



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

CAROLINA CAVALCANTE DE MIRANDA

PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS EM TERMOELÉTRICAS

**CAMPINA GRANDE – PB
2018**

CAROLINA CAVALCANTE DE MIRANDA

PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS EM TERMOELÉTRICAS

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), a Coordenação do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Orientador(a): Prof.(a) Dra. Ruth Silveira do Nascimento

**CAMPINA GRANDE – PB
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M672p Miranda, Carolina Cavalcante de.
Plano de gerenciamento de riscos em termoelétricas
[manuscrito] : / Carolina Cavalcante de Miranda. - 2018.
52 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2018.

"Orientação : Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento ,
Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental -
CCT."

1. Gerenciamento de riscos. 2. Mapas mentais. 3.
Usinas Termoelétricas. 4. Impactos ambientais.

21. ed. CDD 363.7

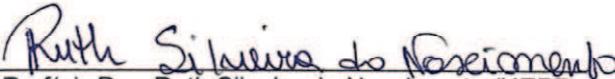
CAROLINA CAVALCANTE DE MIRANDA

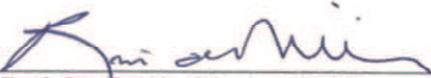
PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS EM TERMOELÉTRICAS

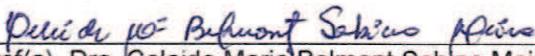
Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), a Coordenação do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Aprovada em: 13 / 6 / 2018

Nota: 10,0 (dez vírgula zero)


Prof(a). Dra. Ruth Silveira do Nascimento /UEPB
Orientador (a)


Prof. Dr. Rui de Oliveira /UEPB
Examinador


Prof(a). Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira /UEPB
Examinadora

*Aos meus pais, Bartolomeu e Adriana,
Meu irmão Ivo,
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelas oportunidades que me foram dadas e por me proporcionar os meios para alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, Adriana e Bartolomeu, por todo amor e apoio. A meu irmão, Ivo, por toda paciência e companheirismo no decorrer desses anos. A toda minha família por sempre me incentivarem a nunca desistir e sempre acreditarem em mim. Esta conquista não seria possível sem vocês.

Aos meus colegas do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, em especial Antônio, Luan e Ronnan, por toda amizade, companheirismo e incentivo nessa metade final do curso.

Aos meus amigos do tempo de Colégio Lourdinas, com os quais cresci e aprendi, e continuam comigo até hoje.

Aos meus amigos do intercâmbio e à University of Idaho (Uofl), pelo período mais intenso e inesquecível da minha vida. Por todas as experiências compartilhadas e enriquecidas nesse um ano e meio.

À minha orientadora Ruth Silveira do Nascimento, por toda atenção, paciência e disponibilidade no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Rui e Celeide, pela disponibilidade em participar da minha banca e pela contribuição acerca deste trabalho.

A todos que me acompanharam de forma direta ou indireta nessa caminhada.

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de propor um Plano de Gerenciamento de Riscos (PGR) para uma termoelétrica e a aplicação de Mapas Mentais para melhor organizar, assimilar e levantar os requisitos a serem gerenciados no PGR. As usinas termoelétricas são responsáveis pela geração de diversos impactos que afetam o meio ambiente, os funcionários e a comunidade na qual a unidade está inserida. Visto isso, foi realizado um estudo de análise de risco utilizando a metodologia de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) para analisar nove perigos como a emissão atmosférica, a explosão de caldeira, a ignição de mistura inflamável no espaço vapor do tanque diesel, entre outros. O Plano de Gerenciamento de Riscos proposto para os riscos de emissão atmosférica e explosão de caldeira baseados no levantamentos realizados e nos mapas mentais dos perigos priorizados, auxiliando na organização e assimilação dos requisitos a serem gerenciados. A análise de risco demonstrou ser apropriada para a avaliação de riscos em usinas termoelétricas e que cada perigo por si só se mostrou capaz de gerar um extenso estudo de análise de risco e plano de gerenciamento.

Palavras-chave: Análise de Risco. Metodologia FMEA. Gerenciamento de risco. Mapa Mental.

ABSTRACT

The present work aims to propose a Risk Management Plan for a thermoelectric power plant and the application of Mind Map to organize, assimilate and raise the requirements for risk management. Thermoelectric power plants are responsible for the generation of several impacts that affects environment, employees and the community in which the unit is inserted. In this way, a risk analysis study was carried out using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) methodology to analyze nine risks such as atmospheric emission, boiler explosion, and flammable mixture ignition in the vapor space of the diesel tank, among others. The Risk Management Plan proposed for the risks of atmospheric emission and boiler explosion based on the data collection and the mind maps of the prioritized risks, helping in the organization and assimilation of the requirements to be managed. The risk analysis proved to be suitable for the assessment of risks in Thermoelectric Power Plants and that each hazard by itself was able to generate an extensive risks analysis and management plan.

Keywords: Risk Analysis. FMEA methodology. Risk Management. Mind Map.

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

EAR: Estudos de Análise de Risco

EIA: Estudo de Impacto Ambiental

FMEA: Análise de Modos e Efeitos de Falha

kW: Quilowatt

MME

MW: Megawatt

PGR: Plano de Gerenciamento de Riscos

RIMA: Relatório de Impacto Ambiental

UTE: Usina Termoelétrica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Usina termoelétrica.....	18
Figura 2: Etapas da Análise de Risco	21
Figura 3: Mapa Mental básico sobre “Fruta”	26
Figura 4: Mapa Mental início de novo empreendimento	26
Figura 5: Mapa Mental para o Levantamento de Requisitos.....	27
Figura 6: Estrutura organizacional de PAE	44
Figura 7: Mapa Mental de Emissão Atmosférica.....	46
Figura 8: Mapa Mental Explosão de Caldeira.....	47
Figura 9: Mapa Mental da ignição de mistura inflamável no espaço vapor do tanque de diesel	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatos de destaque na história da geração de energia elétrica no Brasil.....	16
Tabela 2: Capacidade de geração do Brasil – Empreendimentos em Operação	18
Tabela 3: Estrutura de um Plano de Gerenciamento de Riscos.....	24
Tabela 4: Formulário FMEA.....	30
Tabela 5: Classificações de severidade	31
Tabela 6: Classificações de ocorrência	31
Tabela 7: Classificações de detecção.....	32
Tabela 8: Classificações de abrangência.....	32
Tabela 9: Formulário FMEA preenchido.....	37
Tabela 10: Hierarquização dos perigos	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 Energia elétrica.....	16
3.2 Usinas Termoelétricas.....	18
3.2.1 Impactos Ambientais.....	19
3.3 Análise de Riscos.....	20
3.4 Método Análise de Modos e Efeitos de Falha – FMEA.....	22
3.6 Mapa Mental.....	24
4 METODOLOGIA.....	29
4.1 Metodologia FMEA.....	29
4.2 Metodologia de gerenciamento e comunicação.....	33
4.3 Metodologia de Mapas Mentais.....	33
5 RESULTADOS.....	34
5.1 Resultado do Formulário FMEA.....	34
5.2 Plano de Gerenciamento de Riscos.....	38
5.2.1 Procedimentos operacionais.....	38
5.2.2 Manutenção e garantia da integridade de sistemas críticos.....	39
5.2.3 Capacitação de Recursos Humanos.....	41
5.2.4 Investigação de incidentes e acidentes.....	42
5.2.5 Plano de ação de emergência – PAE.....	43
5.2.6 Auditorias.....	44
5.3 Plano de comunicação de riscos.....	44
5.4 Mapas mentais.....	45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

O estudo da energia elétrica passou a ser difundido no mundo a partir de 1879 com a invenção da lâmpada elétrica por Thomas Edison. Com isso, os países passaram a investir na geração elétrica através de centrais nucleares, termoelétricas ou hidrelétricas, de acordo com o potencial disponível (ESCELSA, s.d.). No Brasil, a geração elétrica foi influenciada principalmente pelo potencial hidrelétrico das bacias hidrográficas, enquanto que as centrais termoelétricas foram inseridas no contexto energético brasileiro de forma secundária (ABDALAD, 1999).

No ano de 1883 foi instalada a primeira usina termoelétrica no Brasil, na cidade de Campos no Rio de Janeiro, com potência de 52 kW (ESCELSA, s.d.). As usinas termoelétricas (UTE) são utilizadas como uma medida preventiva, para suprir a demanda por energia elétrica do país. Com isso, o governo tem incentivado a operação de outras formas de geração de energia elétrica com objetivo de diminuir a dependência das chuvas na geração de energia (MARTITS, GARCIA e AMARAL JR., 2012).

Usinas termoelétricas são instalações industriais responsáveis por produzir energia a partir da queima de combustíveis fósseis como óleo, gás natural, carvão mineral, entre outros, ou por outras fontes como a fissão nuclear, em usinas nucleares.

