FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

AUTOMAÇÃO, SEGURANÇA E O COMISSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS E PLANTAS

AUTOMATION, SAFETY AND COMMISSIONING OF EQUIPMENT AND PLANTS

Cecilia Pereira dos Santos Matos [1], [i]
Paulo Sebastião Ladivez[2], [ii]
Julio Cesar de Almeida Freitas[3], [iii]
Daniel Camusso[4], [iv]

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo abordar regulamentos técnicos, práticas e procedimentos relacionados com a implementação, e operação de sistemas de automação no ambiente industrial. Possibilita o atendimento ao prazo de entrega, conforme especificação de projeto, mediante o planejamento de atividades em cada uma das três etapas, a fabricação, o pré-comissionamento e comissionamento como referenciado na NBR IEC 62381:2019. Além disso descreve as diferenças entre Sistema Digital de Controle Distribuído e Sistema Instrumentado de Segurança. Para esse último, apresenta exemplos de arquiteturas que contribuem para o aumento do nível de segurança e integridade de um sistema. Apresenta um breve histórico da evolução dos requisitos compulsórios, ou seja, leis e decretos, e voluntários, a exemplo de normas técnicas internacionais, e como eles têm contribuído para manutenção em ambientes seguros. Reforça que os profissionais da área de automação envolvidos na implementação desses sistemas, estejam atentos quanto a abrangência de seus papéis e responsabilidades frente a requisitos legais, tanto em novos sistemas, quanto ao gerenciamento de mudanças em um processo existente, a fim de minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes, paradas de produção não programadas, contribuindo dessa forma ao negócio em que estejam integrados.

Palavras-chave: Sistemas de Automação, Comissionamento de equipamentos e plantas, NBR IEC 62381:2019

[1] Pós-graduanda em Automação Industrial na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: ceciliapmatos@gmail.com

[2] Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: paulo.ladivez@sp.senai.br

[3] Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: julio.freitas@sp.senai.br

[4] Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: daniel.camusso@sp.senai.br

ABSTRACT

This article concerns technical requirements, practices and procedures related to the implementation and automation systems operation, allowing the assistance before delivery deadline by project specification in regards to planning of activities in each one of three steps, fabrication, pre-commissioning, commissioning, as mentioned/referenced in NBR IEC 62381:2019. Furthermore, it describes the differences between Basic Process Control System and Safety Instrumented Systems. For the latter, it presents architecture examples which contribute to increase the safety level and integrity of a system. It presents a brief history of the evolution of legal and voluntary requirements, such as the ones of laws and decrees, in addition to implemented voluntaries contributing to the maintenance of secure ambient. It also enforces that the automation area professionals involved in the implementation of such systems may be alert to their roles and responsibilities facing legal requirements, in both new systems and also the management of changes in an existing process, with the intent of minimizing the probability of the occurrence of accidents, unscheduled shutdowns, contributing in that way to the business in which they may be inserted in.

Keywords: Automation system, commissioning of equipment and plants, NBR IEC 62381:2019

1 INTRODUÇÃO

Nas indústrias nos anos 1990, o tempo despendido com resolução de um problema era grande, conforme menciona Capelli (2007, p.17, grifo nosso) "[...] e que **exigia** muitas horas de mão-de-obra **altamente qualificada** [...]". Desde então avanços possibilitaram que sistemas corporativos realizassem a integração entre os níveis da pirâmide da automação da operação industrial, no controle do processo através de redes industriais. O grande fator motivador foi a competitividade imposta pelos negócios e presente cada vez mais, resultando que a interconectividade promovesse tomadas de decisão com foco em maior produtividade, qualidade do produto final, segurança de processo e do trabalho.

Outro tema que também tem passado por mudanças significativas ao longo dos anos, são os requisitos legais relacionados à segurança e saúde dos trabalhadores. Por exemplo, as Normas Regulamentadoras (NR) publicadas em 1978 passaram por várias atualizações. É o caso da NR-12 Segurança no Trabalho em máquinas e equipamentos, e a NR-13 Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento. Atualmente são contemplados na NR-12 requisitos de monitoramento automático por interface de segurança, dispositivos de acionamento bimanual, parada, partida e emergência, e na NR-13 menciona que estudos de confiabilidade devem subsidiar barreiras de proteção por meio de Sistema Instrumentado de Segurança (SIS). Esses são requisitos compulsórios, porém algumas normas técnicas podem ter adesão de forma voluntária.

Contribuem com essa visão, normas internacionais, tais como da organização independente e não-governamental *International Organization for Standardization* (ISO), a ISO 45001 (Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional - Requisitos com orientação para uso). A elaboração dessa norma contou com a participação de 65 países

membros em comunicação com organizações chaves a exemplo da OIT, Organização Internacional do Trabalho, e 21 países observadores, dentre eles o Brasil. A norma ISO 45001 possibilita que as organizações aprimorem seu desempenho em Saúde e Segurança Ocupacional, assegurando um ambiente seguro e saudável para os trabalhadores e pessoas envolvidas, evitando perdas e doenças relacionadas ao trabalho. Além disso as organizações que já implementaram a normas ISO 9001, produto final ou serviços e a ISO 14001, práticas ambientais, serão beneficiadas pois a coerência e compatibilidade da estrutura foram mantidas (ROCHA e SOUZA, 2020).

Além da visão proporcionada por normas técnicas, a experiência de agências governamentais de outros países também contribui com a eliminação, ou mitigação de riscos. Dessa forma, a adoção de técnicas de análise de riscos possibilita o tratamento antecipado de cenários com maior probabilidade de falhas associados à segurança e integridade de pessoas, meio ambiente ou processo produtivo. Para a eficácia dessas técnicas, o envolvimento de equipes multidisciplinares pode promover a partir da experiência, mudanças seguras nos ambientes de trabalho. Isso é importante para que sejam adicionadas novas situações de risco. Dentre essas equipes, os profissionais da área de automação têm como responsabilidade garantir a especificação, o *design* e implementação de novos dispositivos e/ou sistemas de automação seguros.

Nesse sentido, o Comissionamento dos Sistemas de Automação apresenta uma referência técnica a partir da Norma Técnica Brasileira (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR IEC 62381:2019. Ela apresenta especificações de testes que podem ser realizados durante a montagem no fabricante e no campo antes da entrega final. O comissionamento abrange as fases de projeto de novas unidades industriais, ou unidades de processo produtivo, e de processo da instalação, ou no momento de modificações ou ampliações de sistemas e unidades de processo onde já estão em operação, quando já estão disponíveis os fluxogramas de engenharia (ABNT, 2019).

Diante dos argumentos mencionados, o artigo apresentará requisitos técnicos e legais relacionados à área de automação com abrangência a vários segmentos empresariais.

2 DESENVOLVIMENTO

Esta seção está subdividida em três subseções, a primeira trata sobre a saúde e segurança do trabalho, nela é apresentada uma breve evolução quanto aos requisitos técnicos e os legais. A segunda aborda exemplos de sistemas de automação como estratégia de controle de riscos a acidentes e a terceira sobre a importância de procedimentos técnicos que possibilitam testar de forma antecipada as funcionalidades, adequando-as quando necessário, assim como documentar os respectivos registros fundamentais para subsidiar rastreabilidade, e mudanças, antes da integração entre os vários subsistemas, atendendo aos prazos estabelecidos com segurança.

2.1 Aspectos relacionados à área de saúde e segurança do trabalho

Do ponto de vista legal, no Brasil em 1919 foi implementado o Decreto-Lei 3.724 com o propósito de compulsoriamente ter um seguro contra acidentes do trabalho, segundo (ARAÚJO, 2005; BRASIL, 1919).

Com o decorrer dos anos, a partir da industrialização do país ocorrem mudanças, possibilitando ampliar a cobertura previdenciária, instituindo mais recentemente o Seguro

Acidente do Trabalho onde mensalmente as empresas contribuem com o financiamento, percentuais de 1%, 2% ou 3% conforme risco de acidentes seja leve, médio ou grave respectivamente segundo a Lei 8212 de 24 de julho de 1997, em seu artigo 22, parágrafo II (BRASIL, 1997).

