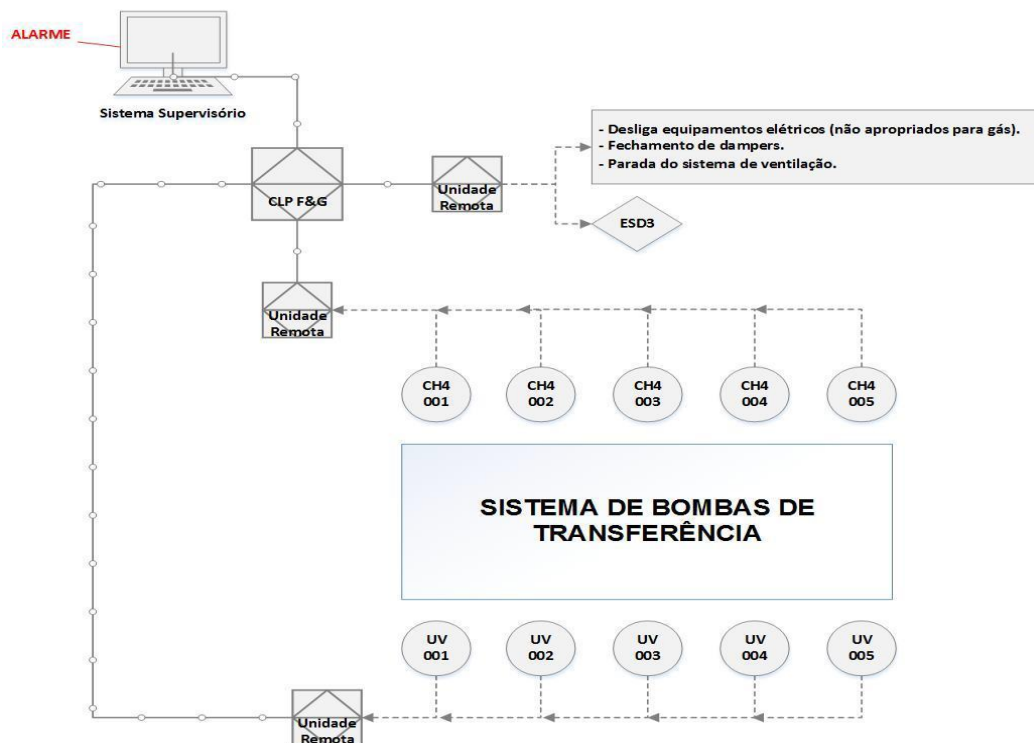
Quadro 03: Modos de Falha dos 5 níveis de automação

Desenvolvimento da lógica no CLP (por plataforma)	<ul style="list-style-type: none"> * Identificação do diagnóstico disponibilizado por cada fabricante de CLP, para padronização. * Levantamento prévio da arquitetura de automação (remotas, redes de I/O e CLPs principais). * Desenvolvimento de um bloco de lógica padrão configurável, com os diagnósticos definidos. * Verificação de registros de memórias disponíveis para cada controlador, para aplicar no bloco padrão.
Desenvolvimento das telas do Sistema Supervisório (por plataforma)	<ul style="list-style-type: none"> * Planilha Excel: alimentar planilha com informações da arquitetura de automação e Banco de Dados do CLP. * Algoritmo em Basic: rodar para criar automaticamente pointnames, alarmes/eventos e objetos no Sistema Supervisório, via rede. * <i>Obs.1: padronização dos tags para todas unidades.</i> * <i>Obs.2: economia de tempo por não realizar manualmente a configuração de cerca de 3.000 pontos para cada uma.</i> * Telas padronizadas de diagnóstico: copiadas para pasta de imagens da aplicação do Sistema Supervisório, com configuração para animação pelos pointnames, alarmes/eventos e objetos configurados na Planilha Excel / Algoritmo em Basic. * Compilação da nova aplicação: integração entre todas as configurações.
Entrega de Dados na Rede Corporativa (base terrestre)	<ul style="list-style-type: none"> * Base de Dados na base terrestre: aquisitam dados da plataforma, armazenam e disponibilizam para consultas posteriores na Rede Corporativa. Estes não são exclusivos para registros de alarmes e eventos de diagnóstico, mas permitem o cadastro também destas ocorrências. * Diagnóstico Unificado de Automação (DUDA): banco de dados relacional de arquitetura aberta LAMP (Linux, Apache, MySQL e PHP), de desenvolvimento próprio da empresa, para registro e consulta de alarmes e eventos de automação de todas as unidades. * <i>Plant Information (PI)</i>: historiador da OSISoft, que armazena e disponibiliza na Rede Corporativa valores das variáveis configuradas. * <i>PI Analysis Framework (PI AF)</i>: ferramenta complementar do PI, que permite o desenvolvimento de telas para representar equipamentos e processos na Rede Corporativa. * <i>Zabbix</i>: <i>software</i> de monitoramento em tempo real de métricas de servidores, serviços e dispositivos de rede, tais quais as estações de supervisão, CLPs e outros equipamentos associados. Monitora a disponibilidade, a experiência do usuário e a qualidade dos serviços.
Transformar Dados em Informação (base terrestre)	<ul style="list-style-type: none"> * <i>Tivoli Netcool</i>: transformam grande massa de dados isoladas das Bases de Dados citadas no item anterior e a apresenta em uma interface padrão, fornecendo visualizações históricas, atuais e preditivas das operações para relatórios, processamento analítico online, análises, data mining, processamento de eventos complexos, gestão de desempenho dos negócios e benchmarking.

