



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

THIAGO JONATAN SILVA XAVIER

PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA DE APOIO AO GERENCIAMENTO DE
RISCOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE PROTEÇÃO CONTRA
INCÊNDIO: ESTUDO DE CASO NUMA USINA DE TRATAMENTO MECÂNICO
BIOLÓGICO

Recife
2023

THIAGO JONATAN SILVA XAVIER

**PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA DE APOIO AO GERENCIAMENTO DE
RISCOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE PROTEÇÃO CONTRA
INCÊNDIO: ESTUDO DE CASO NUMA USINA DE TRATAMENTO MECÂNICO
BIOLÓGICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gerência da Produção

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hazin Alencar

Recife

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4/1502

X3p

Xavier, Thiago Jonatan Silva.

Proposição de metodologia de apoio ao gerenciamento de riscos para a implantação de projetos de proteção contra incêndio: estudo de caso numa usina de tratamento mecânico biológico. / Thiago Jonatan Silva Xavier. – 2023.

84 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hazin Alencar.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção. Recife, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de produção. 2. Gerenciamento de risco. 3. Segurança contra incêndio. 4. Padronização de processos. 5. FMEA. I. Alencar, Marcelo Hazin (orientador). II. Título.

658.5 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2023-228

THIAGO JONATAN SILVA XAVIER

**PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA DE APOIO AO GERENCIAMENTO DE
RISCOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE PROTEÇÃO CONTRA
INCÊNDIO: ESTUDO DE CASO NUMA USINA DE TRATAMENTO MECÂNICO
BIOLÓGICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Gerência da Produção.

Aprovada em: 04/10/2023.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Marcelo Hazin Alencar (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Rodrigo José Pires Ferreira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profª. Dra. Bianca Maria Vasconcelos Valério (Examinador Externo)
Escola Politécnica de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

À minha bela e amada esposa Thamara Xavier, fonte inesgotável de amor e resiliência.

Aos meus queridos filhos Luiz Gustavo, Theodoro Kalil e Tharsila Marrie, expoentes de carinho, ternura e beleza em minha vida.

Aos colegas de trabalho e grupo de professores do PPGE/UFPE, em especial ao meu orientador Dr. Marcelo Hazin Alencar, pelo apoio irrestrito e pela confiança na conclusão dessa pesquisa.

Aos meus colegas de mestrado, pela força, honra e energia compartilhados durante todo o período de formação.

RESUMO

Os riscos de incêndios inerentes aos processos produtivos crescem conforme aumenta a concepção de novas tecnologias e processos produtivos, assim como, a complexidade destas operações e sistemas. Diante deste cenário, o presente estudo propõe uma metodologia de apoio ao gerenciamento de riscos para a implantação de projetos de proteção contra incêndio, permitindo uma padronização dos processos internos através de ferramentas como checklists e a incorporação da metodologia FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) voltada à formulação de um plano de ação operacional para manutenção do sistema de proteção contra incêndio. A pesquisa aponta que o aperfeiçoamento da operacionalização do processo decisório no tocante ao gerenciamento de risco no contexto em estudo pode ser obtido por meio da integração de ferramentas simples, através de métodos de baixo custo financeiro. Um estudo de caso é apresentado a partir dos aspectos reais observados numa instalação de usina de compostos orgânicos situada na região centro-oeste do Brasil. Os resultados apresentados pelo presente estudo mostraram-se satisfatórios quanto ao fornecimento de critérios objetivos no processo de tomada decisão ligado ao gerenciamento de risco de incêndio envolvendo grandes empreendimentos públicos. A partir do estudo de caso proposto, foi possível alcançar também, de forma indireta, a ampliação de estudos técnicos científicos ligados à discussão de elementos essenciais ao cenário de sistemas de proteção contra incêndio, bem como, o fornecimento de um modelo estruturado do processo de tomada de decisão fundamentado no procedimento de gerenciamento de riscos. Essa padronização do processo permite subsidiar o processo de tomada de decisão que pode ser replicado por servidores públicos no que tange o arcabouço de contratação, revisão e manutenção de sistemas de proteção contra incêndios dentro dos órgãos da esfera pública ou adaptado aos aspectos específicos relacionados à esfera privada.

Palavras-Chave: gerenciamento de risco; segurança contra incêndio; padronização de processos; FMEA.

ABSTRACT

The risks of fires related to production processes increase as the design of new technologies and production processes increases, as well as the complexity of these operations and systems. Given this scenario, the present study proposes a methodology to support risk management for implementing fire protection projects, allowing for the standardization of internal processes through checklists and incorporating the external FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) methodology and formulating an operational action plan for the maintenance of the fire protection system. The research points out that improving the operationalization of the decision-making process regarding risk management in the context of the study can be obtained by integrating simple tools using low financial cost methods. A case study is presented based on fundamental aspects observed in an organic compounds plant installation in Brazil's central-western region. The results presented by this study proved to be a priority regarding the set of criteria in the decision-making process linked to fire risk management involving large public projects. From the proposed case study, it was also possible to indirectly achieve the expansion of technical and scientific studies linked to the discussion of essential elements in the scenario of fire protection systems, as well as the provision of a structured model of the fire protection process. Decision making based on the risk management procedure. This standardization of the process allows to support the decision-making process that can be replicated by public servants about the framework for contracting, reviewing, and maintaining fire protection systems within public sphere bodies or adapted to specific aspects of the private sphere.

Keywords: risk management; fire safety; process standardization; FMEA.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CBM	Corpo de Bombeiros Militar
CFD	Computational Fluid Dynamics
COL	Compostos Orgânicos de Lixo
DHFS	Dual Hesitant Fuzzy sets
ENESEP	Encontro Nacional de Engenharia de Produção
FDS	Fire Dynamics Simulator
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FMMEA	Failure Mode Methods Effects Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
GNL	Gás Natural Liquefeito
HAZOP	Hazard Operability Study
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
ISA	International Society of Automation
ISO	International Organization for Standardization
MCDM	Multiple-criteria decision-making
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBR	Norma Brasileira
NFPA	National Fire Protection Association
PHMSA	Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPCI	Projeto de Proteção Contra Incêndio
ROC	Rank Order Centroid
RPN	Risk Priority Number
SCIP	Segurança de Contra Incêndio e Pânico
SENASP	Secretaria Nacional de Segurança Pública
SGSSO	Sistema de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
UFSM	Urban Fire Spread Model
UTMB	Unidade de Tratamento Mecânico Biológico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	11
1.2	CONTEXTO E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	14
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo Geral	17
1.3.2	Objetivos Específicos	17
1.4	METODOLOGIA	18
1.5	DELIMITAÇÃO DO TEMA	19
2	BASE CONCEITUAL E REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	GERENCIAMENTO DE RISCOS	20
2.2	SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO	23
2.3	ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA)	26
2.4	REVISÃO DA LITERATURA	29
2.4.1	Gerenciamento de Risco em Sistemas de Proteção Contra Incêndio	29
2.4.2	Aplicabilidade do FMEA nos diversos contextos	35
3	METODOLOGIA PROPOSTA	40
3.1	METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO (PPCI) EM USINA DE TRATAMENTO MECÂNICO BIOLÓGICO	40
4	ESTUDO DE CASO	50
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	50
4.2	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	54
4.2.1	Fase 01 - Definição da Estratégia de Implementação	54
4.2.2	Fase 02 – Aquisição do Projeto	57
4.2.3	Fase 03 – Análise e Revisão dos Projetos (Aprovação)	59
4.2.4	Fase 04 – Manutenção do Sistema	62
4.2.5	Fase 05 – Retroalimentação	72
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
6	CONCLUSÕES	76
	REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

O ambiente industrial está sujeito a riscos elevados de ocorrência de incêndios por diversos fatores como o armazenamento de materiais, envolvimento de processos de origem térmica, elétrica e química, entre outros.

Neste cenário é fundamental que sejam adotadas medidas de proteção das vidas das pessoas e do patrimônio.

Diante deste contexto, são necessários investimentos bem direcionados para alcançar um equilíbrio entre o desenvolvimento industrial sustentável e uma plena condição de segurança nesses ambientes. As metodologias de gerenciamento de risco para a segurança da vida e patrimônio em incêndios e explosões em edifícios desempenha um papel importante na definição e ampliação da regulamentação das técnicas utilizadas nos processos de proteção contra incêndios (POLKA, 2020).

Estudos recentes, aos exemplos de Baek *et al.* (2020), que desenvolveram um novo algoritmo de detecção de incêndio baseado em vários sensores em diferentes locais para fornecer monitoramento de incêndio confiável em tempo real e Osacar (2020), fazendo uma análise das falhas regulatórias que foram observadas na área de regulamentação de segurança contra incêndio em edifícios na Inglaterra e em outros lugares da Europa, visam desenvolver uma análise estruturada e integrada para investigação e avaliação de estratégias da segurança contra incêndios, incluindo antecipação dos riscos, proteção e meios eficientes de intervenção.

Essas técnicas são direcionadas ao apoio de decisão gerencial relativo à mitigação de riscos, objetivando alcançar níveis toleráveis desses riscos e, conseqüentemente, proporcionar maior segurança aos processos (ALMEIDA et al., 2015).

Tradicionalmente, as técnicas mais aplicadas no gerenciamento de risco de incêndio em empreendimentos industriais possuem uma tendência na análise da relação entre nível de gravidade e probabilidade de ocorrência, contendo diversas variações entre os métodos empregados e sua forma de aplicação, sejam os métodos mais tradicionais, como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) e HAZOP (*Hazard Operability Study*), assim como, diversas variações autorais, que visam eliminar ou reduzir incertezas, características subjetivas e análises qualitativas na análise de risco, além da introdução na análise de características particulares das operações e sistemas.

A partir da análise do referencial teórico presente no estudo, constatou-se a baixa influência do Brasil em publicações de pesquisas acadêmicas em torno da temática de proteção contra incêndios nos últimos anos, principalmente, se comparada com a quantidade de

publicações nos países considerados como de primeiro mundo, com alto IDH (Índice de Desenvolvimento Humano).

Frente ao potencial de grandes empreendimentos e capacidade construtiva brasileira, a pesquisa propõe uma combinação de ferramentas aplicadas em série buscando a efetivação da padronização dos processos internos da organização alvo do estudo.

Entre eles, buscou-se a padronização dos requisitos de habilitação técnica necessários para a seleção de empresas de engenharia fornecedoras dos serviços de concepção de projetos de proteção contra incêndios, assim como houve a busca pela padronização do processo interno de análise e revisão dos projetos adquiridos, procedimento realizado pela equipe técnica interna da empresa alvo do estudo, no qual foram estabelecidos os critérios mais relevantes para análise desses projetos diante da possibilidade de inconsistência e variabilidade das informações tratadas anteriormente à adoção do modelo proposto.

Por fim, diante da sua implementação, foi proposta a aplicação da metodologia FMEA no processo de análise de riscos operacionais e priorização das atividades de manutenção e operabilidade do sistema de proteção contra incêndio, sendo este cenário relacionado ao gerenciamento de risco de incêndio envolvendo um depósito de compostos orgânicos localizado na região Centro-oeste do Brasil, um projeto em fase de estudo e implantação abrangendo uma área total de 31.000 m² de área construída, resultado de um processamento médio mensal de 6 mil toneladas de lixo orgânico.

Esta pesquisa, a partir de um estudo de caso real, limitou-se à abordagem operacional no contexto industrial de gerenciamento de risco envolvendo proteção contra incêndio relativo ao processamento de compostos orgânicos oriundos do lixo urbano processado, que possui certa particularidade pelo alto risco envolvido no processo devido à formação espontânea de atmosfera explosiva por conta dos gases inflamáveis como metano, hidrogênio, amoníaco, entre outros.

Entretanto, almeja-se estabelecer que a aplicabilidade desta metodologia seja direcionada aos componentes do sistema de proteção contra incêndio, ou seja, fornecer elementos básicos de análise do sistema de gerenciamento de risco de incêndio em todas as suas fases (aquisição, revisão e manutenção) e, portanto, possibilitar sua aplicabilidade em outros atores do mercado, sejam eles relacionados à esfera pública ou privada.

Dessa forma, a dissertação está organizada em 05 (cinco) capítulos. O capítulo 1 traz a introdução do trabalho, o contexto e a descrição do problema, seus objetivos e suas limitações. O capítulo 2 apresenta reúne a revisão da literatura. O capítulo 3 contém a metodologia proposta e sua aplicação. O capítulo 4 traz a apresentação e a discussão dos resultados. Por fim, o capítulo

5 apresenta as conclusões e as oportunidades de trabalho futuros na área da pesquisa.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O ordenamento jurídico brasileiro, através da Constituição Federal (1988) estabelece a obrigatoriedade de promoção e proteção da saúde e segurança dos trabalhadores urbanos e rurais, direcionando tais ações através de medidas previstas em leis ordinárias e regulamentos infralegais. Além das legislações estaduais, pode-se citar a Norma Regulamentadora N.º 23 – PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS do Ministério do Trabalho e Emprego, a qual estabelece medidas de prevenção contra incêndios nos ambientes de trabalho.

Entretanto, as medidas de proteção contra incêndio definidas em normas e leis não protegem apenas aos trabalhadores, de forma adicional, fornecem proteção a todo o sistema empresarial presente naquele espaço ocupado, proteção ao patrimônio, proteção à comunidade circunvizinha e ao meio ambiente.

A legislação brasileira ainda é insipiente no que tange os sistemas de proteção contra incêndio, existem grandes discrepâncias e lacunas no tratamento de medidas de proteções essenciais para cada atividade econômica, variando entre as unidades federativas, alguns dos Estados brasileiros possuem legislação com mais de 20 (vinte) anos sem atualização.

A estruturação das ações de funcionamento e manutenção das medidas de proteção contra incêndio definidas nos regulamentos técnicos e normativos através da padronização de processos internos e aplicação do FMEA são formas de buscar a priorização dessas medidas e subsidiar os gestores na tomada de decisão pautadas nos processos de gerenciamento de risco.

O presente estudo visa suplementar tais regulamentos normativos fornecendo uma metodologia de priorização de ações necessárias para um amplo e eficaz funcionamento de todo o sistema de proteção contra incêndio e servir de modelo para aplicação em outros campos empresariais do Brasil.

Portanto, o estudo visa preencher a lacuna normativa demonstrando um caso prático de aplicação de ferramentas voltadas à padronização dos processos internos através da utilização de *checklists* e a aplicabilidade do FMEA como etapas do processo de gerenciamento de risco de incêndio, bem como a retroalimentação deste sistema através do fornecimento de elementos indispensáveis ao ciclo de melhoria contínua do mesmo, conforme os critérios da norma ABNT NBR ISO 31000:2018 – Gestão de riscos – Diretrizes, adotando a implementação de um projeto de construção de armazenamento de compostos orgânicos resultantes dos resíduos do lixo urbano.

No que tange o aspecto social, a possibilidade de desencadeamento de incêndios pode

envolver panoramas desastrosos, considerando a pouca incidência de áreas destinadas exclusivamente à alocação de infraestrutura das organizações empresariais, fator de grande severidade associado ao incêndio.

O Brasil possui um cenário de concentração urbana em expansão contínua, porém de forma desordenada na maior parte dos casos, o que normalmente envolve a combinação entre infraestrutura habitacional com infraestrutura de empreendimentos empresariais em suas manchas urbanas.

Essa variável amplifica exponencialmente o potencial de risco, pois afeta diretamente o fator de severidade, tendo em vista a grande capacidade de dano resultante em relação a possibilidade de concentração de vidas humanas no entorno desses empreendimentos empresariais, devendo este cenário também ser alvo de monitoramento constante no processo de gerenciamento de riscos por parte das organizações empresariais.

A inobservância de regulamentos técnicos relativos ao processo de gerenciamento de risco aplicado ao processo de proteção contra incêndio dentro das organizações, sejam elas vinculadas ao poder públicos ou entes privados, resulta na ampliação de exposição aos riscos financeiros relativos ao desencadeamento de possíveis sinistros, considerando a possibilidade de perda patrimonial envolvendo o parque industrial, fatores humanos, a sociedade e o meio ambiente, todos esses aspectos desaguando em exposição negativa perante as mídias e a sociedade como um todo.

Ilustra-se que, a depender do tipo de organização e sua robustez financeira prévia, a ocorrência de incêndios de grandes proporções poderá inviabilizar totalmente a continuidade do negócio.

Deste modo, o incremento de ações ligadas ao processo de proteção contra incêndios destinadas ao processo de tomada de decisão dentro das organizações deve ser fator relevante em qualquer tipo de empreendimento empresarial. O que pode ser interpretado erroneamente pelo simples atendimento de forma completa aos requisitos normativos presentes na legislação do Corpo de Bombeiros, Código de Obras da cidade e normas da ABNT.

Entretanto, diante da necessidade de atendimento das medidas normativas serem fator requerido ao sistema de proteção contra incêndio, o avanço no estudo de medidas estruturadas relativas ao processo de gestão de risco envolvido o sistema de proteção contra incêndio deve subsidiar a mitigação das incertezas inerentes ao processo de tomada de decisão, como por exemplo, a determinação de ações prioritárias no processo de manutenção dos sistemas de proteção ativos e passivos já implementados.

O fator econômico também se demonstrou muito relevante perante a continuidade das

ações do processo de implementação da metodologia proposta, tendo em vista que a opção por adoção de sistemas de proteção que não envolvam o embasamento técnico, podem amplificar muito os valores de aquisição, instalação e manutenção desses sistemas, principalmente quando referente ao tamanho do projeto a ser implementado, sendo de aproximadamente 31.000 m² no estudo de caso proposto.

Ou seja, durante a fase de revisão e aprovação do projeto de proteção contra incêndio, é extremamente importante que o profissional (tomador de decisão) possua capacidade técnica para discernir em uma relação entre as medidas legais exigíveis e as medidas de ampliação realmente necessárias, pautadas em embasamento técnico e teórico, considerando a seleção dos métodos de proteção do sistema.

Quanto a possibilidade de desencadeamento de incêndios, o estudo não se propôs ao encerramento da discussão de todas as possíveis variáveis inerentes ao processo de gestão de riscos voltado ao processo de proteção contra incêndio dentro da organização alvo, porém, conseguiu demonstrar a importância da construção de controles operacionais padronizados voltados ao incremento das ações adotadas por meio do corpo técnico especializado da empresa, sendo este elemento fundamental ao avanço das discussões e desenvolvimento de novas técnicas ligadas ao processo de proteção contra incêndio no cenário brasileiro. A partir daí, possibilitar a pulverização de ideias dentro das empresas, universidades e sociedade em geral.

Deste modo, conclui-se que o estudo estende sua relevância aos aspectos sociais, econômicos e ambientais, considerando o potencial de cenários catastróficos envolvendo incêndios, ao exemplo de ocorrências ligadas à destruição de parques florestais preservados, comunidades circunvizinhas do agente de origem, descontinuidade de organizações empresariais, redução da oferta de empregos na comunidade atingida e fatores ligados à vida humana etc.

Como resultado do presente estudo, pretende-se fornecer como impacto real à sociedade a ampliação de estudos científicos relacionados à estruturação de gestão de risco de incêndios perante as características especificamente brasileiras.

Assim como, tais iniciativas, objeto do presente estudo, interagem diretamente com a estruturação, através de um modelo prático, do processo de tomada de decisão e priorização de ações necessárias para a manutenção dos sistemas de proteção contra incêndio de acordo com as especificidades de cada empreendimento que o adote.

Por fim, aspira-se fornecer elementos básicos para o enriquecimento da regulamentação brasileira no que tange o gerenciamento de risco de incêndios e, respectivamente, as ações necessárias na tratativa desde inconveniente.

1.2 CONTEXTO E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O presente estudo pautou-se pela apreciação da implementação do sistema de proteção contra incêndio em uma Usina de Tratamento Mecânico Biológico (UTMB) de resíduos orgânicos oriundos do lixo urbano em uma autarquia governamental situada na região centro-oeste do Brasil, especificamente, referente à construção de um depósito do material em processamento, que a partir de demandas regulatórias estabelecidas pelo Ministério Público e órgãos ambientais fiscalizatórios, objetivar a eliminação do processamento de material orgânico a céu aberto.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), publicada em 02 de agosto de 2010, foi elaborada com o objetivo de gerenciar de forma mais efetiva os problemas referentes aos resíduos sólidos a nível nacional, além de abordar sobre tópicos como a coleta de resíduos sólidos, sua adequada deposição final, a alocação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

Souza (2018) observa que, a maior prioridade em termos de sustentabilidade, assim como a redução da quantidade de resíduos aterrados é, atualmente, a reutilização do resíduo sólido urbano por meio da reciclagem ou da valorização da fração orgânica através da digestão anaeróbica ou da compostagem, sendo intermediário o tratamento térmico, menos sustentável a utilização de aterros sanitários, e como pior tecnologia os chamados lixões, sendo a última, forma de disposição não indicada, apesar de ainda ser utilizada em muitos lugares.

Já os aterros sanitários são aconselháveis para a disposição de materiais não-reaproveitáveis, assim como também, segundo a estrutura podem servir como forma de tratamento de resíduos.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos sólidos podem ser definidos como:

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.” (BRASIL, 2010).

Os Compostos Orgânicos de Lixo (COL) são obtidos pela compostagem dos resíduos sólidos urbanos da coleta convencional e pode ser utilizado em diversos tipos de cultivos, especialmente, do caso em análise, como forma de distribuição gratuita como fomento da agricultura familiar do país.

A compostagem é um processo biológico de tratamento e estabilização de resíduos orgânicos para a produção do composto, nome dado ao fertilizante orgânico assim produzindo. Durante a compostagem, a matéria orgânica é decomposta principalmente através da ação de microrganismos e enzimas, resultando na fragmentação gradual e oxidação dos detritos (BUDZIAK et al, 2004). Como resultante desse processo químico-biológico, temos a geração de gases inflamáveis, sendo o metano (CH_4) o principal produto em maior proporção.

De acordo com INÁCIO (2010), a emissão de CH_4 nas leiras de compostagem possuem alto valor de emissão, variando de acordo com o tamanho das leiras e a origem dos resíduos, podendo alcançar valores de até $12,9 \text{ g CH}_4.\text{kg}^{-1}$.

A figura 01 ilustra a área de estocagem dos resíduos sólidos em seu processo de compostagem orgânica a céu aberto.

Figura 1 - Leiras de Compostos Orgânicos



Fonte: O autor (2022)

Um dos efeitos do metano está associada à fatores toxicológicos nos trabalhadores expostos ao gás, que incolor e inodoro, com possibilidade de provocar náuseas, vômitos e até a perda da consciência.

O gás é altamente inflamável, possuindo os limites de inflamabilidade entre 5% e 15,4% de concentração no ambiente. Ou seja, com apenas 5% de acúmulo do metano no depósito, existe a possibilidade de explosão a partir de quaisquer faíscas ou ignição espontânea conforme aumento da temperatura ambiente.

Diante deste cenário, tornou-se necessário o desenvolvimento de uma metodologia baseada no processo de padronização dos procedimentos internos vinculados ao modelo de tomada de decisão imperativo na organização alvo do estudo, por meio do qual são realizados os processos de gerenciamento de risco envolvendo o sistema de proteção contra incêndio do novo empreendimento como forma de identificar e mitigar os riscos de forma ampla e estruturada.