Tais contribuições sofreram alterações associadas à gestão de riscos que resultem em acidentes, como visto em "[...] Serão **reduzidas em até cinquenta por cento ou aumentadas em até cem por cento**, em razão do **desempenho** da empresa em relação à sua respectiva atividade [...]" (BRASIL, 2007, grifo nosso).

Outro instrumento legal a partir da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) foi a aprovação em 1978 de 28 NRs. Segundo Araújo (2005 p.13), "[...] É, ainda, um dos instrumentos mais eficazes, sobretudo quando se fala de prevenção de acidentes [...]". Nos anos de 1990 e 2000 ocorreram alterações na redação de várias dessas normas, atualizando-as frente às mudanças ocorridas, como, por exemplo, nas questões relacionadas a Riscos Ambientais (ruído, calor, poeiras, vapores, etc.) e Exames Médicos com o objetivo de transformá-los em Programas de Prevenção e Controle de tais áreas respectivamente, ou seja, além do "documento de gaveta", mas que proporcionassem minimizar e/ou eliminar de forma efetiva os riscos à saúde. Outros exemplos em que ocorre uma contribuição positiva nos aspectos relacionados à integridade física durante a execução de trabalhos são as NRs relacionadas a Instalações e Serviços em Eletricidade; Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento; Máquinas e Equipamentos; e Ergonomia.

Desde 2019 está em curso um processo grande de atualização da redação das NRs, incluindo mudanças estruturais em vários dos Ministérios. Coube ao Ministério da Economia integrar dentre outras, a Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. (BRASIL, 2019).

Esse processo de revisão tem por objetivo a customização, desburocratização e simplificação, visando dentre outros pontos, proporcionar competitividade e segurança a quem trabalha e quem produz, sem perder a técnica necessária à prevenção da saúde e integridade física dos trabalhadores, conforme cita o secretário especial de Previdência e Trabalho, Rogério Marinho em vídeo postado no *twitter* segundo matéria no *site* da Agência Brasil. (AGÊNCIA BRASIL, 2019).

Além dos órgãos do governo, há outros com papel igualmente importante, como por exemplo, a ABNT tem como um dos principais objetivos quanto a segurança, a padronização de procedimentos de modo a garantir a proteção do trabalhador e do usuário final do produto. Ela por meio de seus Comitês Brasileiros de Estudo tem o compromisso de elaborar e atualizar normas, a partir de reuniões com o envolvimento da sociedade, como entidades de classe, universidades, escolas técnicas, governo e etc. podem participar das discussões. Conforme Morais (2005, p.25-26) o processo contempla a submissão a consulta pública, seguido do consenso dos vários atores do segmento específico a nível nacional, até passar à condição de norma técnica brasileira. Uma empresa pode adotar de forma voluntária uma norma mesmo sem ser referenciada em lei, o que pode demonstrar comprometimento na preservação de acidentes, já que para ser considerada obrigatória é necessário que seja citada em Lei específica.

Outro exemplo de órgão é o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Dentre suas atribuições destacam-se a difusão de informações tecnológicas, na área de metrologia, normas e regulamentos técnicos e qualidade e a coordenação da Rede Brasileira de Calibração (RBC). (ARAÚJO, 2005).

Quanto as referências internacionais podem ser citadas a Organização Internacional do Trabalho (OIT), a ISO e a *International Electrotechnical Commission* (IEC). A OIT tem por atribuição principal, segundo Araújo (2005, p.29) "[...] a divulgação de informações e recomendações internacionais que visem a proteção dos trabalhadores [...]". A ISO é uma federação mundial de organismos nacionais de normatização, não-governamental, e a IEC atua na área de eletricidade. Um bom exemplo de como uma norma pode inspirar outras, é dado por Squillante Júnior (2011, p. 40) e Lima (2020, p.22) quanto a IEC 61508. Ela passou a ser referência a outras tais como a IEC 61511 para indústrias de processo, IEC 61513 para indústrias nucleares, IEC 61800 para variadores de frequência, a IEC 62061 para segurança em máquinas e as normas europeias - *European Standards* (EN) - EN 50126, EN 50128 e EN 50129 para linhas ferroviárias.

Dentre os Comitês Brasileiros da ABNT - o CB 03, tem por meio do Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (COBEI) a garantia da participação do Brasil em eventos, reuniões e elaboração de documentos possibilitando melhorias às atividades relacionadas a trabalhos com eletricidade. (COBEI, 2020).

Como referência internacional a Convenção nº 174 pode ser exemplificada. Ela trata da Prevenção de Acidentes Industriais Maiores, e foi elaborada pela OIT em 1993. O conceito é que devido a magnitude, um acidente maior tem potencial de expor trabalhadores, o meio ambiente e a comunidade, a consequências imediatas, médias ou a longo prazo, por uma emissão, incêndio ou explosão. Nesse sentido, a abrangência da aplicabilidade pode ser vista quanto a aspectos relacionados a automação no decreto:

> [...] Relativo a cada instalação exposta a riscos de acidentes maiores, os **empregadores deverão estabelecer e manter um sistema documentado** de prevenção de riscos de acidentes maiores no qual estejam previstos: b) medida técnicas que compreendam o **projeto**, os **sistemas de segurança**, a construção, a escolha de substâncias químicas, o **funcionamento**, a **manutenção** e a **inspeção sistemática da instalação** [...]. (BRASIL, 2002, decreto 4085, artigo 9, grifo nosso).

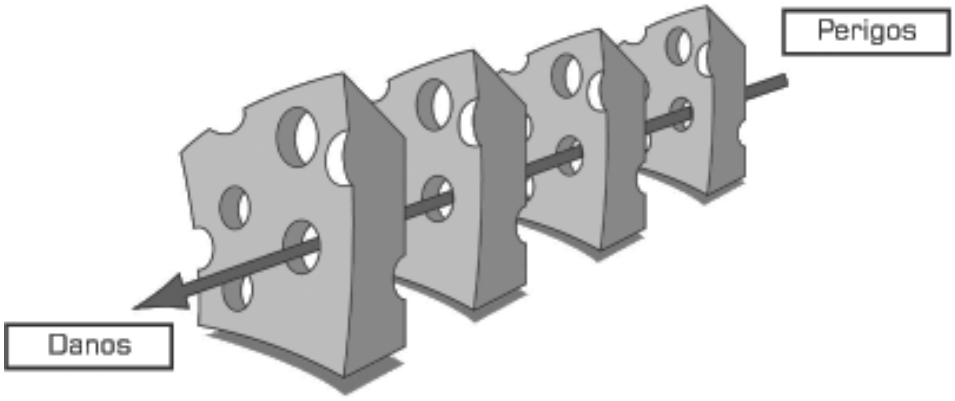
Segundo Glasmeyer (2007, p. 66-68) alguns acidentes industriais maiores não seriam repetidos se os aprendizados fossem genuinamente incorporados pelas organizações. Um exemplo é o ocorrido em *Bhopal* na Índia em 1984. Um vazamento de vinte e cinco toneladas de gás isocianato de metila de uma planta química da *Union Carbide* resultou em mais de 2500 mortes, sendo a maioria de pessoas externas à operação da empresa. E o outro o da plataforma de petróleo *Piper Alpha* no Mar do Norte no Reino Unido em 1988, após a vaporização de um vazamento estimado em 100 quilos de hidrocarbonetos, resultou em explosões e incêndios sucessivos, danificando todo o sistema de comunicação e sistemas de proteção automáticos e com a morte de 167 pessoas.

A palavra acidente em sentido amplo é associada a ocorrência de uma situação inesperada. Porém quando se propõe entender com maior profundidade os fatores contribuintes para um evento - seja ele um dano físico a uma pessoa, meio ambiente ou mesmo organização - outras causas poderão ser observadas se analisado com enfoque técnico e maiores detalhes, tais como falhas de supervisão, capacitação, procedimentos e outros envolvendo ausência ou controles de engenharia ineficazes, tais como sistemas de alarmes, e redundâncias. Diante da amplitude de possibilidades, o "componente" humano é um dentre tantos outros.