Como o Sistema está presente em todas as arquiteturas de automação da UO, a presente análise é realizada no Sistema Diagnóstico aplicado aos sensores de F&G do módulo de bombeio de uma plataforma. Estas bombas recebem o óleo surgente do poço, tratado no separado trifásico, e o transfere para outra plataforma, que possui tanques de armazenamento. São quatro bombas dimensionadas para cada uma operar a vazão de 250 m³/h e pressões entre 40 e 55 kgf/cm².

Devido à essas características, este é um dos sistemas mais críticos da unidade, exposto a vazamentos do produto e conseqüentemente à possibilidade de incêndios e explosões. Por isso, são instalados sensores de nível baixo, pressão baixa e alta, e principalmente cinco detectores de gás e cinco de fogo. Os sensores são interligados a remotas, que se comunicam com o CLP de F&G, e quando acionados enviam sinais para fechar *dampers* próximos, desligar equipamentos elétricos e executar a parada de emergência de todo processo da plataforma. A Figura 02 apresenta a arquitetura de automação para os sensores de F&G de monitoramento do Sistema.

Figura 02: Arquitetura de Automação para o Sistema de Bombas de Transferência da plataforma analisada



5.1 Resultados da aplicação das ferramentas

5.1.1 Criticidade de Ativos (FMECA)

A técnica de Análise de Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade (FMECA) foi aplicada para os 4 níveis de automação (instrumentação, controle, supervisor e rede corporativa), antes e depois da implementação do Sistema de Diagnóstico, direcionado para a monitoração de falha de sensores de F&G. Os modos de falha, seu significado e o impacto dos mesmos sobre o sistema de automação são apresentados no Quadro 04.

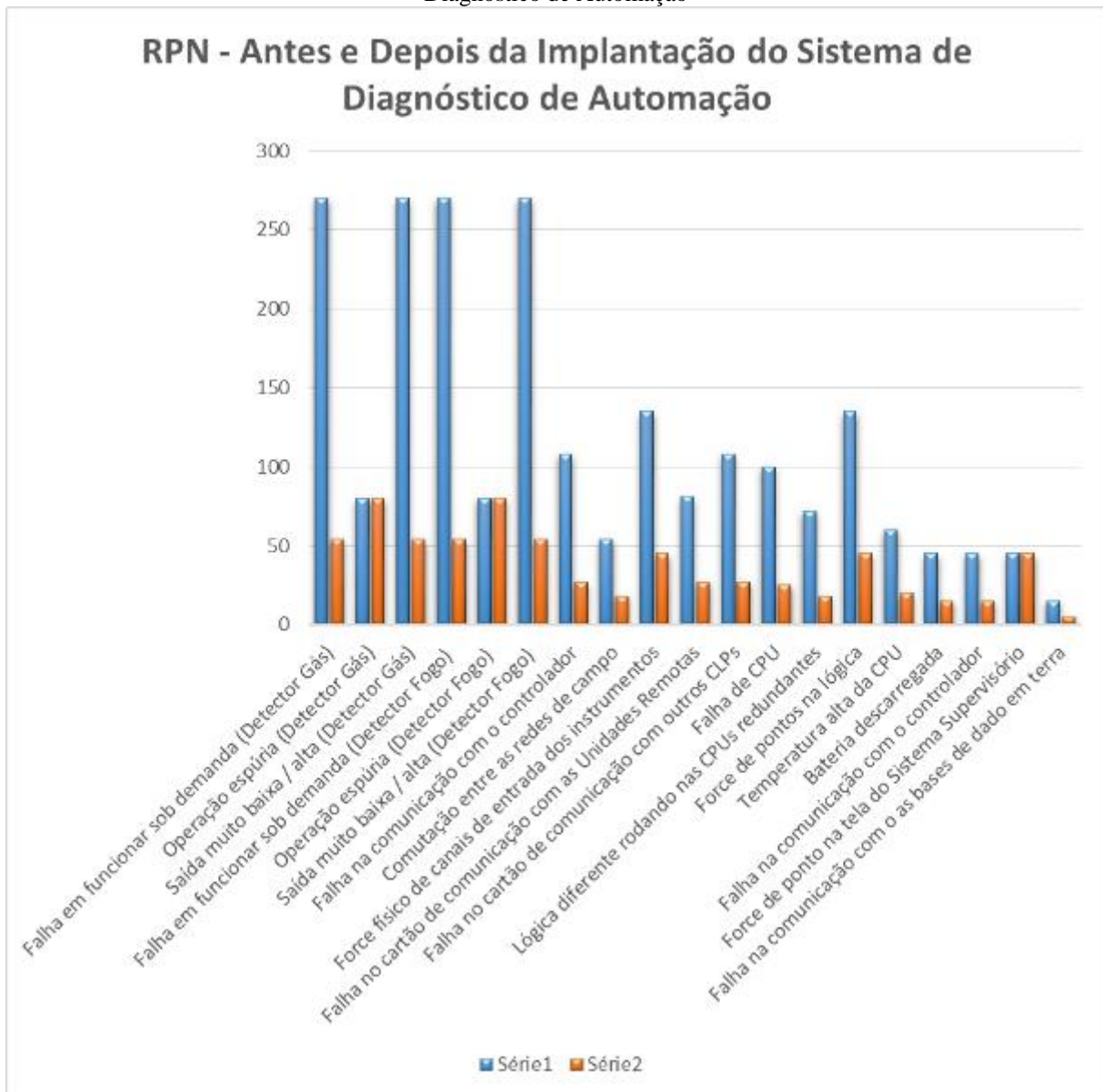
Quadro 04: Modos de Falha dos 5 níveis de automação