No presente estudo são analisados, a partir da metodologia proposta, além do processo de padronização de gestão de risco adotados pela empresa alvo do estudo, os componentes de detecção de fumaça, componentes da central de alarmes de incêndio e componentes da rede hidrantes. Assim, desenvolver de forma estruturada a tentativa de identificação antecipada de todas suas possíveis falhas dos componentes de proteção contra incêndio, suas causas e mitigar seus possíveis efeitos.

Devidos as características administrativas da empresa alvo do estudo, tratando-se de uma organização representante da administração pública, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas que subsidiem toda a cadeia de gestão de risco no que tange o sistema de proteção contra incêndios na construção ou reforma de novos empreendimentos construtivos, partindo assim desde o processo de aquisição dos serviços e seleção dos fornecedores, passando pelo processo de análise e aprovação dos projetos que envolve o processo de tomada de decisão, finalizando com a formalização do processo de manutenção do sistema em seu pleno funcionamento.

Tendo em vista a pouca variabilidade na forma de operação desses componentes, o presente estudo visa de forma intrínseca fortalecer a metodologia de gerenciamento de risco associado ao sistema de proteção contra incêndio, o qual possibilitará sua aplicabilidade nos mais diversos segmentos empresariais.

Tal iniciativa, propicia o fornecimento de subsídios técnicos estabelecidos a partir de um método qualitativo estruturado na definição e priorização de ações necessárias à tomada de decisão de gestores, operadores e equipes de manutenção.

A despeito de não ser objeto do presente estudo, durante o levantamento inicial de informações necessárias ao desenvolvimento do presente estudo e somado ao fato do projeto ainda não ter sido executado, estando em fase de elaboração por empresa selecionada a partir de processo licitatório e gerenciado por equipe interna de engenharia pertencente ao órgão governamental alvo do estudo.

Foi possível apontar junto aos engenheiros responsáveis pelo planejamento e coordenação da obra que o projeto não previa inicialmente o estabelecimento de sistemas de

exaustão dos depósitos, o que facilitaria a possibilidade de pontos de acúmulo de gases inflamáveis e tóxicos, tendo em vista a ampla área de cobertura do empreendimento, com superfícies de coberturas contínuas possuindo até 10.080 m². Tal problemática foi facilmente resolvida após reunião da equipe de engenharia responsável e solicitação de revisão do projeto para a empresa contratada.

1.3 OBJETIVOS

Neste subitem são apresentados objetivo geral e objetivos específicos relativos à proposta do estudo desenvolvido.

1.3.1 Objetivo Geral

Considera-se como objetivo geral do presente estudo a proposição de uma metodologia voltada ao processo de gerenciamento de riscos aplicada na implementação de sistemas de proteção contra incêndio numa usina de tratamento mecânico biológico, situação obtida por meio da estruturação e auxílio ao processo de tomada de decisão através de um modelo prático da priorização de ações necessárias para a contratação, aprovação e manutenção dos projetos de sistemas de proteção contra incêndio.

1.3.2 Objetivos Específicos

A seguir são apresentados os objetivos específicos que servirão de base para se alcançar o objetivo geral:

- Padronizar o processo de contratação dos serviços de engenharia de incêndio no âmbito de licitações públicas;
- Padronizar o processo de análise, revisão e, consequentemente, aprovação dos projetos de sistema de proteção contra incêndios antes da execução da obra objetivando a real adequação dos projetos não apenas aos requisitos normativos, mas considerando o subdimensionamento ou superdimensionamento dos componentes do sistema de proteção;
- Aplicar a metodologia FMEA relacionada ao gerenciamento de riscos de incêndios no armazenamento de resíduos sólidos orgânicos como etapa dos requisitos necessários para atendimento da norma ABNT NBR ISO 31000:2018 – Gestão de riscos – Diretrizes;
- Avaliar os resultados do estudo de caso em uma usina de compostagem de

resíduos orgânicos localizada no centro-oeste do Brasil; e

- Avaliar a aplicabilidade do método selecionado, de suas limitações e potencialidades.

1.4 METODOLOGIA

A ideia inicial da pesquisa foi pautada na norma ABNT NBR ISO 31000:2018 objetivando a padronização dos processos internos de gerenciamento de risco de incêndios na implementação de novas unidades operacionais industriais relacionadas ao tratamento de resíduos sólidos urbanos através da sistematização do processo de aquisição, análise e manutenção do projeto de proteção contra incêndio (PPCI), conforme a aplicabilidade de checklists, metodologia FMEA e retroalimentação do sistema de gerenciamento.

A partir do qual será proposto um modelo funcional nos mais diversos campos empresariais visando a estruturação da tomada de decisão na condução e gerenciamento desses sistemas.

Foi adotado um modelo proposto por Miguel (2012), que estabelece uma classificação focada na coleta, análise e comunicação dos dados investigados. Para o autor, a pesquisa será de natureza aplicada, uma vez que se destina a identificar instrumentos de medição e parâmetros para analisar e gerenciar riscos, eliminando-os ou mitigando seus efeitos.

Diante da tratativa baseada na percepção de risco envolvendo a ótica individual do executor da atividade, além dos gestores envolvidos no processo de decisão, Miguel (2012) define que a pesquisa deverá ter uma abordagem qualitativa, quanto a sua natureza. Nesse modelo de abordagem, se objetiva coletar dados entendidos como qualitativos, pois referentes ao sistema de gestão, processos e atividades.

Quanto ao objetivo, a pesquisa será de natureza exploratória, pois se deseja investigar a análise, a avaliação e o gerenciamento de risco na condução prática de sistemas de proteção contra incêndios em empreendimentos industriais, campo de pesquisa pouco desenvolvido no meio acadêmico brasileiro.

Diante da necessidade de demonstrar os vínculos causais na execução das atividades pesquisadas, em busca de identificar falhas e propor medidas para gerenciamento das mesmas, a aplicação proposta será do tipo explanatória (MIGUEL, 2012). Nesse sentido, através da aplicação, se pretende responder a questões de como as falhas podem ser evitadas? O modelo é capaz de propor ações suficientes para o gerenciamento de sistemas de proteção contra incêndio? O modelo pode ser replicado ou adaptado em outros contextos empresariais?

1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Primeiramente, deve-se compreender que o termo “segurança contra incêndio” possui entendimento ampliado. “Proteger contra o incêndio é mais abrangente, vai além do que dispor dos recursos técnicos para coibir o incêndio ou de medidas antecipativas que evitem o surgimento do fogo” (QUALHARINI, 2007, apud RODRIGUES, 2015).

Portanto, o presente estudo visa abordar a temática de forma ampla realizando uma correlação entre o tema com a padronização dos processos internos que envolvem a implementação de sistemas de proteção contra incêndios em unidades operacionais da organização alvo do estudo. Sendo este processo de padronização interpretado como etapa das diretrizes de gestão de risco, conforme modelo disposto pela norma ABNT NBR ISO 31000:2018.

O estudo limitou-se à abordagem em processos industriais de alto risco, especificamente, em um processo de armazenamento de resíduos sólidos orgânicos com geração de gases inflamáveis inerentes a esse processo industrial.

No entanto, tal iniciativa visa a formulação de uma metodologia que possa ser utilizada de forma ampliada em outros aspectos de riscos operacionais nos vários contextos industriais presente no cenário brasileiro, como forma de subsidiar informações estruturadas aos tomadores de decisão.

Buscou-se abranger as principais fases do processo de operacionalização de um sistema de proteção contra incêndio, compreendendo assim as fases de estratégia delimitação do campo de ações, contratação de serviços, análise de projetos e manutenção do pleno funcionamento do sistema.

Por fim, o estudo pretende constituir-se em uma fundamentação doutrinária para possibilitar a realização de pesquisas futuras a partir de temas ainda não vislumbrados no cenário de gestão de risco relacionado ao sistema de proteção contra incêndio no país.

2 BASE CONCEITUAL E REVISÃO DA LITERATURA

Diante da problemática proposta, faz-se necessário o detalhamento teórico dos principais tópicos relacionados ao objeto do estudo, sendo esses temas – Gerenciamento de Risco, Proteção Contra Incêndio e o FMEA – observados no decorrer do capítulo.

Sendo, como parte integrante da pesquisa, a análise da relação entre estes temas imprescindíveis para a obtenção dos resultados esperados.

2.1 GERENCIAMENTO DE RISCOS

De acordo com Almeida *et al.* (2017), nos últimos anos, devido ao número de pesquisas desenvolvidas, o termo “risco” tem sido discutido na literatura em diferentes contextos como ambiental, público, financeiro, no ramo de saúde ocupacional, desastres naturais, infraestruturas críticas, combate ao terrorismo, plantas químicas etc. Nesses contextos, requisitos regulatórios e de contrato, a competitividade das empresas, bem como a maior cobrança da sociedade com relação a um gerenciamento de riscos mais adequado tem proporcionado o desenvolvimento de novas abordagens/metodologias.

Aven (2010) determina que o risco pode ser definido de várias maneiras no contexto da engenharia, sendo este frequentemente associado à perda esperada. Tal compreensão do risco significa que não há distinção entre situações que envolvem potenciais grandes consequências e pequenas probabilidades associadas, e eventos que ocorrem frequentemente com consequências bastante pequenas, desde que as somas dos produtos dos possíveis resultados e as probabilidades associadas sejam iguais. Para a gestão de riscos, estes dois tipos de situações normalmente exigiriam abordagens diferentes. Em geral, a tomada de decisão de valor esperado é enganosa para eventos raros e extremos. Nestas situações, o valor esperado não capta adequadamente eventos com baixas probabilidades e altas consequências. O valor esperado pode ser pequeno, digamos 0,01 fatalidades, mas eventos extremos com milhões de fatalidades podem ocorrer, e isso precisa de atenção especial. Portanto, concluindo que se precisa ver além dos valores esperados ao abordar o risco.

Segundo Aven (2011), não existe um consenso sobre o conceito de risco na literatura acadêmica. Porém, o autor define risco como uma medida de probabilidade e gravidade de efeitos adversos, assim como, a combinação da probabilidade de um evento e suas consequências. Ilustrando ainda como pacificado para todas as definições a existência da relação entre eventos (eventos iniciais, cenários), consequências (resultados) e probabilidades. Sendo as incertezas expressas através das probabilidades e severidade como forma de

caracterização das consequências.

Segundo Koller (2005, apud Araújo, 2019, p.30), os riscos podem ser descritos como eventos para os quais existem definições e descrições textuais, a qual existe a associação de pelo menos dois parâmetros: probabilidade de ocorrência e o impacto da ocorrência. O autor define ainda que deve haver uma separação de termos relacionados: risco, incerteza, probabilidade e consequência. Geralmente um risco tem uma probabilidade de ocorrência e ao menos uma consequência associada. Podendo haver, portanto, a certeza ou não da probabilidade e consequência da ocorrência do risco. É possível o esforço para reduzir a probabilidade, a consequência e a incerteza do risco. A eliminação de todos os principais riscos pertinentes pode dar aos tomadores de decisão uma melhor visão de um determinado projeto ou situação.

De acordo com a ISO 45001 (2018), norma internacional para o Sistema de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional (SGSSO), que busca prevenir ou reduzir efeitos indesejados através de uma estrutura de processos predefinidos, o risco é definido como a combinação da probabilidade de ocorrência de eventos ou exposições perigosas relacionadas aos trabalhos e da gravidade das lesões e problemas de saúde que podem ser causados por estes eventos ou exposições. A norma ainda define que os riscos devem ser avaliados a partir dos perigos identificados, levando-se em consideração a eficácia dos controles existentes.

A norma NBR ISO 31000 (2018) que define as diretrizes para gerenciar riscos enfrentados pelas organizações, sendo estas passíveis de personalização para qualquer tipo de organização, assim como qualquer tipo de risco, sustenta que gerenciar risco é iterativo e auxilia as organizações no estabelecimento de estratégias, no alcance de objetivos e na tomada de decisões fundamentais. Afirmando ainda que tal iniciativa é parte da governança e liderança, e é fundamental para a maneira como a organização é gerenciada em todos os níveis, contribuindo para a melhoria dos sistemas de gestão de todas as atividades associadas, bem como a interação com as partes interessadas.

Araújo (2019) desenvolveu um estudo que buscou analisar a percepção do gerenciamento de riscos nas universidades federais do Brasil, buscando evidenciar cada etapa do processo no contexto particular desses órgãos. Entre os vários apontamentos, destacam-se a observância de que a estruturação de sistemas e processos organizacionais facilitaram a adoção de abordagem sistemática na gestão de riscos aumentando a probabilidade de que boas decisões sobre riscos fossem tomadas, assim como, a melhoria de percepção dos servidores que entenderam como positivos os impactos e contribuições que a gestão de riscos pode trazer as universidades estudadas.

A avaliação de risco deve fornecer ao tomador de decisão elementos fundamentais para

implementação de medidas voltadas à melhoria da segurança de pessoas e processos expostas ao perigo potencial em análise (ALMEIDA *et al.*, 2015).

De acordo com Stephans (2004), o gerenciamento de risco está relacionado com o processo de tomada de decisão gerencial referente à identificação de risco e sua análise, podendo envolver também fatores subjetivos no processo. Esse processo geral envolve a identificação, avaliação, controle ou mitigação e aceite do risco. O gerenciamento de risco deve ser desenvolvido objetivando a manutenção destes dentro de níveis aceitáveis e, assim, evitar a ocorrência de fatores adversos, levando em consideração o público e o meio ambiente (TESFAMARIAN, 2010).

O gerenciamento de riscos está associado com as incertezas em um ambiente, relacionando a probabilidade de ocorrência de um evento indesejado com o impacto de suas consequências. Ferramentas de gerenciamento de riscos são técnicas importantes já amplamente aplicadas nas plantas industriais, que contribuem para o efetivo gerenciamento destes riscos, sendo apresentadas, entre outras, duas ferramentas em destaque: FMEA e HAZOP (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Segundo a NBR ISO 31000 (2018), a gestão de risco eficaz requer a observância de 08 (oito) princípios, conforme especificados abaixo:

- Integração, o modelo adotado é parte integrante de toda as atividades organizacionais;
- Estruturação e abrangência, o modelo contribui para resultados consistentes e comparáveis;
- Personalização, o modelo necessita ser adaptável e proporcional aos contextos internos e externos da organização;
- Inclusão, o modelo propicia a consideração do conhecimento, pontos de vista e percepções das partes interessadas, resultando em melhor conscientização e gestão de riscos fundamentadas;
- Dinamismo, o modelo deve ser capaz de antecipar, detectar, reconhecer e responder às possíveis mudanças de cenários, considerando tanto os contextos internos quanto externos;
- Melhoria de informação disponível, o modelo necessita do *imput* de informações oportunas, claras e disponíveis baseadas em históricos fidedignos, assim como, informações atualizadas;
- Fatores humanos e culturais, o comportamento humano e cultural da

organização influencia drasticamente todos os aspectos do modelo de gestão adotado; e

- Melhoria contínua, o modelo necessita ser melhorado constantemente por meio de aprendizados e experiências.

Segundo Aven (2011), um sistema é considerado crítico se a sua falha ou mau funcionamento puder resultar em consequências graves, por exemplo, relacionadas com a perda de vidas, danos ambientais ou perdas económicas. Uma infraestrutura crítica pode ser definida como "organizações e instalações de importância fundamental para o interesse público cuja falha ou prejuízo pode resultar em escassez de fornecimento prejudicial, perturbação substancial da ordem pública ou impacto dramático semelhante". Considerando que o risco, a vulnerabilidade e a resiliência são considerados inerentes e fundamentalmente funções dos estados de qualquer sistema e de seu ambiente.

2.2 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO

O primeiro grande incêndio da Era Cristã, historicamente registrado, foi o de Roma em 19 de julho de 64 d.C. O fogo propagou-se pela cidade por nove dias. As residências, feitas com madeira, as ruas estreitas e os ventos colaboraram para a grande destruição. Foram milhares de mortos e três quartos da cidade foram destruídos. Porém, há controvérsias quanto a Nero ter sido o mandante do incêndio ou ter-se aproveitado dele para reconstruir Roma e culpar cristãos. O fato é que, após o incêndio, Nero idealizou um sistema de alarme formado pelos vigiles, que eram pessoas que patrulhavam várias áreas da cidade a fim de alertar em caso de incêndio. Assim, Roma tornou-se a primeira cidade do mundo a adotar um sistema de alarmes anti-incêndios (COSTA, 2002, apud SILVA, 2014).

Tem-se registro de outros grandes incêndios catastróficos, como o incêndio de Londres iniciado em 2 de setembro de 1666, os registros históricos alertam para algo em torno de 13 mil casas destruídas pelo fogo, apesar do pequeno registro de mortes.

De acordo com Silva (2014), entre outros eventos, pode-se citar também o incêndio do teatro Iroquois na cidade de Chicago em 30 de setembro de 1903, aproximadamente um mês após a abertura do Teatro, evento que culminou na morte de 600 pessoas. Ligando um sinal de alerta nas autoridades do Estados Unidos no que se refere à elaboração de normas gerais de padronização de medidas de proteção contra incêndio naquele país. Impulsionando a publicação da 5ª edição do manual *Fire Protection Handbook* da NFPA (*National Fire Protection Association*, com tradução livre de Associação Nacional de Proteção Contra Incêndios) em 1914, considerado um marco divisório no tocante à evolução técnica na área.

Infere-se que o deficiente sistema globalizado de transferência de informações e procedimentos entre nações no início do século passado resultou na inexistente ou insuficiente evolução dos regulamentos de segurança contra incêndio no Brasil, sendo deixado em segundo plano até pelo menos a década de 70 do século passado. Fazendo com o que o país não aprendesse com os casos catastróficos dos outros países, além das ações mitigatórias e regulatórias adotadas.

No Brasil podemos citar 03 incêndios de grandes proporções como sendo os principais casos que geraram grande comoção nacional e culminaram na realização de novos procedimentos construtivos relacionados à proteção contra incêndio no país. São eles: Gran Circo Norte-Americana em Niterói-RJ com o resultado de 250 mortos e 400 feridos (17 de dezembro de 1961), edifício Andraus em São Paulo-SP com o resultado de 16 mortos e 336 feridos (24 de fevereiro de 1972) e edifício Joelma em São Paulo-SP com o resultado de 179 mortos e 320 feridos, gerando um grande impacto visual e comoção nacional devido a transmissão ao vivo de pessoas se jogando do prédio (01 de fevereiro de 1974).

Segundo Rodrigues (2015), com a maior visibilidade dos grandes desastres como os incêndios aumentou as expectativas das pessoas em relação à sua proteção, estabeleceu-se também uma evidente relação entre as exigências formais por novas técnicas construtivas com os equipamentos que podem proporcionar mais segurança aos usuários dos estabelecimentos, de forma que estes não evoluíam na mesma velocidade que aqueles, aumentando os riscos reais de incêndio.

A primeira manifestação técnica no Brasil ocorreu entre 18 e 21 de março de 1974, quando o clube de Engenharia do Rio de Janeiro realizou o Simpósio de Segurança Contra Incêndio, buscando o desenvolvimento de três linhas mestras de raciocínio: (i) como evitar incêndios, (ii) como combatê-los, (iii) como minimizar os seus efeitos (SILVA, 2014).

Um sistema de proteção contra incêndio em edificação consiste no conjunto de medidas passivas e ativas (SILVA, 2014).

No Brasil, a norma 14432 (ABNT, 2001) define o que segue:

***3.22 proteção ativa:** Tipo de proteção contra incêndio que é ativado manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndio.*

***3.23 proteção passiva:** Conjunto de medidas incorporadas ao sistema construtivo do edifício, sendo funcional durante o uso normal da edificação e que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias ao seu crescimento e propagação, garantindo a resistência ao fogo, facilitando a fuga dos usuários e a aproximação e o ingresso no edifício para o desenvolvimento das ações de combate.”*

A proteção contra incêndio envolve a proteção do patrimônio, está intimamente relacionado com a proteção da vida de milhares de pessoas que circulam e interagem em diversos, assim como, possibilita a mitigação de riscos relacionados ao meio ambiente e as sociedades circunvizinhas aos empreendimentos.

Atualmente, entre o conjunto de sistemas de proteção ativa e passiva, as empresas contam com uma gama ampla de dispositivos e ferramentas, que conjuntamente formam um Sistema de Proteção Contra Incêndio, podemos citar entre os principais:

- Sistema hidráulico (hidrantes, mangueiras e esguichos);
- Chuveiros automáticos;
- Detecção e alarme de fumaça, gás e calor;
- Sistemas de compartimentação;
- Pinturas antichamas;
- SPDA (Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas);
- Sinalização e iluminação de emergência;
- Escadas pressurizadas; e
- Extintores de incêndio.

Não se pode analisar o sistema de proteção contra incêndio apenas de forma restritiva à atualização normativa e de procedimentos e seu simples cumprimento incondicional, podendo resultar em engessamento de todo o processo.

Conforme definido por Billing et al. (2009), o processo precisa ser dinâmico e evolutivo, em um contínuo aprimoramento, devendo existir uma visão sistêmica de todas as etapas, entes, responsabilidades e conhecimento envolvidos, tratando-se a segurança contra incêndio similarmente a um sistema de gestão.

Tal entendimento, torna-se evidente diante do cenário estabelecido para definição, aprovação e implementação do modelo de proteção contra incêndio que será adotado por qualquer empreendimento empresarial no Brasil. Onde as regras são definidas a partir de legislações estaduais a partir de critérios como grau de risco da operação, área construída, altura do empreendimento e tipo de ocupação do empreendimento.

As leis e regulamentos de segurança contra incêndio e pânico (SCIP) foram construídos ao longo dos anos, incentivados, em sua maioria, por grandes incêndios, os quais mostraram que a evolução tecnológica e a verticalização das cidades aumentaram sobremaneira os riscos à vida dos usuários das edificações, exigindo do poder público e da sociedade técnica e científica o aprimoramento concomitante das medidas, sistemas construtivos e equipamentos

que mitigassem tais riscos a níveis aceitáveis.

Com o advento de mais uma tragédia recente, o incêndio na casa noturna (boate) Kiss em 2013, no Estado do Rio Grande do Sul, iniciou-se novamente discussões a nível nacional sobre a necessidade de atualização das legislações estaduais, e principalmente sobre a relevância em estabelecer requisitos únicos que garantam a eficiência, eficácia e efetividade da segurança contra incêndios no Brasil (RODRIGUES, 2015).

Ouache *et al.* (2020) chegaram à resultados com suas pesquisas realizadas nos Estados Unidos que mostram que 58% dos incêndios foram detectados pelo avistamento visual. Mostrou também que extintores portáteis, sistemas de chuveiros automáticos (sprinklers) e hidrantes foram capazes de extinguir 17%, 4% e 3%, respectivamente. Ou seja, demonstrando uma ineficiência relevante dos sistemas autônomos ou não autônomos de ação.