Ao longo dos anos, foram propostas algumas teorias para compreensão da ocorrência de acidentes. Dentre os vários modelos, um deles denominado de Modelo

Reason propõe duas abordagens, a primeira é composta de fatores pessoais tais como erros e violações de procedimentos, com enfoque maior nas consequências do que nas causas de um acidente. Já a segunda aborda a existência de barreiras, tais como sistemas de desligamento automático, controles de engenharia, controles administrativos, entre outros. Cada barreira é uma camada de proteção que se assemelhando a fatias de um queijo podem conter buracos. É proposto que tais camadas ou barreiras não são estáticas, possibilitando que os buracos sejam alinhados, possibilitando a ocorrência de um evento. Daí resultou a denominação de "Queijo Suíço", conforme figura 1.

Figura 1 - Barreiras existentes em uma organização, que se alinhadas podem ocasionar acidentes, segundo o modelo do "Queijo Suíço".



Fonte: REASON, 2000 apud CORREA e CARDOSO JUNIOR, 2007, p.191.

Segundo Correa e Cardoso Junior (2007) esse modelo teve confiabilidade comprovada, possibilitando contribuição para a evitar a recorrência de acidentes aeronáuticos.

Uma estratégia que pode ser empregada no dimensionamento dessas barreiras é o emprego de técnicas de análise de riscos. Elas podem ser qualitativas, semi-quantitativas e as quantitativas podendo variar em termos de custos e tempo de aplicação. Dentre elas, em virtude da relação com o tema do artigo, será abordada a técnica *Layers of Protection Analysis* (LOPA) ou Análise das Camadas de Proteção. LOPA é uma técnica semi-quantitativa, com objetivo de analisar se um dado cenário possui camadas de proteção interdependentes compatíveis com o potencial risco analisado. Ao todo são oito camadas, sendo elas:

a) dados de projeto;
b) sistema básico de controle;
c) alarmes críticos e intervenção humana;
d) sistema instrumentado de segurança;
e) dispositivos de segurança;
f) dispositivos passivos;
g) respostas de emergência da planta;
h) respostas de emergência a comunidade.

Algumas são medidas preventivas como procedimentos e alarmes, e outras mitigadoras como válvulas de alívio de pressão e planos de emergência na comunidade. A área de Automação tem uma participação em várias dessas camadas como por exemplo em

sistema básico de controle, alarmes críticos e sistema instrumentado de segurança. A depender dos riscos potenciais encontrados em um cenário, podem ser necessárias todas as oito camadas mencionadas anteriormente. Uma análise de risco com equipe experiente e multidisciplinar deve ser envolvida para o dimensionamento equilibrado entre o máximo de proteção e o mínimo de investimentos. (SOARES, 2010, p.65-67).

2.2 Aspectos relacionados à automação industrial

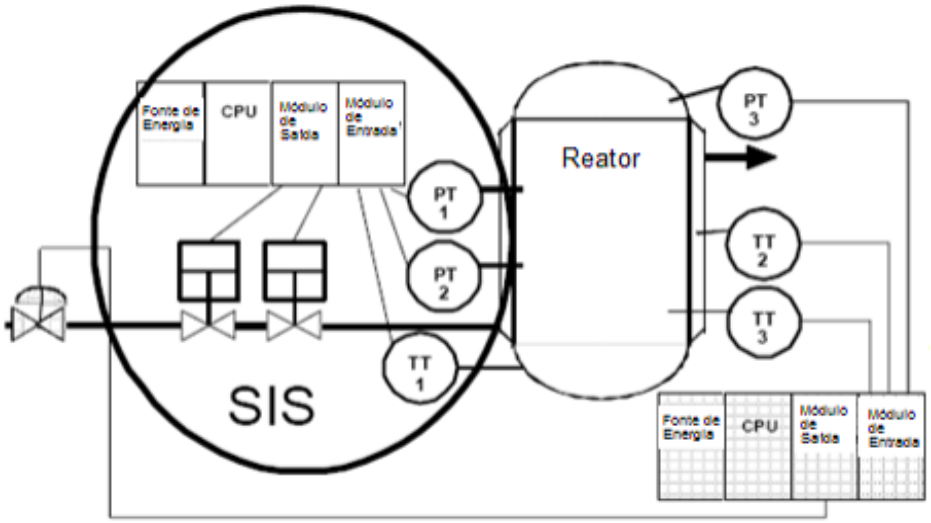
A palavra automação vem do latim *automatus* e significa mover-se por si. Por vezes é utilizada como sinônimo de automatização de forma incorreta, pois enquanto esta tem relação mais com o conceito de mecanização, movimentos automáticos sem correção, aquela caracteriza-se pela atuação ativa retroalimentando com base nas informações recebidas buscando a melhor eficiência dos sistemas em que estão instalados. (ROSÁRIO, 2009, p.18).

Essa definição corrobora com SENAI "[...] Na empresa, a **automação** é sinônimo de **autonomia** nos processos**, otimização** do trabalho, mais **segurança** e maior **competitividade** [...]" (SENAI, 2020, grifo nosso).

Dessa forma, devido a necessidade de geração em larga escala de processamento de produtos, a automação é uma aliada na busca de proporcionar um incremento na eficiência de resultados. Porém ao mesmo tempo que são adicionados mais elementos em um sistema de automação podem resultar em riscos significativos, se as falhas não forem analisadas e tratadas de forma antecipada. Considerando esses pontos serão discutidos os requisitos de normas técnicas internacionais relacionados aos Sistemas Instrumentados de Segurança (SIS), ou seja, uma das camadas interdependentes da LOPA. Eles têm por função manter um estado seguro de processo quando condições perigosas ou não aceitáveis são detectadas. Um SIS implementa funções de segurança através de coleta de sinais de processo e por um ou mais sensores de segurança, do processamento de informações de um, ou mais dispositivos de realização de controle, tais como equipamentos elétricos, eletrônicos e eletrônicos programáveis, e envio de sinais para cada um dos atuadores de segurança. As arquiteturas de um SIS são definidas com base no nível de integridade de segurança, ou *Safety Integrated Level* (SIL). Essas arquiteturas são classificadas considerando cálculos envolvendo fator de redução de risco, e a probabilidade de um elemento falhar quando solicitado. Uma falha é uma condição anormal que pode causar uma redução ou perda de capacidade de uma unidade funcional. (SQUILLANTE JÚNIOR, 2011, p.16-17, 34).

Em termos de *hardware* um SIS assemelha-se de um BPCS, porém quanto as funções diferem-se, pois, o primeiro monitora um processo variável e atuam quando necessário e o segundo mantém o processo dentro de parâmetros pré-estabelecidos, a figura 2 ilustra de maneira didática essa diferença (SQUILLANTE JÚNIOR, 2011, p.35).

Figura 2 - Sistema de Controle de Processo Básico - SCPB (ou BPCS) x Sistema Instrumentado de Segurança -SIS



Fonte: GOBLE E CHEDDIE, 2005 apud MELO, 2012, p. 17.