Camadas	Significado do evento	Impacto para o sistema de automação
Nível (5) Corporativo		
Perda de comunicação com a Plataforma	Não existe troca de dados entre a plataforma e a base terrestre.	Os profissionais que utilizam os dados da plataforma nos escritórios terrestres para diversos fins não podem mais monitorar as mesmas.
Nível (4) de Fábrica (Plataforma)		
Nível (3) do Sistema Supervisório		
Inicialização do software do supervisório	Partida do VXL	
Nível (2) do Controle Regulatório - Controlador		
Modificação no ladder	O ladder foi modificado.	Toda modificação no ladder exige análises da mudança e atualização do backup. Caso isso não tenha sido feito existe a possibilidade de modificações indevidas.
Bateria descarregada	Bateria da CPU do CLP está descarregada.	Quando o CLP fica sem a bateria interna da CPU pode perder o programa aplicativo caso falte alimentação de 24V na fonte. Se isso acontecer a CPU entrará em STOP.
Force na CPU	Existe force na CPU do CLP.	Todo force deve ser controlado, pois representa uma desabilitação da lógica deste ponto.
Force no bloco genius	Existe force em algum bloco da Rede Genius.	Um force no Bloco Genius indica alguma IO forçada. Todo force deve ser controlado conforme padrão da plataforma.
Tabela de falhas de I/O cheia	A tabela de falhas de I/O do CLP está cheia.	Quando uma nova falha ocorrer alguma anterior será deletada. Como a tabela de falhas de I/O pode fornecer dados valiosos acerca do sistema de automação, essa perda pode acarretar perda de informações utilizadas pela equipe de manutenção. Além disso a tabela cheia indica que falhas estão ocorrendo com frequência - e não estão sendo tratadas.
Tabela de falhas da CPU cheia	A tabela de falhas da CPU do CLP está cheia.	Mesma condição da falha anterior, porém para CPU, ao invés do I/O.
Temperatura alta na CPU do Controlador	A temperatura da CPU do CLP está alta.	A CPU pode entrar em STOP por sobretemperatura.
Logica diferente CPU A/B	Existe lógica diferente entre os CLPs Primário e Secundário.	Indica que um dos dois CLPs está com a lógica diferente. Isso pode gerar um problema caso haja uma comutação dos CLPs.
CLP A/B Parado	O CLP secundário entrou em STOP. Perda da redundância do CLP.	Com um CLP em STOP perde-se a redundância, podendo acarretar em um shutdown caso o CLP que está RUN ter alguma falha.
Falha de comunicação do Supervisório com CLP	Não existe troca de dados entre o CLP e o Sistema Supervisório.	Os operadores da Sala de Controle não terão acesso à informações da planta de processo.
Falha Globais	Falha da comunicação Global entre as CPUs dos CLPs.	A perda da comunicação Global por uma das redes indica perda de redundância. Caso isso ocorra e a rede ativa também entre em falha poderá gerar descontrole operacional e shutdown.
Cartão de I/O fora da rede	Falha de comunicação do Controlador do CLP com o cartão de I/O.	Os dispositivos de campo (sensores e atuadores) que estão conectados a este cartão não trocarão informações com o CLP.
Falha no teste de comutação da Rede de I/O	A tentativa de comutar o segmento de Rede de I/O (redundante) falhou. A Rede permaneceu no estado em que estava.	A falha na tentativa de comutar indica que a rede que se pretendia utilizar está indisponível. Perda de redundância de rede.
Comutação Espúria da Rede de I/O	Aconteceu uma comutação não solicitada do segmento de rede no BSM 01 da Rede Genius 1.	Acontece uma comutação automática da rede quando a que está sendo utilizada tem alguma falha. Caso isso aconteça repetidamente pode indicar uma potencial perda de redundância de rede.
Unidade Remota sem comunicação	A unidade remota não está comunicando nem pela Rede A nem pela Rede B.	A perda de uma unidade remota significa que dispositivos do campo não atualizam informações para o CLP, podendo gerar descontrole operacional e shutdown.
Pressurização de painéis	Há uma queda na pressão dos painéis de CLPs instalados no campo.	Os controladores instalados no campo, em áreas classificadas, são instalados dentro de painéis do tipo Ex p (pressurizados), para evitar atmosfera explosiva dentro do mesmo. Com a queda de pressão, existe a possibilidade de entrar gás no painel.
Nível (1) do Controle Regulatório - Dispositivo		
Falha dos Sensores de Fogo e Gás	Sensores de Fogo e Gás estão em falha.	Sensores não estão aptos a detectarem sinistros de fogo ou vazamento de gases tóxicos e/ou inflamáveis.