Portanto, além de fatores como a discrepância entre o grau de atualização dos normativos legais, possibilitando a existência de legislações defasadas quanto aos processos e métodos de proteção adotados e mais recentemente desenvolvidos e implementados nos países desenvolvidos, como Estados Unidos e China, principais atores internacionais no desenvolvimento de normas e regulamentos, existe também a padronização engessada da forma de definição dos métodos de proteção contra incêndio não alcançando as particularidades de certos segmentos empresários, especialmente, no âmbito industrial.

2.3 ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA)

De acordo com a Organização Internacional para Padronização – ISO/TS (2002), o FMEA foi utilizado como uma das primeiras metodologias desenvolvidas por estudiosos da Gestão da Qualidade dentro das forças armadas americanas, entre o final da década de 40 e início da década de 50, especificamente para análise de falhas em sistemas a partir de técnicas sistemáticas.

Sendo empregada inicialmente para iniciativas de análises de riscos relacionadas à indústria bélica e indústria aeroespacial, até com indicativos de utilização da metodologia já nos programas espaciais Apollo da NASA (National Aeronautics and Space Administration, traduzido livremente como Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço).

Lafraia (2014) define falha como a incapacidade de um sistema ou item desempenhar sua finalidade no âmbito solicitado, e modos de falhas como a caracterização da forma como a falha acontece. A tradução do termo FMEA corresponde a Análise de modos e efeitos de falhas pode ser interpretada como uma ferramenta que possibilita aprofundamento na compreensão das falhas, abrangendo suas causas e impactos.

Silva *et al.* (2014) determina que a metodologia FMEA é utilizada para identificar falhas, suas causas e a possibilidade de efeitos, ressalta também a necessidade de análise estruturada de todas as funções do sistema, assim como, seus subsistemas, objetivando a atuação sobre falhas, causas e efeitos de forma que não incorram em prejuízo ao seu regular funcionamento da organização.

Segundo Almeida *et al.* (2015), a ferramenta FMEA surgiu na década de 40 a partir de procedimentos militares americanos, originalmente desenvolvidos para a aplicação de novos produtos e processos de manufatura na indústria bélica. É uma ferramenta qualitativa utilizada para identificação dos modos potenciais e seus efeitos. A ferramenta é estruturada de forma tabular, onde o conhecimento e a experiência dos envolvidos é ponto chave para o input das informações utilizadas, consequentemente, dos resultados alcançados com sua aplicação.

Stamatis (2003) faz uma diferenciação entre a aplicabilidade do FMEA, esclarecendo sobre a diferenciação do FMEA DE PROJETO e FMEA DE PROCESSO, além de outros tipos. Sendo o primeiro entendido como a análise das falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto promovendo ações investigativas e corretivas antes que a primeira produção ocorra, sendo o seu objetivo desta análise, evitar falhas no produto ou no processo decorrente do projeto, sua primeira produção é vista como a que gera algum produto ou serviço ao consumidor com a intenção de ser pago. O segundo está relacionado à análise de falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas no processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto. O objetivo do FMEA de processo é “definir, demonstrar e maximizar soluções de engenharia em resposta à qualidade, confiabilidade, manutenção, custo e produtividade.

Para Palady (2007), o FMEA é uma técnica para prognósticos de problemas, isto é, identifica a solução mais satisfatória em termo de custo com objetivo de prevenir esses impasses.

A construção da equipe é um estágio crucial para um bom planejamento e empresa dessa ferramenta. A equipe central deve ser formada por cerca de 5 a 7 pessoas, para que não haja demasiada informação e muitos custos com contratações ou custo mínimo e informações restritas (PALADY, 2007).

No contexto da manutenção de sistemas, a aplicação do FMEA facilita e consolida o entendimento da equipe de tomadores de decisão sobre os meios necessários para análise das consequências das ocorrências, da real probabilidade de ocorrência e sobre a capacidade de detecção antes que a falha realmente aconteça.

No intuito de alcançar o objetivo geral do estudo, conforme os preceitos

preestabelecidos da ferramenta, a aplicação da metodologia se dará pela obtenção da prioridade de cada modo de falha por meio do RPN (Número de Prioridade de Risco, do inglês *Risk Priority Number*), que é resultado da multiplicação dos índices atribuídos aos fatores de Ocorrência, Severidade e Detecção.

O presente estudo adotou um modelo de escala *likert* com índices entre 01 e 05 com predefinição dos critérios para o processo de tomada de decisão. Após a aplicação dos índices num processo de tomada de decisão em grupo, obteve-se o RPN para cada indicador analisado.

$$\text{RPN} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção}$$

A partir do estabelecimento do RPN para cada falha apontada no processo de levantamento de informações, o grupo de trabalho pode elencar as possíveis falhas que possuem maior ou menor capacidade de geração de danos ao processo de gestão de risco do sistema analisado.

Silva (2014) determina a Ocorrência como a frequência como que o modo de falha se verifica na realidade da operação ou processo analisado. A Severidade diz respeito à capacidade de geração de consequências decorrentes da ocorrência da falha, podendo ser entendida também como gravidade. Já a Detecção tem referência com a probabilidade de se perceber a falha antes das consequências afetarem os sistemas envolvidos.

Para Stamatis (2014), conforme citado por Nascimento (2019), a Severidade é entendida como o fator crítica do RPN, o que representa a falha no cliente, o que resulta na necessidade de ações imediatas no caso de extrapolação de determinados índices. Recomenda que sua atribuição seja realizada de forma conservadora, graduando-a no máximo para o caso de variância com o tempo ou para o caso de múltiplas causas do efeito. Estabelece recomendações de alteração no processo, e incrementar o controle e a detecção para a tratativa de casos de alta severidade.

Após priorizar os modos de falhas, a equipe deve adotar um plano de ação para solucionar os problemas encontrados com o objetivo de eliminar ou reduzir os modos de falhas selecionados.

O ideal é que a equipe atue fortemente na redução do índice de ocorrência, principalmente, para casos que podem resultar em danos físicos e econômicos.

Entretanto, tratando-se de riscos relacionados à incêndios, a maior oportunidade encontra-se normalmente associada à melhoria dos índices de severidade e detecção do modo de falha potencial, pois caso consiga atingir estas reduções, já é possível reduzir consideravelmente o potencial de danos nas ocorrências ligados ao sistema de proteção contra incêndios. Consequentemente, fortalecendo todo o sistema de gerenciamento de risco associado

ao sistema de proteção contra incêndio nas instalações analisadas.

Alguns autores, ao exemplo de Claxton (2017), não isentam o FMEA de críticas devido ao apontamento de falhas no processo de obtenção dos resultados de RPN, possibilitando a geração de mesmo valor a partir de combinações diferentes de severidade, ocorrência e detecção. Por outro lado, há estudos dando por superadas tais fragilidades, através do emprego de outras técnicas combinadas ao FMEA, a exemplo da lógica FUZZY (PALMEIRA, 2016) e do método KANO (HU; HSIAO, 2016).

Entretanto, diante das características intrínsecas apresentadas pela empresa alvo do estudo, foi selecionado a aplicação da metodologia FMEA como parte integrante da gestão de risco através dos requisitos da norma ABNT NBT ISO 31000:2018, nos problemas relativos à operacionalização dos sistemas de proteção contra incêndios.

2.4 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo traz uma visão consolidada de todo o conteúdo que serviu como complementação da base conceitual a partir da leitura de vários artigos científicos, estando estes disponíveis na base *Web of Science* – Coleção Principal (*Clarivate Analytics*), os quais demonstram as tendências de pesquisas realizadas no contexto acadêmico mundial no tocante ao gerenciamento de risco em sistemas de proteção contra incêndio, e num segundo momento, trazendo uma representação da aplicabilidade do FMEA nos diversos contextos empresariais.

Foram consideradas artigos mais recentes (intervalo entre 2020-2022) publicados em língua inglesa, relacionando a partir das ferramentas de busca da base conceitos relacionados ao gerenciamento de riscos, FMEA e sistemas de proteção contra incêndio.

2.4.1 Gerenciamento de Risco em Sistemas de Proteção Contra Incêndio

As metodologias de gerenciamento de risco para a segurança da vida e patrimônio em incêndios e explosões em edifícios desempenha um papel importante na definição e ampliação da regulamentação das técnicas utilizadas nos processos de proteção contra incêndios (POLKA, 2020).

O uso de engenharia de segurança contra incêndio e técnicas baseadas em desempenho continua a crescer em destaque à medida que o projeto de construção se torna mais ambicioso, aumentando a complexidade. As agências nacionais de segurança contra incêndios têm a tarefa de avaliar e aprovar as estratégias de incêndio resultantes, que da mesma forma continuaram a se tornar mais avançadas e especializadas (BRZEZINSKA, 2021).

Meacham *et al.* (2020) sugeriu que as futuras gerações de regulamentação de construção

podem se tornar mais informadas sobre riscos e baseadas em desempenho, e que isso pode ser mais bem facilitado através da visão do sistema de regulamentação de construção como um sistema sociotécnico (STS). Um componente central da abordagem STS para a regulamentação da construção é que o governo (reguladores) e o mercado entendam e concordem com as medidas de risco que têm e são usadas para definir o nível tolerável de riscos que são abordados por meio da regulamentação da construção, as medidas específicas critérios de risco que são usados na avaliação dos riscos para regulamentação e projeto, e as abordagens de análise e projeto que são usadas para demonstrar que as soluções de projeto de construção podem ser verificadas como atendendo aos critérios e medidas de risco. Para apoiar esses esforços, um roteiro de caracterização de risco foi apresentado como orientação para os reguladores de construção que estão iniciando esforços para usar o risco como base para a construção de requisitos de desempenho.

Hopkin *et al.* (2020) estabelece que os requisitos estruturais de segurança contra incêndio equilibram implicitamente os investimentos iniciais em materiais (proteção ou dimensionamento de elementos) com desempenho aprimorado (redução de perdas) no caso improvável de um incêndio. Para recomendações prescritivas tradicionais de segurança contra incêndio, os níveis de segurança alvo subjacentes não são claros para o projetista, nem o equilíbrio associado de risco e custos de investimento. Discute-se que o projeto de segurança contra incêndio tradicional (estrutural) é determinista, com a base de segurança baseada na experiência coletiva da profissão.

Abordagens baseadas em desempenho para engenharia de incêndio mostraram que decisões baseadas em risco e cenários de incêndio são elementos fundamentais que devem ser considerados nas estratégias de segurança contra incêndio. Uma correta avaliação do risco de incêndio permite que todas as partes envolvidas identifiquem uma estratégia específica entre várias possibilidades. A avaliação de risco é a melhor ferramenta para identificar estratégias de proteção contra incêndio comparáveis e para medir a redução do risco de incêndio que pode ser obtida com cada medida específica de prevenção e proteção, ou seja, por meio de diferentes estratégias de segurança contra incêndio (DANZI, 2021).

El Meouche *et al.* (2021) desenvolveram um modelo eficiente capaz de reduzir as consequências catastróficas e o número significativo de vítimas decorrentes de incêndios em canteiros de obras. O trabalho propõe modelagem probabilística visando minimizar a probabilidade de falha de um canteiro de obras. O modelo desenvolvido consiste em modelar os riscos de incêndio, a vulnerabilidade dos alvos potenciais e o risco dentro dos canteiros de obras. Utilizou algoritmo de otimização denominado evolução diferencial, que é utilizado para

determinar o layout ótimo do site, que se caracteriza por ter a menor probabilidade geral de falha. Foi realizada uma simulação numérica para delinear uma função de densidade de probabilidade apropriada da falha do site.

Wang *et al.* (2021) apresentaram um método de construção de modelo para alerta antecipado de vazamento do gás metano através da análise de perigos e operabilidade (HAZOP) e simulação de dinâmica de fluidos computacional (CFD, do inglês *Computational Fluid Dynamics*), resultando no cálculo de quantidade de consequências que podem ser usados para determinar as faixas de influência de dessas consequências. Os resultados dos cálculos podem ser empregados para estabelecer modelos de previsão para situações anormais. Os dados do gerenciamento de segurança do processo (PSM) e os resultados da análise de risco podem ser combinados com as possíveis situações anormais para ajudar os operadores a adotar as soluções certas.

A Norma NFPA 59A para Produção, Armazenamento e Manuseio de Gás Natural Liquefeito (GNL) exige que as instalações tenham o equipamento necessário para a detecção e controle de incêndios, vazamentos e derramamentos de materiais perigosos, mas não fornece requisitos ou orientações sobre a localização de os detectores. A literatura disponível no domínio público descreve os principais fatores a serem considerados no desenvolvimento de layouts para detectores de chama e gás, mas uma metodologia para usar essas informações na avaliação de um layout de detector de perigo não está claramente definida; em vez disso, a terminologia genérica e não quantificável, como rápida e confiável, é frequentemente usada. Como resultado, não há uma abordagem consistente para desenvolver layouts de detectores de chama e gás para instalações de GNL baseadas em terra e não há um método sistemático para os reguladores avaliarem esses projetos. A capacidade de quantificar o desempenho do detector de perigos e definir metas de desempenho são de particular interesse para o Departamento de Transporte (DOT) *Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration* (PHMSA), que regula várias instalações de GNL nos Estados Unidos. A Blue Engineering and Consulting está trabalhando em um projeto patrocinado pelo DOT-PHMSA para desenvolver uma abordagem e critérios baseados em risco para layouts de detectores de perigo em instalações de GNL. Este projeto baseia-se nos princípios de design baseados em desempenho descritos no NFPA 72 Código Nacional de Alarme e Sinalização de Incêndio e no relatório técnico da Sociedade Internacional de Automação (ISA, do inglês *International Society of Automation*) 84.00.07 Orientação sobre a Avaliação da Eficácia do Sistema de Incêndio, Gás Combustível e Gás Tóxico. A metodologia divide a instalação de GNL em Áreas de Detecção com base nos perigos presentes e no layout da planta, identifica os cenários de perigo apropriados para avaliar o layout

do detector, estabelece metas de desempenho para cada Área de Detecção e quantifica a cobertura do detector de perigo (HENDRICKSON, 2020).

Os incêndios são considerados um dos acidentes mais devastadores que podem ocorrer dentro de um edifício. No entanto, os sistemas de detecção de incêndio existentes resultam em detecção tardia de incêndio ou produzem uma alta taxa de falsos alarmes devido aos padrões complexos e dinâmicas temporais encontrados nos sinais dos sensores provenientes dos vários tipos de incêndios. Baek *et al.* (2020) desenvolveram um novo algoritmo de detecção de incêndio baseado em vários sensores em diferentes locais para fornecer monitoramento de incêndio confiável em tempo real. O algoritmo de detecção de incêndio proposto leva em consideração as medições atuais e passadas do sensor e avalia a similaridade dos sinais do sensor com base em uma medida dinâmica de distância de distorção no tempo.

Pontes de cabos, como pontes estaiadas e pontes suspensas, são suportadas por membros como cabos, vigas reforçadas e pilares. Incêndios na ponte podem causar degradação estrutural nos membros, o que pode representar um grave perigo para a ponte. No entanto, na maioria das normas de contramedidas para estruturas, não há informações sobre a instalação de meios de combate a incêndio em pontes de cabos. Kim *et al.* (2020) propõe um método de avaliação de risco de incêndio para a instalação de hidrantes e sistemas de fontanários em pontes de cabos. Para determinar o grau de risco de incêndio para essas pontes, o risco de incêndio foi classificado em categorias, como a probabilidade de ocorrência de incêndio, as condições de resposta ao incêndio, a vulnerabilidade da ponte ao incêndio e o impacto do incêndio na sociedade e na economia. O grau de risco de incêndio foi determinado atribuindo fatores de peso a cada categoria, e foi avaliado o risco de incêndio para 70 pontes de cabos existentes e aquelas em construção na Coreia.

Conforme evidenciado pelas estatísticas de acidentes, um fator importante quando se considera a operação segura de plantas de processo é a mitigação efetiva dos efeitos de liberações gasosas inflamáveis, seja por uma abordagem de prevenção ou proteção. Uma análise histórica detalhada foi realizada considerando cenários acidentais associados ao uso e gerenciamento de gases leves, a partir de dados brutos selecionados do banco de dados FACTS e analisados por um método multicamada causal. Os resultados revelaram que a maior parte das liberações acidentais envolvendo metano, hidrogênio, eteno, amônia pode ser atribuída a causas imediatas organizacionais ou de processo/fábrica. Como esperado, os cenários mais frequentes após o lançamento são incêndio e explosão. Foi concentrarmos a atenção no desenvolvimento de um método de atalho que permita a avaliação preliminar do acúmulo máximo de gás em condições semiconfinadas, limitando os efeitos do cenário de

incêndio/explosão a um nível tolerável. As limitações do modelo aplicado a estudos de caso selecionados e que requerem validação experimental adicional são discutidas criticamente. Os resultados da aplicação do modelo, que pode se gabar de ser seguro, mas não desproporcionalmente conservador, pode ser definido como um limite máximo na adequada concepção de medidas técnicas destinadas a limitar os efeitos a um nível tolerável por métodos de proteção, por exemplo, isolamento, ventilação, supressão e contenção (PALAZZI, 2021).

Nnaji *et al.* (2020) demonstraram que dispositivos de detecção vestíveis estão ajudando cada vez mais os trabalhadores a permanecerem seguros e saudáveis em vários setores. No entanto, os trabalhadores, principalmente da construção civil, têm demonstrado certa aversão ao uso desses equipamentos devido à sua capacidade de capturar informações específicas que podem ser consideradas pessoais e privadas. No entanto, essas informações reverenciadas podem fornecer alguns *insights* críticos necessários à administração para planejar e otimizar a segurança do local de trabalho e apoiar a adoção de tecnologia na tomada de decisões. Portanto, existe a necessidade de desenvolver sistemas de dispositivos de detecção vestíveis personalizados que sejam mutuamente benéficos para os trabalhadores e a gerência para garantir uma integração bem-sucedida.

Huang *et al.* (2021) propuseram um projeto de otimização para melhorar a precisão dos modelos de risco de incêndio, combinando os resultados do UFSM (Urban Fire Spread Model, Japão) com o software de simulação de incêndio dos Estados Unidos (EUA) FDS6.7.3 (Fire Dynamics Simulator, FDS). Utilizando processamento paralelo, o tempo de simulação foi drasticamente reduzido, o que pode auxiliar na análise de fatores de risco de edificações em uma grande área.

Apesar de reconhecer a importância das estruturas baseadas em risco na engenharia de segurança contra incêndio, a abordagem usual no projeto estrutural contra incêndio é em grande parte no nível de componente, em que o efeito das incertezas que influenciam a resistência ao fogo das estruturas não é explicitamente considerado. Neste contexto, Chaudhary *et al.* (2020) apresentaram um quadro probabilístico para investigar a vulnerabilidade de elementos e estruturas de concreto armado sob o cenário de carregamento de incêndio.

Chen *et al.* (2020) produziram uma avaliação de risco de incêndio em armazenamento de algodão na China com base em avaliação abrangente Fuzzy e rede Bayesiana onde comparou o risco no armazenamento entre galpões com estruturas a céu aberto.

Jafari *et al.* (2020) produziram uma avaliação da confiabilidade de sistemas de detecção e alarme de incêndio usando redes Bayesianas dinâmicas e análise de árvore de falhas (Fault Tree Analysis - FTA) difusa.

Desastres naturais e antrópicos recentes têm despertado o interesse da comunidade científica e governamental em buscar estratégias de mitigação de riscos mais eficientes e eficazes. As abordagens baseadas em índices têm recebido atenção especial no campo do risco de desastres devido à sua extraordinária capacidade de sintetizar e contextualizar espacialmente a vulnerabilidade. Motivado pelos impactos maciços de terremotos, o campo de risco sísmico ganhou popularidade nas últimas décadas. No entanto, pouca atenção foi dada até agora a um fenômeno potencialmente altamente impactante: os incêndios pós-terremoto. Registros históricos mostraram que ignições de incêndios desencadeadas por terremotos apresentam uma probabilidade significativa de terminar em incêndios urbanos massivamente destrutivos, cujas consequências são ainda mais terríveis do que as do próprio terremoto (OLIVEIRA, 2020).

Xavier *et. al* (2022), através de estudo publicado compreendendo uma revisão sistemática da literatura abordando o estudo de gerenciamento de risco envolvendo incêndio em estruturas industriais e comerciais, respondeu à uma série de questionamentos direcionados ao relacionados ao supracitado tema diante do cenário global. Observou-se que, no período entre os anos de 2021 e 2022 compreendidos como base do estudo, a publicação de estudos diretamente relacionados ao tema foram, majoritariamente, em países considerados de “primeiro mundo”, ou seja, de avançando Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), principalmente em países como a China, Estados Unidos e leste Europeu. Os estudos realizados abrangem, principalmente, as industriais da Construção Civil, Indústria Química, Petroquímica e Extrativista. Demonstrou a pouca relevância do Brasil perante a produção científica específica ao tema, considerando o período de escopo da pesquisa. Observou que o tema de gestão de risco ligado ao processo de proteção contra incêndio abrange de forma predominante a análise probabilística racionalizando sobre incertezas e utilização de redes Bayesianas, com destaque para metodologia Fuzzy e Árvore de Falhas. Assim como, apontou lacunas no campo de estudos, verificando a pouca referenciação da relação entre legislação vigente com os impactos e desdobramentos das ferramentas aplicadas nos estudos, ou seja, a inobservância de subsidiar os entes governamentais na atualização e padronização dos critérios regulatórios construtivos ligados à proteção contra incêndio.

A indústria de roupas prontas de Bangladesh é considerada o como principal motor da transformação econômica do país, pois emprega muitas pessoas não qualificadas e desprivilegiadas. No entanto, recentemente, essa indústria tem enfrentado preocupação internacional devido a vários colapsos de edifícios e incidentes de incêndio, indicando inadequação no projeto estrutural e nas medidas de preparação nos prédios da fábrica. Alam *et al.* (2020) buscaram compreender o conhecimento, preparação e resposta a emergências sobre

riscos de terremotos, o que pode contribuir para a redução do risco de incêndios após ocorrência de terremotos na região.

Há uma tendência na Europa no sentido de aumentar a qualidade e o desempenho das regulamentações. Ao mesmo tempo, falhas regulatórias foram observadas na área de regulamentação de segurança contra incêndio em edifícios na Inglaterra e em outros lugares. Como resultado, justifica-se uma análise da adequação das normas de segurança contra incêndio na Espanha, com o objetivo de avaliar se um nível adequado de segurança contra incêndio está sendo entregue atualmente. Três elementos básicos devem ser considerados nessa análise: o quadro legal e regulamentar, o nível de risco de incêndio dos edifícios que se espera e o nível que realmente resulta, e um método de análise adequado (OSACAR, 2020).

Durante a realização da pesquisa necessária para construção da revisão da literatura, observou-se uma grande variedade de estudos relacionando gerenciamento de riscos com proteção contra incêndios relacionando os mais diversos temas a partir de um amplo universo de setores empresariais. Os quais estão compreendidos diversos métodos e modelos de análise e gerenciamento de risco, assim como, vários aspectos relativos aos componentes de sistemas de proteção contra incêndio.

Entretanto, ficaram demonstradas algumas lacunas no que tange o alvo do presente estudo (gerenciamento de riscos em sistema de proteção contra incêndio para indústria de destinação de resíduos sólidos no cenário brasileiro).