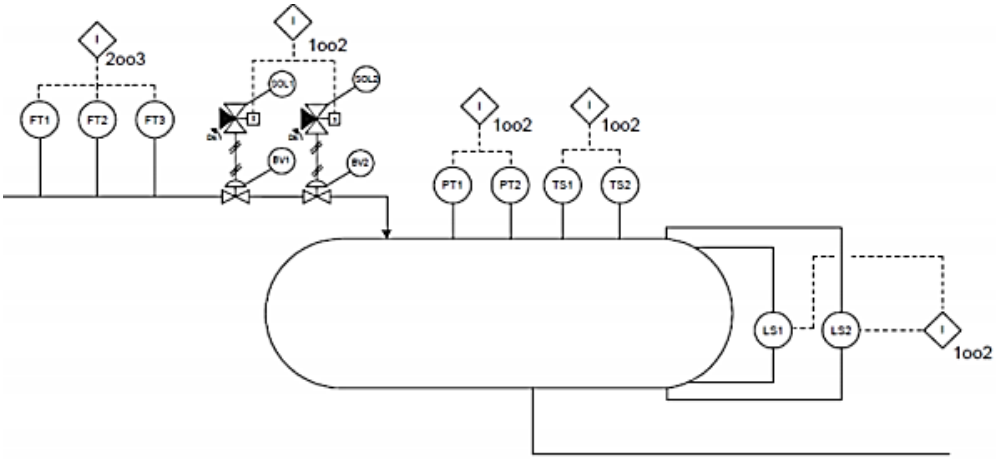
Importante referenciar que um Sistema de Digital de Controle Distribuído (SDCD) "é formado pelas interfaces do sistema com o processo, do sistema com o operador e pela comunicação entre essas interfaces" segundo Finkel *et al* (2006, apud SILVA, 2012, p.23). Os SDCDs podem ser enquadrados na definição de *Basic Process Control System* (BPCS) que monitoram e controlam o processo continuamente. Eles possibilitam ainda três diferentes tipos de funções de segurança, sendo a primeira manter o processo nas condições normais, a segunda identificar condições anormais, alertando o operador e, a terceira realiza ação automática para parar o processo, ou retomar as condições normais de operação. Cada função dessa pode ser considerada também como uma camada de proteção (CCPS, 2001, *apud* SILVA, 2012, p. 24).

Lima (2020, p.15-16, 38-39) em sua dissertação faz considerações com base na IEC 61508:2010 quanto as diferenças entre os controladores programáveis para sistemas de segurança, denominados de *Electronic Programmable* (EP). Note-se que ele denomina "EP SIL" como aqueles utilizados na detecção de alarmes e comandos de desligamento dos processos em geral, em contraposição aos "EP *standard*", aqueles usados para controle do processo de máquinas e plantas industriais. Dentre as principais características que distinguem um "EP *standard*" de um "EP SIL" têm-se que no caso do segundo, como primeira característica ser projetado para atuar somente em caso de falha no processo, tendo por objetivo priorizar a segurança. A segunda trata da confiabilidade. Ele relata que as arquiteturas com redundância atuam melhor em caso de ocorrência de falhas como, por exemplo, desenergização do circuito de saída. Para a terceira característica, cita que o cálculo da confiabilidade dos estados de sucesso, ou falha indicam se a resposta foi bem-sucedida ou apresentou falha, conforme consta na parte 6 da IEC 61508. Por fim a quarta diferença: certificação. Um SIS deve ser validado por um órgão certificador que considera todo o ciclo de vida do equipamento através de critérios rigorosos.

Redundâncias em elementos de *hardware*, tais como sensores, transmissores e chaves de nível podem ser necessários com base nos cálculos dos fatores de redução de riscos, e em alguns casos podem necessitar de projeto específico. No exemplo da figura 03 são observados dois tipos de arquiteturas, uma delas a 2oo3 (votação 2 de 3) à esquerda

podem ser observados três sensores (FT1, FT2, FT3). Pela arquitetura implementada a lógica somente será desencadeada se dois dos sensores detectarem ao mesmo tempo uma falha. Na sequência, a 1oo2 (votação 1 de 2) permitirá pelo acionamento simultâneo das válvulas de admissão (BV1 e BV2) a transferência do produto para o vaso. Se uma das válvulas for fechada - conforme redundância - o processo irá retornar a uma posição de estado seguro. Adicionalmente podem ser observados também como a 1oo2, para os transmissores de pressão (PT1 e PT2), termostatos (TS1 e TS2) e chaves de nível (LS1 e LS2) (SILVA 2012, p.52).

Figura 03 - Exemplo diagrama de processo de malha SIL 2



Fonte : SILVA, 2012, p. 52

Silva (2012, p. 29-31, 39-40) acrescenta além da redundância outros requisitos de um SIS, por exemplo, parada segura, confiabilidade e diagnósticos. No caso da parada segura, na fase de projeto devem ser especificados tanto os limites quanto às ações necessárias dessas condições de forma a não amplificar o cenário de risco. Quanto menos ocorrem períodos de instabilidade de um equipamento ou processo, menos um instrumento de proteção de um SIS é submetido a atuar, razão pela qual a confiabilidade ser outro requisito importante do funcionamento para não ocasionar paradas de produção ou ocasionar acidentes pelo não acionamento dos mesmos. O diagnóstico é importante para medir a resposta do sistema frente aos vários modos de falhas, através da técnica *Failure Modes, Effects and Diagnostic Analysis* (FMEDA). O conjunto desses requisitos necessitam ser registrados e periodicamente testados durante todo o ciclo de operação de um equipamento ou processo a fim de garantir a integridade do funcionamento quando for submetido a demanda. Além desses pontos relevantes, adicionam-se as mudanças em elementos de *hardware* ou lógicos de qualquer elemento do SIS. Elas precisam ser planejadas e analisadas quanto a possíveis impactos no acionamento dos dispositivos de segurança.

No contexto das Normas Regulamentadoras NR-12 e NR-13 respectivamente, Máquinas e Equipamentos, e Caldeiras e Vasos de Pressão, duas abordagens relacionadas a Camadas de Proteção serão apresentadas a seguir.

No trabalho apresentado por Soares (2010, p.51-53) há uma análise crítica comparativa dos requisitos legais da NR-13 Caldeiras e Vasos de Pressão frente a técnica LOPA. Das oito camadas, cinco foram identificadas por ele nos itens da norma, apesar do texto a não explicitar de forma objetiva o termo camadas de proteção interdependentes. São elas a primeira camada, quando o projeto deve fazer referência a especificação de

regras para construção de vasos de pressão com base no código ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). A segunda camada relativa ao sistema básico de controle, constituída por medidores de pressão, temperatura e nível. A terceira são os alarmes críticos e intervenção humana, no contexto da norma aplica-se a iluminação de emergência uma vez que permite um alerta em caso de falha de energia para tomada de decisão de operadores quando necessário. A quarta, porém, conforme a LOPA, representa a quinta camada são os Dispositivos de Alívio, tais como válvula ou qualquer outro dispositivo de segurança, sendo eles responsáveis por impossibilitar que a integridade física do vaso seja comprometida em virtude da elevação da pressão interna. E por fim a quinta, que conforme LOPA é a sétima, trata das Respostas a Emergência da Planta, pois no contexto da norma cita a capacitação quanto a prontidão do operador frente a situações anormais. Quanto ao SIS - quarta camada da LOPA que tem por função atuar no processo levando-o a um estado seguro - não foi identificado pelo autor item que possibilitasse o enquadramento, ressalte-se que a publicação do trabalho ocorreu em 2010. No ano de 2018 foi incluído de forma explícita o termo SIS, na referida norma, possibilitando inclusive o aumento do prazo de inspeção de segurança interna para Caldeiras categoria A de 30 para 48 meses, quando possuir "[...] **barreira de proteção** implementada por meio de **Sistema Instrumentado de Segurança** - SIS definido por **estudos de confiabilidade**, auditados por Organismo de Certificação de **Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos** (SPIE) [...]", tendo prazo máximo para entrada em vigor até 2022 (BRASIL, 2018, grifo nosso).

Quanto a NR-12, Garcia (2015, p. 45-52, 57, 63-69, 83-92) apresenta dois estudos de casos onde controladores lógicos programáveis (CLP) de segurança são dedicados a controlar as funções de segurança. Nesse sentido os projetos são baseados em categorias de Nível de Desempenho, ou *Performance Level - (*PL), adotados na norma EN ISO 13849-1. Ela trata dos princípios de projeto em segurança de máquinas com uma abordagem mais ampla por tratar várias tecnologias como a hidráulica, pneumática e mecânica, além da elétrica quando comparada a IEC 62061 que é mais restrita a sistema elétricos, eletrônicos e programáveis conforme citado no referido trabalho. Além disso, considera a probabilidade de falhas perigosa por hora, com base em parâmetros relacionados a reversibilidade ou não de lesões, frequência alta ou baixa de exposição ao perigo, e possibilidade de parada do ciclo da máquina. Outro ponto citado no trabalho é quanto o caráter probabilístico, pois considera o dimensionamento do nível de desempenho, baseado na responsabilidade de fornecimento de dados por parte dos fabricantes dos componentes, eliminando assim a visão clássica de sistemas de segurança estáticos e constantes. Os exemplos são uma Carimbadeira (manufatura de produtos cosméticos tendo como produto lápis delineador de olhos), e a outra uma máquina de montagem (manufatura automobilística sendo o produto a direção assistida elétrica responsável por fornecer assistência a um condutor de um veículo). Nos dois estudos são apresentados vários pontos potenciais de esmagamento, contato com superfície quente e até mesmo contato com *laser* devido necessidade de gravação de código de rastreabilidade em uma delas. Chaves mecânicas de segurança foram implementadas com o correspondente PL, e com liberação gerenciado por *software* para controle dos riscos. Alguns outros exemplos de componentes mencionados no trabalho são botões e sinaleiros luminosos, contatores e botões de parada de emergência, barreiras de segurança e chaves magnéticas.