Instalações industriais têm causado diversos acidentes ao longo dos anos, o que contribuiu de forma significativa para o despertar da sociedade, do governo e da população, a buscar medidas que visassem prevenir eventos que colocam a segurança da população e do meio ambiente em risco. Logo, metodologias que já eram aplicadas nas indústrias bélica, aeronáutica e nuclear foram adaptadas para a realização de estudos de avaliação de risco em outros setores da indústria.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em 1986, publicou a Resolução N°1 que é responsável por estabelecer a necessidade de realizar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para permitir o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente. Em alguns órgãos estaduais, iniciando por São Paulo, passaram a requerer Estudos de Análise de Risco (EAR) para empreendimentos, que tenham maior propensão a causar acidentes, visando a prevenção desses eventos. De acordo com Sánchez (2013), os EAR são estudos que identificam os perigos e estimam a probabilidade de ocorrência da materialização do perigo e a magnitude de suas consequências, e

propõe medidas de gerenciamento. Com o requerimento dos EAR, os órgãos ambientais passaram também a requerer um Plano de Gerenciamento de Riscos (PGR) como uma forma de monitoração e controle dos riscos avaliados, e seu acompanhamento no decorrer do tempo.

O extenso consumo de combustíveis fósseis pelas atividades humanas levou a sérios problemas ambientais e atmosféricos, tornando-se uma preocupação global crescente por causa da escalada dos custos de energia e do aquecimento global associados às fontes de combustíveis fósseis, com destaque às pesquisas por fontes de energia mais limpas e sustentáveis.

Com a crescente expansão da capacidade de geração de energia e o incentivo do governo no uso das usinas termoelétricas, cresce também a necessidade de avaliar os impactos ambientais decorrentes deste tipo de empreendimento através das ferramentas que a análise de risco fornece (COLOSSI, 2012). Para colaborar com a avaliação desses riscos, e criar desde medidas mitigadoras, a possíveis rotas alternativas aos riscos estudados, será utilizada a técnica de Mapa Mental, ferramenta que visa o entendimento de informações de uma maneira mais simplificada e eficaz.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem o objetivo de propor um Plano de Gerenciamento de Riscos na operação de uma usina termoelétrica a óleo.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os possíveis riscos que o ambiente e os trabalhadores estão expostos numa usina termoelétrica, através da Análise de Modos e Efeitos de Falha – FMEA nas diversas etapas da usina;
- Construir Mapas Mentais para os perigos mais relevantes para melhor organizar, assimilar e levantar os requisitos a serem gerenciados
- Elaborar um Plano de Gerenciamento de Riscos para os perigos mais relevantes;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Energia elétrica

A partir do Século XIX a eletricidade passou a ser difundida no mundo. Ao longo do tempo o homem vem adaptando seu padrão de vida para viver melhor e mais confortável fazendo uso da tecnologia, o que conseqüentemente causa um maior consumo de energia. O crescimento populacional e econômico dos países em desenvolvimento, ocasiona uma demanda maior de energia elétrica.

Um breve histórico da geração de energia elétrica no Brasil está apresentado na Tabela 1, percebe-se que desde o início a matriz energética brasileira é baseada na geração por hidroelétricas, sendo as termoelétricas acionadas sempre que necessário, para completar a demanda (COLOSSI, 2012).

Tabela 1: Fatos de destaque na história da geração de energia elétrica no Brasil

Ano	Histórico
1883	Primeira usina hidroelétrica, localizada no Ribeirão do Inferno. Usina termoelétrica de Campos, RJ, com potência de 52kW. Primeiro serviço público municipal de iluminação elétrica do Brasil e da América do Sul.
1920	Haviam 300 empresas servindo 431 localidades do país, dispondendo de uma capacidade instalada de 354.980 kW, sendo 276.100 kW em usinas hidroelétricas e 78.880 kW em usinas termoelétricas.
1939	O país contava com 1176 empresas geradoras de eletricidade, que possuíam juntas 738 hidroelétricas, 637 termoelétricas e 15 usinas mistas. Potência instalada de 1.044.738 kW, sendo 85% em hidroelétricas.
1940	Regulamentada a situação das usinas termoelétricas do país, mediante sua integração às disposições do Código de Águas.
1954	Entrou em operação a Usina Termoelétrica Piratininga, a óleo combustível, primeira termoelétrica de grande porte do Brasil.
1961	A criação da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.) foi outro passo importante no programa de expansão da indústria de eletricidade no Brasil.
1995	A produção encontrava-se em torno de 55.512 MW de energia elétrica. Desse total, 50.678 MW (91,3%) eram obtidos em usinas hidroelétricas

	e 4.825 MW (8,7%) em termoeletricas.
1997	Constituído o novo órgão regulador do setor de energia elétrica sob a denominação de Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.
2000	O presidente Fernando Henrique Cardoso lançou o Programa Prioritário de Termoeletricas visando à implantação no país de diversas usinas a gás natural. Nesse ano, o Brasil vivenciou sua maior crise de energia elétrica, acentuada pelas condições hidrológicas extremamente desfavoráveis nas regiões Sudeste e Nordeste.
2001	Ainda no âmbito da crise de energia elétrica o governo criou a empresa Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial (CBEE) para realizar a contratação das térmicas emergenciais. Entrou em operação, em agosto, a Usina Termelétrica Eletrobold (RJ), incluída no Programa Prioritário de Termoeletricas (PPT). Entrou em operação, em novembro, a Usina Termoeletrica Macaé Merchant, no município de Macaé (RJ), também incluída no PPT
Atualmente	Atualmente, o Brasil conta com 4.835 empresas geradoras de eletricidade. Com potência total outorgada de 165.428.921 kW, sendo 61,59% em hidroeletricas e 26,17% em termoeletricas. O governo incentiva a operação de outras formas de geração de energia elétrica que não dependam de água.

Fonte: Adaptado de CEMIG (2012); Colossi (2012); e ESCELSA (2018);

Um dos fatores que define um país como desenvolvido é o acesso da população aos serviços de energia, saneamento básico, infraestrutura, transportes e telecomunicações. Com isso, a energia é um fator determinante para o desenvolvimento de um país, já que não existe desenvolvimento sem energia (ANEEL, 2008).

Na Tabela 2, é possível observar o cenário brasileiro da geração de energia. As usinas hidrelétricas são as principais responsáveis pela geração de energia, respondendo por cerca de 60% da potência do país. Enquanto que, as usinas termoeletricas vêm em segundo lugar, sendo responsável por mais de 25% da potência gerada.

Tabela 2: Capacidade de geração do Brasil – Empreendimentos em Operação

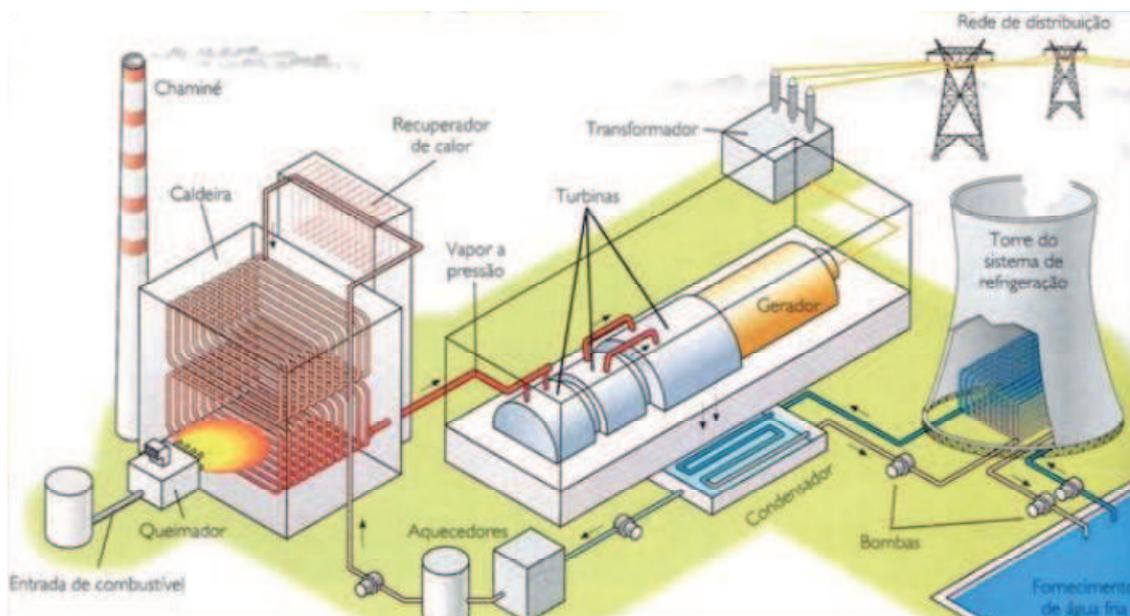
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
Central Geradora de Hidrelétrica	670	625.119	627.355	0,38
Central Geradora Eólica	511	12.560.739	12.537.943	7,59
Pequena Central Hidrelétrica	429	5.070.129	5.042.723	3,06
Usina Hidrelétrica de Energia	220	101.883.450	95.619.468	61,59
Usina Termoelétrica de Energia	3.003	43.299.484	41.550.809	26,17
Usina Termonuclear	2	1.990.000	1.990.000	1,21
Total	4.835	165.428.921	157.368.298	100

Fonte: ANEEL (2018)

3.2 Usinas Termoelétricas

Usinas termoelétricas são instalações industriais, que entraram em operação a partir de 1878 na Alemanha, podem ser classificadas como um conjunto de equipamentos com a finalidade de gerar energia elétrica através da queima de um combustível, como gás natural, carvão, óleo, entre outros (FURNAS, s.d.).