Da mesma forma que não foram identificados estudos publicados no que se refere à relação entre gerenciamento de risco e sistema de proteção contra incêndio considerando o cenário brasileiro, ficando restrito ao resto do mundo, principalmente, publicações focadas nos países alto índice de desenvolvimento humano como Estados Unidos, China e Europa, considerando o período entre o início do ano de 2020 e o final de 2021.

Portanto, apesar das lacunas apresentadas, pode-se concluir pela existência e andamento de uma ampla gama de métodos, ferramentas e referências disponíveis no que tange o gerenciamento de risco em sistemas de proteção contra incêndios.

2.4.2 Aplicabilidade do FMEA nos diversos contextos

Estudos recentes visam desenvolver uma análise estruturada e integrada para investigação e avaliação de estratégias da segurança contra incêndios, incluindo antecipação dos riscos, proteção e meios eficientes de intervenção. Essas técnicas são direcionadas ao apoio de decisão gerencial relativo à mitigação de riscos, objetivando alcançar níveis toleráveis desses riscos e, conseqüentemente, proporcionar maior segurança aos processos (ALMEIDA et al.,

2015).

Tradicionalmente, as técnicas mais aplicadas no gerenciamento de risco em empreendimentos industriais e comerciais possuem uma tendência na análise da relação entre nível de gravidade e probabilidade de ocorrência, contendo diversas variações entre os métodos empregados e sua forma de aplicação, sejam os métodos mais tradicionais, como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) e HAZOP (*Hazard Operability Study*), assim como, diversas variações autorais, que visam eliminar ou reduzir incertezas, características subjetivas e análises unicamente qualitativas na avaliação de risco, além da introdução na análise de características particulares das operações e sistemas.

Hatefi *et al.* (2023) analisaram falhas de operação de perfuração em campos de petróleo e gás focados em evitar eventos indesejáveis nestas atividades envolvendo perdas econômicas, acidentes de trabalho, danos às máquinas e ao meio ambiente. Propuseram uma metodologia consistente em quatro etapas principais: fornecimento de fones de conhecimento, identificação de risco, análise geral de riscos e estimativa dos riscos gerais dos poços. Afirmando que essa estrutura ajuda a garantir o desempenho bem-sucedido das empresas de perfuração e a acessar os padrões de segurança. Essa versão ajustada do método FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), nomeado como FMEA modificado, foi sugerido pela adição de critério de controlabilidade de risco. Além disso, uma versão generalizada do método ROC (*Rank Order Centroid*) foi aplicada neste estudo, sendo este método usado para estimar os pesos de quaisquer entidades classificadas e, posteriormente, uma análise de sensibilidade. Os resultados do estudo mostraram que a perda de circulação do fluido de perfuração causada pela alta densidade de fraturas naturais em formação, e falta de tecnologia avançada tem a maior prioridade, sendo considerada a falha mais grave na operação de perfuração nos campos Iranianos de petróleo.

Huai-Wei Lo *et al.* (2021) analisaram que o desenvolvimento de sistemas de infraestruturas críticas cada vez mais complicados, está a ser atribuída uma importância crescente à proteção dos componentes desta infraestrutura para reduzir o risco de avaria. As instalações de energia são um dos tipos mais importantes de infraestrutura crítica, sendo o desenvolvimento de um sistema eficaz de detecção de riscos para identificar potenciais modos de falha de equipamentos de fonte de alimentação crucial. O estudo buscou melhorar as abordagens prévias para a avaliação de riscos, propondo um modelo híbrido de avaliação de risco usando os conceitos de análise dos efeitos e modos de falha (FMEA) e tomada de decisão de múltiplos critérios (MCDM). A subjetividade e a incerteza na avaliação dos modos de falhas são ajustadas pelo método dos números aproximados. O número de prioridade de risco original (RPN) pode ser expandido incluindo os pesos de entropia no índice de risco.

Kaliaperumal *et al.* (2021) forneceram uma visão geral dos avanços na química de baterias, modos métodos e mecanismos relevantes de possíveis falhas e, finalmente, as estratégias de mitigação necessárias para superar essas falhas a partir da aplicação da análise de efeitos de métodos de modo de falha (FMMEA, do inglês *failure mode methods effects analysis*). O estudo aponta que o gerenciamento térmico da bateria é um método de proteção para manter a temperatura abaixo do nível limite, incluindo ar, líquido e resfriamento à base de material de mudança de fase. Mostrou também que a identificação do fogo na fase preliminar e a introdução de aditivos supressores de incêndio são muito críticos para o processo como um todo.

Wang *et al.* (2020) investigaram através de um estudo de avaliação probabilística a segurança de uma unidade de reprocessamento nuclear. Foram utilizadas as metodologias de análise dos efeitos e modos de falha (FMEA) e o diagrama lógico mestre, adotadas para identificar eventos iniciadores e, em seguida, agrupá-los. Depois disso, a análise da árvore de falha foi realizada para vários acidentes - explosão de óleo vermelho, incêndio e criticidade. Resultando em parâmetros estruturados para uma análise de acidentes típicos e o risco nas instalações de reprocessamento nuclear na China.

Ermenegildo (2014) buscou identificar os riscos de incêndio existentes na edificação com a utilização de levantamento qualitativo através da observação *in loco* e quantitativo com base na revisão bibliográfica sobre o FMEA, definindo critérios de Severidade, Ocorrência e Detecção para a adaptação da ferramenta. A partir de uma ordem de priorização de ação para os riscos encontrados, obteve a geração de uma avaliação de riscos da Casa do Estudante Universitário da Universidade do Paraná.

Shuzhen *et al.* (2008) publicaram estudo apresentando alguns resultados preliminares focados na análise de confiabilidade de sistemas de névoa de água, componentes de sistemas de proteção contra incêndio. O estudo inclui uma análise através da aplicabilidade do FMEA para identificação de todos os principais modos de falhas potenciais, que incluem falhas de demanda e operacionais. As probabilidades de falha e os limites de confiança dos sistemas típicos de névoa de água listados na Norma 750 da *National Fire Protection Association* são comparados no artigo. Os principais modos de falha identificados através de uma análise de importância também foram apresentados.

No setor elétrico, a qualidade em seus sistemas é de extrema importância, pois este setor trabalha de forma interligada, em que a ocorrência de problemas em uma unidade geradora, interfere no sistema de transmissão e, conseqüentemente, no cliente final. Este trabalho tem por objetivo a utilização do FMEA (Análise dos Efeitos e Modos de Falha), como uma ferramenta

para análise das ocorrências de falhas e aumento da confiabilidade de um sistema numa usina termelétrica. O sistema escolhido na usina termelétrica para execução do FMEA é o de proteção contra incêndio do turbogerador. A metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho está na formação de uma equipe multidisciplinar para a realização de brainstormings (tempestade de ideias), mapeamento das causas e efeitos das falhas e utilização de ferramentas de construção e discussão do FMEA. Os resultados mostraram-se eficientes no dia a dia sendo importantes no aspecto cognitivo dos empresários e funcionários (FERREIRA *et al.* 2010).

Fernandes *et al.* (2022) utilizaram o FMEA e o FTA (Análise de árvore de falhas) para analisar o risco potencial de rompimento de barragens, possibilitando o desenvolvimento de um plano de ação assertivo e eficaz para a gestão da segurança delas. O resultado proposto foi uma metodologia capaz de diminuir a mão de obra especializada, a ponto de as empresas não terem mais conhecimento suficiente sobre as habilidades operacionais e de engenharia que se aplicam aos rejeitos e à gestão da água.

Miranda *et al.* (2021) utilizaram o FMEA e o FTA (Análise de árvore de falhas) para analisar a integridade estrutural de um gerador de vapor, que pode ser afetada por diversos fatores, como o tipo de material que compõe a estrutura, a qualidade das juntas soldadas, os parâmetros de fabricação da caldeira e os procedimentos operacionais. Os ensaios metalográficos evidenciaram pequenas fissuras no metal de base, além de falta de penetração na junta soldada e um desalinhamento de junta. A análise da água mostrou uma alta concentração de íons cloreto e um baixo pH da água de alimentação, fatores que causam a ruptura da camada passiva e resultam em corrosão. O uso das ferramentas FMEA e FTA possibilitaram a compreensão de fatores que atuam como concentradores de tensão, associados à inferior qualidade da água de alimentação do gerador de vapor e erros durante o processo de soldagem, que resultaram em corrosão localizada seguida de ruptura e vazamento de água líquida e em vapor.

Magalhães *et al.* (2021) utilizaram um modelo baseado em FMEA e Fuzzy TOPSIS para priorização de riscos em processos industriais. No entanto, esse método apresenta algumas limitações, incluindo o uso de apenas três critérios de decisão, cujos pesos não são considerados. Com o objetivo de adicionar novas funcionalidades ao FMEA, alguns estudos o combinam com métodos de decisão multicritério. Uma aplicação piloto foi realizada para analisar e priorizar os riscos de possíveis falhas em um processo nodular de fusão e fundição de ferro. Os resultados da aplicação piloto sugerem que o "tempo de desvanecimento excedido" e a "composição química fora do especificado" devem ser tratados com a máxima prioridade. Os resultados dos testes de análise de sensibilidade corroboram a relevância dessas falhas e

demonstram o efeito da variação ponderal dos critérios.

Boccaletti *et al.* (2021) utilizaram causas e desafios para reduzir as devoluções de produtos aplicando o FMEA em um estudo de caso. Após os estudos realizados, foram propostas novas soluções e sugestões de estudos na redução da logística reversa pós-venda da organização.

Calache *et al.* (2021) propuseram a combinação da ferramenta de qualidade FMEA com a técnica DHFS (Dual Hesitant Fuzzy sets) para processar julgamentos com hesitação e, assim, conduzir a priorização de modos de falha considerando um problema de tomada de decisão em grupo. Permitindo considerar diferentes pesos de fatores de risco em um processo de decisão em grupo com especialistas de diversas áreas. Segundo os autores, a nova proposta pode ser facilmente aplicada em diferentes contextos de análise de modos de falha potencial, considerando diferentes tipos de hesitação na tomada de decisão em grupo, como médica e humanitária.

O método FMEA é bastante difundido nos centros acadêmicos brasileiros, assim como, na maioria das organizações, por meio do processo natural de difusão de informações e comunicação orgânica entre universidades e empresas, também devido a sua praticidade e possibilidade em padronizar os processos de priorização de ações para atuação nas possíveis falhas de processos. Entretanto, conforme observação dos diversos estudos supracitados, durante a condução deste capítulo para esta revisão da literatura, esta pesquisa demonstrou certa dificuldade na localização de estudos nacionais relacionando o tema FMEA os processos presentes nos sistemas de proteção contra incêndio.

Entretanto, a produção acadêmica internacional é vasta e apresenta uma gama variada de estudos ligados ao gerenciamento de risco com foco em sistemas de proteção contra incêndios, inclusive com a inclusão do FMEA como método base no processo de priorização de risco e consequente tomada de decisão.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

Neste capítulo é apresentada a metodologia abordada no presente trabalho, expondo sua posição segundo seus objetivos específicos galgando-se constituir o objetivo geral do estudo. Para tal, sendo necessário tratar do processo de formalização, padronização e implementação de uma metodologia de gestão de risco no que tange o sistema de proteção contra incêndio de novas estruturas operacionais relacionados à órgãos públicos.

3.1 METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO (PPCI) EM USINA DE TRATAMENTO MECÂNICO BIOLÓGICO

Diante da característica intrínseca da empresa alvo do estudo, foram consideradas as 04 (quatro) principais fases do processo de gestão de um sistema de proteção contra incêndio e uma quinta fase que embasa o ciclo de informações e ajustes dos processos de análise utilizados na metodologia proposta.

A primeira fase é baseada no processo de identificação das necessidades do sistema de gerenciamento de risco de incêndio, delimitação das ações e estruturação estratégica da metodologia que será adotada.

A estrutura de gestão de riscos proposta foi idealizada como forma de apoiar a organização na integração da gestão de riscos em atividades significativas em termos de relevância interna, devido ao envolvimento de riscos relacionado ao fator de segurança de pessoas e operações, ampliação das infraestruturas do órgão, segurança financeira e imagem.

Convém que a organização avalie suas práticas e processos existentes de gestão de risco, avalie quaisquer lacunas identificadas e aborde estas no âmbito da estrutura organizacional, possibilitando assim a avaliação de riscos compreendendo as faixas operacionais, táticas e operacionais. Além disso, os componentes da estrutura e o modo como funcionam em conjunto sejam personalizados para as necessidades da organização.

No que tange a realidade organizacional de concepção, implementação e fluxos de aprovação dos processos de gerenciamento de risco na empresa alvo do estudo, pode-se dizer que se trata de uma estrutura hierarquizada composta por servidores públicos, entre concursados e comissionados, predominantemente compreendida por engenheiros de várias especialidades que integram cargos a partir de analistas, seguindo para gerentes, coordenadores e diretores, em ordem crescente no fluxo de hierarquia.

A análise ou concepção de projetos são iniciados a partir de fase intermediária da

estrutura organizacional, compostas pelos engenheiros analistas, podendo ser interpretado como o nível tático da organizacional. Contando com a participação dos níveis estratégicos nos fluxos de aprovação e tomada de decisão.

Porém, os níveis operacionais não perdem sua relevância, participando de forma indireta no processo de construção do processo de gerenciamento de risco, nos quais fornecem informações técnicas relevantes que subsidiam o nível intermediário no processo de formação do sistema. Sendo esta participação ainda mais evidente e de forma direta na aplicação do processo de gestão de risco já desenhado e estruturado. Possibilitando que no processo contínuo de melhoria do sistema, sejam realizados novos *inputs*.

A empresa alvo do estudo necessitava de uma ferramenta que fornecesse uma rápida interação entre todos os tomadores de decisão, a fim de oferecer, através de uma ferramenta objetiva, uma ordem de priorização de forma estruturada, demonstrando as ações necessárias para manter o pleno funcionamento do sistema de proteção contra incêndio de um prédio de alto risco de incêndios espontâneos e explosões, devido ao tipo de operação realizada envolvendo formação de atmosferas explosivas e tóxicas.

O pleno funcionamento de sistemas de proteção contra incêndios nesses tipos de empreendimentos resulta na redução drástica da possibilidade de eventuais sinistros, independentemente de sua magnitude. Evitando, portanto, danos aos trabalhadores, à comunidade, ao patrimônio, ao meio ambiente e à imagem da organização, tendo em vista o grande desgaste com a mídia e os *stakeholders* diante de eventos indesejados, proporcional ao tamanho da organização.

A partir da definição dos componentes presentes no estudo, foram realizadas rodadas de reuniões entre as equipes de Engenharia Civil e Segurança e Saúde Ocupacional objetivando o mapeamento de risco e tomada de decisão das ações prioritárias para a manutenção e operacionalização plena do sistema, diante do alto risco envolvendo os servidores, trabalhadores contratados, comunidade circunvizinha, publicitário e ambiental com a possibilidade de incêndios e explosões espontâneas na operação do novo galpão de armazenamento de compostos orgânicos.

As reuniões foram orientadas prioritariamente por meio de *brainstorming* envolvendo ambas as equipes, onde foram levantados os principais riscos relacionados ao cenário preestabelecido. Foi utilizado também como forma de orientação as normas das ABNT (Associação Brasileiras de Normas Técnicas) relacionadas ao tema de manutenção de sistemas de proteção contra incêndio, porém, as normas não tratam de todas as especificidades envolvidas no modelo econômico desenvolvido.

Não foram considerados fases intermediárias, por exemplo, o acompanhamento da fase de execução, implantação e comissionamento do projeto devido a limitação imposta pela evolução do projeto em paralelo com o desenvolvimento do presente estudo, resultando em limitação de tempo e ampliação das possibilidades de abordagens.

Porém, diante da possibilidade de abrangência de todas as fases do projeto de sistema de proteção contra incêndio, a fim de obter-se uma gestão de risco completa no tocante ao tema proposto, essas fases intermediárias ficam indicadas para continuidades em estudos futuros, assim como, relevantes no processo de melhoria contínua inerentes ao processo de gestão de risco, conforme as diretrizes da norma ABNT NBR ISO 31000 (2018).

Conforme os equipamentos aplicados no sistema de proteção contra incêndio foram definidos em projeto, sendo os métodos de elaboração baseados no regulamento do Corpo de Bombeiros Militar através de projeto desenvolvido por empresa contratada a partir de licitação pública, foi possível mapear todos os componentes do sistema de proteção contra incêndio necessários para o sistema.

Sendo esses componentes exigidos a partir das características apresentadas devido a área total de construção e o grau de risco preestabelecido para a atividade econômico de compostos orgânicos de lixo urbano referenciada em regulamento.

Para a formação do sistema de proteção contra incêndio e atendimento pleno do regulamento normativo, no que tange a manutenção do pleno funcionamento do sistema, objetivando a aprovação final do projeto, papel finalístico do Corpo de Bombeiros Militar, foram definidos os seguintes componentes do sistema em projeto:

- Saída de emergência;
- Sinalização de segurança contra incêndio;
- Iluminação de emergência;
- Extintores de incêndio;
- Hidrantes;
- Alarme de incêndio;
- Detecção de incêndio;
- Chuveiros automáticos; e
- Sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Entretanto, o presente estudo limitou-se à aplicação do modelo proposto aos componentes mais sensíveis no tocante às principais problemáticas relacionadas à atividade econômica, que envolve a formação de gases inflamáveis, tóxicos e ambiente com excesso de

sujidades. Sendo estes componentes desenvolvidos e detalhados a partir da metodologia FMEA:

- Detecção de incêndio;
- Hidrantes; e
- Alarme de incêndio.

Tal delimitação tornou-se necessária devido as características apresentadas pelos outros componentes, por não apresentarem complexa rede de possibilidades de falhas, assim como, a restrição de recursos intrínsecos das instituições do setor público brasileiro, seja financeiro ou material humano para operacionalização do sistema.

Sendo possível que novos estudos ampliem a gama de opções da aplicação da metodologia apresentada nos componentes remanescentes, visando a robustez e expansão da metodologia de todo o sistema de proteção contra incêndio no país.

No tocante à fase de aquisição do serviço, foi necessária a padronização dos parâmetros necessários para a habilitação técnica dos fornecedores dispostos a participação no processo licitatório.

O que já deve ser observado já no lançamento dos editais de licitação, onde foi observado exigências genéricas para as Anotações de Responsabilidades Técnicas (ART) dos engenheiros, representantes técnicos das empresas participantes dos processos licitatórios anteriores.

Resultando em impactos significativos na condução dos trabalhos de gestão do processo como um todo, aumentando a possibilidade de falhas no processo desde a elaboração do projeto, passando pela execução da obra e podendo findar em não atendimento ao resultado esperado no final do processo com o mal funcionamento do sistema.

Já em relação à fase de análise e revisão dos projetos, culminando no objetivo geral de aprovação dele, buscou-se a tratativa do problema da falta de padronização das operações internas do órgão nessa fase.

Mesmo diante da necessidade de submissão do projeto para a aprovação de tais projetos junto ao Corpo de Bombeiros Militar para sua devida análise e aprovação, perante a visão geral da gestão de risco, evitou a possibilidade de transferência de responsabilidade, tendo em vista que as diretrizes da gestão de riscos envolvem tanto aspectos relacionados à análise dos fatores externos como aspectos relacionados à fatores financeiros e eficiência.

Ou seja, sem a análise técnica fundamentada dos projetos, não existe a garantia que o fornecedor não extrapolará ou sintetizará os componentes necessários para atendimento dos requisitos normativos legais, assim como, não existe a garantia que haverá apontar desses

possíveis cenários por parte dos entes governamentais responsáveis por tal homologação.

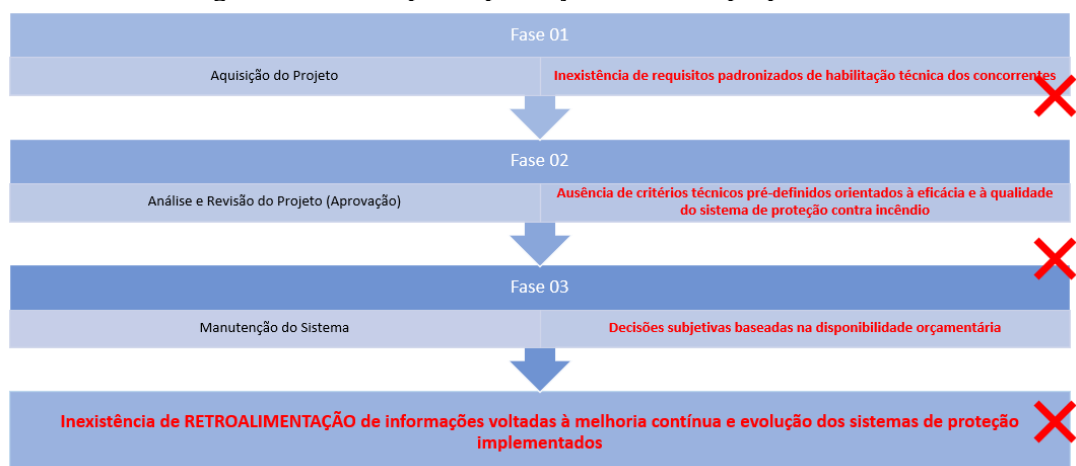
Então, a partir dessas definições descritas neste capítulo, visando a estruturação do sistema de gestão de risco no processo de operacionalização do sistema de prevenção contra incêndio, foi definido uma ação prioritária para cada um dos processos selecionados, conforme demonstrado na figura abaixo:

A estrutura proposta demonstra as iniciativas adotadas visando a estruturação e padronização no processo de gestão de risco na operacionalização do sistema de prevenção contra incêndio em uma organização que executa serviços de tratamento de resíduos sólidos orgânicos vinculada à administração pública.

Antes da proposição dessa nova estrutura visando a condução de um sistema de gestão de risco, os processos ligados à operacionalização do sistema de proteção contra incêndio eram seguidos apenas baseados nos requisitos legais no tocante ao processo licitatório dentro dos órgãos públicos. Não havendo informações claras previamente definidas dos protocolos operacionais internos.

Pode-se observar na figura 04 a demonstração do cenário de um período que antecede a implementação do modelo proposto em contrapartida ao período que sucede a propositura do modelo. Sendo aquele período marcado pela inexistência de ferramentas aplicadas ao objetivo de padronização no processo de implementação dos sistemas de proteção contra incêndio nas unidades operacionais da organização.

Figura 4 - Cenário pré-implantação do modelo proposto



Fonte: O Autor (2023)

Já a segunda fase relaciona-se ao processo de contratação dos projetos relacionados ao sistema de proteção contra incêndio, tratando-se de uma iniciativa destinada à padronização dos

processos internos envolvendo as características mínimas exigíveis ao corpo técnico das empresas envolvidas nos processos licitatórios desta empresa contratante.

Para atendimento desta fase, houve o desenvolvimento de uma relação de requisitos mínimos ligados à habilitação técnica solicitada nestes processos licitatórios, conforme detalhado na tabela 06 do capítulo 05 – Resultados e Discussão. Sendo abordados tópicos relacionados ao credenciamento junto ao CBM e ao acervo técnico prévio comprovadamente qualificado junto ao Conselho de Classe da categoria de engenharia, entre outros.