Com as três contribuições apresentadas observa-se a associação da automação com a segurança e confiabilidade das operações, tanto de cenários envolvendo riscos de grandes

áreas de trabalho ou mesmo plantas industriais inteiras, quanto a Caldeiras ou mesmo máquinas de trabalhos específicos como os apresentados.

2.3 Comissionamento de plantas, unidades industriais, projetos e equipamentos

Comissionar um equipamento, sistema ou subsistemas consiste em garantir que sejam adotadas técnicas e procedimentos com o propósito de projetar, instalar, verificar de forma individualizada, mesmo os mais complexos, os componentes de acordo com os requisitos operacionais do proprietário. É um processo que abrange desde a fase inicial de implementação quanto a empreendimentos já existentes, como por motivo de modernização ou expansão. De forma ampla, um processo de comissionamento contém atividades que implicam em projeto básico, detalhado, construção, montagem e entrega final, por exemplo. A depender da natureza pode existir também a operação assistida. (MILHEIRO, 2012, p. 1-2).

Se por um lado cada vez mais temos sistemas interconectados em virtude de novas tecnologias, aumentando a complexidade do gerenciamento de um ativo, por outro há o aumento da velocidade de implementação devido à concorrência dos negócios. A despeito desse conflito, faz-se necessário que os prazos frente ao escopo de um projeto sejam atendidos. Corroborando com os argumentos, a norma NBR IEC 62381:2019 - Sistemas de Automação de Processos Industriais, Testes de Aceitação em Fábrica (TAF), Testes de Aceitação em Campo (TAC) e Testes de integração em Campo (TIC), descreve testes distintos em cada uma das etapas. As etapas são a Fabricação, Pré-comissionamento e Comissionamento e possibilitam alinhamento de expectativas entre o proprietário, que pode ser uma planta química ou petroquímica e o vendedor, ou seja o fabricante, fornecedor ou distribuidor do sistema de automação, com o propósito de melhorar o entendimento e consequente aceleração da negociação entre as partes. Ressalta-se que um outro participante que pode atuar nesse processo, é a empresa contratada pelo proprietário para projetar, e construir um sistema de automação, ou até uma planta de processamento químico, por exemplo. Geralmente isso ocorre quando é necessária uma expertise em uma área, ou quando o proprietário não possui em seu corpo de funcionário uma área técnica dedicada ao tema específico.

A publicação do *Health and Safety Executive* (HSE) em 2003, agência governamental que trata dos aspectos relacionados à saúde e segurança no Reino Unido, apresentou que a maior parte dos acidentes ocorridos em sistemas de controle de processos tiveram como causa de origem problemas na especificação (44%), seguidos de causas por mudanças após o comissionamento, (20%), e como terceiro lugar ocorridos na fase de operação e manutenção (BOSCO, 2015).

A NBR IEC 62381:2019 é uma adoção idêntica em conteúdo técnico, estrutura e redação da IEC 62381:2012. No primeiro tipo de teste o TAF ao ser finalizado irá demonstrar que o sistema do vendedor e os auxiliares estão de acordo com a especificação. Já no Campo ocorrem dois testes, com o término o TAC demonstrará que a instalação de sistemas de diversos vendedores está de acordo com a instalação. E por último, TIC demonstrará que houve a integração em um único sistema completo a partir dos vários sistemas, operando em conjunto. Ela é estruturada de tal forma que distingue os papéis e responsabilidades do proprietário e/ou contratada e do vendedor na fase de elaboração do escopo do projeto. Essas responsabilidades podem ser a descrição das malhas de controle, classificação e

procedimentos de testes de cada função instrumentada de segurança de acordo, com cada nível de SIL, sensores e atuadores descritos em linhas e colunas em uma tabela relacionando as funções de chaveamento, comutação ou alarme e nível de integridade de segurança (SIL), no caso do proprietário. Enquanto manuais de operação, diagramas da arquitetura do SDCD/CLP ou SIS, lista de entradas e saídas, telas gráficas e de configuração, são de responsabilidade do vendedor.

Para cada etapa deve existir um planejamento para possibilitar uma organização mínima. A depender do escopo do projeto mesmo sendo um TAF pode ser especificado que o comprador execute os testes na fábrica. São várias as etapas que compreendem testes com base em procedimentos a depender da magnitude do projeto, e em cada uma delas devem ser documentados e assinados pelos responsáveis, e quando não obtido êxito a geração de uma lista de pendências se faz necessária para resolvê-las em tempo, possibilitando o avanço ao TAC e depois ao TIC. Um cronograma com prazos e responsáveis pode possibilitar uma visualização da aderência dos prazos, de forma a atender as expectativas, e entrega do projeto ao proprietário.

No Quadro 01 pode ser visualizado um resumo de 24 atividades, descritas na NBR IEC 62381:2019 quanto ao planejamento de cada etapa de TAF, TAC e TIC. São denominadas como testes (T), inspeções ou verificações (V), documentação (D) e reuniões (R). Da 1ª a 13ª são pertinentes ao TAF, da 14ª a 19ª ao TAC, e da 20ª a 24ª ao TIC.

Quadro 01 - Planejamento das atividades durantes testes

Atividades	T	V	D	R
1. Reunião inicial (revisão de documentos, cronogramas, etc.)				✓
2. Verificação da documentação do vendedor (incluindo os relatórios de testes internos)		✓		
3. Verificação dos inventários de *hardware* e *software*		✓		
4. Inspeção mecânica		✓		
5. Inspeção da fiação e das terminações		✓		
6. Testes de partida (*start-up*)	✓			
7. Verificação das funções gerais do sistema, incluindo redundância de *hardware* e diagnósticos		✓		
8. Verificação visual da operação do sistema		✓		
9. Testes de funcionalidades de acordo com todos os documentos	✓			
10. Testes e verificação de controle de sequência, intertravamentos e controle por batelada	✓	✓		
11. Testes das interfaces com subsistemas	✓			
12. Retrabalhos do TAF, lista de pendências para os trabalhos de TAC			✓	
13. Reunião de fechamento de TAF.				✓
14. Reunião inicial (revisão da documentação, cronograma, etc.)				✓
15. Verificação da documentação do vendedor			✓	
16. Verificação dos inventários de hardware e de *software*			✓	
17. Inspeção mecânica (sistema de aterramento, sistemas alimentação, conexões, terminações e conexões das redes de comunicação, etc.)		✓		
18. Verificações dos diagnósticos de partida (energização dos sistemas de alimentação, inicialização, controladores e dos dispositivos e verificação dos diagnósticos).		✓		
19. *Download* do software		✓		
20. Reunião inicial (revisão da documentação, cronograma, etc.)				✓
21. Verificação da documentação do vendedor			✓	
22. Inspeção mecânica (*link* de comunicação entre sistemas)		✓		
23. Verificação dos diagnósticos (inspeção da comunicação entre os sistemas, taxas de comunicação, etc.)		✓		
24. Download do *software* e do *firmware* (se aplicável)		✓		