As causas básicas de cada modo de falha foram levantadas, além da identificação dos efeitos, meios de detecção e análise de criticidade, que segundo Lafraia (2014) é a multiplicação da

probabilidade de ocorrência pela severidade dos efeitos e pela probabilidade de detecção, gerando como produto o RPN (*Risk Priority Number*). Este índice de hierarquização de falhas, aponta as de maior criticidade e permite interpretar o FMECA. Seguindo este modelo, é apresentado na Figura 03 o gráfico de RPN antes (Série 1) e depois (Série 2) da implantação do Sistema de Diagnóstico de Automação.

Figura 03: Resultado da Análise FMECA do *Risk Priority Number* antes e depois da implantação do Sistema de Diagnóstico de Automação



A análise do gráfico da Figura 03 demonstra que após a implementação do Sistema de Diagnóstico, 16 Modos de Falha do total de 19 tiveram seu RPN reduzido, sendo que o Sistema influenciou exclusivamente no modo de detecção. Muitas vezes, a detecção da falha

era realizada por inspeção visual nos equipamentos e no campo, testes periódicos, percepção da ausência de sinal no Supervisório por falta de algum componente ou análise da lógica, o que poderia levar até dias para serem percebidas. O Sistema de Diagnóstico trouxe a indicação da falha quase que instantaneamente para o Sistema Supervisório, para as bases de dados em terra, e pelos meios de mensagens do TivoliNetcool.

5.1.2 Análise estatística de falhas (métricas de disponibilidade)

Com a implementação da lógica no CLP, responsável pelo sinal de falha dos sensores de F&G, e também de outras camadas da arquitetura, tornou-se possível medir a disponibilidade dos dispositivos, no tempo que se desejar. No historiador PI, deve ser feito o registro das indicações de falha dos sensores. Neste são armazenadas todas as condições (alarmado falha “1” ou não alarmado “0”) ao longo do tempo. Na ferramenta PI AF (*Plant Information - Analysis Framework*) pode-se calcular o período em falha, para análise que irá definir o indicador de disponibilidade, baseado na seguinte expressão, de acordo com Lafraia (2014):

$$\text{Disponibilidade} = \left(1 - \frac{\text{tempo em falha}}{\text{tempo total}} \right)$$

Como exemplo para sensores de F&G, as expressões modelo utilizadas no PI AF são:

- a) Expressão do tempo em falha do total de 6 meses de análise do sensor CH460100X:

$$A = \text{TimeEq}(\text{'Falha Sensor CH460100X'}, 6\text{mo}, t, 1)$$

A função TimeEq é composta por TimeEq (‘atributo’, ‘tempoinício’, ‘tempofim’, valor), onde o “atributo” é a falha; o “tempoinício” é igual a 6 meses, por exemplo; “t” é o tempo atual e “1” é o valor de comparação. Ela retorna o número de segundos que a condição de falha é verdadeira durante o período de tempo determinado. Esta equação corresponde ao “tempo em falha” da expressão 1, quando a área do processo ficou descoberta de proteção.

- b) Equação de indicação de disponibilidade (D) do sensor de gás, em 6 meses:

$$D = \left[1 - \frac{A}{60 \times 60 \times 4320} \right] \times 100$$

Ou seja, “A” será a entrada do período em segundos que o sensor ficou em falha nestes 6 meses, sobre o total de tempo (6 meses). Considerando 1 como o tempo total, diminui-se o

período de indisponibilidade do equipamento em determinado tempo (no caso a quantidade de segundos contidos em 6 meses, sendo 60s x 60min x 24h x 180 dias), para determinar o período disponível neste tempo. Ao final, multiplica-se por 100, para apresentar em porcentagem. Na Figura 04 é apresentada a programação das expressões na ferramenta, para os 5 sensores de gás.

Figura 04: Expressões de cálculo da disponibilidade dos sensores de gás, no PI AF

Name	Expression	Value	Output Attribute	
A	TimeEq('Falha Sensor CH4601001', '-6mo', 't', 1)		Click to map	⊗
B	TimeEq('Falha Sensor CH4601002', '-6mo', 't', 1)		Click to map	⊗
C	TimeEq('Falha Sensor CH4601003', '-6mo', 't', 1)		Click to map	⊗
D	TimeEq('Falha Sensor CH4601004', '-6mo', 't', 1)		Click to map	⊗
E1	TimeEq('Falha Sensor CH4601005', '-6mo', 't', 1)		Click to map	⊗
A1	$(1 - (A / (60 * 60 * 4320))) * 100$		Disponibilidade CH4601001	⊗
B1	$(1 - (B / (60 * 60 * 4320))) * 100$		Disponibilidade CH4601002	⊗
C1	$(1 - (C / (60 * 60 * 4320))) * 100$		Disponibilidade CH4601003	⊗
D1	$(1 - (D / (60 * 60 * 4320))) * 100$		Disponibilidade CH4601004	⊗
E11	$(1 - (E1 / (60 * 60 * 4320))) * 100$		Disponibilidade CH4601005	⊗

Desta forma, a ferramenta PI AF traz uma solução de cálculo automático e apresentação para célula de monitoração da análise estatística dos 5 níveis de automação, sendo possível definir as métricas de disponibilidade de um equipamento em separado, na análise dos sensores de gás, ou do sistema como um todo. O cálculo de disponibilidade de todo o sistema de manutenção é uma métrica de interesse dos níveis gerenciais, ou de tomada de decisão, onde deve chegar uma visão do todo, sendo capaz de expandir para uma visão micro dentro dos subsistemas, indicando também seus índices.