Numa terceira fase, foram abordadas questões relacionadas à padronização do processo de análise, revisão e aprovação dos projetos de sistemas de proteção contra incêndio contratados e recebidos nas unidades administrativas da autarquia.

Sendo criado um *checklist*, conforme demonstrado na tabela 02 do capítulo 03, servindo de modelo orientativo ao corpo técnico de servidores do órgão que visa direcionar que as ações sejam realizadas forma uniforme, apontando os pontos imprescindíveis de análise no que se refere ao normativo de proteção contra incêndio local.

Na quarta fase, diante da necessária busca incessante pela eliminação ou mitigação dos riscos envolvidas na operacionalização de um sistema de proteção contra incêndio, foi selecionado a aplicação do FMEA para realização das etapas de identificação, análise e avaliação de risco devido a possibilidade de agilidade em sua implementação, bem como a característica de alta produtividade necessária para interação entre os tomadores de decisão no contexto da organização selecionada para realização do estudo.

Podendo-se considerar ainda como uma quinta fase, observa-se a necessidade da retroalimentação do sistema de gerenciamento de risco.

Ainda sobre a quarta fase da metodologia, por ser uma ferramenta de fácil adaptação aos diversos contextos dentro de uma organização, o FMEA possibilita a análise de falhas ainda durante o planejamento ou já durante a execução, podendo ser aplicada como ferramenta de melhoria contínua, tanto em processos quanto em produtos.

Essa característica de fácil adaptação tornou-se imprescindível para a seleção da metodologia FMEA devido as peculiaridades da empresa alvo do estudo, a qual necessita de velocidade nas tomadas de decisões diante dos aspectos inerentes do setor público, entre outros, mão-de-obra insuficiente para atendimento de toda a demanda, necessidade de respostas rápidas por parte dos tomadores de decisão e possibilidade de mudanças constantes dos cenários devido à influência de agentes políticos.

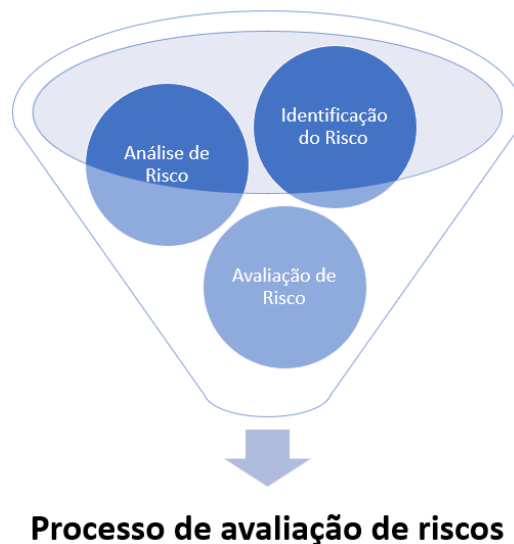
Voltada ao processo de manutenção dos componentes do sistema de proteção contra incêndio, através da aplicação do FMEA como etapa de identificação, obtém-se a análise e

avaliação de riscos no contexto de sistemas de proteção contra incêndio, conforme os requisitos da norma ABNT NBR ISO 31000:2018.

Como resultante, conseguir aplicar a análise estruturada de falhas e modos de operação fundamentado na determinação dos graus de severidade, probabilidade e capacidade de detecção da ocorrência de sinistros.

A figura 05 ilustra as principais diretrizes da gestão de risco, conforme os preconizado na NBR 31000:2018, atrelados ao processo de avaliação destes riscos.

Figura 5 - Diretrizes de gestão de riscos - NBR 31000:2018



Fonte: Adaptado da ABNT NBR ISO 31000:2018

Cabe salientar existir certa ambiguidade teórica, no contexto do presente estudo, no que refere ao tipo classificatório do método, se será considerado como FMEA de produto ou de processo devidas suas especificidades.

Apesar de encontrar-se na fase de concepção do projeto, ainda no período de seleção e aprovação dos projetos apresentados pela empresa vencedora do processo licitatório, o produto final do estudo se destina ao direcionamento de ações prioritárias e referenciadas ao setor de manutenção da empresa através de um Plano de Ação, determinando onde serão aplicados os maiores esforços nas ações mitigarias das possíveis falhas detectadas e mensuradas.

A figura 06 demonstra o modelo de formulário FMEA utilizado para a aplicação da fase 04 – Manutenção do sistema – na metodologia empregada no estudo.

Figura 6 - Formulário FMEA aplicado

Planilha: Análise de Falhas - FMEA	Processo: / Sistema: / Equipamentos:							Planilha Nº: 01 Revisão: 00	Coordenador:	Data: xx/xx/xxxx Folha: 1/1		
Descrição do item:												
ÍTEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	SEV	OCO	DET	RPN	Ações Recomendadas	RESP	FREQ. DA TAREFA	PRAZO
XX								0				
								0				
								0				

Fonte: Adaptado de STAMATI (2014)

Tais aspectos se impõe também em relação a capacidade que o FMEA possui de afeição-se aos requisitos da norma ABNT NBR ISO 31000 (2018), sendo assim aplicado como parte integrante desta norma. Estes requisitos já muito bem validados no mundo todo por meio da *International Organization for Standardization* (ISO), organização já consagrada e muito utilizado nos países de alto índice de industrialização e comercialização.

A norma ABNT NBR ISO 31000 (2018) preconiza que organizações de todos os tipos e tamanhos enfrentam influências e fatores externos e internos que tornam incerto se elas alcançarão seus objetivos. Definindo que o gerenciamento de riscos é iterativo e auxilia as organizações no estabelecimento de estratégias, no alcance de objetivos e na tomada de decisões fundamentais.

Além, da necessidade de envolvimento dos *stakeholders*, principalmente quando se fala da alta direção da organização, no processo construção de gestão de risco em todos os seus níveis, compreendendo os níveis operacionais, táticos e estratégicos.

Ainda sobre os preceitos da ABNT NBR ISO 31000 (2018), o desenvolvimento da estrutura de gestão de risco engloba integração, concepção, implementação, avaliação e melhoria de gestão de riscos através da organização. A figura 07 ilustra os componentes de uma estrutura padrão.

Figura 7 - Diretrizes de gestão de riscos - NBR ISO 31000:2018

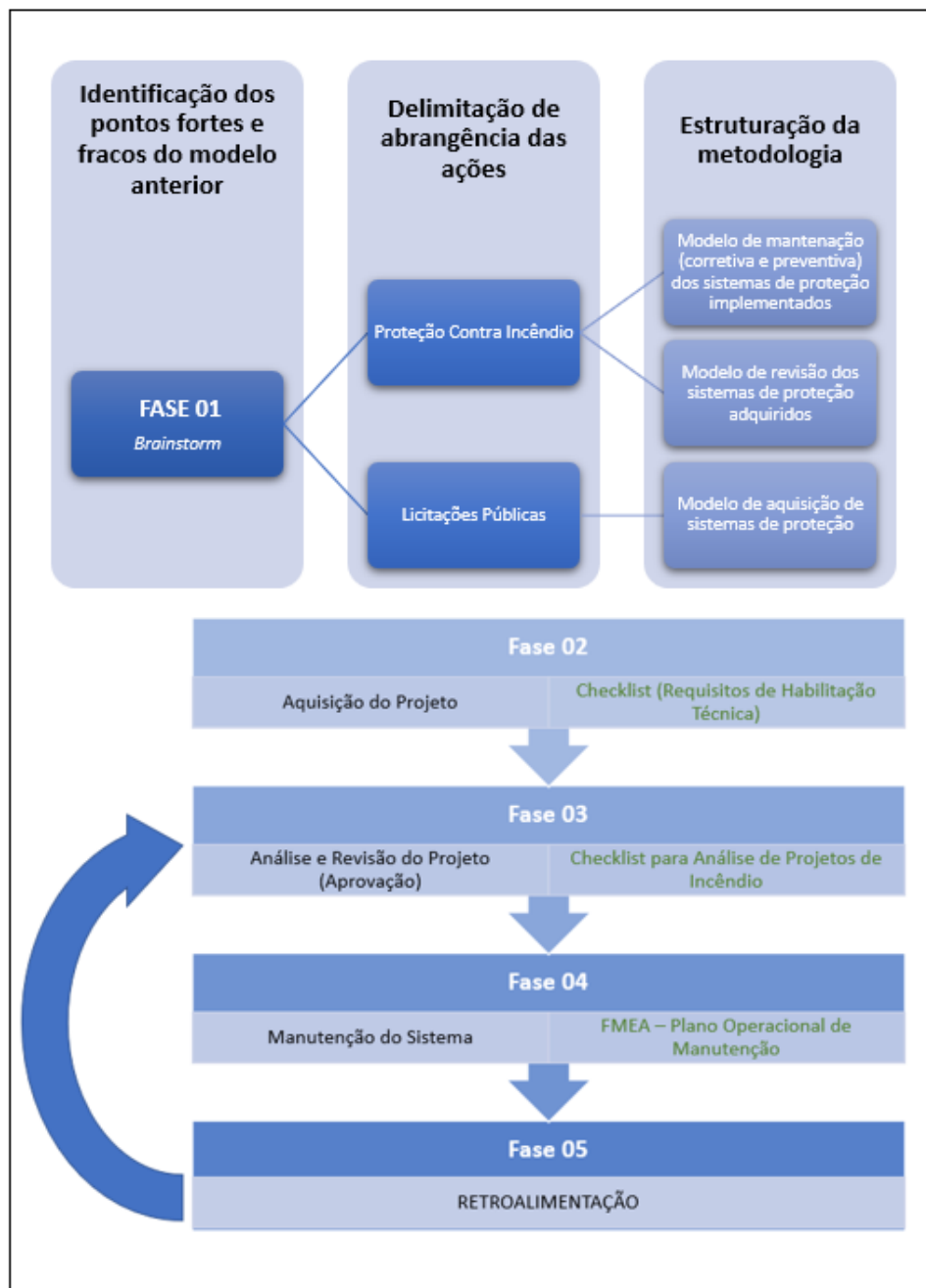


Fonte: Adaptado da ABNT NBR ISO 31000:2018

Conforme o modelo proposto, a retroalimentação do sistema possibilita que este ciclo seja passível de um processo de melhoria contínua através de retroalimentação de informações adquiridos no decorrer do processo.

A figura 08 resume o processo adotado para definição da estratégia utilizada na delimitação de abrangência das ações necessárias para a definição da metodologia, bem como propõe o sequenciamento das fases necessárias para obtenção da implementação da metodologia proposta baseada nos preceitos estabelecidos de gerenciamento de risco de incêndios.

Figura 8 - Etapas Necessárias para Implementação da Metodologia



Fonte: O Autor (2023)

Buscou-se traçar a estratégia da metodologia, apesar das características iniciais serem relacionadas exclusivamente ao setor público, de uma forma que possibilitasse a replicação do conceito fundamental desta metodologia para os mais diversos segmentos empresariais, observadas as devidas adequações mercadológicas, conforme a não existência de distinção entre os critérios intrínsecos ao processo de implementação de um sistema eficiente de proteção contra incêndio em unidades operacionais, sendo estes projetos, corriqueiramente, precedidos das etapas de aquisição, revisão e manutenção.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são apresentadas as características específicas da área de estudo e a aplicação direta da metodologia, demonstrando os resultados obtidos a partir de sua implementação no contexto dos procedimentos adotados.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A partir da necessidade de um projeto de proteção contra incêndio (PPCI) de expansão estrutural de uma autarquia vinculada ao poder público responsável pela coleta, processamento e destinação do lixo urbano localizada na região centro-oeste do país, foram realizadas interações setoriais entre a equipe de engenharia civil juntamente com a equipe de Segurança e Saúde Ocupacional do órgão.

Sendo estabelecido as principais possíveis falhas dos componentes empregados no sistema de proteção contra incêndio, conforme as avaliações qualitativas e interpretação do projeto em sua fase de análise e revisão para construção de um galpão de armazenamento de compostos orgânicos com cerca de 31.000 m².

Desse cenário, foi possível, através da execução de um *brainstorming* entre essas equipes responsáveis, denominada internamente de comissão de executores, determinar os pontos críticos em relação a toda a cadeia do sistema de proteção contra incêndio e selecioná-los para o aprofundamento do estudo e aplicação da metodologia aqui proposta.

Sendo assim discutida a necessidade de ampliação da abrangência de aplicação da metodologia de gestão de risco relacionado ao processo alvo de estudo, tendo em vista que, antes do início da apreciação do tema, a metodologia havia sido originalmente pensada apenas para a fase de manutenção do sistema de proteção contra incêndio após sua contratação e execução.

Ficando estabelecido que além da fase de manutenção do pleno funcionamento do sistema, após a fase de execução da obra, foram relatados vários problemas de inconsistências já no processo de seleção de fornecedores, que vão de problemas relacionados ao não atendimento de critérios documentais necessários perante os órgãos regulatórios, como a participação no processo público de licitações empresas sem a *expertise* necessária para a condução de projetos ligados ao sistema de proteção contra incêndio.

Resultando na necessidade de inclusão do processo de aquisição do serviço de contratação do projeto por parte do órgão contratante, empresa alvo do estudo, como etapa do processo de gestão de risco.

A figura 02 traz a demonstração gráfica, por meio de uma das pranchas do projeto de proteção contra incêndio, originário ao cenário estabelecido para a fundamentação da metodologia na autarquia alvo do estudo. Tratando-se da construção de aproximadamente 31.000 m² de estrutura de cobertura para acondicionamento de resíduos sólidos oriundos do lixo urbano.

Figura 2 - Prancha demonstrativa do PPCI



Fonte: O Autor (2023)

Corroborar ainda com o fato da necessidade de uma cautela redobrada por parte dos servidores executores de contratos quando se trata de envolvimento de dinheiro público, sendo possível a responsabilização na esfera jurídica civil e criminal, perda de cargo público e ressarcimento ao erário quando comprovada a sua ineficiência (imperícia, imprudência ou negligência) na administração de tais verbas para andamento de projetos mal planejados, mal projetados ou mal executados.

Segundo informação do Portal da Transparência do Governo Federal, desconsiderando as compras realizadas pelos outros entes federativos, mostra que só na esfera federal no ano de 2022 foram movimentados R\$ 392,85 bilhões de reais com aquisição de bens e serviços. Demonstrando a necessidade de padronização do processo de aquisição dentro desses órgãos, objetivando melhores condições aos tomadores de decisão a partir de ferramentas estruturadas de gestão de risco, coincidente com o caso de estudo proposto, tendo em vista a movimentação financeira de milhões de reais oriundos do erário.

Também foram discutidas a necessidade de padronização do processo de análise e revisão dos projetos, responsabilidade dos executores de contrato do órgão, que mesmo diante

de um corpo técnico de servidores com formação em engenharia, não possuíam experiência, até mesmo existindo discrepâncias na forma de revisão, análise e, consequentemente, aprovação nesse tipo de projeto.

Resultando na necessidade de inclusão do processo de análise e revisão do projeto por parte do órgão contratante como etapa do processo de gestão de risco.

Tendo em vista a inexistência prévia, na empresa alvo do estudo, de um procedimento padronizado no processo de apreciação desses projetos, o modelo proposto pelo presente estudo serviu-se da criação de um *checklist* baseado na orientação sequencial e análise dos requisitos técnicos de pontos imprescindíveis à apreciação por parte da equipe de executores de contratos, responsáveis por tais ações.

Sendo este modelo baseado nos requisitos normativos legais do Corpo de Bombeiros Militar, possibilitando a padronização no processo de qualificação dos componentes presentes no sistema de proteção contra incêndio proposto em projeto, objetivando a averiguação de inexistência de componentes de segurança, atribuição de componentes desnecessários ou deficientes ao projeto, conforme detalhado na tabela 02 – *Checklist* para Análise de Projetos de Incêndio – do Capítulo 03.

Diante da necessidade de envolvimento da alta gestão da organização no processo de gerenciamento de risco, conforme requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 31000 (2018), a implementação da ferramenta deve originar-se de um memorando interno emitido por meio de determinação da Diretoria Técnica do órgão direcionado às coordenações e às gerências ligadas aos setores responsáveis por tal análise.

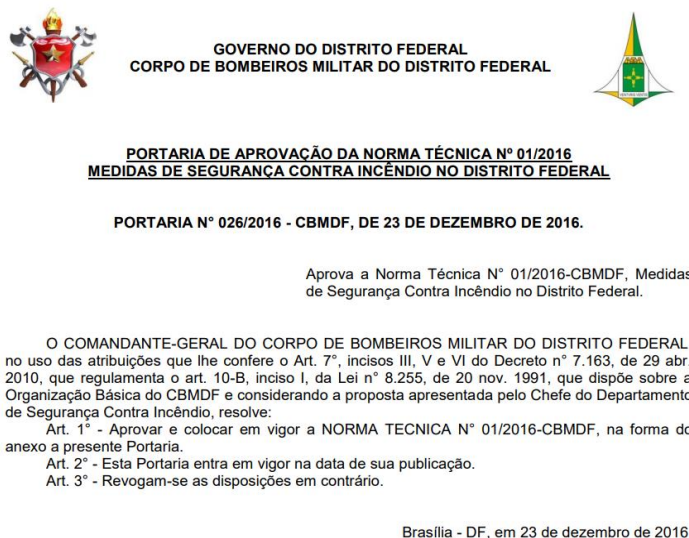
A matriz curricular das engenharias no Brasil, que fica a cargo do Ministério da Educação, não compreende os sistemas de proteção em sua plenitude, trazendo apenas aspectos dos seus componentes de forma parcial, pode-se observar que existe, entre outros, a abordagem de disciplinas como desenho técnico, hidráulica e legislação de saúde e segurança do trabalho. Entretanto, a formação de engenharia no país ainda necessita de um avanço nesse requisito tão importante para a manutenção da segurança de pessoas e do patrimônio, público e privado.

O processo de análise e aprovação de projetos de sistemas de proteção contra incêndios estão indissociáveis de um conjunto de técnicas de engenharia com a regulamentação normativa referente ao tema, que no país está predominantemente vinculada à esfera estadual ou distrital (caso do Distrito Federal). Valendo-se aqui da necessidade de conhecimento de Leis, Decretos e Normas Técnicas, essas últimas, normalmente, emitidas pelo Corpo de Bombeiros Militar.

As exigências normativas no que tange as técnicas e características necessárias que devem ser observadas na elaboração dos projetos de proteção contra incêndio podem ser obtidas

por meio dos portais dos Corpos de Bombeiros de cada ente estadual, obtidas por meio do [link https://segurancacontraincendio.cbm.df.gov.br/](https://segurancacontraincendio.cbm.df.gov.br/), no caso do Distrito Federal, conforme figura 03 abaixo.

Figura 3 - Exemplo de Norma Técnica - Proteção Contra Incêndio



Fonte: <https://segurancacontraincendio.cbm.df.gov.br/>

Esta etapa possui total dependência da habilidade técnica do profissional designado para tal serviço, o que possibilita um campo amplo de subjetividade que deve ser controlada por medidas padronizadas vinculadas a gestão de riscos, possibilitando que as tomadas de decisões sejam tomadas de forma estruturada. Assim, mitigando a possibilidade de futuras penalidades e responsabilização perante a execução de contratos da administração pública por meio destes executores.

Pode-se exemplificar quanto ao fato da possibilidade de alto risco financeiro envolvido na aprovação interna de projetos que excedam as medidas de segurança necessárias para aquele tipo de empreendimento de acordo com as características apresentadas, sendo assim este projeto submetido ao Corpo de Bombeiros, ator munido da prerrogativa do Estado para tal homologação, que na prática de mercado, não apontará que foram apresentados mais componentes de proteção contra incêndio que o necessário para aquela caracterização apresentada em projeto.

Ou ainda, gerando a possibilidade inversa, que sejam apresentados projetos com elementos escassos em relação à caracterização do empreendimento, e mesmo assim, exista a possibilidade de aprovação de tal projetos, o que geraria alto fator de risco de ineficiência dos

meios de proteção projetados.

A falta de uma análise preliminar dos projetos de incêndios por meio dos agentes internos, exclui também a possibilidade de inclusão de medidas de proteção que excedam as prerrogativas normativas de acordo com a característica específica das operações e produtos envolvidos nos processos produtivos.

A empresa alvo do estudo trata-se de uma autarquia vinculada à administração pública com orçamento anual de aproximadamente R\$ 600 milhões de reais, contando com a administrativas de 45 unidades prediais, divididas entre unidades operacionais e administrativas.

Com atuação no serviço de coleta, tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos e resíduos da construção civil, a organização ainda carece de expansão e reestruturação dos seus sistemas de prevenção contra incêndio, possibilitando assim um campo fértil para a implementação de ferramentas e métodos de gestão de risco objetivando a padronização e controle dos processos internos.

Portanto, para o desenvolvimento do estudo relacionado ao processo de gestão de risco envolvendo projeto de sistema de proteção contra incêndio dentro um órgão público, foi consolidado o entendimento da necessidade de atuação inicial nas 03 (três) áreas, consideradas principais pelos Executores de Contrato, sendo elas: contratação do projeto, aprovação do projeto e manutenção do sistema.

4.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

O subitem aborda de forma detalhada cada fase da metodologia proposta, utilizando-se da apresentação descritiva de suas características técnicas e a apresentação das ferramentas utilizadas para implementação em sua aplicação prática.

4.2.1 Fase 01 - Definição da Estratégia de Implementação

Uma avaliação de risco de incêndio sempre foi uma tarefa desafiadora, sendo a melhor ferramenta para identificar estratégias de proteção contra incêndio comparáveis e para medir a redução do risco de incêndio que pode ser obtida com cada medida específica de prevenção e proteção, ou seja, por meio de diferentes estratégias de segurança contra incêndio.

São necessários investimentos adequados para alcançar simultaneamente um desenvolvimento industrial sustentável e condições de segurança. A avaliação de risco para a segurança da vida e patrimônio em incêndios e explosões em edificações desempenha um papel importante no projeto de projeto de proteção contra incêndio.

A metodologia adotada originou-se de situações observacionais práticas, pertencentes ao dia a dia da organização, nos quais foram levantados os pontos passíveis de padronização a partir de um *brainstorming* realizado entre as equipes de engenharia responsáveis pelos processos de aquisição, revisão e manutenção dos sistemas de proteção contra incêndios das unidades operacionais.

A partir do entendimento da necessidade de atuação ativa na situação problemática observada, foi delimitado o arcabouço de frentes de trabalho necessários para obtenção dos objetivos desejados, tendo em vista a particularidade de necessidade de aquisição dos serviços através de processos licitatórios, com suas características e limitações específicas no que concerne a prestação de serviços para órgãos públicos.

Assim como, passando pela necessidade de atuação no processo de formalização e padronização do processo de revisão e aprovação dos projetos de combate a incêndio recebidos. E, finalmente, alcançando o processo de mapeamento de ações prioritárias nos processos necessários para a manutenção do sistema de combate a incêndio, tornando-o plenamente ativo e eficaz quanto ao seu objetivo primário, tendo em vista a grande quantidade de sinistros registrados devido à ineficácia desses sistemas.