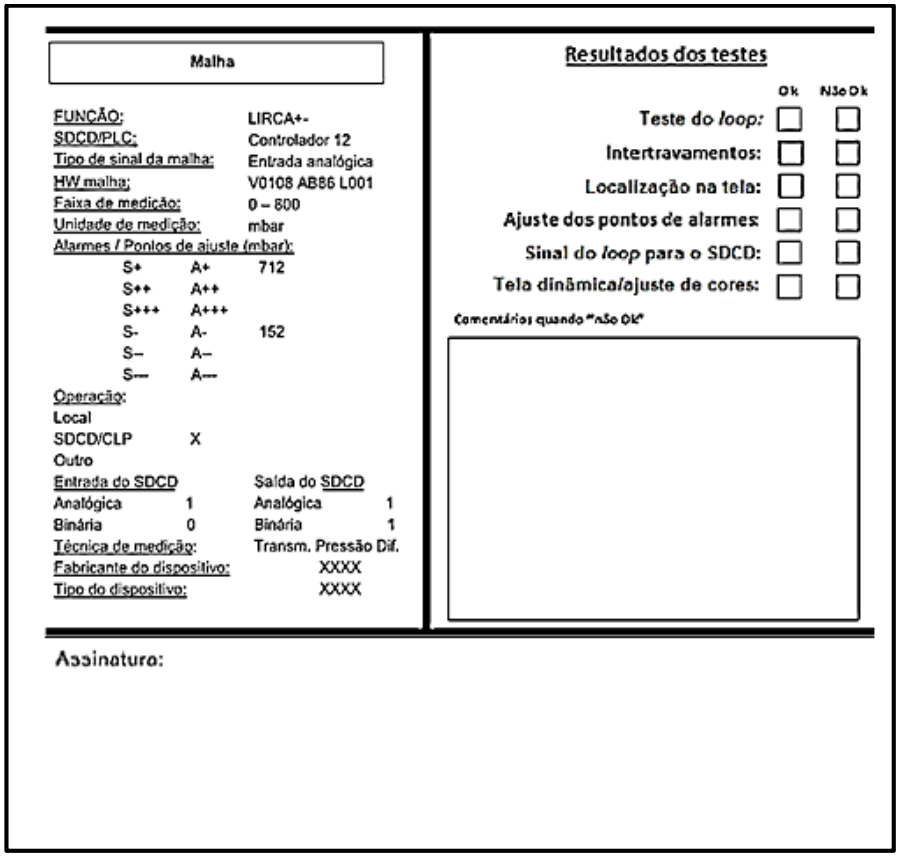
Fonte: Elaborada pela autora adaptado da NBR IEC 62381:2019

É perceptível que a maior parte das atividades está concentrada na etapa do teste em fábrica. Nela estão consideradas a preparação, condução e procedimentos de verificação painéis e barramentos, e a conexão com todos os sistemas e subsistemas. Contempla ainda o monitoramento dos sinais no sistema de automação, ou dispositivo de simulação para testar os links de comunicação, e telas de Interface homem-máquina, a verificação para níveis de acesso (*log-on*) dos usuários, e controle PID onde o transmissor está em um segmento da rede, e a válvula em outro.

São disponibilizados na referida norma 13 anexos que orientam quanto ao objetivo, documentação de referência, e lista de verificação de cada uma das três fases, tais como verificação dos documentos, inventários de hardware e de software, inspeções eletromecânicas, fiações e terminações, testes de partida e das funções gerais do sistema, do sistema de alarmes, diagnósticos de redundância de hardware, das funcionalidades de acordo com os diagramas funcionais ou diagramas lógicos, descrições funcionais das funcionalidades complexas, e modos de operação, e da integração de subsistemas. Em

todos os anexos a assinatura e nome do profissional que realizou os testes e/ou verificações deve ser mencionado. Um exemplo de uma folha de teste de uma malha individual pode ser visto na figura 04.

Figura 04 - Exemplo de folha de teste de malha individual (*loop*)



Fonte: NBR IEC 62381:2019 p. 26

Uma das lições aprendidas após a implementação de rede *Foundation Fieldbus* em refinaria, quanto a necessidade da existência em contrato de testes de integração e comunicação com SDCD, pode ser percebida a seguir:

> [...] Durante a fase de **montagem** da rede em **campo** foram recebidos equipamentos com kit de interoperabilidade **sem compatibilidade** com o SDCD causando **atrasos de montagem**, o que compromete ao **cronograma de execução** e afeta a equipe técnica no requisito **motivacional**, visto que é uma **mudança tecnológica** em que se imagina **disponibilidade** e **confiabilidade** na aquisição/fornecimento de peças [...] (OLIVEIRA, 2016, p. 4, grifo nosso).

Nesse sentido, vencidos os desafios de todo o processo de implantação de um projeto iniciam outros, pertinentes a operação do equipamento, área ou planta. Embora seja importante um projeto considerar seu ciclo de vida, desde a elaboração do escopo e todas as fases de comissionamento, deve ser considerado o ciclo de vida da instalação que será implementado. Alterações com objetivo de melhorar o desempenho da planta, sejam por novas tecnologias, mudança de produtos químicos, questões organizacionais, alterações de equipamentos, ou demandas da operação da planta alterações temporárias

ou não, podem ser motivo de incorporação de novos riscos. Para que isso não ocorra, são necessários procedimentos que possibilitem uma análise prévia dos possíveis impactos de uma mudança. Nesse sentido a contribuição da *American Institute of Chemical Engineers* (AIChE), através do grupo técnico *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) (2007) *apud* LEITE (2018, p. 26) cita que o gerenciamento das mudanças é um dos princípios de segurança de processo baseada em risco.

Consiste em garantir que uma mudança não acrescente os riscos ao já existentes. Um exemplo desse processo no Brasil é a Resolução Agência Nacional do Petróleo (ANP) nº 05 em 2014. Ela aprovou Regulamento Técnico de Regime de Segurança Operacional, para as Refinarias de Petróleo nas Refinarias autorizadas pela ANP. Esse Regulamento Técnico descreve requisitos de gestão voltados a mudanças permanentes ou temporárias incluindo procedimentos e documentação afetados pela mudança.

A Gestão de Mudanças tem um papel relevante, pois um processo produtivo está submetido a transientes em seu regime de produção, em virtude de falhas ou limitações elementos tais como equipamentos, pessoas, produtos químicos, sistemas interconectados, entre outros. Nesse contexto, esses transientes podem ocasionar paradas de produção em virtude da quantidade de equipamentos.

Moschin (2015 apud ROMANELLI 2016, p. 31-32) menciona que podem ser consideradas três tipos de parada, a primeira é a parada programada geral, ocorre periodicamente e impacta na produção pois para que os equipamentos sejam liberados para manutenção realizar os serviços e melhorias significa paralisar todo o processo produtivo. A segunda é a parada programada parcial, como o nome sugere é uma atividade que também ocorre de forma planejada, porém é restrita a uma área. A terceira é denominada de parada não programada, sendo resultado de falhas em equipamentos ou sistemas interconectados.

Segundo Cerizze (2020, p.25-26) várias características de uma parada de manutenção, que têm bastante pertinência quanto a este artigo tais como, formação de equipes de várias disciplinas como manutenção, operação, inspeção, e até de outros locais da empresa. A duração depende da lista de serviços, e pode durar em média de 25 a 45 dias, com grande envolvimento de toda a empresa. Nesse sentido o estabelecimento de procedimentos faz-se necessário a fim de garantir que processos envolvendo equipamentos, ou sistemas de automação envolvendo área específica ou a planta inteira sejam adotados com o mesmo rigor observado nas várias fases de comissionamento, como descritos na NBR IEC 62381:2019 a fim de controlar os riscos existentes, como observado no caso da Carimbadeira ou direção assistida elétrica citadas na subseção 2.2 desse trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo possibilitou compreender a importância da implementação de Sistemas de Automação como um elemento estratégico importante em processos, e atividades que envolvam riscos à integridade física das pessoas, meio ambiente, ao ativo e mesmo a comunidade. Descreve a diferença da função entre os controladores programáveis convencionais e aqueles voltados para funções de segurança, apresentando argumentos do sobre a necessidade de controles serem mais robustos na atuação em caso de falhas de componentes individuais, sejam nos elementos de campo, como os atuadores, sensores, ou no próprio controlador.