Figura 1: Usina termoelétrica



Fonte: <https://www.coladaweb.com/geografia/fontes-de-energia/usina-termoeletrica> (2018)

Na Figura 1 é possível visualizar de forma esquematizada como é uma usina termoelétrica. A primeira etapa de funcionamento de uma UTE consiste na queima de um combustível fóssil que aquece a caldeira com água, transformando-a em vapor. Na segunda etapa, esse vapor, em alta pressão, é utilizado para girar a turbina, que conseqüentemente aciona o gerador elétrico. Na terceira etapa, o vapor é condensado, transferindo o resíduo de sua energia térmica para um circuito independente de refrigeração, retornando a água à caldeira, completando o ciclo.

Então, a eletricidade, que é produzida em uma UTE, é a energia produzida da energia cinética obtida através da passagem do vapor de água pela turbina que transforma a potência mecânica em potência elétrica. A energia gerada é transmitida por cabos que estão ligados a transformadores, tendo sua tensão levada aos níveis adequados para ser consumida (FURNAS, s.d.).

Ao contrário das hidrelétricas, as termoelétricas podem ser construídas praticamente em qualquer lugar, seja ele afastado dos centros, ou próximos às regiões de consumo, o que reduz o custo com torres e linhas de transmissão. São empreendimentos mais rápidos de serem construídos, podendo assim suprir a demanda de energia de forma rápida. As UTEs são alternativas para países que não dispõem de outros tipos de fontes de energia, e também independem das condições climáticas.

3.2.1 Impactos Ambientais

A geração de energia elétrica sempre ocasiona efeitos na natureza, entretanto cada processo tem sua especificidade. Uma termoelétrica é responsável por causar diversos impactos ambientais, seja na sua construção ou em operação. Por esse motivo é um empreendimento sujeito à preparação prévia de um EIA, ou seja, se enquadra nas listas positivas. Como resultado é elaborado o RIMA, relatório responsável por prever as possibilidades dos impactos que podem decorrer desse empreendimento, permitindo que medidas preventivas possam ser elaboradas.

Os impactos que uma termoelétrica em funcionamento apresenta podem ocasionar problemas tanto ao meio ambiente quanto à saúde humana. Devido à queima de combustíveis fósseis, as termoelétricas são responsáveis pela emissão de poluentes à atmosfera, entre outros impactos. São eles:

- Emissão de material particulado - que causa problemas respiratórios, interferência na fauna e flora, entre outros;
- Emissão de dióxido de carbono - que contribui para o efeito estufa;
- Emissão de dióxido de enxofre - que causa problemas respiratórios, cardiopulmonares, interferência na fauna e flora, chuvas ácidas;
- Emissão de óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono - chuvas ácidas.

3.3 Análise de Riscos

No decorrer dos anos a sociedade como um todo vêm com uma crescente preocupação para com os riscos que um empreendimento pode gerar, como a população pode ser afetada, como evitar – se possível –, e/ou mitigar esse risco. Assim, análise de risco é definida como um “Conjunto de atividades de identificação, estimativa e gerenciamento de risco”. (SÁNCHEZ, 2013).

Na análise de riscos é necessário distinguir risco de perigo. Perigo é considerado uma condição ou situação que pode provocar consequências negativas e indesejáveis. Enquanto que risco, está relacionado com a probabilidade de ocorrência de efeitos adversos, ou seja, a probabilidade do perigo ocorrer (GUIMARÃES, 2011; SÁNCHEZ, 2013). Ou seja, perigo é uma fonte de riscos.

A Análise de Risco é um conjunto de metodologias flexíveis (ou de conhecimentos) que podem ser aplicadas em diversas áreas de conhecimento e adaptada a diversas situações, considerando diversos cenários possíveis para os eventos em estudo, os quais deseja prevenir ou controlar (GUIMARÃES, 2011; VIEIRA, 2012). A análise de risco é caracterizada por três etapas: avaliação de risco, gerenciamento de risco e comunicação de risco. De acordo com a Figura 2, percebe-se que essas etapas normalmente são desenvolvidas de forma sequencial e integrada.

Figura 2: Etapas da Análise de Risco



Fonte: Nascimento e Oliveira, 2017

A avaliação de risco estima a probabilidade de um determinado evento ocorrer e a provável magnitude de efeitos adversos por um determinado período de tempo. Essa avaliação ocorre nas etapas de identificação de perigos, análise das consequências e estimativa dos riscos, avaliação dos riscos, e gerenciamento dos riscos (SÁNCHEZ, 2013). Diversos métodos podem ser utilizados na avaliação de riscos, são eles: Análise Histórica de Acidentes, método “E, se? (*What if?*)”, *Checklists* (Listas de verificação), Análise Preliminar de Perigos (APP), Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), Análise de Perigos e Operacionalidade (HAZOP), *Hazard Identification* (HAZID), entre outros (NASCIMENTO e OLIVEIRA, 2017).

O gerenciamento de risco baseia-se nas considerações feitas nas etapas anteriores, principalmente na avaliação dos riscos, para tomar providências que busquem a diminuição das chances de ocorrência e das frequências de acidentes (CARPENTER, 1995 *Apud* VIANA, 2010).

A comunicação de risco é a troca de informações entre o emissor (gestor de risco) e o receptor (comunidade envolvida). É um conceito que ganhou relevância com o acidente na usina nuclear de Chernobyl, em 1986, devido à dificuldade na troca de informações entre os cientistas e a população a respeito dos riscos existentes.

3.4 Método Análise de Modos e Efeitos de Falha – FMEA

A análise dos modos de falhas e seus efeitos, FMEA (do inglês *Failure Modes and Effects Analysis*), é um método criado pela agência norte-americana NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), em 1963. A FMEA é um método projetado para, de forma sistemática, identificar e entender potenciais falhas em processos, sistemas ou serviços, identificando também seus efeitos e suas causas, para assim definir as ações que podem reduzir ou eliminar o risco associado a cada uma dessas falhas para um determinado produto ou processo (SANTOS *et al.*, 2017).

A FMEA é uma análise realizada por uma equipe multifuncional de especialistas, que realizarão um estudo minucioso, com o objetivo de encontrar e corrigir pontos fracos antes do produto chegar ao consumidor final (CARLSON, 2012). De acordo com Fernandes (2005), é um método que utiliza uma sequência sistemática e lógica para avaliar como um sistema ou processo está mais fadado a falhar. A FMEA leva em consideração severidade, ocorrência e detecção da falha, através das quais prioriza quais modos de falha estão associados com um risco mais elevado.

No caso da avaliação de risco ambiental, foram realizadas algumas mudanças no formulário da FMEA para que o processo clássico se adaptasse melhor quando se trata de riscos ambientais. Por isso foi acrescentado o aspecto abrangência no formulário, visto que o impacto ambiental gerado pode ultrapassar fronteiras (ZAMBRANO e MARTINS, 2007).

A FMEA é dividida em quatro tipos segundo Stamatis (2003), são eles:

- FMEA de sistema: que irá analisar os sistemas e subsistemas do início do desenvolvimento do projeto assim como durante toda sua vida útil (RODRIGUES, 2004);
- FMEA de produto: analisa as falhas que podem ocorrer com determinado produto, dentro das especificações do projeto, antes do mesmo ser liberado para fabricação;

- FMEA de processo: é utilizado na avaliação das falhas em processos, e está ligado a capacidade do processo cumprir os objetivos definidos inicialmente;
- FMEA de serviço: utilizado na avaliação das etapas de desenvolvimento de um sistema, sendo “essas etapas o Sistema de Serviço (FMEA de Sistema), o Produto do Serviço (FMEA de Produto) e o Processo de execução do Serviço (FMEA de Processo)” (FERNANDES, 2005).

Segundo Fernandes (2005), as principais etapas para a execução do FMEA são:

1. Identificação dos modos de falha potenciais e/ou conhecidos;
2. Identificação dos efeitos de cada modo de falha assim como sua severidade;
3. Identificação das causas possíveis para cada modo de falha e sua respectiva probabilidade de ocorrência;
4. Identificação do meio de detecção no caso da ocorrência de determinado modo de falha, como também a probabilidade de detecção;
5. Avaliação do potencial de risco de cada modo de falha e definir medidas que eliminem ou reduzam o risco de falha;
6. Desenvolvimento de técnicas de diagnóstico online.

FMEA é um método de fácil utilização e elevada flexibilidade que pode ser aplicado em diversas áreas, permitindo uma contínua avaliação do risco ambiental.