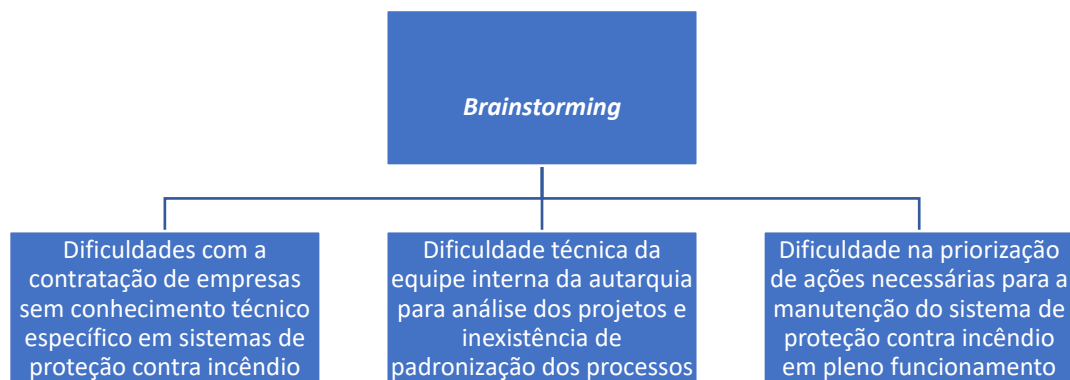
Visando uma ampla abrangência da metodologia, foram estabelecidas 03 (três) frentes de trabalho distintas, sendo estas consecutivas e complementares no tocante ao aspecto de abrangência completa dos sistemas de proteção contra incêndio, a partir das características peculiares da organização alvo do estudo, sendo elas:

- 1. Proposição de um modelo de aquisição de sistemas de proteção contra incêndio** – este modelo caracterizou-se pela necessidade de padronização do processo de aquisição dos projetos, de acordo com as características peculiares de processos licitatórios, baseado no levantamento de diversos problemas relatados a partir do *brainstorming* inicial, destacando-se a baixa *expertise* técnica das empresas ganhadoras de processos anteriores.
- 2. Proposição de um modelo de revisão dos sistemas de proteção adquiridos** - este modelo caracterizou-se pela necessidade de padronização do processo de revisão/aprovação dos projetos adquiridos, baseado no levantamento dos problemas relatados a partir do *brainstorming* inicial, destacando-se a grande ocorrência de necessidade retrabalho no processo de análise e revisão destes projetos, assim como a inexistência de uma conformidade na revisão dos itens técnicos e mais relevantes dos projetos por parte dos próprios servidores internos do órgão;

3. Proposição de um modelo de manutenção (preventiva e corretiva) dos sistemas de proteção contra incêndios já implementados – este modelo ficou caracterizado a partir de uma prévia inexistência completa de qualquer ferramenta que objetivasse o mapeamento e configuração dos tópicos essenciais para a manutenção dos sistemas de proteção contra incêndio das unidades operacionais da organização. Sendo para tal adotado o FMEA como ferramenta de priorização das ações propostas, conforme detalhamento no decorrer do capítulo.

A figura 09 ilustra um resumo dos principais temas abordados pelas equipes de Engenharia Civil e Segurança e Saúde Ocupacional da autarquia durante as reuniões de consolidação do *brainstorming*:

Figura 9 - Resultado do *Brainstorming* aplicado



Fonte: O Autor (2023)

Foram discutidos os principais problemas relacionados ao sistema de gerenciamento de risco de incêndio da organização. Entre eles, a dificuldade contínua e persistente de problemas na contratação de empresas com baixo conhecimento técnico relacionado à legislação específica de proteção contra incêndio no município por parte das empresas contratadas, inexistência de ordem de prioridade dos principais itens que devem ser observados na revisão dos projetos contratados por parte do corpo técnico interno e a falta de determinação de ações prioritárias no tocante à manutenção dos sistemas de proteção contratados e implementados.

Tais reuniões tornaram evidente a necessidade de implementação de controles internos visando à padronização dos processos de aquisição, revisão e manutenção dos sistemas de proteção contra incêndio, resultando na elaboração das fases subsequentes, que são descritas abaixo.

Diante da prévia inexistência de um modelo de gerenciamento de riscos ou ferramentas bem definidas relacionadas à proteção contra incêndio na empresa alvo do estudo, foi proposta uma metodologia baseada na consolidação de ações destinadas ao estabelecimento da estrutura de gerenciamento de risco relacionado ao sistema de proteção contra incêndio na unidade processamento mecânico biológico de resíduos sólidos urbanos, conforme os preceitos da norma ABNT NBR ISO 31000:201, abrangendo 04 (quatro) fases diretas, contando ainda com a possibilidade de implementação posterior de uma quinta fase residual, detalhadas nos parágrafos posteriores.

4.2.2 Fase 02 – Aquisição do Projeto

A padronização do processo de contratação de projetos relacionados à infraestrutura demonstrou-se como fator determinante no andamento do processo de tomada de decisões relacionadas a estes.

Por se tratar de grandes contratações envolvendo verbas públicas, a realização de processo licitatório torna-se um requisito legal. Durante o processo licitatório para a contratação desse tipo de serviço pode haver vários contratemplos para o andamento do projeto. Sendo mais relevante a experiência e capacidade técnica da empresa nesses tipos de projetos em contrapartida à capacidade de realização do serviço por menores preços, situação já prevista pela Lei nº 14.133, de 01 de abril de 2021 (denominada Nova Lei das Licitações).

Portanto, formulou-se a proposta de padronização da modalidade licitatória no que tange a elaboração de projetos envolvendo sistemas de proteção contra incêndios, passando da modalidade tipo “menor preço” para a modalidade “técnica e preço”.

Mesmo diante da necessidade de submissão e formalização de justificativa fundamentada aos órgãos de controle como Ministério Público e Tribunal de Contas vinculados ao órgão para utilização da modalidade proposta, no qual, o preço mais baixo oferecido não será o único fator relevante para a seleção da empresa no final do processo licitatório.

Nas fases iniciais do processo de levantamento de informações relacionadas ao estudo de caso, foi possível identificar falhas no processo de padronização para nivelamento das empresas participantes do processo licitatório já na demanda de qualificação técnica para

habilitação do processo licitatório, que deve ser observado já no lançamento dos editais de licitação, onde foi observado exigências genéricas para as Anotações de Responsabilidades Técnicas (ART) dos engenheiros, representantes técnicos das empresas participantes do processo licitatório.

A padronização da modalidade adotada no processo licitatório, assim como, os requisitos necessários para contratação de serviços relacionados à aquisição de projetos de proteção contra incêndio resultarão na facilitação no andamento do processo de gestão de risco, desde a seleção de projetos, passando pelo processo de tomada de decisão, culminando no desenvolvimento de ações necessárias para a manutenção e funcionamento do sistema como um todo.

Diante deste cenário, houve a proposição da padronização de exigências necessárias para a habilitação técnica dos interessados em participação dos futuros processos licitatórios relacionados aos projetos de sistema de proteção contra incêndio das unidades operacionais do órgão, conforme modelo de *checklist* detalhado abaixo:

Tabela 1 - Requisitos de Habilitação Técnica - Processo Licitatório

Certidão de Registro de Pessoa Jurídica	Expedida pelo Conselho Profissional competente, para serviços objeto deste termo.
Declaração do Responsável Técnico	Devidamente habilitado para o exercício das funções relativas às atividades pertinentes, de que acompanhará e se responsabilizará pelos serviços prestados durante todo o período da contratação.
Certidão de Responsabilidade Técnica no Conselho Regional	Competente na qual conste atestado de responsabilidade técnica em serviço com características pertinentes e compatíveis com as exigidas no presente Termo de Referência.
Corpo de Bombeiro Militar	Devidamente credenciado para o exercício das funções relativas às atividades de elaboração de projetos contra incêndio junto ao Corpo de Bombeiros Militar.
Anotação de Responsabilidade Técnica (ART)	Os profissionais indicados nas ARTs como responsáveis pela execução dos serviços e de autoria de projeto deverão ter, no mínimo: ➤ Comprovação da elaboração de projetos de 5.000 m² - para empreendimentos consideradas de alto risco; ou ➤ Comprovação da elaboração de projetos de 10.000 m² - para empreendimentos consideradas de médio risco; ou ➤ Comprovação da elaboração de projetos de 20.000 m² - para empreendimentos consideradas de baixo risco.

Atestado de Capacidade Técnica	Fornecido por pessoa jurídica de direito público ou privado comprovando que a proponente executou de forma satisfatória os serviços com características pertinentes e compatíveis com as exigidas no presente Termo de Referência.

Fonte: O Autor (2023)

Como resultado direto do processo de padronização já na etapa de contratação dos projetos, encontra-se principalmente a redução de risco administrativo relativo à responsabilização dos executores de contratos por parte dos órgãos de controle diante da possibilidade de contratação de projetos inexequíveis ou de baixa qualidade.

Com isso, reduzindo a possibilidade de ações regressivas de ressarcimento ao erário atrelados a estes servidores, tendo em vista que a eficiência se tornou princípio constitucional na Administração Pública com a reforma administrativa de 1998, permitindo que os órgãos de controle imputem sanções administrativas à esses servidores executores de contratos a partir de meras falhas na gestão e execução destes contratos.

Tal iniciativa, não elimina totalmente o risco de falhas no processo de seleção ou contratação desses projetos, entretanto, reduz a possibilidade de falhas ou inconsistências resultantes da falta de definição dos requisitos otimizados para a realização dessas contratações.

4.2.3 Fase 03 – Análise e Revisão dos Projetos (Aprovação)

Após a homologação da empresa contratada, tem-se o processo de início de prestação de serviço, com as primeiras fases de elaboração do projeto, que incluem as medições iniciais e o envio dos projetos que compõe todo o sistema de proteção incêndio para análise, no que tange tanto as características técnicas de atendimento aos requisitos regulatórios, quanto a análise dos aspectos e impactos financeiros relacionados ao projeto, nos quais podem ser incluídos componentes técnicos desnecessários para atendimento regulatório, resultando em despesas desnecessárias.

Devido ao despreparo técnico de diversas empresas prestadoras de serviço de engenharia no que tange a elaboração de projetos de proteção contra incêndio diante da infinidade de normas regulatórias descentralizadas, tendo em vista que estas empresas possuem discricionariedade de atuar nos mais diversos entes administrativos, sejam eles, municipais, estaduais ou federais.

Assim como, a possibilidade dessas empresas de reduzirem seus custos financeiros

através da diminuição do detalhamento técnicos destes projetos, nessa fase é comum a inclusão de todos os componentes de proteção contra incêndios disponíveis no ordenamento regulatório, ou até mesmo a subtração ou inclusão de componentes indispensáveis ao sistema, sem a observância da real necessidade, conforme os critérios de seleção que dependem de características como: o risco de incêndio do empreendimento vinculado a sua atividade fim, a área total de cobertura do empreendimento, a altura do empreendimento, além de outros fatores diversos, sendo todos esses fatores determinados por normas técnicas específicas dos Corpos de Bombeiros Militares de cada estado.

Portanto, existindo a necessidade de submissão desses projetos para análise por parte do corpo técnico dos órgãos. Sendo neste caso, empresa alvo do estudo, atribuição dividida entre a Gerência de Engenharia Civil e a Gerência de Segurança do Trabalho, compostas por servidores públicos estatutários de carreira pertencentes ao órgão contratante do serviço.

Diante deste cenário, foi possível, por exemplo, apontar junto aos engenheiros responsáveis pelo planejamento e coordenação da obra que o projeto não previa inicialmente o estabelecimento de sistemas de exaustão dos depósitos, o que facilitaria a possibilidade de pontos de acúmulo de gases inflamáveis e tóxicos, tendo em vista a ampla área de cobertura do empreendimento, com superfícies de coberturas contínuas possuindo até 10.080 m². Tal problemática foi facilmente resolvida após reunião da equipe de engenharia responsável e solicitação de revisão do projeto para a empresa contratada.

A partir do somatório dos pontos identificados pelas análises individualizadas entre as gerências, é submetido à empresa um parecer técnico determinando a necessidade de ajustes, reprovação ou aprovação do projeto.

Visando a padronização do processo de levantamento de informações necessárias para a análise e consequente aprovação dos projetos, foi desenvolvido um formulário de *checklist* que possibilite o levantamento informações necessárias para análise destes projetos de forma independente entre as duas gerências (Engenharia Civil e Engenharia de Segurança do Trabalho), porém padronizadas, conforme demonstrado na tabela 02 abaixo.

Tabela 2 - Checklist para Análise de Projetos de Incêndio
CHECKLIST DE ANÁLISE DE PROJETO DE INCÊNDIO

Item	Requisitos para análise	C	NC	NA	Observação
1	Apresentação das plantas arquitetônicas e arquivos em formato .dwg e .pdf				
2	A configuração das “Layers” das plantas do projeto condiz com o normativo do CBM				
3	As siglas apresentadas nas plantas do projeto condizem com o normativo do CBM				

4	Houve a apresentação do Memorial de Cálculo do projeto				
4.1	O Memorial de Cálculo compreende o detalhamento de todos os componentes necessários para o sistema				
4.2	A apresentação do Memorial de Cálculo condiz com os modelos exigidos pelo CBM				
4.3	A classificação de risco da edificação indicada condiz com o normativo do CBM				
5	A configuração das pranchas e carimbos condiz com o normativo do CBM				
6	Quando aplicável, o dimensionamento de RTI do sistema de chuveiros automáticos condiz com o normativo do CBM				
6.1	Quando aplicável, o dimensionamento de RTI do sistema de hidrantes condiz com o normativo do CBM				
7	Quando aplicável, houve o detalhamento técnico das bombas relacionadas ao sistema de hidrante e chuveiro automático				
8	Quando aplicável, houve o detalhamento técnico dos componentes do sistema de detecção e alarmes de incêndio				

“C” = CONFORME / “NC” = NÃO CONFORME / “NA” = NÃO APLICÁVEL

Fonte: O Autor (2023)

Foram utilizados normativos específicos capazes de fornecer elementos técnicos básicos objetivando a formulação dos critérios mínimos observáveis no processo de revisão dos projetos de proteção contra incêndio, cita-se por exemplo a legislação do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal:

- Norma Técnica N° 01/2016;
- Norma Técnica N° 02/2016;
- Norma Técnica N° 04/2000;
- Norma Técnica N° 10/2015; e
- Norma Técnica N° 22/2022.

Além de fornecer uma forma de análise estruturada do projeto, possibilita-se a formalização via ofício para que a empresa prestadora de serviços possa obter resposta sobre os pontos observados nos projetos, sendo estes itens identificados passíveis de melhoria, correção parcial, correção total, reprovação ou aprovação.

Portanto, tal iniciativa resultou na padronização do processo de análise dos projetos recebidos, possibilitando a redução de risco inerente à falha neste processo de revisão e garantindo que os principais pontos, conforme ordenamento normativo, sejam passíveis de avaliação. Assim como, a averiguação dos possíveis casos de inclusão de componentes desnecessários ou a retirada de componentes essenciais ao projeto.

4.2.4 Fase 04 – Manutenção do Sistema

Visando a melhoria da qualidade dos projetos e a padronização do processo de contratação do serviço de projetos de engenharia relacionados ao sistema de proteção contra incêndio, foi proposto um checklist estabelecendo os requisitos necessários para a habilitação técnica dos fornecedores participantes dos processos licitatórios do órgão, conforme detalhado na tabela 02.

Diante da necessidade de padronização do processo de análise dos projetos, assim como, ampliar a possibilidade de mitigar os riscos inerentes a tal processo realizado pelos servidores do órgão, foi proposto um checklist estabelecendo os critérios prioritários necessários para análise destes, conforme detalhado na tabela 03.

A metodologia proposta utilizou-se de um modelo da escala *likert* com índices entre 01 e 05 com a predefinição dos critérios para o processo de tomada de decisão. Após a aplicação dos índices num processo de tomada de decisão em grupo, obteve-se o RPN para cada indicador analisado no processo de construção do modelo.

A tabela 03 demonstra a parametrização utilizada para definir o índice de probabilidade de ocorrência de falhas. Esta escala permite aumentar a objetividade no que se refere ao cálculo do número de vezes que as falhas mapeadas terão mais ou menos influência no plano de ações que será proposto.

Tabela 3 - Escala de Ocorrência

Tabela 2 - Ocorrência		
Probabilidade de falha	Taxa de falha possível	Índice
Baixíssima	Chance remota de falha	1
Baixa	Frequencia muito baixa: 1 vez por ano	2
Moderada	Frequencia moderada: 1 vez a cada 2 meses	3
Alta	Frequencia alta: Algumas vezes por semana	4
Muito Alta	Frequencia máxima: Varias vezes ao dia	5

Fonte: O Autor (2023)

Os tomadores de decisão envolvidos no processo de gestão de risco relacionado à sistema de proteção contra incêndio necessitam ter ampla noção da capacidade de dano para cada falha mapeada, possuindo capacidade para dividi-las a partir de critérios objetivos, facilitando a priorização de ações.

A tabela 04 ilustra a parametrização utilizada para definir o índice de severidade para cada falha mapeada. Esta variável fornece alicerce ao cálculo de RPN relacionado à potencialidade de dano ou colapso do sistema de proteção, abrangendo aspectos financeiros,

ambientais, saúde ou segurança.

Tabela 4 - Escala de Severidade

Tabela 1 - Severidade		
Efeito	Severidade de cada efeito/falha ou erro	Índice
Baixíssima	O efeito da falha ocasionado é considerado desprezível para o sistema como um todo. O sistema não requer reparos imediatos.	1
Baixa	O efeito da falha é considerado baixo no desempenho do sistema. Uma falha não traria grandes danos ao sistema, mas pode requerer manutenções não planejadas.	2
Moderada	O efeito da falha pode trazer prejuízos moderados ao desempenho do sistema. Uma falha pode resultar em danos ao sistema (financeiros, ambiental, saúde e segurança), requer a disposição de manutenções planejadas.	3
Alta	O efeito da falha trará grandes prejuízos ao desempenho do sistema. Uma falha resultará em grandes danos ao sistema (financeiros, ambiental, saúde e segurança), requer prioridade no planejamento de ações e disposição de manutenções planejadas.	4
Muito Alta	Falha envolve resultados catastróficos ao sistema. Potencial questão de segurança, saúde, financeira ou ambiental. A falha deve ser tratada imediatamente e possuir prioridade no planejamento de ações.	5

Fonte: O Autor (2023)

A tabela 05 demonstra o modelo adotado para parametrizar a capacidade de detecção das falhas mapeadas. Esta escala subsidia a tomada de decisão no que se refere aos controles necessários que devam ser adotados para monitorar e mitigar as falhas prováveis do processo de gestão de risco.

Tabela 5 - Escala de Detecção

Tabela 3 - Detecção			
Detecção	Critério	Prob. De Detecção da falha (%)	Rank
Remota	Chance remota de detecção de uma falha	0 - 20	5
Baixa	Chance baixa de detecção de uma falha	21 - 40	4
Moderada	Chance moderada de detecção de uma falha	41 - 60	3
Alta	Chance alta de detecção de uma falha	61 - 80	2
Muito Alta	Chance muito alta de detecção de uma falha	81 - 100	1

Fonte: O Autor (2023)

Foram tratados também dos formulários obtidos na aplicação do modelo proposto no que se refere à metodologia FMEA para a fase de manutenção de funcionamento do sistema de proteção contra incêndio.

Esta aplicação utilizou-se da análise do sistema de detecção de fumaça, sistema de hidrantes a partir do funcionamento das bombas elétricas e à combustão, assim como, a análise dos riscos de mal funcionamento ligados à central de alarmes e detecção de incêndio, conforme

detalhados abaixo.

A figura 10 demonstra de forma individualizada a aplicação do FMEA nos aspectos ligados à Sistema de Detecção. Onde foram tratadas as possíveis falhas oriundas dos componentes de detecção, detector de fumaça endereçável.

Figura 10 - FMEA do Sistema de Detecção

Planilha: Análise de Falhas - FMEA		Processo: Proteção contra incêndio de depósito de compostagem Sistema: Detecção de Fumaça Endereçável Equipamentos: Câmara óptica de detecção						Planilha Nº: 01 Revisão: 00		Coordenador: Thiago Xavier		Data: 18/11/2022 Folha: 1/1	
Descrição do item: O projeto de sistema de detecção e alarme de incêndio é composto por 284 detectores de fumaça, todos localizados no interior do depósito de compostagem de orgânicos. Sendo todos responsáveis pela transmissão de sinais para uma central controladora de gerenciamento. Ao se detectar a presença de fumaça de diversas fontes de combustão, a central envia um sinal para o sistema de alarme audiovisual e informa a localização do detector acionado.													
ÍTEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	SEV	OCO	DET	RPN	Ações Recomendadas	RESP	FREQ. DA TAREFA	IMPLEMENTAÇÃO	
Detector de fumaça endereçável (Câmara óptica de detecção)	Detectar partículas de fumaça produzidas por uma ampla gama de fontes de combustão.	Queima da unidade eletrônica	Perda da funcionalidade	Defeito de fabricação	5	2	2	20	Realizar testes para avaliar necessidade de substituição do elemento sensor	Operação / Manutenção	bimensal	Imediato	
				Acúmulo de poeira	5	4	4	80	Realizar testes para avaliar necessidade de substituição do elemento sensor	Operação / Manutenção	bimensal	Imediato	
		Falhas da unidade eletrônica	Redução da capacidade de captura e leitura	Desgaste natural dos componentes	4	2	2	16	Substituição do elemento sensor	Operação / Manutenção	bimensal	Imediato	
		Saturação do elemento sensor	Acionamentos indevidos do sistema	Acúmulo de poeira	5	5	4	100	Limpeza dos detectores	Operação / Manutenção	Mensal	Imediato	
			Erros no processo de medição	Acúmulo de gases tóxicos	5	5	3	75	Inertização do ambiente com introdução de nitrogênio	Operação / Manutenção	semestral	Imediato	

Fonte: O Autor (2023)

A figura 11 demonstra de forma individualizada a aplicação do FMEA nos aspectos ligados ao Sistema de Alarme. Onde foram tratadas as possíveis falhas oriundas dos componentes da central eletrônica de controle.