Nesse aspecto destaca-se dois pontos, sendo o primeiro quanto aos cálculos para estabelecimento do nível de integridade de segurança considerando o fator de redução do risco e a probabilidade de um elemento falhar. Já o segundo trata do estabelecimento de funções dedicadas para o diagnóstico de falhas, pois permite de forma antecipada a incorporação de redundâncias por arquiteturas como as 1oo2 e 2oo3, possibilitando que um dado processo não seja submetido a um modo não seguro. Em termos conceituais, é similar ao visto na determinação do nível de desempenho no caso da norma técnica dedicada a projetos para máquinas (ISO 13849-1). A contribuição é significante pois utiliza especificações dos componentes fornecidos pelo fabricante nos cálculos da estimativa da probabilidade de falhas perigosa por horas de funcionamento. Portanto é possível a adoção dos conceitos de sistemas de automação em segmentos de vários portes, tais como manufatura de produtos cosméticos, manufatura automobilística, e na área industrial, respectivamente carimbadeira, direção assistida elétrica e caldeiras, conforme mencionado na subseção 2.2.

Outros pontos relevantes apresentados são os processos de Comissionamento, e Segurança do Trabalho atuando em sinergia. Os ganhos são potencializados com essa interação, pois tanto na concepção, quanto na operação ou manutenção de um sistema de automação, participam profissionais que devem estar capacitados para que o conjunto homem-máquina-sistema possa performar de maneira eficiente. Dos aspectos referenciados nas subseções do artigo, o planejamento dos testes ou da mudança contribui para que de forma antecipada sejam testadas ou discutidas as oportunidades quanto a interferências com outros sistemas. Esse planejamento pode ser adotado na fase de elaboração de escopo de um projeto, no comissionamento por meio de testes na fabricação até os de integração em campo, ou ainda na mudança de um sistema em operação ou ainda em uma manutenção de rotina de um equipamento, área ou planta inteira.

No projeto de um sistema é importante o envolvimento de profissionais que operam, os que fazem a manutenção, e profissionais da área de segurança do trabalho, pois 44% dos acidentes de processos ocorreram na especificação conforme estudo do HSE. Preferencialmente nessa fase devem ser adotadas barreiras com foco em controle de engenharia, e com isso possibilitar eliminação ou redução da possibilidade de erros e violações de procedimentos e resultar em acidentes.

Por fim, é possível compreender que além dos aspectos técnicos inerentes aos desafios da área de automação, este trabalho possibilitou visualizar uma parte da abrangência de requisitos legais e como procedimentos técnicos no comissionamento podem contribuir aos mais variados processos que estejam inseridos. Além disso sugiro trabalhos futuros, tais como abordagens de automação no cálculo de SIL, abrangências de trabalhos de automação em paradas de planta, testes reais em campo de um equipamento ou sistema de automação, e comparativos de performance de componentes de fabricantes distintos na segurança de um equipamento com foco na NR-12, podem contribuir com um compartilhamento de conhecimento na área dos futuros profissionais da instituição.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Revisão de normas trará mais emprego, diz secretário.** 13 de maio de 2019. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2019-05/revisao-de-normas-trara-mais-emprego-diz-secretario. Acesso em: 20 jun. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução nº 05 de 29 de janeiro de 2014**. Disponível em: http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2014/janeiro&item=ranp-5--2014. Acesso em: 10 jul. 2020.

ARAÚJO, Giovanni Moraes de. **Normas regulamentadoras comentadas**. 5. ed. v. 1 e 2. Rio de Janeiro: GVC, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 62381:** sistemas de automação de processos industriais: Testes de Automação de Processos Industriais, Testes de Aceitação em Fábrica (TAF), Testes de Aceitação em Campo (TAC) e Testes de integração em Campo (TIC). Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 43 p.

BOSCO, Flavio. Entender a dinâmica e a complexidade dos sistemas é um dos fatores mais importantes para evitar catástrofes. **Revista Petro & Química**. Valete: São Paulo, 2015. Ano 38, n.361, p.12-15. Disponível em: https://issuu.com/editora_valete/docs/pq361. Acesso em: 11 ago. 2020.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Decreto n. 3.724, de 15 de janeiro de 1919**. Regula as obrigações resultantes dos acidentes no trabalho. Disponível em: http://www2.camara.leg.br /legin/fed/decret/1910-1919/decreto-3724-15-janeiro-1919-571001-norma-pl.html. Acesso em: 18 jun. 2020.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Decreto n. 4.085**, **de 15 de janeiro de 2002**. Promulga a Convenção nº 174 da OIT e a Recomendação nº 181 sobre a Prevenção de Acidentes Industriais Maiores. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2002/decreto-4085-15-janeiro-2002-434349-publicacaooriginal-1-pe.html. Acesso em: 23 jun. 2020.

BRASIL. Ministério da Economia. **Portaria n. 1082 de 18 de dezembro de 2018**. NR 13 - Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-13.pdf. Acesso em: 10 jul. 2020.

BRASIL. Presidência da República. **Lei 8212 de 24 de julho de 1997**. Dispõe sobre a organização da Seguridade Social, institui Plano de Custeio, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8212cons.htm Acesso em: 21 jun. 2020.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto n. 6042, de 12 de fevereiro de 2007**. Altera o Regulamento da Previdência Social, aprovado pelo Decreto no 3.048, de 6 de maio de 1999, disciplina a aplicação, acompanhamento e avaliação do Fator Acidentário de Prevenção - FAP e do Nexo Técnico Epidemiológico, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6042.htm. Acesso em: 21 jun. 2020.

BRASIL. Presidência da República. **Medida Provisória n. 870, de 01 de janeiro de 2019.** Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios. Disponível em: https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=MPV&numero=870&ano=2019&ato=31aETRq5keZpWTddb. Acesso em: 20 jun. 2020.

CAPELLI, Alexandre. **Automação industrial:** controle do movimento e processos contínuos. 2. ed. São Paulo: Érica, 2007.

CERIZZE, Bruno Martins. Fundamentação Teórica. *In:* CERIZZE, Bruno Martins **Aplicação do Método de Monte Carlo: um estudo de caso sobre o cronograma da parada geral para reforma do forno de redução 02.** 2020. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Especialização em Gerenciamento de Projetos) – Fundação Getúlio Vargas, Goiânia, 2020. Disponível em: https://www15.fgv.br/network/tcchandler.axd?TCCID=9585. Acesso em 21 jul. 2020.

COBEI. **Conheça o ABNT/CB-003:** Comitê Brasileiro de Eletricidade. Disponível em: http://cobei.org.br/abnt-cb-003-eletricidade/. Acesso em: 18 jun. 2020.

CORREA, Cármen Regina Pereira; CARDOSO JUNIOR, Moacyr Machado. Análise e classificação dos fatores humanos nos acidentes industriais. **Prod**., São Paulo, v. 17, n. 1, p. 186-198, Abr. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132007000100013&lng=en&nrm=iso. Acesso em 20 jun 2020.

GARCIA, Mayara Quijadas Ferreira. **Estudo e aplicação da Norma Regulamentadora nº12 para a segurança em Sistemas de Automação Industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-18042016-120938/publico/Garcia_Mayara_Quijadas_Ferreira-tcc.pdf. Acesso em: 29 jun. 2020.

GLASMEYER, Sergio Paulo. **Acidentes industriais maiores: uma proposta para o gerenciamento de riscos a partir de uma revisão de requisitos legais**. Dissertação (Mestrado em Sistema Integrado de Gestão) – Centro Universitário SENAC – Campus Santo Amaro, São Paulo, 2006. Disponível em: https://www.sapili.org/livros/pt/cp042189.pdf. Acesso em: 10 ago. 2020.

LEITE, Felipe Silva Lobo. **Sistema de gestão de segurança de processo baseada em riscos na indústria do petróleo**. 2018. 81f. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia de Petróleo) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10025372.pdf Acesso em: 10 ago. 2020.