3.5 Plano de Gerenciamento de Riscos - PGR

O setor industrial está, diariamente, sujeito à ocorrência de acidentes, sejam eles ambientais – que podem afetar os trabalhadores, a comunidade ao redor, as instalações do empreendimento, e o ecossistema –, ou ocupacionais – que afetam os trabalhadores em serviço (SGA-PGR, 2012). Devido à iminência do risco é necessário conhecer os perigos e avaliar os riscos decorrentes desses perigos, para assim poder gerenciar os riscos do empreendimento em questão.

O Plano de Gerenciamento de Risco (PGR) tem como objetivo definir as atividades e procedimentos que devem ser adotados durante a realização das

atividades diárias do empreendimento (SGA-PGR, 2012). Deve ser uma atividade de melhoria contínua, visto que o risco não é eliminado integralmente e sofre alterações de aceitabilidade no decorrer do tempo.

De acordo com Sánchez (2013), a estrutura de um PGR é a mostrada na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3: Estrutura de um Plano de Gerenciamento de Riscos

Tipo I*
Informações de segurança de processo
Revisão dos riscos de processos
Gerenciamento e modificações
Manutenção e garantia da integridade de sistemas críticos
Procedimentos operacionais
Capacitação de recursos humanos
Investigação de incidentes
Plano de ação emergencial (PAE)
Auditoria

**Para empreendimentos de médio e grande portes*

Fonte: CETESB (2003)

O PGR é um documento técnico composto por um diagnóstico da situação do empreendimento em relação aos riscos e medidas para evitá-los ou minimizá-los. É um documento essencial para empreendimentos com atividades e processos de risco, que possam resultar em acidentes que afetem a população e o meio ambiente do seu entorno.

3.6 Mapa Mental

Em meados de 1960 o psicólogo e escritor Tony Buzan propôs a técnica de “Mapa Mental”, a partir da observação de seus alunos, pessoas ao seu redor e a pesquisa sobre grandes pensadores como Einstein e da Vinci (MATUDA e BEGOSSO, 2012). Buzan (2005) percebeu que pessoas que utilizavam desenhos, cores e símbolos nos seus estudos tinham um rendimento melhor do que aqueles

que utilizavam “anotações espremidas, unicolores e monótonas” (BUZAN, 2005, p.14).

Um Mapa Mental é uma ferramenta que ajuda a organizar o pensamento. Ou seja, é uma maneira mais fácil de assimilar e de extrair informações retidas no seu cérebro de uma forma mais criativa, que conseqüentemente se torna mais eficaz devido ao estímulo da criatividade e maior estímulo do cérebro (BUZAN, 2005; MATUDA e BEGOSSO, 2012). O Mapa Mental proposto por Buzan (2005) em sua estrutura partem do centro e fazem uso de linhas, símbolos, palavras, cores e imagens.

O Mapa Mental pode ser utilizado e aplicado em diversas atividades, desde a organização das suas atividades diárias, a revisão de conteúdo, no gerenciamento de projetos, planejamento de eventos, e nos mais diversos assuntos. Matuda e Begosso (2012) utilizaram os Mapas Mentais na Engenharia de Requisitos com o intuito de diminuir os problemas existentes no processo de Levantamento de Requisitos. Brondani *et al.* (2016) utilizaram a técnica como uma ferramenta para “avaliação da percepção do ambiente da tragédia” no acidente que ocorreu na Boate Kiss na cidade de Santa Maria – RS, em 2013.

Nas Figuras 3, 4 e 5, é possível observar diferentes utilizações dos Mapas Mentais. Na Figura 3 um Mapa básico sobre a palavra “Fruta”, já na Figura 4 o Mapa de início de um novo empreendimento, e na Figura 5 o mapa utilizado por Matuda e Begosso (2012) no seu trabalho.

Figura 3: Mapa Mental básico sobre “Fruta”



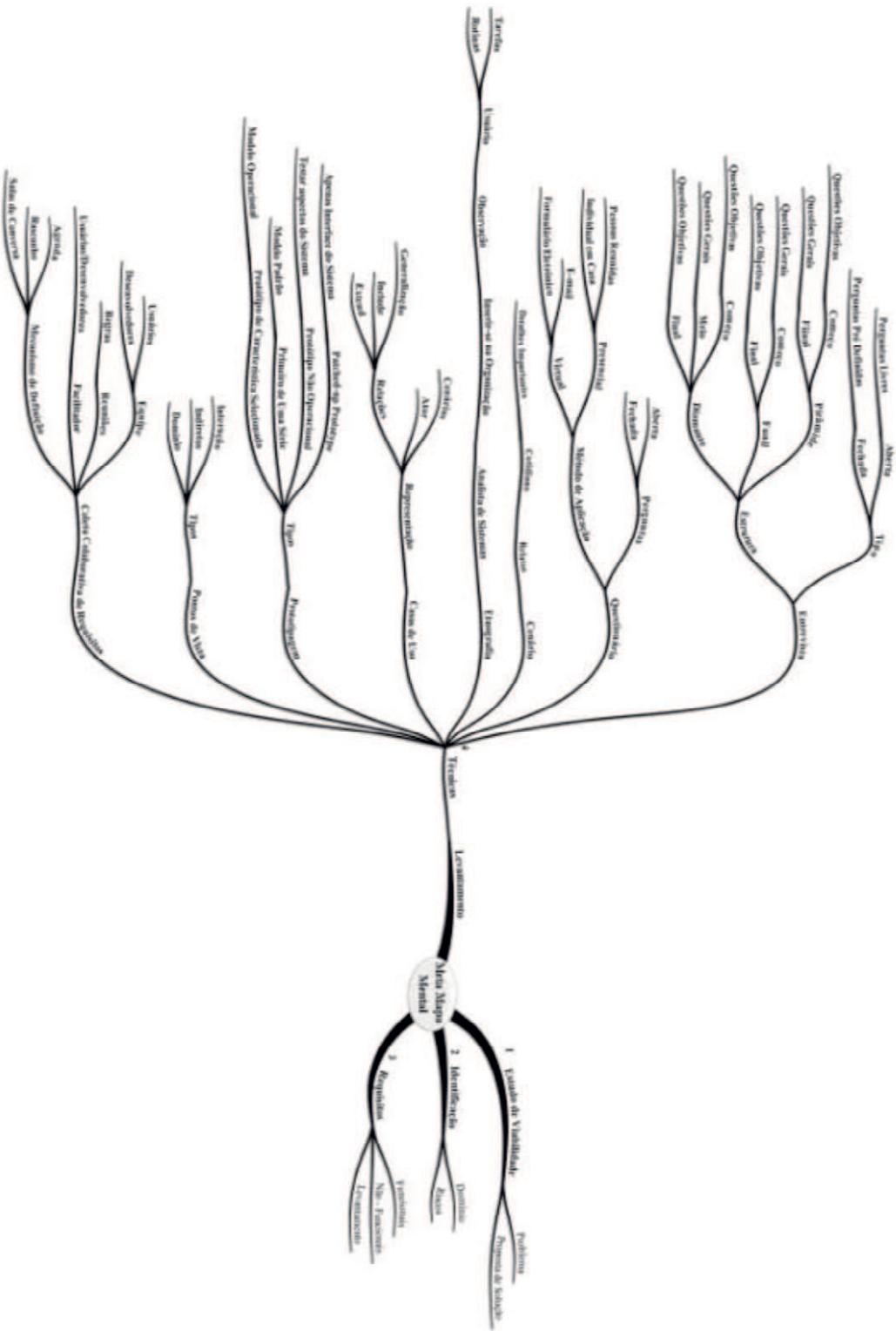
Fonte: Buzan (2005)

Figura 4: Mapa Mental início de novo empreendimento



Fonte: Buzan (2005)

Figura 5: Mapa Mental para o Levantamento de Requisitos



Fonte: Matuda e Begosso, 2012

A partir das imagens é possível perceber como a complexidade de um Mapa Mental pode variar dependendo do assunto em que está sendo aplicado. Enquanto a Figura 3, pode ser um Mapa simples feito por uma criança que está em fase de aprendizado, a Figura 4 já passa a um assunto mais complexo de planejamento de empresa e a Figura 5 mostra um Mapa sendo aplicado a uma atividade complexa e real em nível de engenharia.

4 METODOLOGIA

O trabalho foi voltado para um Usina Termoelétrica não especificada, que será chamada de UTE. O combustível principal da UTE é o óleo combustível B1 (especial) e ela utiliza o óleo diesel como alternativo. A capacidade geradora instalada da usina é de 164 MW (MME, s.d.).

4.1 Metodologia FMEA

A análise de risco é caracterizada pelas etapas: avaliação de risco, gerenciamento de risco e comunicação de risco. Ao se iniciar uma análise desse tipo, a primeira etapa que é desenvolvida é a avaliação de risco, neste estudo o método utilizado é a FMEA. A escolha se deve à sua fácil utilização e à capacidade do método se adaptar a diversas áreas, permitindo uma contínua avaliação do risco ambiental em um sistema, produto, processo ou serviço (GUIMARÃES, 2011).