Figura 11 - FMEA do sistema de Alarme

Planilha: Análise de Falhas - FMEA		Processo: Proteção contra incêndio de depósito de compostagem Sistema: Central de alarme de incêndio endereçável Equipamentos: Central eletrônica Cie 1125					Planilha Nº: 03 Revisão: 00		Coordenador: Thiago Xavier		Data: 18/11/2022 Folha: 1/1	
Descrição do item: O projeto de sistema de detecção e alarme de incêndio é composto por 284 detectores de fumaça, todos localizados no interior do depósito de compostagem de orgânicos. Sendo todos responsáveis pela transmissão de sinais para uma central controladora de gerenciamento. Ao se detectar a presença de fumaça de diversas fontes de combustão, a central envia um sinal para o sistema de alarme audiovisual e informa a localização do detector acionado.												
ÍTEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	SRV	OCO	DET	RPN	Ações Recomendadas	RESP	FREQ. DA TAREFA	IMPLEMENTAÇÃO
Central de alarme de incêndio endereçável (Central eletrônica)	Gerenciar os componentes eletrônicos de detecção e alarmes	Placa eletrônica queimada	Não funcionamento da central de alarme	Desgasge natural do componente eletrônico	5	2	3	30	Inspeção do equipamento	Operação / Manutenção	mensal	Imediato
				Falha no painel eletrônico do equipamento	5	4	3	60	Inspeção da parte elétrica / eletrônica	Operação / Manutenção	mensal	Imediato
				Variação na tensão da rede elétrica	5	2	3	30	Inspeção da parte elétrica / eletrônica	Operação / Manutenção	mensal	Imediato
		Falta de alimentação elétrica do painel	Não funcionamento da central	Fim da vida útil da bateria	3	2	4	24	Manutenção e limpeza dos componentes eletrônicos	Operação / Manutenção	bianual	Imediato
		Saturação do elemento sensor dos detectores	Acionamento indevidos dos alarmes	Acúmulo de gases tóxicos	5	5	3	75	Inertização do ambiente com introdução de nitrogênio	Operação / Manutenção	semestral	Imediato
				Acúmulo de poeira	5	5	4	100	Limpeza dos detectores	Operação / Manutenção	mensal	Imediato
		Perda das configurações de programação	Falha na identificação e endereçamento dos equipamentos	Falha de software	5	5	3	75	Reprogramação da central e verificação da necessidade de atualização do software	Operação / Manutenção	mensal	Imediato

Fonte: O Autor (2023)

A figura 12 demonstra de forma individualizada a aplicação do FMEA nos aspectos ligados ao Sistema de Hidrante. Onde foram tratadas as possíveis falhas oriundas dos componentes rede hidráulica, bombas elétricas e bombas a combustão.

Figura 12 - FMEA do Hidrante

Planilha: Análise de Falhas - FMEA		Processo: Proteção contra incêndio de depósito de compostagem Sistema: Sistema de hidrantes Equipamentos: Bombas elétricas e bombas à combustão					Planilha Nº: 02 Revisão: 00		Coordenador: Thiago Xavier		Data: 18/11/2022 Folha: 1/1	
Descrição do item: O sistema de hidrantes é composto por um RTI (Reservatório Técnico de Incêndio), tubulações, hidrantes e sistema de bombas elétricas e à combustão. Sendo o conjunto responsável pela distribuição de água em quantidade e pressão definidas em projetos.												
ÍTEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	SV	OCO	DET	RPN	Ações Recomendadas	RESP	FREQ. DA TAREFA	IMPLEMENTAÇÃO
Sistema de hidrantes (Bombas elétricas e bombas à combustão)	Realizar a distribuição de água em quantidade e pressão definidos em projeto	Vazamento nas juntas de transmissão das bombas elétricas e combustão	Perda de rendimento das bombas	Falta de lubrificação dos componentes	4	3	2	24	Lubrificação das gaxetas	Operação / Manutenção	bimestral	Imediato
		Pressão de acionamento automático desregulado	Acionamento do sistemas em demandas em desacordo com projeto	Vazamento nas tubulações e válvulas visíveis	2	2	2	8	Inspeção da rede e testes	Operação / Manutenção	mensal	Imediato
				Vazamento nas tubulações subterrâneas	2	2	5	20	Inspeção da rede e testes	Operação / Manutenção	mensal	Imediato
				Descalibração dos manômetros	2	5	3	30	Calibração dos manômetros	Operação / Manutenção	anual	Imediato
		Falha no acionamento da bomba à combustão	Sem funcionamento conforme demanda	Falta de lubrificação dos componentes	4	3	2	24	Manutenção preventiva e lubrificação	Operação / Manutenção	semestral	Imediato
				Combustível diesel velho	4	4	5	80	Substituição do combustível do tanque	Operação / Manutenção	mensal	Imediato
		Falha no acionamento da bomba elétrica	Funcionamento irregular da bomba elétrica	Falta de lubrificação dos componentes	5	3	2	30	Manutenção preventiva e lubrificação	Operação / Manutenção	semestral	Imediato
				Falha no painel eletrônico	5	4	3	60	Inspeção da parte elétrica / eletrônica	Operação / Manutenção	mensal	Imediato
				Variação na tensão da rede elétrica	5	2	3	30	Inspeção da parte elétrica / eletrônica	Operação / Manutenção	mensal	Imediato

Fonte: O Autor (2023)

Para a obtenção de resultados mensuráveis, a definição dos critérios como severidade, ocorrência e nível de detecção dependem de um preestabelecimento de escalas padronizadas a fim de evitar a discrepância entre o entendimento e critérios de julgamento por parte dos tomadores de decisão.

Para o real gerenciamento do risco, foi utilizado uma escala de classificação de risco, objetivando o referencial interno organizacional no que tange a ordem de priorização das ações necessárias resultantes da aplicação da metodologia FMEA.

Considerando que através da escala adota no processo de construção da metodologia só pode ser possível a obtenção de RPN máximo com valor de 150, a organização adotou em sua ordem de ordenamento para ações mapeadas que todos os valores acima de 45 de RPN devem ser priorizadas como críticas, conforme distribuição demonstrada na tabela 06.

Tabela 6 - Classificação de Risco FMEA

Classificação FMEA	Faixa RPN
Risco Baixo	Menor que 10
Risco Moderado	Entre 10 até 25
Risco Elevado	Entre 26 e 45
Risco Crítico	Acima de 45

Fonte: O Autor (2023)

4.2.4.1 Geração do Plano Operacional de Manutenção

A partir da metodologia proposta, foi possível a aplicação do FMEA como forma de padronização e orientação ao setor de Manutenção, vinculado à Diretoria de Operações, um Plano de Ação baseado na priorização de atividades relacionados à manutenção do sistema de proteção contra incêndio no seu pleno funcionamento. Levando-se em conta as peculiaridades dos riscos inerentes ao processo de tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Tal ferramenta possibilita que os tomadores de decisão envolvidos nestes processos estejam fundamentos em parâmetros mensuráveis na análise de risco, culminando na redução da chance de erros durante o processo decisório.

Vale destacar que o RPN obtido na aplicação do FMEA para o sistema de proteção contra incêndio proposto não foi capaz de estabelecer, por si só, o prazo exato para a realização das atividades apontadas como necessárias em cada faixa de falha detectada. Possibilitando a realização de novos estudos capaz de aprofundar tal entendimento no sentido de estabelecer escalas de equivalências para cada ação proposta de acordo com os riscos.

Entretanto, foi possível mensurar as ações prioritárias dentro de cada grupo de equipamento posto em análise, possibilitando assim apontar as falhas que merecem maior atenção, conseqüentemente, não deixando que os prazos de monitoramento, inspeção, substituição ou manutenção seja muito dilatado, devendo haver uma razoabilidade entre ações necessárias e custos necessários para a operacionalização de cada ação proposta.

Ao exemplo da necessidade indicada de inertizar o ambiente dos depósitos com a utilização do gás nitrogênio para a eliminação ou redução do risco de falha nos detectores de fumaça endereçáveis como falha na central de detecção e alarme de incêndio devido ao acúmulo periódico de gases tóxicos.

Que a partir de resultados apontando altos índices de riscos através do RPN para estas indicações de possibilidade de falhas, foi possível estabelecer, por meio do grupo de tomadores de decisão na organização, a necessidade de inertizar estes ambientes, que é uma operação que demanda muitos recursos financeiros, em um período relativamente curto, de forma semestral, conforme as características intrínsecas do processo produtivo.

A aplicação do FMEA como forma de análise das possíveis falhas através da

metodologia de mensuração dos riscos também possibilita o apontamento dos itens mais críticos no que tange toda a amostra dos processos operacionais avaliados.

Pode-se usar como exemplo que, a partir das informações obtidos no estudo, foi possível estabelecer que a sujidade provocada por poeiras nos depósitos de armazenamento das leiras de compostagem dos resíduos sólidos urbanos foi determinada como o fator mais crítico de risco, resultando no estabelecimento do prazo de frequência entre os mais curtos para aplicação das ações recomendadas, mensalmente.

Segue abaixo a demonstração do Plano de Ação Operacional resultante da aplicação da metodologia FMEA demonstrando as ações recomendadas, área responsável pelas ações e a frequência estabelecida para realização das tarefas necessárias para manutenção do sistema de proteção contra incêndio.

A subdivisão do Plano de Ação Operacional em mensal, anual, bimestral, bianual e semestral (todos elementos de um mesmo conjunto de controles) se deu em função da melhor visualização, considerando o contexto de apresentação do presente estudo.

A tabela 07 traz o resultado da aplicação prática do FMEA relacionado à todas as ações recomendadas para uma atuação mensal no Plano Operacional de Manutenção do sistema de proteção contra incêndio da unidade operacional.

Tabela 7 - Plano de Ação Operacional (mensal)

PLANO DE AÇÃO (MENSAL)									
ÍTEM	FUNÇÃO	CAUSA DA FALHA	SEV	OCO	DET	RPN	Ações Recomendadas	RESP	FREQ. DA TAREFA
Detector de fumaça endereçável	Detectar partículas de fumaça	Acúmulo de poeira	5	5	4	100	Limpeza dos detectores	Operação / Manutenção	Mensal
Sistema de hidrantes (Bombas elétricas e bombas à combustão)	Realizar a distribuição de água em quantidade e pressão definidos em projeto	Vazamento nas tubulações e válvulas visíveis	2	2	2	8	Inspeção da rede e testes	Operação / Manutenção	mensal
		Vazamento nas tubulações subterrâneas	2	2	5	20	Inspeção da rede e testes	Operação / Manutenção	mensal
		Combustível diesel velho	4	4	5	80	Substituição do combustível do tanque	Operação / Manutenção	mensal
		Falha no painel eletrônico	5	4	3	60	Inspeção da parte elétrica / eletrônica	Operação / Manutenção	mensal
		Variação na tensão da rede elétrica	5	2	3	30	Inspeção da parte elétrica / eletrônica	Operação / Manutenção	mensal
Central de alarme de incêndio endereçável (Central eletrônica)	Gerenciar os componentes eletrônicos de detecção e alarmes	Desgasge natural do componente eletrônico	5	2	3	30	Inspeção do equipamento	Operação / Manutenção	mensal
		Falha no painel eletrônico do equipamento	5	4	3	60	Inspeção da parte elétrica / eletrônica	Operação / Manutenção	mensal
		Variação na tensão da rede elétrica	5	2	3	30	Inspeção da parte elétrica / eletrônica	Operação / Manutenção	mensal
		Acúmulo de poeira	5	5	4	100	Limpeza dos detectores	Operação / Manutenção	mensal
		Falha de software	5	5	3	75	Reprogramação da central e verificação da necessidade de atualização do software	Operação / Manutenção	mensal

Fonte: O Autor (2023)

A tabela 08 traz o resultado da aplicação prática do FMEA relacionado à todas as ações recomendadas para uma atuação anual no Plano Operacional de Manutenção do sistema de proteção contra incêndio da unidade operacional.

Tabela 8 - Plano de Ação Operacional (anual)

PLANO DE AÇÃO (ANUAL)									
ÍTEM	FUNÇÃO	CAUSA DA FALHA	SEV	OCO	DET	RPN	Ações Recomendadas	RESP	FREQ. DA TAREFA
Sistema de hidrantes (Bombas elétricas e bombas à combustão)	Realizar a distribuição de água em quantidade e pressão definidos em projeto	Descalibração dos manômetros	2	5	3	30	Calibração dos manômetros	Operação / Manutenção	anual

Fonte: O Autor (2023)

A tabela 09 traz o resultado da aplicação prática do FMEA relacionado à todas as ações recomendadas para uma atuação bimestral no Plano Operacional de Manutenção do sistema de proteção contra incêndio da unidade operacional.

Tabela 9 - Plano de Ação Operacional (bimestral)

PLANO DE AÇÃO (BIMESTRAL)									
ÍTEM	FUNÇÃO	CAUSA DA FALHA	SEV	OCO	DET	RPN	Ações Recomendadas	RESP	FREQ. DA TAREFA
Detector de fumaça endereçável (Câmara óptica de detecção)	Detectar partículas de fumaça produzidas por uma ampla gama de fontes de combustão.	Defeito de fabricação	4	2	2	16	Realizar testes para avaliar necessidade de substituição do elemento sensor	Operação / Manutenção	bimestral
		Acúmulo de poeira	5	4	4	80	Realizar testes para avaliar necessidade de substituição do elemento sensor	Operação / Manutenção	bimestral
		Desgaste natural dos componentes	4	2	2	16	Substituição do elemento sensor	Operação / Manutenção	bimestral
Sistema de hidrantes (Bombas elétricas e bombas à combustão)	Realizar a distribuição de água em quantidade e pressão definidos em projeto	Falta de lubrificação dos componentes	4	3	2	24	Lubrificação das gaxetas	Operação / Manutenção	bimestral

Fonte: O Autor (2023)

A tabela 10 traz o resultado da aplicação prática do FMEA relacionado à todas as ações recomendadas para uma atuação bianual no Plano Operacional de Manutenção do sistema de proteção contra incêndio da unidade operacional.

Tabela 10 - Plano de Ação Operacional (bianual)

PLANO DE AÇÃO (BIANUAL)									
ÍTEM	FUNÇÃO	CAUSA DA FALHA	SEV	OCO	DET	RPN	Ações Recomendadas	RESP	FREQ. DA TAREFA
Central de alarme de incêndio endereçável (Central eletrônica)	Gerenciar os componentes eletrônicos de detecção e alarmes	Fim da vida útil da bateria	3	2	4	24	Manutenção e limpeza dos componentes eletrônicos	Operação / Manutenção	bianual

Fonte: O Autor (2023)

A tabela 11 traz o resultado da aplicação prática do FMEA relacionado à todas as ações recomendadas para uma atuação semestral no Plano Operacional de Manutenção do sistema de proteção contra incêndio da unidade operacional.

Tabela 11 - Plano de Ação Operacional (semestral)

PLANO DE AÇÃO (SEMESTRAL)									
ÍTEM	FUNÇÃO	CAUSA DA FALHA	SEV	OCO	DET	RPN	Ações Recomendadas	RESP	FREQ. DA TAREFA
Detector de fumaça endereçável (Câmara óptica de detecção)	Detectar partículas de fumaça produzidas por uma ampla gama de fontes de combustão.	Acúmulo de gases tóxicos	5	5	3	75	Inertização do ambiente com introdução de nitrogênio	Operação / Manutenção	semestral
Sistema de hidrantes (Bombas elétricas e bombas à combustão)	Realizar a distribuição de água em quantidade e pressão definidos em projeto	Falta de lubrificação dos componentes	4	3	2	24	Manutenção preventiva e lubrificação	Operação / Manutenção	semestral
		Falta de lubrificação dos componentes	4	3	2	24	Manutenção preventiva e lubrificação	Operação / Manutenção	semestral
Central de alarme de incêndio endereçável (Central eletrônica)	Gerenciar os componentes eletrônicos de detecção e alarmes	Acúmulo de gases tóxicos	5	5	3	75	Inertização do ambiente com introdução de nitrogênio	Operação / Manutenção	semestral

Fonte: O Autor (2023)

A partir dos resultados apresentados neste capítulo com a aplicação da metodologia proposta, foi possível estabelecer um conjunto de ações suficientes para a padronização, modernização e ampliação das medidas de gestão de risco relativas ao sistema de proteção contra incêndio.

Não trazendo apenas controles essenciais ao andamento dos processos burocráticos administrativos, mas capazes de redução drástica dos riscos no tocante ao tema, assim como, criar subsídios informacionais mensuráveis de origem qualificada e reconhecida para os

tomadores de decisão.

Foi apresentada ação relacionada ao início do processo de operacionalização do sistema de proteção contra incêndio na demanda de construção de uma nova unidade de armazenamento de leiras de compostagem resultantes do processamento em usina de resíduos sólidos urbanos, denominada fase de contratação do serviço de projetos de incêndios.

Também foi proposta ação relativa à fase intermediária do processo de operacionalização destes sistemas, quanto a criação de checklist responsável pela padronização do processo de análise, correção e, conseqüente, aprovação dos projetos.

Por fim, obteve-se o Plano de Ação Operacional resultante da aplicabilidade da metodologia FMEA, conforme as características intrínsecas do processo operacional da usina, que será responsável pela manutenção das condições plenas de funcionamento do sistema de proteção contra incêndio após sua execução e comissionamento.

4.2.5 Fase 05 – Retroalimentação

A retroalimentação do sistema, considerada como quinta fase do sistema de gerenciamento de risco proposto, depreende-se das operações de manutenção física dos componentes do sistema de proteção contra incêndio, a partir do plano de ações gerado na quarta fase destinado à equipe de Manutenção do órgão.

Estas operações de manutenção possibilita a geração de dados e informações essenciais à alimentação do sistema como um todo, considerando aspectos relacionados às modificações e ajustes necessários para melhoria e, conseqüente, fortalecimento das ações oriundas da terceira fase, análise e revisão dos projetos pelo corpo de servidores da unidade.

A fase de retroalimentação é baseada no controle de *feedbacks* resultantes desses processos de manutenção, tornando possível a formulação de um banco de dados de informações que servirão de base para a adaptação, mudança ou complementação do sistema de proteção contra incêndio, além de fornecer elementos factíveis para a base de conhecimento dos tomadores de decisão no processo de gestão de risco.

Ante a indisponibilidade de sistema informacional específico para tal fim na organização alvo do estudo, os dados de manutenção devem ser preservados por meio de planilhas eletrônicas simples, facilitando assim a atuação direta por parte da equipe do setor de Manutenção.

A partir dessa retroalimentação do sistema, o corpo técnico interno de engenheiros, responsáveis pela análise e revisão dos projetos (fase 03), terão elementos plausíveis que possibilitarão as melhores tomadas de decisão, baseando na possibilidade de adaptação e

melhorias nas contratações futuras, sejam eles requisitos de habilitação técnica da empresa contratada ou até inclusão de sistemas de proteção não previstos pela legislação vigente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante do cenário pré-estabelecido na empresa alvo do estudo, antes da implementação da metodologia proposta, onde não havia o estabelecimento de nenhuma ferramenta padronizada no processo de implementação de projetos de sistemas de proteção contra incêndio para nenhuma de suas unidades, a implementação da fase 03 desenvolvida por este estudo possibilitou uma implementação parcial desta metodologia proposta, compreendendo a análise dos projetos adquiridos nesta etapa, fornecendo a possibilidade de padronização da forma como esta análise é realizada através dos seus diversos atores internos, essenciais à implementação de um sistema eficiente de gerenciamento de riscos ligados ao sistema de proteção contra incêndio.

Foi apresentado, através de uma nova reunião, o modelo proposto aos executores dos contratos (formada por servidores pertencentes as gerências de Segurança do Trabalho Engenharia Civil) ligados à operacionalização do sistema de proteção contra incêndio juntamente com a Diretoria Técnica do órgão com o objetivo específico de apresentação e deliberação sobre o novo modelo de gestão de risco proposto. Sendo deliberado pela aplicação e continuidade do modelo nos contratos em andamento e contratos futuros.

A metodologia proposta foi aplicada durante a fase de análise e revisão dos projetos já submetidos à comissão de executores do contrato, já possibilitando a confirmação de algumas falhas apresentadas pela empresa contratado.

Identificou-se, por exemplo, a adoção de um grau de risco inferior em relação ao grau de risco real inerente à sua classificação, conforme os critérios normativos definidos para o local. Na elaboração do Memorial Descritivo do projeto, a empresa tomou como base a classe de risco como médio, quando deveria ter classificado o empreendimento como grau de risco alto, desconsiderando a tabela de atividades das empresas deste mesmo normativo.

Tal situação implicaria na submissão do projeto para a homologação junto ao Corpo de Bombeiros sem considerar componentes importantes ao sistema de proteção contra incêndio, como a necessidade de hidrantes, sistema de chuveiros automáticos (sprinklers) e sistema de detecção e alarme de incêndios.

Considerando a possibilidade de falha no processo de análise e avaliação do CBM, resultaria na concepção de um projeto frágil e ineficiente contra um agente de tamanha relevância no que tange a possibilidade de formação de gases inflamáveis durante a decomposição das leiras de secagem dos compostos orgânicos.

A partir desta iniciativa, foi possível projetar a possibilidade de ganhos ao sistema de

gerenciamento de risco quando da sua completa implementação.

A metodologia apresentada se mostra relevante ao ganho estruturante da empresa no que tange o gerenciamento de risco de incêndios, abrangendo aspectos administrativos, gerenciais e operacionais.

Entre os ganhos administrativos, pode-se citar a padronização do processo licitatório, privilegiando que os executores de contratos, servidores responsáveis legais pela eficiência e eficácia técnica-operacional e financeira dos projetos adquiridos, possam realizar seus trabalhos pautados numa filosofia uniforme dentro da organização, reduzindo as chances de ações regressivas de responsabilização diante da possibilidade de aquisição de projetos ineptos e inexequíveis.

Como ganho gerencial, cita-se a possibilidade de mapeamento de toda a cadeia de implementação de sistemas de proteção de incêndios em suas unidades, considerando todas as suas etapas por meio de uma estruturação bem definida, culminando na maior capacidade de definição de prazos, orçamentos, pessoas responsáveis por cada etapa do processo de implementação e, conseqüentemente, facilitação do processo de tomada de decisão, tanto nos níveis operacionais, gerenciais e estratégicos da organização.

Contando ainda com os ganhos operacionais relacionados à quarta etapa da metodologia proposta, a qual foi realizada a priorização de ações necessárias para a manutenção do sistema de proteção contra incêndio após a execução e comissionamento da obra, sendo esta etapa fundamental para atendimento das especificidades técnicas-operacionais do empreendimento, possibilitando que sejam fornecidos elementos de ações utilizadas pela equipe de manutenção da organização, predispondo ainda que estas mesmas ações sirvam de fonte de informação para a retroalimentação do sistema de gerenciamento de riscos relacionado ao tema.

No capítulo anterior foram apresentados o modelo de aplicação da metodologia proposta, passando pelas 05 (cinco) fases necessárias para a implementação do modelo proposto, compreendendo o estabelecimento da estratégia operacional do modelo de gerenciamento de risco, contratação dos projetos, o modelo de análise e revisão dos projetos, assim como a quarta fase, sendo esta ligada ao modelo de manutenção técnico-operacional do sistema em seu pleno funcionamento por meio da metodologia FMEA como parte integrando dos procedimentos de gestão de risco, conforme os moldes da norma ABNT NBR ISO 31000:2018.

6 CONCLUSÕES

No curso da pesquisa foram identificados e analisados o risco de falha no sistema de proteção contra incêndio, compreendendo os principais aspectos relacionados ao processo de gerenciamento de risco de incêndio no que tange a implementação dos sistemas de proteção PPCI.

Considerando desde aspectos relacionados com a padronização de processos internos de gestão voltados à elaboração de requisitos de habilitação técnica para a contratação dos serviços, passando pela padronização dos serviços de análise e revisão dos projetos adquiridos, resultando na implementação na metodologia FMEA como parte integrante das diretrizes de Gestão de Risco preconizadas pela norma ABNT NBR ISO 31000:2018.