LIMA, Juliano. Introdução. Principais diferenças entre EP Standard e EP SIL. Diagrama de Blocos de Confiabilidade. Arquiteturas de Votação. *In*: LIMA, Juliano. **Metodologia para utilização de controladores programáveis standard em sistemas de segurança** .2020. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/216428. Acesso em: 27 ago. 2021.

MELO, Ana Paula Alves Viana. **Nível de Integridade de Segurança (SIL) integrado com fatores humanos e organizacionais**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://epqb.eq.ufrj.br/download/nivel-de-integridade-de-seguranca-sil.pdf. Acesso em: 30 jun. 2020.

MILHEIRO, Jaime Barbosa. Introdução. *In*: MILHEIRO, Jaime Barbosa. **Uma análise da atuação da engenharia de manutenção durante as atividades de comissionamento**: estudo de caso. 2012. 47 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) **-** Universidade Santa Cecília, Santos, 2012. Disponível em: https://unisanta.br/arquivos/mestrado%5Cmecanica%5Cdissertacoes%5CANALISE_ATUACAO_ENGENHARIA_COMISSIONAMENTO.pdf. Acesso em: 10 ago. 2020.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR-13**. Ministério da Economia. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-13.pdf. Acesso em: 10 jul. 2020.

OLIVEIRA, Anderson J. R. et al. **Uma abordagem sobre manutenção de processos instrumentados com foundation fieldbus**. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 21, CBA2016. UFES, Vitória - ES, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311617866_UMA_ABORDAGEM_SOBRE_MANUTENCAO_DE_PROCESSOS_INSTRUMENTADOS_COM_FOUNDATION_FIELDBUS. Acesso em: 11 ago. 2020.

ROCHA, Carolina de Souza; SOUZA, Bruna de Jesus. Compreendendo a nova Norma ISO 45001 e sua relação com a OHSAS 18001. *In:* **Gestão da Produção em Foco**. v. 39, p. 107, Belo Horizonte: Poisson.2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Moises_Coelho2/publication/338959210_Estudo_de_melhoria_do_ambiente_produtivo_por_meio_de_ferramentas_da_producao_em_uma_malharia_em_Itacoatiara_-_AM/links/5e614c3e92851c7d6f25878c/Estudo-de-melhoria-do-ambiente-produtivo-por-meio-de-ferramentas-da-producao-em-uma-malharia-em-Itacoatiara-AM.pdf#page=107 . Acesso em: 26 nov. 2020.

ROMANELLI, Jordana Salete. Referencial Teórico. *In*: ROMANELLI, Jordana Salete. **Análise de viabilidade da manutenção de equipamentos eletrônicos na agroindústria**. 2016. 105 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) – Universidade Federal da Fronteira Sul - Campus Chapecó, Chapecó. 2016. Disponível em: https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/1414/1/ROMANELLI.pdf. Acesso em 21 jul. 2020.

ROSÁRIO, João Maurício. **Automação industrial.** São Paulo: Editora Baraúna, 2009.

SENAI Automação. O que é. **Portal da Indústria**. 2020. Disponível em: http://www.portaldaindustria.com.br/senai/canais/senai-automacao/o-que-e/. Acesso em: 09 jul. 2020.

SILVA, Joseney Domingues da. **Estudo sobre sistemas instrumentados de segurança: conceitos, regulamentação e aplicações na indústria**. 2012. 61 f. Monografia (Especialização em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1903/1/CT_CEAUT_III_2012_13.pdf. Acesso em: 09 jul. 2020.

SOARES, Vinícius Barroso. **Análise crítica das camadas de proteção exigidas pela NR 13 e sua adequação para processos de extração supercrítica**. 2010. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) –Engenharia Química, Processos de Separação e Termodinâmica Aplicada, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010. Disponível em: http://cursos.ufrrj.br/posgraduacao/ppgeq/files/2019/08/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Corrigida.pdf. Acesso em: 30 jun. 2020.

SQUILLANTE JÚNIOR, Reinaldo. **Diagnóstico e tratamento de falhas críticas em sistemas instrumentados de segurança**. 2011. 158 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3152/tde-20032012-113746/publico/Dissertacao_RSJ.pdf. Acesso em: 29 jun. 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica pela orientação e compartilhamento do conhecimento nas várias disciplinas do curso. Em especial ao professor Ladivez pelo desafio da abrangência desse artigo, e por possibilitar “ver a floresta e não a árvore” e, dessa forma ampliar meu conhecimento de temas tão importantes e tão imbricados. A Reinado Squillante Junior - um dos autores citados neste artigo – pela disponibilidade, esclarecimentos e orientações relacionados a IEC 61508:2010. A Braskem pelo acesso às normas técnicas brasileiras e necessárias à elaboração deste artigo, e por possibilitar a prática muitos dos assuntos aqui descritos, assim como as empresas que já trabalhei como Consórcio de Alumínio do Maranhão, Vale S.A. e SENAI-MA.

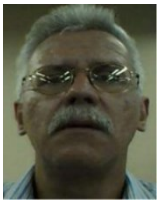
Ao meu esposo Edson, por compreender o motivo de minha ausência em muitos de nossos sábados durante o curso, e elaboração desse trabalho. A minhas irmãs Viviane e Kelma, e aos meus pais Vicente e Marlene, o alicerce do que sou.

Sobre os autores

[i] CECILIA PEREIRA DOS SANTOS MATOS

É graduada em Tecnologia em Eletrônica Industrial (2007) pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão e Engenharia Elétrica (2015) pela Universidade Anhanguera de São Paulo. Pós-Graduada em Ergonomia (2008) pela Universidade Federal do Maranhão, e Engenharia de Segurança do Trabalho (2016) pela Universidade Cândido Mendes. Pós-graduanda em Automação Industrial pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2020). Contribui com sua experiência na área de Saúde e Segurança do Trabalho, no controle de riscos pertinentes à Higiene Ocupacional e Ergonomia. Atualmente é Engenheira de Saúde, Segurança e Meio Ambiente na Braskem S.A.

[ii] PAULO SEBASTIÃO LADIVEZ



Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Mogi das Cruzes (1984) com especialização em Tecnologias e Sistemas de Informação pela Universidade Federal do ABC (2013). Atualmente é professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, lecionando as disciplinas Projetos, Microcontroladores, Linguagem de Programação no Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial e na Pós-Graduação em Automação Industrial. Tem experiência na área de Engenharia Eletrônica, com ênfase em Automação Industrial e Mecatrônica, atuando principalmente nos seguintes temas: Mecatrônica, Manufatura Digital, Redes Industriais, Automação Industrial, Microcontroladores e Controle.

[iii] JULIO CESAR DE ALMEIDA FREITAS

Possui graduação em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário da FEI (1991) e mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2004). Atualmente é Professor Educação Profissional Tecnológica - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e engenheiro consultor - Fn Consultoria e Treinamentos. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Robotização, atuando principalmente nos seguintes temas: robô, programação, programação on-line, programação off-line, soldagem robotizada.

[iv] DANIEL CAMUSSO

Mestrando Profissional pela Universidade de Taubaté - UNITAU (previsão de término 2021).Pós-Graduado em Industrial 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (previsão de término 2021). Pós-Graduado em Engenharia Automobilística pela Faculdade de Engenharia Industrial - FEI (2000). Aperfeiçoamento em CAD/CAM/CAE pela Dassault Systemes em Paris - França. Graduado em Engenharia Mecânica Plena pela FEI (1996). Atualmente é docente no curso Técnico em Mecatrônica pela Escola SENAI Armando de Arruda Pereira. Foi docente do curso Superior "Tecnologia Mecatrônica Industrial" pela Faculdade SENAI e do curso de "Pós-Graduação em Projetos, Manufatura e Análise de Engenharia. Também docente do curso de especialização de CAD/CAE para Engenheiros de Países da América Latina (Convênio Brasil JICA Japan International Cooperation Agency). Participação no projeto Bleriot, um trabalho colaborativo entre Brasil, França e Índia e apresentado em 2009 na Feira Internacional de Aviação em Le Borget (França. Possui experiência como engenheiro na área de desenvolvimento de novos projetos para a indústria automobilística, utilizando o software CATIA e NX.