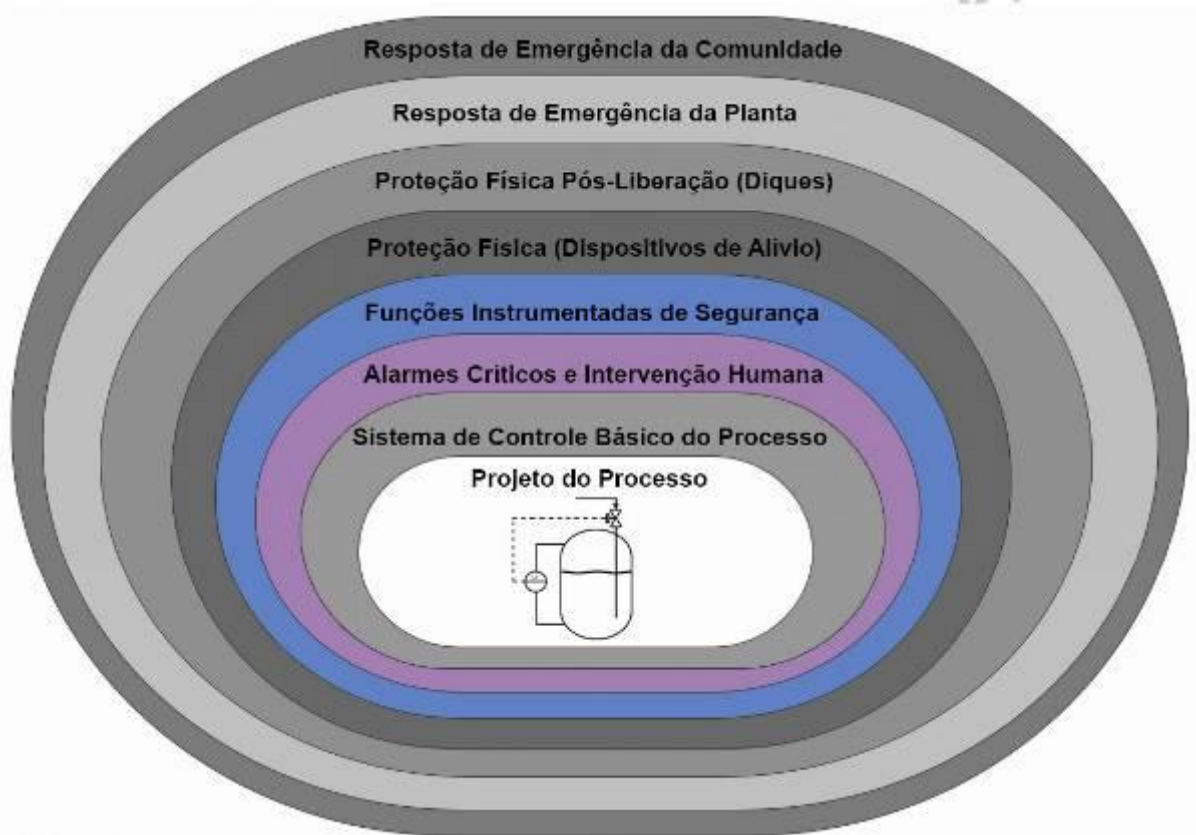
5.1.3 Análise de Camadas de Produção (LOPA)

Abrangendo o Gerenciamento de Risco dentro da Gestão de Ativos, foi aplicada a Análise das Camadas de Proteção (LOPA – *Layer of Protection Analyses*) para os sensores de F&G do sistema de bombas de transferência da plataforma. Conforme definido por Alves (2007), foram consideradas duas consequências para montagem de cenários acidentais, com os

seguintes termos: “incêndio na zona do sistema, devido à vazamento nas tubulações e selos das bombas”; e “explosão decorrente da presença indevida de hidrocarbonetos”.

A análise das camadas de proteção apresentadas na ferramenta LOPA é apresentada na Figura 05. Simulando uma falha não monitorada no Sistema de Automação provavelmente levaria à perda de contingência nas camadas de Alarmes Críticos e Intervenção Humana (camada 2), para o Sistema Supervisório; e na de Funções Instrumentadas de Segurança (camada 3), para falha de sensores de F&G, remotas de campo e controladores.

Figura 05: Camadas de Proteção da Técnica LOPA, sendo as camadas 2 e 3 afetadas nos cenários hipotéticos levantados



Fonte: ALVES (2007)

Os sensores de F&G pertencentes à camada 3, que enviam sinais para controladores para que ações corretivas sejam tomadas a fim de garantir o funcionamento do processo em seu estado de confiança, caso falhem, esta camada estaria nula para desempenhar sua função. Da mesma forma, mesmo que funcionassem os sensores, na falta de algum intertravamento, associado à perda de comunicação dos controladores com o Sistema Supervisório, a intervenção humana estaria impossibilitada pela ausência de alarmes críticos (camada 2).

O Sistema de Diagnóstico demonstra a garantia da indicação da perda da contingência nestas barreiras, quando da ocorrência de uma falha em algum componente de monitoração, o que torna estas camadas mais resistentes. O resultado demonstra maior confiabilidade na segurança do processo e redução de potencial de impacto nas pessoas e no ativo.