Sendo a possibilidade de incêndio tratada como o principal risco operacional incidente na atividade de processamento e armazenamento de resíduos sólidos urbanos devido à geração de gases inflamáveis durante o processo de compostagem e a capacidade de explosões espontâneas, quando ambientes não controlados. Para atingir esse objetivo foram adaptados instrumentos para mensurar riscos e recomendar medidas para tratá-los.

A metodologia proposta nesta pesquisa apresenta resultados expressivos no que tange a abrangência e mapeamento dos riscos envolvidos no processo, além de fornecer novos subsídios através de métodos já consolidados para os tomadores de decisão.

Além disso, existe a possibilidade de demonstrar a importância de antepor o processo de gerenciamento de risco para a fases de concepção de projeto e concepção estrutural dos novos empreendimentos, levando-se em consideração a prática comum no cenário brasileiro da baixa adesão ao processo de planejamento estratégico no tocante à gestão de riscos em todos os níveis (estratégicos, processos e operacionais) e independente do tamanho da organização, sejam estes relacionados à fatores financeiros, tecnológicos, processos e operacionais, com os sistemas de proteção contra incêndios não escapando à esta realidade imposta.

Foram introduzidos conceitos fundamentais ao processo de implementação de um programa completo e eficiente de gerenciamento de risco de incêndios, envolvendo o mapeamento e padronização dos processos de requisitos técnicos para contratação dos serviços e a padronização do processo de análise dos projetos de incêndio.

A contribuição da pesquisa transcendeu os limites da empresa alvo do estudo, uma vez que se aplica métodos já consagrados na literatura da gestão de riscos para fazer frente a novo desafio consistente em analisar riscos de incêndios relacionadas aos resíduos sólidos urbanos.

Os resultados dessa aplicação podem servir à ampliação das possibilidades de uso e ao

aperfeiçoamento das ferramentas de gestão de riscos como a formulação de estratégia de gerenciamento de risco de incêndio, assim como da metodologia FMEA e da norma ABNT NBR ISO 31000:2018 no processo de priorização de ações relacionados à proteção contra incêndios.

No contexto social a pesquisa pode contribuir para a redução de danos decorrentes dos riscos operacionais nas atividades tratamento de resíduos sólidos urbanos, no tocante à qualificação dos recursos humanos e à atualização das tecnologias empregadas nas atividades operacionais envolvendo o risco de incêndio.

Dessa forma, a pesquisa empreendida respondeu ao principal problema proposto - propor uma metodologia focada na avaliação de riscos de incêndios relacionadas ao gerenciamento de projetos, considerando os aspectos operacionais no processamento e armazenamento de resíduos sólidos urbanos. Para produzir tal conhecimento foram adaptadas ferramentas da literatura revisada e integrados conceitos e parâmetros para medição, comparação e propositura de um sistema de gerenciamento de riscos.

Como limitação desse trabalho observou-se a dificuldade surgida em decorrência da inexistência de estudos e estatísticas dos órgãos governamentais que regularam e fiscalizam os casos de incêndios ocorridos no país devido a descentralização desestruturada dessas informações.

Em razão desse limitador, foram definidas as atividades a submeterem ao modelo proposto pela aplicação do critério de maior risco referido na operação envolvendo resíduos sólidos urbanos. Essa escolha, com base exclusiva na percepção individual, pode levar à desconsideração de outros riscos de igual ou maior importância.

Para trabalhos posteriores, se valendo dos resultados dessa pesquisa, em especial da adaptação das metodologias FMEA como parte integrante da norma ABNT NBR ISO 31000:2018, seria de grande valia levar a termo pesquisa de aplicação da proposta metodológica às demais fases do gerenciamento dos riscos, que não foram contempladas no escopo deste trabalho.

Na seara da teoria da decisão, com base nos achados dessa pesquisa, obtém-se a estruturação de informações essenciais para tratativa em múltiplas dimensões do risco de incêndio, dando suporte aos integrantes do processo decisório.

O estudo de gestão de risco de incêndio na operação envolvendo resíduos sólidos urbanos demonstrou-se campo produtivo para a produção de conhecimento e desenvolvimento de ferramentas úteis para a proteção da sociedade, pessoas e organizações dos mais diversos segmentos de atuação empresarial.

REFERÊNCIAS

- AKAA, OBINNA UKENI; ABU, ANTHONY; SPEARPOINT, MICHAEL. A CASE STUDY OF DESIGN DECISION-MAKING FOR AN EXEMPLAR STEEL PORTAL-FRAMED BUILDING UNDER FIRE EXPOSURE USING A HYBRID ANALYSIS TECHNIQUE, *JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING*, V. 28, 2020.
- ALAM, Edris. Earthquake Hazard Knowledge, Preparedness, and Risk Reduction in the Bangladeshi Readymade Garment Industry. *Journal Sustainability-basel*, v. 12, n. 10147, 2020.
- ALKIS, Saadet; AKSOY, Ercument; AKPINAR, Kudret. Risk Assessment of Industrial Fires for Surrounding Vulnerable Facilities Using a Multi-Criteria Decision Support Approach and GIS. *Journal Fire-basel*, v. 4, n. 53, 2021.
- ALMEIDA, Adiel Teixeira et al. **Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis**. International Series in Operations Research & Management Science, [S. l.], 1. ed. Springer International Publishing, 2015.
- ALMEIDA, Adiel Teixeira et al. A systematic literature review of multicriteria and multi-objective models applied in risk management. *IMA Journal of Management Mathematics*, [S. l.], v. 28, p. 153–184, 2017.
- ARAÚJO, Artur Alves de. **Gestão de risco no setor público: percepção do gerenciamento de riscos nas universidades federais**. 2019. 229 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Controladoria) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 31000:2018 Gestão de Risco – Diretrizes**. Rio de Janeiro - RJ.
- AVEN, Terje. "On How to Define, Understand and Describe Risk." *Reliability Engineering & System Safety* 95.6 (2010): 623-31.
- AVEN, Terje. "On Some Recent Definitions and Analysis Frameworks for Risk, Vulnerability, and Resilience." *Risk Analysis* 31.4 (2011): 515-22.
- AVEN, Terje. **The risk concept – historical and recent development trends**, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 99, pp. 33-44, September 2011.
- BAEK, Jaeseung; ALHINDI, Taha J.; JEONG, Young-Seon; JEONG, Myong K.; SEO, Seongho; KANG, Jongseok; SHIM, We; HEO, Yoseob. Real-time fire detection system based on dynamic time warping of multichannel sensor networks. *Journal Fire Safety J*, v. 123, n. 103364, 2021.
- BERGMEISTER, Konrad; BRUNELLO, Pierfrancesco; PACHERA, Matteo; PESAVENTO, Francesco; SCHREFLER, B. A. Simulation of fire and structural response in the Brenner Base Tunnel by means of a combined approach: A case study. *Journal Eng Struct*, v. 211, n. 110319, 2020.
- BOCCALETTI, Bruna Caffaro, Luiz Carlos Brasil de Brito Mello e Isadora de Paula Bastos. **"Principais causas e desafios para reduzir os retornos de produtos: aplicando o FMEA**

em um estudo de caso." Gestão & Produção 28.2 (2021): Gestão & Produção, 2021, Vol.28 (2). Teia.

CALACHE, Lucas Daniel Del Rosso, Lucas Gabriel Zanon, Rafael Ferro Munhoz Arantes, Lauro Osiro e Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti. "**Priorização de Risco com base na combinação de FMEA e método de Dual Hesitant Fuzzy Sets.**" Produção: Uma publicação da Associação Brasileira de Engenharia de Produção 31 (2021): Produção: Uma publicação da Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2021, vol.31. Teia.

CALIENDO, Ciro; GENOVESE, Gianluca; RUSSO, Isidoro. A Numerical Study for Assessing the Risk Reduction Using an Emergency Vehicle Equipped with a Micronized Water System for Contrasting the Fire Growth Phase in Road Tunnels. **Journal SCI-Basel**, v. 11, n. 5248, 2021.

CEHLAR, Michal; STEMPIAK, Marta; SOBIK, Leszek. Thermal Imaging Study to Determine the Operational Condition of a Conveyor Belt Drive System Structure. **Journal Energies**, v. 14, n. 3258, 2021.

CHE, Ping; LIU, Yi; CHE, Liang; LANG, Jin. Co-Optimization of Generation Self-Scheduling and Coal Supply for Coal-Fired Power Plants. **Journal IEEE Access**, 110633-110642, 2020.

CHEN, Jinyue; JI, Jie; DING, Long; WU, Jiansong. Fire risk assessment in cotton storage based on fuzzy comprehensive evaluation and Bayesian network. **Journal Fire Master**, 683-692, 2020.

CLAXTON, Karen; CAMPBELL-ALLEN, Nicola Marie. Failure modes effects analysis (FMEA) for review of a diagnostic genetic laboratory process. **International journal of quality & reliability management**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 265–277, 2017.

EJEH, Jude O.; LIU, Songsong; PAPAGEORGIOU, Lazaros G. An MILP model for safe multi-floor process plant layout using the domino hazard index. **Journal Process Saf Environ**, 137-165, 2021.

EL MEOUCHE, Rani; ABUNEMEH, Mohammed; HIJAZI, Ihab; MEBARKI, Ahmed; FATAYER, Fadi; ISSA, Amjad. Probabilistic Fire Risk Framework for Optimizing Construction Site Layout. **Journal Sustainability-basel**, v. 12, n. 4065, 2020.

ERMENEGILDO, Ivo Marcelo. **Aplicação da Análise de Modos e Efeitos de Falha – FMEA para Avaliação de Riscos de Incêndio e Prevenção Na Casa Do Estudante Universitário (CEU-PR)**. 2014. 61 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

F. D. DAHER Suzana, H. ALENCAR Marcelo e T. DE ALMEIDA Adiel. **Patentes Recentes em Gestão de Riscos Industriais, Patentes Recentes em Ciência da Computação**, 2015.

FERNANDES, Rafaela, Ana Cristina Sieira e Armando Menezes Filho. "**Metodologia para Gestão de Riscos em Barragens a partir da Árvore de Eventos e Análise FMEA.**" Solos e Rochas 45.3 (2022): 1-15. Teia.

GEETHA, S.; ABHISHEK, C. S.; AKSHAYANAT, C. S. Machine Vision Based Fire Detection Techniques: A Survey. **Journal Fire Technol**, 591-623, 2021.

GOGOLA, Krzysztof; ROGALA, Tomasz; MAGDZIARCZYK, Malgorzata; SMOLINSKI, Adam. The Mechanisms of Endogenous Fires Occurring in Extractive Waste Dumping Facilities. **Journal Sustainability-basel**, v. 12, n. 2856, 2020.

GONIEWICZ, Krzysztof; MISZTAL-OKONSKA, Patrycja; PAWLOWSKI, Witold; BURKLE, Frederick M., Jr.; CZERSKI, Robert; HERTELENDY, Attila J.; GONIEWICZ, Mariusz. Evacuation from Healthcare Facilities in Poland: Legal Preparedness and Preparation. **Int J Env Res Pub HE**, v. 17, n. 1779, 2020.

HATEFI, Mohammad Ali e Hamid Reza Balilehvand. "**Avaliação de Risco da Operação de Perfuração de Petróleo e Gás: Um Caso Empírico Usando um Método FMEA Híbrido Modificado por GROC-VIMUN.**" *Segurança de Processos e Proteção Ambiental* 170 (2023): 392-402. Teia.

HENDRICKSON, Bryant; GAVELLI, Filippo; PIEKARZ, Jake. Too many or not enough? A methodology for evaluating fire and gas detector layouts at LNG facilities. **Journal Process Saf Prog**, n. e12281, 2021.

HU, Kai-chieh; HSIAO, Man-wei. Quality risk assessment model for airline services concerning taiwanese airlines. **Journal of air transport management**, [S. l.], v. 53, p. 177–185, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/TS 16949:2002 – Quality Management Systems – Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations. Genebra, 2002.

JAFARI, Mohammad Javad; POUYAKIAN, Mostafa; KHANTEYMOORI, Alireza; HANIFI, Saber Moradi. Reliability evaluation of fire alarm systems using dynamic Bayesian networks and fuzzy fault tree analysis. **J Loss Prevent Proc**, v. 67, n. 104229, 2020.

JAKUBOWSKI, Krzysztof; PAS, Jacek; Duer, Stanislaw; BUGAJ, Jaroslaw. Operational Analysis of Fire Alarm Systems with a Focused, Dispersed and Mixed Structure in Critical Infrastructure Buildings. **Journal Energies**, v. 14, n. 7893, 2021.

KALIAPERUMAL, Muthukrishnan, Milindar S. Dharanendrakumar, Santosh Prasanna, Kaginele V. Abhishek, Ramesh Kumar Chidambaram, Stefan Adams, Karim Zaghib e M. V. Reddy. "**Causa e mitigação da falha da bateria de íons de lítio** — uma revisão." *Materiais* 14.19 (2021): 5676. Teia.

KIM, Junlae; KIM, Seiyong. The Impact of Population Characteristics and Government Budgets on the Sustainability of Public Buildings in Korea's Regional Cities. **Journal Sustainability-basel**, v. 12, n. 5705, 2020.

KIM, Moon Ok; KIM, Kyuwon; YUN, Jung Hyun; KIM, Moon Kyum. Fire risk assessment of cable bridges for installation of firefighting facilities. **Journal Fire Safety J**, v. 115, n. 103146, 2020.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 2001. Reimpressão, Rio de Janeiro: Qualitymark Editora: Petrobras, 2014.

LI, Jie; LIU, Jiahao. Science Mapping of Tunnel Fires: A Scientometric Analysis-Based Study. **Journal Fire Technol**, 2111-2135, 2020.

LI, Yuchun; WANG, Jinkuan; HAN, Yinghua; ZHAO, Qiang; FANG, Xiaohan; CAO, Zhiao. Robust and opportunistic scheduling of district integrated natural gas and power system with high wind power penetration considering demand flexibility and compressed air energy storage. **Journal Clean Prod**, v. 256, n. 120456, 2020.

LO, Huai-Wei, James J. H. Liou, Jen-Jen Yang, Chun-Nen Huang e Yu-Hsuan Lu. "Um modelo FMEA estendido para explorar os modos de falha potencial: um estudo de caso de uma turbina a vapor para uma usina nuclear." Complexidade (Nova Iorque, N.Y.) 2021 (2021): 1-13. Teia.

MAGALHÃES, Wauires Ribeiro De e Francisco Rodrigues Lima Junior. "Um Modelo Baseado em FMEA e Fuzzy TOPSIS para Priorização de Riscos em Processos Industriais." *Gestão & Produção* 28.4 (2021): *Gestão & Produção*, 2021, Vol.28 (4). Teia.

MEACHAM, Brian J.; STROMGREN, Michael; VAN HEES, Patrick. A holistic framework for development and assessment of risk-informed performance-based building regulation. **Journal Fire Master**, 757-771, 2021.

MIRANDA, Beatriz Ottoni Azevedo Porto, Antonio Carlos Barbosa Zancanella, Rômulo Maziero, Bruno Dorneles de Castro e Juan Carlos Campos Rubio. "Análise de falhas de um gerador de vapor usando as ferramentas FMEA E FTA." *Matéria* 26.1 (2021): *Matéria*, 2021, Vol.26 (1). Teia.

NASCIMENTO, Carlos Alberto Ferreira do. Proposição de metodologia para análise de risco operacional na execução de medidas coercitivas em Superintendências da Polícia Federal. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

NISHINO, Tomoaki; TAKAGI, Youhei. Numerical analysis of tsunami-triggered oil spill fires from petrochemical industrial complexes in Osaka Bay, Japan, for thermal radiation hazard assessment. **Int J Disast Risk RE**, v. 42, n. 101352, 2020.

NNAJI, Chukwuma; AWOLUSI, Ibukun; PARK, JeeWoong; ALBERT, Alex. Wearable Sensing Devices: Towards the Development of a Personalized System for Construction Safety and Health Risk Mitigation. **Journal Sensors-basel**, v. 21, n. 682, 2021.

OCHIAI, Nobukata; NAKAYAMA, Jo; IZATO, Yu-ichiro; MIYAKE, Atsumi. Lessons learned from the 2011 Great East Japan Earthquake: A case study of tsunami risk assessment in a Japanese chemical Corporation. **Journal Process Saf Prog**, 2021.

OSTREM, Lene; SOMMER, Morten. Inherent fire safety engineering in complex road tunnels - Learning between industries in safety management. **Journal Safaty SCI**, v. 134, n. 105062, 2021.

OUACHE, Rachid; NAHIDUZZAMAN, Kh Md; HEWAGE, Kasun; SADIQ, Rehan. Performance investigation of fire protection and intervention strategies: Artificial neural network-based assessment framework. **Journal Build Eng**, v. 42, n. 102439, 2021.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos modos de falha e efeito: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: IMAM, 2007.

PALAZZI, Emilio; CURRO, Fabio; FABIANO, Bruno. Low rate releases of hazardous light gases under semi-confined geometry: A consequence based approach and case-study application. **Journal Loss Prevent Proc**, v. 63, n. 104083, 2020.

POLKA, Marzena. An Analysis of Flammability and Explosion Parameters of Coke Dust and Use of Preliminary Hazard Analysis for Qualitative Risk Assessment. **Journal Sustainability-basel**, v. 12, n. 4130, 2020.

REHMAN, Atta Ur; LYCHE, Tiffany; AWUAH-OFFEI, Kwame; NADENDLA, V. S. S. Effect of text message alerts on miners evacuation decisions. **Journal Safety SCI**, v. 130, n. 104875, 2020.

RODRIGUES, E. E. C. **Management System of Fire Safety in Buildings: Fundamentation for a National Regulation**. Thesis (Doctor Degree in Civil Engineering) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RODRIGUES, E. E. C. **Sistema de Gestão da Segurança contra Incêndio e Pânico nas Edificações: Fundamentação para uma Regulamentação Nacional**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

S. TESFAMARIAN, R. Sadiq and H. Najjaran. “**Decision making under uncertainty-an example for seismic risk management**”, *Ris. Anal.*, Vol. 30, No. 1, pp. 78-94, January 2010.

SHAMS ABADI, Seyedeh Tannaz; MONIRI TOKMEHDASH, Nojan; HOSNY, Abdelhady; NIK-BAKHT, Mazdak. BIM-Based Co-Simulation of Fire and Occupants' Behavior for Safe Construction Rehabilitation Planning. **Journal Fire-basel**, v. 4, n. 67, 2021.

SHARMA, Ravi Kumar. A violent, episodic vapour cloud explosion assessment: Deflagration-to-detonation transition. **Journal Loss Prevent Proc**, v. 65, n. 104086, 2020.

SILVA, Maisa Mendonça et al. A multidimensional approach to information security riskmanagement using FMEA and fuzzy theory. *International Journal of Information Management*, [S. l.], v. 34, n. 6, p. 733–740, 2014.

SILVA, Valdir Pignatta. **Segurança contra incêndio em edifícios – Considerações para o projeto de arquitetura**. São Paulo-SP: Blucher, 2014.

SOUZA, Priscila Santos. **Análise comparativa das usinas de tratamento mecânico-biológico brasileiras**. Campina Grande, 2018.

STAMATIS, D. H. The ASQ pocket guide to failure mode and effect analysis (FMEA).

Milwaukee: ASQ Quality Press, 2014.

SUN, Feng; XU, Wei; WANG, Guangjian; SHI, Ning; YANG, Zhe. Development of a hazard index for reactivity management (HIRM) in Chemical process. **Journal Process Saf Environ**, 22-34, 2020.

SZURGACZ, Dawid; ZHIRONKIN, Sergey; VOETH, Stefan; POKORNY, Jiri; SPEARING, A. J. S. (Sam); VAIDOGAS, Egidijus Rytas. Predicting the ejection velocities of fragments from explosions cylindrical pressure vessels: Uncertainty and sensitivity analysis. **Journal Loss Prevent Proc**, v. 71, n. 104450, 2021.

VITHAL, Sushen; Y. GUO, Susan; GANJAM, Sanjay. Location of temporary buildings at LNG site based on quantitative studies. **Journal Process Saf Prog**, n. e12277, 2021.

WANG, Feng; DENG, Fujie; WANG, Yipeng. Construction method and application of real-time monitoring and early-warning model for anaerobic reactor leakage. **Journal Process Saf Prog**, n. e12144, 2020.

WANG, Renze, Jiangang Zhang, Guoqiang Li, Dajie Zhuang, Yapeng Yang, Zongyang Feng, Linsheng Jia, Ning Wang e Boning Liang. "**Estudo da Avaliação Probabilística de Segurança para uma Planta de Reprocessamento.**" Série de conferências do IOP. Ciências da Terra e do Ambiente 467.1 (2020): 12078. Teia.

WOOD, Maureen Heraty; HAILWOOD, Mark; KOUTELOS, Konstantinos. Reducing the risk of oxygen-related fires and explosions in hospitals treating Covid-19 patients. **Journal Process Saf Environ**, 278-288, 2021.

WU, Kaiwei; WU, Zekun. A Human-Centered Risk Model for the Construction Safety. **Journal IEEE Acess**, 154072-154086, 2020.

WU, Yue; KANG, Jian; MU, Jingyi. Assessment and simulation of evacuation in large railway stations. **Journal Build Simul-china**, 1553-1566, 2021.

XAVIER, Thiago Jonatan Silva; HAZIN, Marcelo Alencar. **Estudo do gerenciamento de risco envolvendo incêndio em estruturas industriais e comerciais: uma revisão sistemática da literatura.** XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu – PR, 2022.

XIE, Shuyi; CHEN, Yinuo; DONG, Shaohua; ZHANG, Guangyu. Risk assessment of an oil depot using the improved multi-sensor fusion approach based on the cloud model and the belief Jensen-Shannon divergence. **Journal Loss Prevent Proc**, v. 67, n. 104214, 2020.

XIE, Shuyi; DONG, Shaohua; CHEN, Yinuo; PENG, Yujie; LI, Xincan. A novel risk evaluation method for fire and explosion accidents in oil depots using bow-tie analysis and risk matrix analysis method based on cloud model theory. **Journal Realib Eng Syst Safe**, v. 215, n. 107791, 2021.

XU, S, & Susemihl, EA. "**Reliability Analysis of Water Mist Systems.**" Proceedings of the ASME 2007 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Volume 14: Safety Engineering, Risk Analysis and Reliability Methods. Seattle, Washington, USA.

November 11–15, 2007. pp. 37-40. ASME. <https://doi.org/10.1115/IMECE2007-41046>.

XU, Yu; LI, Zijun; LIU, Huasen; ZHAI, Xiaowei; LI, Rongrong; SONG, Pinfang; JIA, Mintao. A model for assessing the compound risk represented by spontaneous coal combustion and methane emission in a gob. **Journal Clean Prod**, v. 273, n. 122925, 2020.

YANG, Kai; CHEN, Yanbin; XIAO, Qiuping; PANG, Lei. Influence of venting coefficient on disastrous effects of aluminium powder explosions. **Journal Process Saf Environ**, 72-88, 2021.