Esse método consiste na identificação das prováveis falhas, estabelecimento das prioridades no tratamento dessas falhas, e implementação das ações recomendadas (ZAMBRANO e MARTINS, 2007). Segundo Zorzán *et al.* (2013), a metodologia FMEA é aplicada em fases que consistem na identificação das prováveis falhas, na análise das mesmas e na tomada de ações para evitar a ocorrência dessas falhas identificadas.

Para a implementação do FMEA seguem-se quatro etapas: planejamento, análise das possíveis falhas, avaliação dos riscos e implementação das ações recomendadas. Para a aplicação desse tipo de análise é necessário que na etapa do planejamento, monte-se uma equipe multidisciplinar de especialistas, planejem-se as reuniões, prepare-se a documentação e definam-se claramente a abrangência do estudo e os objetivos do mesmo (ZORZAN *et al.*, 2013).

Na análise das possíveis falhas a equipe preenche e discute sobre o formulário (Tabela 4), especificando as características e funções do produto, processo ou sistema analisado, identifica o perigo, seus efeitos, as possíveis causas e as medidas de controle para cada falha. A preparação do formulário FMEA representado pela Tabela 3, foi adaptado de Ogata (2011).

Tabela 4: Formulário FMEA

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	A	RPN	Medidas mitigatórias

As três primeiras colunas do formulário FMEA foram preenchidas de acordo com as definições abaixo:

- Perigo: através de visita técnica e levantamento bibliográfico, foram selecionados os itens a serem avaliados, levando em consideração os que apresentam perigo;
- Efeito: a consequência do tipo de falha (perigo);
- Causa: causas e condições que podem ser responsáveis pela falha potencial (perigo).

Em seguida, na avaliação dos riscos a equipe preenche os campos referentes a severidade (S), ocorrência (O), detecção (D) e abrangência (A). As Tabelas referentes às classificações de S, O, D e A, foram elaboradas de uma forma que englobem ao máximo as peculiaridades de cada perigo analisado.

Os coeficientes de prioridade de risco (RPN) são calculados através da multiplicação dos quatro índices citados (Tabelas 5 a 8), e por fim, a coluna de medidas mitigatórias, é preenchida, sendo descritas ações que devem ser adotadas para eliminar ou reduzir os impactos do perigo, de acordo com a revisão bibliográfica.

A coluna de severidade avalia a gravidade do efeito do modo da falha potencial. A Tabela de classificação (Tabela 5) para severidade foi elaborada levando em consideração o grau de danos aos equipamentos, propriedade, meio ambiente e às pessoas que podem ser afetadas.

Tabela 5: Classificações de severidade

	Severidade	Classificação
Catastrófica	Danos irreparáveis aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente. Provoca mortes ou lesões em várias pessoas	5
Crítica	Danos severos aos equipamentos, e/ou ao meio ambiente. Lesões de gravidade moderada em empregados, prestadores de serviço ou membros da comunidade.	4
Moderada	Danos leves aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente. Lesões leves em empregados ou prestadores de serviço	3
Baixa	Danos insignificantes aos equipamentos, propriedade e/ou meio ambiente. Não ocorrem lesões ou mortes de funcionários ou terceiros	2
Sem Impacto	Sem danos aos equipamentos, propriedade, meio ambiente e/ ou funcionários	1

Fonte: Adaptado de Moura (2000)

Diante da variabilidade total de cada indicador de degradação das estruturas de uma UTE e da dificuldade de informações na bibliografia, foi admitido como referência temporal, para classificar o aspecto de ocorrência (Tabela 6), meia vida e vida útil, de 25 e 50 anos, respectivamente, adotadas para estruturas de engenharia, como sistemas de drenagem, sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, indicadores construídos com base nos perigos ao meio ambiente e a população associados a degradação dessas estruturas.

Tabela 6: Classificações de ocorrência

	Ocorrência	Classificação
Muito alta	A falha ocorre mais de duas vezes na meia vida da termoelétrica	5
Alta	A falha ocorre duas vezes na meia vida da termoelétrica	4
Moderada	A falha ocorre uma vez na meia vida da termoelétrica	3
Baixa	A falha ocorre até duas vezes na vida útil da termoelétrica	2
Improvável	A falha ocorre uma ou nenhuma vez na vida útil da termoelétrica	1

Fonte: Adaptado de Moura (2000)

A coluna de detecção avalia a capacidade da identificação da causa. A classificação (Tabela 7) foi feita levando em consideração os custos de detecção, visto que este pode ser um aspecto que dificulta a detecção de parâmetros relevantes na identificação e avaliação dos perigos.

Tabela 7: Classificações de detecção

	Detecção	Classificação
Baixa	A falha é detectada com a utilização de tecnologias sofisticadas de custo elevado	5
Moderada	A falha é detectada com a utilização de equipamentos sofisticados de custo acessível	4
Alta	A falha é detectada com a utilização de equipamentos simples de custo elevado	3
Muito Alta	A falha é detectada com a utilização de equipamentos simples de custo acessível	2
Imediata	A falha pode ser percebida visualmente	1

Fonte: *Adaptado de Moura (2000); Zambrano e Martins (2007)*

Abrangência avalia a área que é afetada pelo perigo, nesse caso a classificação leva em consideração o perigo ocorrer de forma pontual, dentro dos limites do empreendimento e fora dos limites do empreendimento.

Tabela 8: Classificações de abrangência

	Abrangência	Classificação
Alta	O impacto ambiental atinge a região extramuros do empreendimento	5
Média	O impacto ambiental ocorre dentro dos limites do empreendimento	3
Baixa	O impacto ambiental ocorre de forma pontual, onde acontece a falha	1

Fonte: *Adaptado de Moura (2000); Zambrano e Martins (2007)*

Com a conclusão do preenchimento do formulário FMEA, os resultados foram analisados e organizados de forma hierárquica, com o objetivo de tornar o gerenciamento mais efetivo.

4.2 Metodologia de gerenciamento e comunicação

Com o fim da etapa de avaliação de risco são inicializadas as etapas de gerenciamento e comunicação. O Plano de Gerenciamento proposto baseia-se na organização dos riscos obtidos na aplicação da metodologia FMEA de forma hierárquica e nas medidas mitigatórias identificadas a partir da revisão bibliográfica. Por seu turno Plano de Comunicação foi proposto com base nos princípios e veículos de comunicação.

4.3 Metodologia de Mapas Mentais

A metodologia de mapeamento mental é considerada um recurso valioso no gerenciamento de informações. Pode ser útil em diversos casos e situações, na quais as informações podem ser referenciadas por palavras chaves, desenhos, símbolos e/ou diagramas. Os Mapas Mentais são constituídos na “técnica de registro visual e conceitual de informações” (HERMANN e BOVO, 2005).

Após a hierarquização dos riscos a partir do formulário FMEA, os três perigos com o maior risco foram selecionados para a aplicação da metodologia de Mapas Mentais. Com isso, foi elaborado um mapa para cada perigo contendo informações pertinentes sobre cada um, desde o que causa o perigo, os efeitos, medidas mitigadoras entre outras. A aplicação foi feita no aplicativo MindNode, utilizando sua versão teste.

5 RESULTADOS

5.1 Resultado do Formulário FMEA

A metodologia FMEA foi aplicada buscando uma classificação que represente a realidade das indústrias termoelétricas. Através da aplicação dos formulários, é possível constatar a importância de realizar estudos para conhecer o risco e assim poder gerenciá-lo, para ter ferramentas que reduzam ou eliminem o risco. Conforme apresentada na Tabela 9, foram analisados nove perigos típicos de termoelétricas a óleo. Os que demonstraram ser mais relevantes foram os perigos de emissão atmosférica, explosão de caldeira e ignição de mistura inflamável no espaço vapor do tanque diesel.

O perigo que mais se destacou foi o de emissão atmosférica, que tem como efeito principal a contaminação do ar que tem como consequência na saúde humana de doenças respiratórias, aumento das chances de câncer, entre outros. Já no meio ambiente causa, principalmente, chuva ácida, diminui a camada de ozônio, smog fotoquímico. A operação da unidade é a causa desse perigo, sendo essa emissão liberada principalmente pelo uso das caldeiras, turbinas e motores de combustão.

A severidade, para emissão atmosférica, foi classificada como crítica pois causa danos consideráveis ao meio ambiente, aos equipamentos e diminui a qualidade de vida da comunidade. A ocorrência foi classificada como muito alta, já que ocorre sempre em que a planta está em funcionamento, ou seja, mais que duas vezes durante a meia vida do empreendimento. A detecção foi classificada como baixa, pois depende da utilização de equipamentos sofisticados de alto custo para detectar, sendo ideal ter uma unidade de monitoramento do ar. A abrangência foi classificada como alta, porque o impacto ultrapassa os limites do empreendimento. O risco estimado para emissão atmosférica foi de 400.

Algumas medidas que podem ser adotadas no plano de gerenciamento para eliminar ou reduzir os impactos causados por esse perigo são a instalação de uma unidade de monitoramento do ar para realizar o controle das emissões, realizar a limpeza e manutenção das chaminés, se adequar as resoluções do CONAMA n° 005/89 e n°382/06. Essas informações podem ser vistas em forma de mapa mental na Figura 7.