5.1.4 Análise de dados (padronização dos tags – ISO 14224)

Para o sistema DUDA (Diagnóstico Unificado de Automação), que possibilita a realização de filtros (por plataforma, por tempo, por sistema ou por equipamento), e para o programa TivoliNetcool, que realiza a entrega dos alarmes de falha aos usuários via e-mail ou SMS, é necessário que o *tag* contenha as informações do problema e também seja padronizado para cada nível de automação, visto que nos sistemas das plataformas estão presentes vários fabricantes de instrumentos e CLPs diferentes. A solução proposta foi a criação de um modelo padrão de *tags* de diagnóstico com a seguinte estrutura e codificação:

D_(Nível)(Subsistema)_(Elemento)(Mnemônico do tipo de falha)

D_ - o *tag* inicia com a marca única “D_”, para diferenciar dos demais *tags* do processo.

(Nível) – define de qual nível de automação se trata o alarme de diagnóstico: Instrumentação (IN), Unidades Remotas (RT), Rede de Campo (RC), CLP (CP), Sistema Supervisório (SP), Rede de Automação (RA).

(Subsistema) – indica de qual subsistema o alarme é proveniente: Processo (PR), Elétrica (EL), Fogo e Gás (FG), *Emergency Shut Down* (ES), Lastro (LT) ou Turret (TU).

(Elemento) – deve identificar o elemento.

(Mnemônico do tipo de falha) – traz o modo de falha que pode ocorrer.

O comparativo entre *tags* orientados pela ISO-14224 para os bancos de dados de confiabilidade e o implantado para F&G no Sistema de Diagnóstico é apresentado no Quadro 05. No que tange a análise dos dados e a padronização de *tags* do Sistema de Diagnóstico, e a comparação da normatização da ISO14224 (2006) para alimentação de bancos de dados de confiabilidade internacionais da área de petróleo, tal como o OREDA (*Offshore Reliability Data, ano 2008*), os padrões de nível de alarme se mostraram bem diferentes.

Os 3 primeiros níveis não são alimentados no Sistema de Diagnóstico, pois são iguais para todos os dados, que chegam até a Produção de Óleo e Gás. Os níveis 4, 5 e 6 são os únicos equivalentes nos dois padrões. Para os níveis 7, 8 e 9 e para os Modos de Falha, não existe qualquer relação entre eles.

Quadro 05: Comparação entre a ISO 14224 e o padrão de tag utilizado no Sistema de Diagnóstico

Nível	Hierarquia Taxonômica	Descrição	ISO 14224	Sistema Diagnóstico	Nível de Automação
1	Indústria	Petróleo			
2	Categoria de Negócios	Upstream (E&P)			
3	Instalação	Produção Óleo Gás			
4	Planta/unidade	Plataforma marítima	Texto	PXX	
5	Seção/Sistema	Processo Geral	Texto	PR	
		Utilidades (Energia Elétrica)	Texto	EL	
		Sist. de Segurança e Controle (Detecção de Incêndio e Gás)	Texto	FG	
		Sist. de Segurança e Controle (Parada de emergência)	Texto	ES	
		Instalações Marítimas (Lastro e Posicionamento)	Texto	LT	
6	Unidade de Equipamento	Sist. De Segurança e Controle (F&G e ESD)	Texto	TU	
7	Subunidade	Detectores de Incêndio e Gás	FG	FG	
		Fumaça/Combustão	BS	FUM	
		Calor	BH	TF	
		Chama	BF	UV	
		Botoeira Manual	BM	AMI	
		Outros (Fogo)	BA	NA	
		Hidrocarbonetos (CH ₄)	AB	CH ₄	
Gases Tóxicos (H ₂ S, CO, CO ₂ ,...)	AS	H ₂ s / CO/ CO ₂			
8	Componente/Item manutível	Outros (Gás)	AO	NA	
9	Parte	Itens Manutíveis	Textual	NA	
		Cabeamento	Textual		
		Cobertura	Textual	NA	
		Detector	Textual		
X	Modos de Falha	Soquete de montagem	Textual		
		Falha em funcionar sob demanda	FTF	F	IN
		Operação espúria (alarme falso)	SPO	E	
		Saída Alta	HIO	NA	
		Saída Baixa	LOO	FLH / IN	
		Saída Nula	NOO	FLH / IN	RC
		Fora de rede	OTH	O	
		Unidade Remota yy da Rede yy Fora de Rede	OTH	RyyByyO	
		Comutação Espúria Rede y no Chaveador de Rede yy	OTH	BSyyyyE	RT
		Falha Comutar Rede y no Chaveador de Rede yy	OTH	BSyyyF	
		Força físico de canais de entradas de instrumentos na Unid. Remota	OTH	FCEBLOC	RA
		Cartão do CLP de Controle da Rede de Campo fora de Rede - Rack y Slot y	OTH	GBCyyy	
		Falha Global Rede A XXX B	OTH	RAxxB	CP
		CLP A / B Parado	OTH	CPAOFF / CPBOFF	
		Logica diferente CPU A/B	OTH	LOGDIF	
		Chksum	OTH	CKS	
		Força na CPU	OTH	FCECPU	
		Temperatura alta na CPU do CP	OTH	TEMPCPU	
		Bateria descarregada	OTH	BATDESC	
		Falha de comunicação supervisorio com CLP	OTH	COMFAL	SP
Desconhecido	UNK	NA	NA		

A adequação de *tags* de acordo com a norma garante a uniformidade das informações provenientes de diversas empresas diferentes. No entanto, a norma define os campos para preenchimento de dados de equipamentos, das falhas e de manutenção, porém o Sistema de Diagnóstico é capaz de contribuir apenas com os Modos de Falha. No caso de associação ao banco de dados de confiabilidade OREDA, é necessário prever como alimentar os dados de equipamentos e de manutenção, assim como o mecanismo e a causa da falha.