A explosão de caldeira é um perigo que tem como efeito danos a operadores, desde graves lesões a morte, incêndio, explosão e pode também ser responsável pela paralisação das atividades da UTE caso uma dessas falhas ocorra. Essa falha pode ocorrer devido ao acúmulo de combustível na fornalha, combustão incompleta, falta de manutenção, excesso de pressão e/ou superaquecimento do sistema.

O perigo da explosão de caldeira teve severidade classificada como catastrófica, visto que causa danos irreparáveis aos operários e maquinários. A ocorrência foi classificada como baixa, não é uma falha frequente durante o funcionamento da planta, podendo ocorrer uma ou duas vezes durante a vida útil do empreendimento. A detecção foi classificada como baixa, já que suas causas precisam de tecnologias sofisticadas e manutenção minuciosa para detecção, classificando-se como de alto custo. A abrangência foi classificada como alta, tendo impacto em escala local. O risco estimado para esse perigo foi de 150.

As medidas mitigatórias que podem ser adotadas para eliminar ou reduzir o risco são investir em manutenção e treinamento periódicos de acordo com a norma NR13, instalar sistemas de combate a incêndio, entre outros. Estas informações estão agrupadas no mapa mental da Figura 8.

O terceiro perigo que mais se destacou foi a ignição de mistura inflamável no espaço vapor do tanque de diesel, que tem efeitos como a explosão confinada ou incêndio no tanque de diesel. Alguns das causas são a condutividade elétrica, devido a descarga elétrica ou a operação de enchimento ou troca do produto do tanque (esse processo pode fazer com que ocorra a ignição eletrostática que juntamente com a mistura ar + combustível inflamável resultem em fogo ou explosão.

A ignição de mistura inflamável no espaço vapor do tanque de diesel foi o terceiro perigo avaliado, sua severidade foi classificada como crítica devido a possibilidade de explosão ou incêndio, ou seja, danos severos aos equipamentos e os trabalhadores. A ocorrência foi classificada como baixa, que pode ocorrer 1 ou 2 vezes na vida útil do empreendimento. A detecção foi considerada baixa, visto que é uma falha de difícil detecção já que ocorre dentro do tanque, sendo necessária utilização de formas mais sofisticadas e alto custo para detectar. E a abrangência foi alta, acreditando que o impacto pode ultrapassar os limites do empreendimento. O resultado do risco para este perigo foi de 120.

No plano de gerenciamento deve conter algumas medidas mitigatórias pra esse perigo, que podem ser vistas na Tabela 9 e na Figura 9, destacando a instalação de um sistema de aterramento no tanque de diesel, manutenção e treinamento periódicos, seguir a *API Recommend practice 2003 – Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents*.

Tabela 9: Formulário FMEA preenchido

Perigo	Efeito da falha	Causa da falha	S	O	D	A	RPN	Medidas mitigatórias
Pequena liberação de líquido inflamável no dique	- Contaminação do solo do dique	- Vazamento de conexões para chaves de nível - Vazamento em flanges de válvulas	2	2	4	1	16	Manutenção regular e frequente
Grande liberação de líquido inflamável durante sua utilização nas turbinas	- Formação de poça no local - Possibilidade de ignição com ocorrência de incêndio	- Devido a ruptura em linha no aquecimento do combustível	4	3	1	2	24	Manutenção regular e frequente; instalar sistema de combate a incêndio
Ignição de mistura inflamável no espaço vapor do tanque de diesel	- Explosão confinada no tanque de diesel - Incêndio no tanque de diesel	- Devido a descarga atmosférica	4	2	5	3	120	Instalar sistema de aterramento no tanque diesel
Contato de pessoas com superfície eletricamente energizada	- Choque elétrico com risco de ferimentos de operadores ou morte	- Presença de pessoas não autorizadas próximo a "linhas vivas"	4	2	4	1	32	Isolar área eletrificada, e controlar o acesso
Explosão física de transformador elétrico	- Danos a operadores devido à abertura do arco voltaico - Destruição física dos sistemas elétricos da subestação	- Curto-circuito	4	2	3	3	72	-----
Emissão atmosférica	- Contaminação do ar (doenças respiratórias, câncer, smog fotoquímico, chuva ácida, etc)	- Operação da unidade	4	4	5	5	400	Instalar filtros adequados nas chaminés, controle de emissão, manutenção e limpeza das chaminés
Proximidade dos tanques	- Contaminação do solo - Possibilidade de ignição com ocorrência de incêndio - Explosão	- Vazamento na tubulação de abastecimento do tanque	5	2	3	3	90	Barreiras de contensão; manutenção regular e frequente; instalar sistema de combate a incêndio
Explosão de Caldeira	- Danos a operadores - Incêndio - Explosão - Contaminação do ar	- Acúmulo de combustível na fornalha - Combustão incompleta - Falta de manutenção - Excesso de pressão - Superaquecimento	5	2	5	3	150	Manutenção regular e frequente; instalar sistema de combate a incêndio
Rompimento da tubulação de água quente	- Danos a operadores como queimadura	- Vazamento na tubulação - Presença de pessoas não autorizadas	2	2	2	1	8	Colocar sinalizações através de cores ou placas para identificar o conteúdo transportado na tubulação

Após o preenchimento do formulário FMEA foi realizada a hierarquização dos perigos quanto ao seu respectivo risco, conforme a Tabela 9.

Tabela 10: Hierarquização dos perigos

Perigo	Risco
Emissão atmosférica	400
Explosão da caldeira	150
Ignição de mistura inflamável no espaço vapor do tanque diesel	120
Proximidade dos tanques	90
Explosão física de transformador elétrico	72
Grande liberação de líquido inflamável durante sua utilização nas turbinas	36
Contato de pessoas com superfície eletricamente energizada	24
Pequena liberação de líquido inflamável no dique	16
Rompimento da tubulação de água quente	8

Fonte: Autor (2018)

5.2 Plano de Gerenciamento de Riscos

A partir da avaliação dos riscos através da metodologia FMEA, passa-se à etapa de gerenciamento de riscos por meio de ações preventivas e corretivas, e, posteriormente, para a comunicação do risco. O plano deve ser elaborado visando todos os perigos, mas neste caso os perigos emissão atmosférica (chaminés) e explosão da caldeira serão priorizados por serem os perigos os mais relevantes.

Esse plano de gerenciamento tem como objetivo definir os procedimentos e atividades que devem ser seguidos na execução das atividades, operações e serviços da UTE, visando a prevenção de acidentes, a preservação do meio ambiente, a propriedade, os equipamentos, e a segurança dos empregados, prestadores de serviços e os membros da comunidade circunvizinha.

O PGR vai seguir a estrutura: Procedimentos operacionais, Manutenção e garantia da integridade de sistemas críticos, Capacitação de recursos humanos, Investigação de incidentes e acidentes, Plano de ação de emergência e auditorias.

5.2.1 Procedimentos operacionais

Os procedimentos das atividades e operações realizadas na UTE devem estar previstas em um documento contendo instruções precisas e condições

necessárias para a execução das operações, levando em consideração as informações referentes à segurança e à preservação do meio ambiente.

Os procedimentos operacionais relacionados a segurança na realização das atividades principais, são:

- Identificar a avaliação de aspectos e impactos ambientais;
- Controle da legislação e requisitos aplicáveis;
- Registro e tratamento de anomalias, não conformidades, ações preventivas e ações corretivas e investigação de incidentes;
- Gerenciamento de emissões atmosféricas;
- Gerenciamento de efluentes líquidos;
- Controle no manuseio e armazenamento de produtos perigosos e potencialmente impactantes;
- Gerenciamento de resíduos sólidos;
- Gerenciamento do reuso de água;
- Plano de emergência individual.

5.2.2 Manutenção e garantia da integridade de sistemas críticos

O objetivo dos procedimentos de manutenção é assegurar o correto funcionamento dos equipamentos utilizados nas operações da UTE, com o intuito de evitar que a ocorrência de eventuais falhas, comprometam as operações, a segurança das instalações, do meio ambiente e das pessoas.

A UTE deve realizar inspeções e manutenções preventivas e corretivas de seus equipamentos e seus componentes. Devendo apresentar protocolos de manutenção preventiva para equipamentos considerados críticos. Como também, deve disponibilizar procedimentos para registro e tratamento de anomalias, não conformidades, ações preventivas e ações corretivas e investigação de incidentes.

Manutenção e inspeção

Os procedimentos de manutenção e inspeção devem reunir de maneira simples, os conceitos, as diretrizes técnicas e administrativas relacionados as

atividades realizadas na UTE, como também formulários e *checklists* padrões utilizados no empreendimento.

A manutenção das chaminés deve atender à EN 13084-1: 2007 (*Free-standing chimneys*), buscando verificar se as chaminés estão no seu melhor estado, visando prolongar sua vida útil e detectar a necessidade de manutenção. As inspeções devem ser registradas visualmente por meio de imagens, medições de ultrassom para registro em relatório, e ser analisada e recomendada a necessidade de reparação e manutenção. No decorrer da inspeção são observados (Steelcon,s.d.):

- Inspeção de ventilação;
- Inspeção e aperto dos parafusos;
- Inspeção ultrassônica;
- Inspeção de escadas, plataforma, sistemas de segurança;
- Portas de inspeção de limpeza; entre outros.

As caldeiras têm suas normas de manutenção preconizadas pela NR13, sendo o primeiro passo para ter bons parâmetros de manutenção e inspeção escolher profissionais bem capacitados. A manutenção e inspeção tem como objetivo minimizar a ocorrência de acidentes que afetem o funcionamento da termoelétrica e a saúde do trabalhador. De acordo com a norma NR13, o responsável pela inspeção e manutenção deve estar atento a:

- Inspeção dos cruzamentos de solda da fornalha;
- Exame visual nos espelhos frontal e traseiro da caldeira;
- Limpeza dos eletrodos da garrafa de nível e do corpo da caldeira;
- Verificar a fiação elétrica;
- Verificar o sistema de alimentação de água;
- Verificar a saída de vapor;
- Calibrar e fazer manutenção nos dispositivos de segurança; entre outros.

Classificação da manutenção

Instruções preventivas

A manutenção preventiva tem a intenção de reduzir a probabilidade de ocorrer falha em um equipamento, máquina ou serviço. Ou seja, é algo programado com uma certa regularidade pelos profissionais responsáveis.

Esse tipo de manutenção deve ter seus procedimentos revisados pelos profissionais responsáveis, e os operadores e prestadores de serviço envolvidos devem ser informados sempre que houver alguma alteração.

No caso das caldeiras, uma boa manutenção preventiva evita que ocorra a paralisação dos processos na termoelétrica.

Instruções corretivas

A manutenção corretiva é necessária quando ocorre falha em algum equipamento, ou quando o mesmo não está em seu funcionamento correto. Ou seja, esse tipo de manutenção consiste na substituição de peças, componentes ou equipamentos que levaram a parada de alguma operação.

Sendo assim, são manutenções realizadas em situação de emergência. Assim como a manutenção preventiva, na corretiva os procedimentos devem ser revisados periodicamente, e as partes afetadas devem ser informadas.

5.2.3 Capacitação de Recursos Humanos

Um dos aspectos mais importantes em qualquer empreendimento, é o treinamento, que vai garantir a capacitação dos operadores e todos os envolvidos no desempenho de suas funções, e que todos estejam sendo continuamente atualizados para desenvolver bem suas atividades.

Sendo assim, todos os operadores, funcionários e prestadores de serviço da UTE, devem conhecer suas funções em detalhes, demonstrando assim a competência necessária na realização das suas obrigações no empreendimento.

Programa de treinamento

O treinamento exerce papel primordial na conscientização e capacitação técnica dos funcionários. Preparando-os para desenvolver suas funções em segurança e em harmonia com o meio ambiente, estando preparado adequadamente para situações operacionais e de emergência.

Treinamento periódico/complementar

O treinamento periódico/complementar é um treinamento de reciclagem, ou seja, ele vai ser responsável por atualizar o colaborador para que ele se apresente continuamente reciclado com os procedimentos operacionais.

Esse treinamento consiste dos procedimentos do treinamento inicial, porém atualizado e acompanhando as mudanças que ocorrem no decorrer do tempo, deve ser realizado dentro do período de mais ou menos 2 anos, de acordo com a necessidade que o empreendimento apresente de repassar atualizações.

Para o funcionamento de caldeiras, é sugerido que o treinamento de reciclagem ocorra a cada 12 meses, visando manter o operador da caldeira sempre atualizado. É imprescindível que ocorra diálogo entre o responsável pela manutenção e o operador do equipamento.

5.2.4 Investigação de incidentes e acidentes

Essa etapa do PGR tem como objetivo identificar o maior número de causas de incidentes, para evitar que esses eventos que resultem ou possam resultar em operações irregulares, danos à segurança ou saúde das pessoas, danos ao empreendimento ou ao meio ambiente.

A investigação de incidentes e acidentes contempla:

- Avaliação técnica do ambiente;
- Inventário de equipamentos envolvidos;
- Considerações dos fatos pertinentes;
- Análise das informações coletadas;

- Levantamento de causas contribuintes para a ocorrência;
- Elaboração de um plano de ações para o bloqueio de causas recorrentes.

A investigação de um incidente, ou acidente, deve ocorrer imediatamente após a informação da ocorrência, para os membros da comissão e os técnicos responsáveis se dirigirem ao local para recolher as informações necessárias e realizar o atendimento.

Essa investigação pode contar com assessoria externa quando necessário. Com base na investigação um relatório deve ser gerado no prazo máximo de trinta dias a partir da ocorrência.

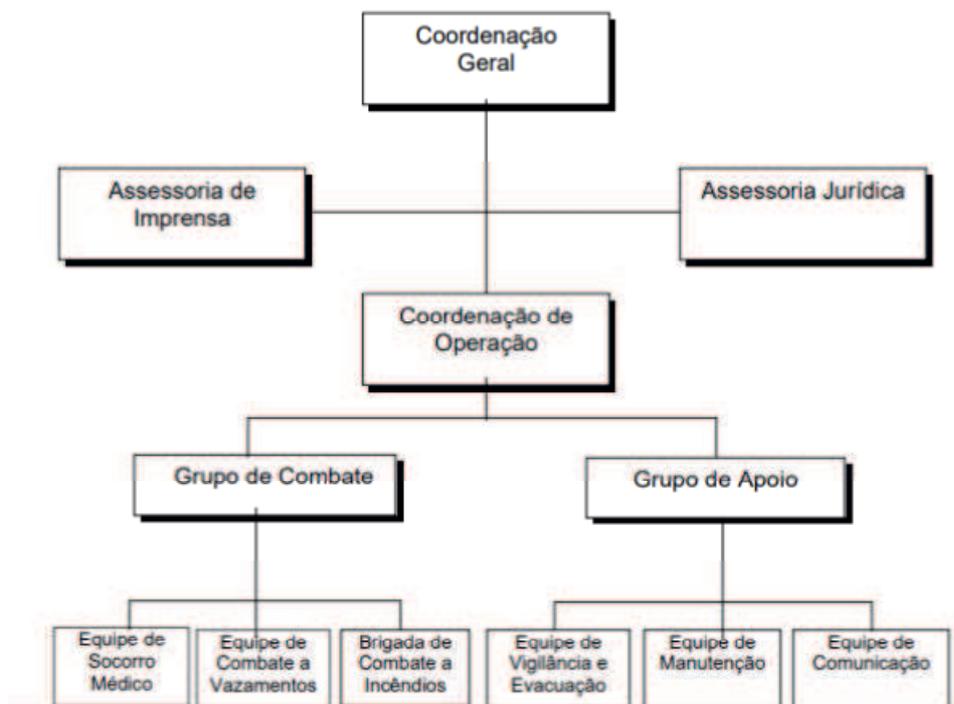
5.2.5 Plano de ação de emergência – PAE

O Plano de ação de emergência é um documento que fornece um conjunto de diretrizes e informações que facilitem respostas rápidas e eficientes em situações de emergência, através da utilização de procedimentos técnicos, lógicos e administrativos.

O PAE deve descrever os cenários acidentais, as instalações, as atribuições e responsabilidades de cada funcionário, ações de resposta a situações de emergência, recursos humanos e materiais, programas de treinamento, programas de divulgação, e documentos como plantas, lista de equipamentos, entre outros. Ou seja, é um documento síntese da análise de risco.

Na Figura 6, é possível observar um modelo de estrutura organizacional para um PAE.

Figura 6: Estrutura organizacional de PAE



Fonte: Serpa (s.d.)

5.2.6 Auditorias

As auditorias têm como finalidade identificar situações desconformes que possam afetar a segurança das atividades desenvolvidas na UTE e seus colaboradores, buscando preventivamente identificar essas situações indesejadas.

A UTE realizará periodicamente auditorias programadas para avaliar a eficiência do PGR no empreendimento. O responsável por agendar as auditorias e selecionar a equipe da auditoria interna é o Coordenador responsável pelo PGR.

As auditorias devem ser registradas, e os documentos arquivados, para que ocorra o acompanhamento adequado da efetividade e implementação de ações corretivas.

5.3 Plano de comunicação de riscos

A terceira etapa da análise de riscos é a comunicação, que tem objetivo de transmitir informações técnicas multidisciplinares a um público de interesses e níveis de conhecimentos diferentes da forma mais clara possível.

Dentro de um empreendimento como a UTE, existem dois tipos de comunicação, a interna e a externa. A comunicação interna ocorre entre os diferentes setores e níveis da empresa por meio de correio eletrônico, folders, reuniões, quadros de avisos, entre outros.

A comunicação externa, é expressada por meio do dialogo entre a empresa e a comunidade, seja por discussões, páginas online, anúncios no jornal televisivo ou impresso, entre outros.