5.1.5 Critérios de eficiência baseados na literatura

Os resultados do alinhamento do Sistema de Diagnóstico avaliado com os critérios levantados por Venkatasubramanian *et al.* (2003) são apresentados no Quadro 06 com 10 critérios específicos.

Quadro 06: Avaliação do Sistema de Diagnóstico, baseado nos critérios da literatura

Critério	Análise
Rápida detecção e diagnóstico	<ul style="list-style-type: none"> * Scan do CLP --> média de 20 ms. * Atualização no Sistema Supervisório (alarme e indicação da falha) --> cerca de 1s. * Taxa de atualização no PI --> 1 minuto. * Taxa de atualização no DUDA --> 2 minutos (para evitar grandes picos de tráfego de rede no caso de muitas mensagens).
Isolabilidade	<ul style="list-style-type: none"> * Indicação do componente afetado, local de instalação e tipo de falha; e não um resumo de falhas. * Lógica independente para cada tipo de falha. * Indicação independente no Sistema Supervisório e no PI AF. * Resultado de busca independente nos PI e no DUDA.
Robustez	<ul style="list-style-type: none"> * Utilização de redundância de rede de campo, de controladores e estações do Sistema Supervisório. * Avaliação de confiabilidade de automação (componentes não-reparáveis) é feito para o sistema como um todo. * No caso de falhas, ocorre a degradação do sistema, sem falha total, mantendo a operação. * Problema será indicado pelo Sistema de Diagnóstico, permitindo atuação da manutenção antes da parada total. * Lógica de votação dos sensores de F&G: aumento da robustez do sistema. * Detecção de F&G: confirmação de uma fração dos sensores que monitoram o ambiente, para desencadear o intertravamento e alarme geral.
Identificação de sinais espúrios	<ul style="list-style-type: none"> * Exemplo: no reinício do Sistema Supervisório, ocorre uma "avalanche" de alarmes com o <i>reset</i> deles. Caracterizando um alarme espúrio ao relacionar a ocorrência dos alarmes com o reinício do Supervisório.
Classificação da estimativa de erro	<ul style="list-style-type: none"> * Proposta: rotina de manutenção preventiva, com simulação de falhas e verificação da indicação para os interessados. * Objetivo: aumentar a confiança do usuário na confiabilidade do sistema. * Usuários devem avaliar a implementação do diagnóstico para cada Modo de Falha. * Exemplo: para aumentar a confiança do analista no sistema, foi retirada indicação de diagnóstico de lógica diferente entre o controlador e seu redundante, pois o próprio fabricante não garante a eficiência do <i>bit</i> interno que faz esta análise.
Adaptabilidade	<ul style="list-style-type: none"> * Perturbações e condições ambientais: sensores de gás na presença de chuva alarmam um sinal falso. * Capa de proteção de intempéries: acerta a deficiência, porém não foi aplicada ainda. * Novo projeto (mudança estrutural) com mais sensores remotos e controladores: seria necessário avaliar a composição das informações destes dispositivos e adequá-las para o Sistema de Diagnóstico atual. * A adaptabilidade para estas condições é um ponto frágil do sistema.
Habilidade de explicação	<ul style="list-style-type: none"> * Sistema Supervisório: com a padronização dos alarmes de falha no projeto, é possível a identificação do modo de falha, do componente, do subsistema a que pertence, e do nível de automação em que aconteceu. * DUDA e Tivoli Netcool (ainda não implementado): com a chegada de diversos alarmes, é possível relacionar alarmes e/ou desabilitar alguns deles, caso o sistema esteja em determinada condição. * Exemplo: se ocorrer uma falha de CPU, poderá haver algum problema na rede por consequência disso, devendo ser desconsiderada.
Requisitos de modelagem	<ul style="list-style-type: none"> * Padronização do Sistema de Diagnóstico: independente do tipo de CLP ou do supervisório utilizado. * Ladder de diagnóstico da rede: desenvolvido um bloco de lógica padrão configurável, com a intenção de minimizar as alterações para implementação nas plataformas, sendo necessário apenas verificar os registros disponíveis na memória de cada controlador para utilizar no bloco. * Padronização do Sistema Supervisório: uma planilha Excel e telas/alarmes de diagnóstico padronizadas. * Planilha: alimentam-se os pontos do CLP a ser configurado e automaticamente são gerados os pontos correspondentes no supervisório (pointnames), alarmes e eventos. * Telas: basta copiá-las para aplicação atual do Sistema Supervisório e compilar novamente a aplicação, para o <i>link</i> com os pontos da planilha.
Requisitos de armazenamento e computacionais	<ul style="list-style-type: none"> * Plant Information (PI): possui estratégias de compressão e exceção dos dados levantados, excluindo dados que não variem dentro de uma amplitude ou tempo configuráveis. * O <i>software</i> atende de forma eficiente a função de historiar, permitir o acompanhamento em tempo real e disponibilizar os dados do chão-de-fábrica no ambiente corporativo. * DUDA: aquisição automática de alarmes a cada 2 minutos no Sistema Supervisório, com uma base de dados por plataforma, desenvolvidas para evitar duplicidade de mensagens. Um servidor na base terrestre armazena estas informações, e na rede corporativa são disponibilizadas as buscas para os interessados, com armazenamento de dados por 2 anos, no mínimo.
Identificação de falhas múltiplas	<ul style="list-style-type: none"> * CLPs fazem a varredura de leitura de todas variáveis de entrada e no caso de ocorrência de alguma falha, essa informação será repassada ao Sistema Supervisório. * Ocorrência de falhas simultâneas: mesmo que no mesmo segundo, ambas serão processadas, repassadas ao Sistema Supervisório, disponibilizadas para o DUDA e PI, indicadas no PI AF e repassadas aos usuários pelo Tivoli Netcool, de forma independente.

6. Conclusão

Com a aplicação das ferramentas ficaram evidenciados os ganhos com a implementação do Sistema de Diagnóstico: redução de 16 RPNs dos 19 Modos de Falhas (FMECA); possibilidade de apresentar a disponibilidade dos equipamentos/níveis de automação no PI AF (Análise Estatística de Falhas); mitigação da possibilidade do perigo ultrapassar duas das sete camadas de proteção de processos definidas na técnica LOPA; padronização dos *tags* de diagnóstico para servir às Bases de Dados, mesmo que não esteja em alinhamento com a proposta da ISO 14224, sendo que este não é um interesse inicial do desenvolvimento do sistema.

Ainda sob o ponto de vista da Gestão de Ativos, as seguintes vantagens são potencialmente identificadas na prática: redução de paradas de produção pela detecção e tratamento prévio de falhas de equipamentos dentro dos níveis de automação, aumentando a produtividade e ganhos econômicos; aumento da confiabilidade operacional, segurança das pessoas e do meio ambiente, pela melhoria do acompanhamento da qualidade dos sistemas de automação; utilização do sistema aberto LAMP, com custo baixo do projeto; e facilidade de implementação devido à padronização da lógica e telas.

Para a academia, o artigo apresenta uma proposta de adequação de um Sistema de Diagnóstico de Automação para quatro áreas de um Sistema de Gestão de Ativos, não encontrado até então na literatura; e ainda uma metodologia para avaliação deste Sistema, baseado em outras existentes. Desta forma, espera-se sua utilização para avaliação e adequação de Sistemas de outras empresas, a partir do conhecimento gerado neste projeto.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, C. L. **Uma aplicação da técnica de análise de camadas de proteção (LOPA) na avaliação de riscos de incêndios nas rotas de cabos de desligamentos de um reator nuclear.** COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

BOYES, W. **Instrumentation Reference Book.** Elsevier. Estados Unidos, 2010.

DUTTA, H. **Without Reliability, there can be no safety. Hydrocarbon Processing.** Janeiro de 2015. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/252319227/Hydrocarbon-Processing-January-2015#>>. Acesso em: 10 julho. 2015.

FREIRE, T.C. **Gerenciamento de ativos: mais que monitoramento.** Artigo Técnico. Revista Controle & Instrumentação. Nº 127, p. 46. 2007.

HOLLYWOOD, P. **Making the business case for reliability. Hydrocarbon Processing.** 2012. Disponível em: <<http://www.hydrocarbonprocessing.com/Article/3034931/Making-the-business-case-for-reliability.html?Print=true>>. Acesso em: 10 jul. 2015

KOMULAINEN, T.; SOURANDER, M.; JÄMSA-JOUNELA, S. **An online application of dynamic PLS to a dearomatization process.** Computers & Chemical Engineering, p. 2611-2619. Finlândia, 2004.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION – ISO. **ISO 55000:2014. Asset management — Overview, principles and terminology.** 1ª Ed. Suíça, 2014.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION – ISO. **ISO 14224:2006. Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and Exchange of reliability and maintenance data for equipment.** 2ª Ed. Suíça, 2006.

LAFRAIA, J.R.B. **Gestão de Ativos: Benefícios de Desafios.** 1º Encontro de Gestão de Ativos para Empresas do Setor Elétrico. Barueri/SP, 2014.

MINNAAR, J.R.; BASSON, W.; VLOK, P.J. **Quantitative methods required for implementing PAS55 or the ISO55000 Series for Asset Management.** Department of Industrial Engineering. South Africa Journal of Industrial Engineering. V. 24, P. 98-111. Stellenbosch, África do Sul, 2013.

PELLICCIONE, A. S.; MORAES, M. F.; GALVÃO, J. L. R.; MELLO, L. A.; DA SILVA, E. S. **Análise de falhas em equipamentos de processo – Mecanismos de Danos e Casos Práticos.** Editora. Interciência. Rio de Janeiro, 2014.

SILVA, R.S.L.; MAINIER, F.B. **Descomissionamento de sistemas de produção offshore de petróleo.** EPC Journal, Ano 1, N.3, P. 55-69, Niterói, 2009. Disponível em: <http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg4/anais/T7_0018_0384.pdf> Acesso em: 12 jul. 2015.

VENKATASUBRAMANIAN, V.; RENGASWAMY, R.; YIN, K.; KAVURI, S. N. **A review of process fault detection and diagnosis Part I: Quantitative model-based methods.** Computers & Chemical Engineering, p. 293-311. Elsevier. Estados Unidos. 2003.

WILLIAMS, T.J. **A reference Model for Computer Integrated Manufacturing (CIM).** Artigo ISA. 1989.