Independentemente do tipo de comunicação, ela deve ser planejada, preparada de acordo com o tipo de comunicação desejada, interna ou externa, levando o tipo de veiculação em questão, seja revista, jornal, discussão, internet, e também considerar o publico a que a comunicação é dirigida.

5.4 Mapas mentais

Os perigos da Tabela 10 selecionados para a aplicação de Mapas Mentais foram: Emissão atmosférica, Explosão da caldeira, e Ignição de mistura inflamável no espaço vapor do tanque de diesel.

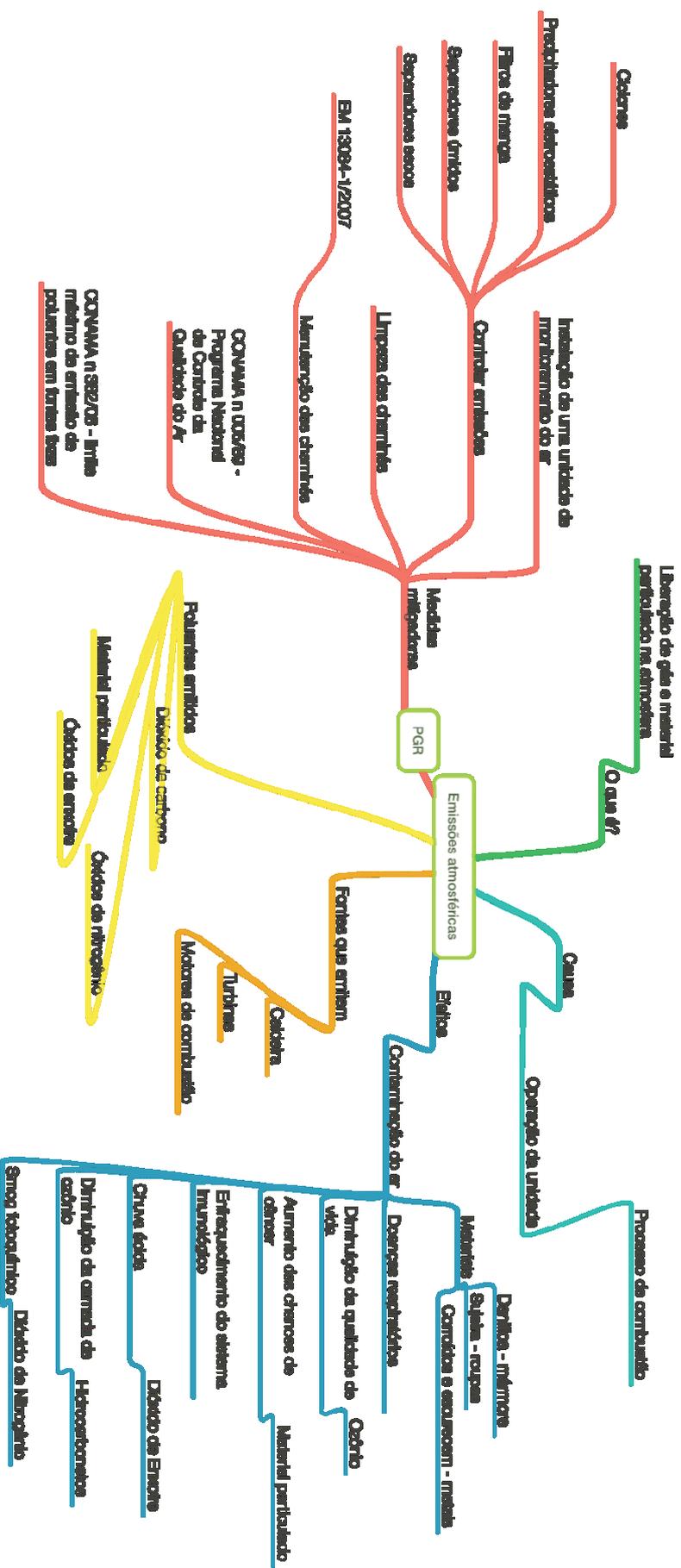
Na Figura 7, tem-se o mapa mental de emissão atmosférica, que mostra os principais efeitos desse perigo para a saúde humana e para o meio ambiente, a causa desse perigo, as medidas mitigadoras para evitar ou minimizar esse perigo, entre outras informações.

Na Figura 8, pode-se observar o mapa mental relativo ao perigo de explosão de caldeira. No mapa é possível observar o que é uma caldeira, como ela funciona, quem é responsável pela manutenção, as causas do perigo, os efeitos, medidas mitigadoras, e ações para serem tomadas imediatamente. Através do mapa pode-se perceber ligações que ocorrem entre informações de diversos ramos do mapa, mostrando que o mesmo é interativo.

Enquanto que a Figura 9, mostra o mapa mental da ignição de mistura inflamável no espaço vapor tanque diesel, contendo as informações como causa, efeito, ações a serem tomadas, medidas mitigadoras referentes a esse perigo.

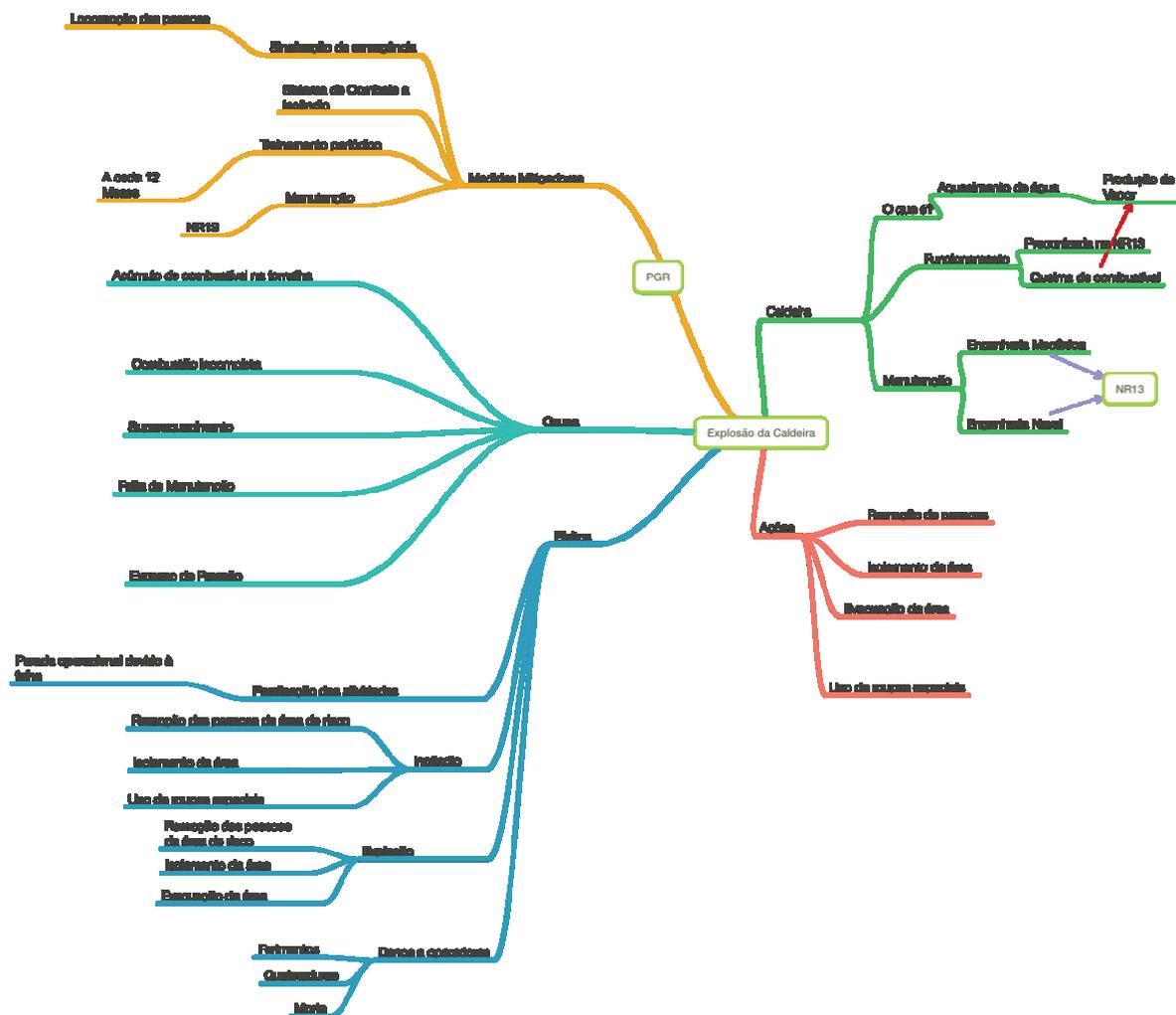
Os três mapas mentais, mostram aplicabilidades dessa metodologia para cada perigo. Mostrando como podem ser interativos, e como essa metodologia se adapta a qualquer situação, dependendo apenas de ser “abastecida” com o maior número de informações.

Figura 7: Mapa Mental de Emissão Atmosférica



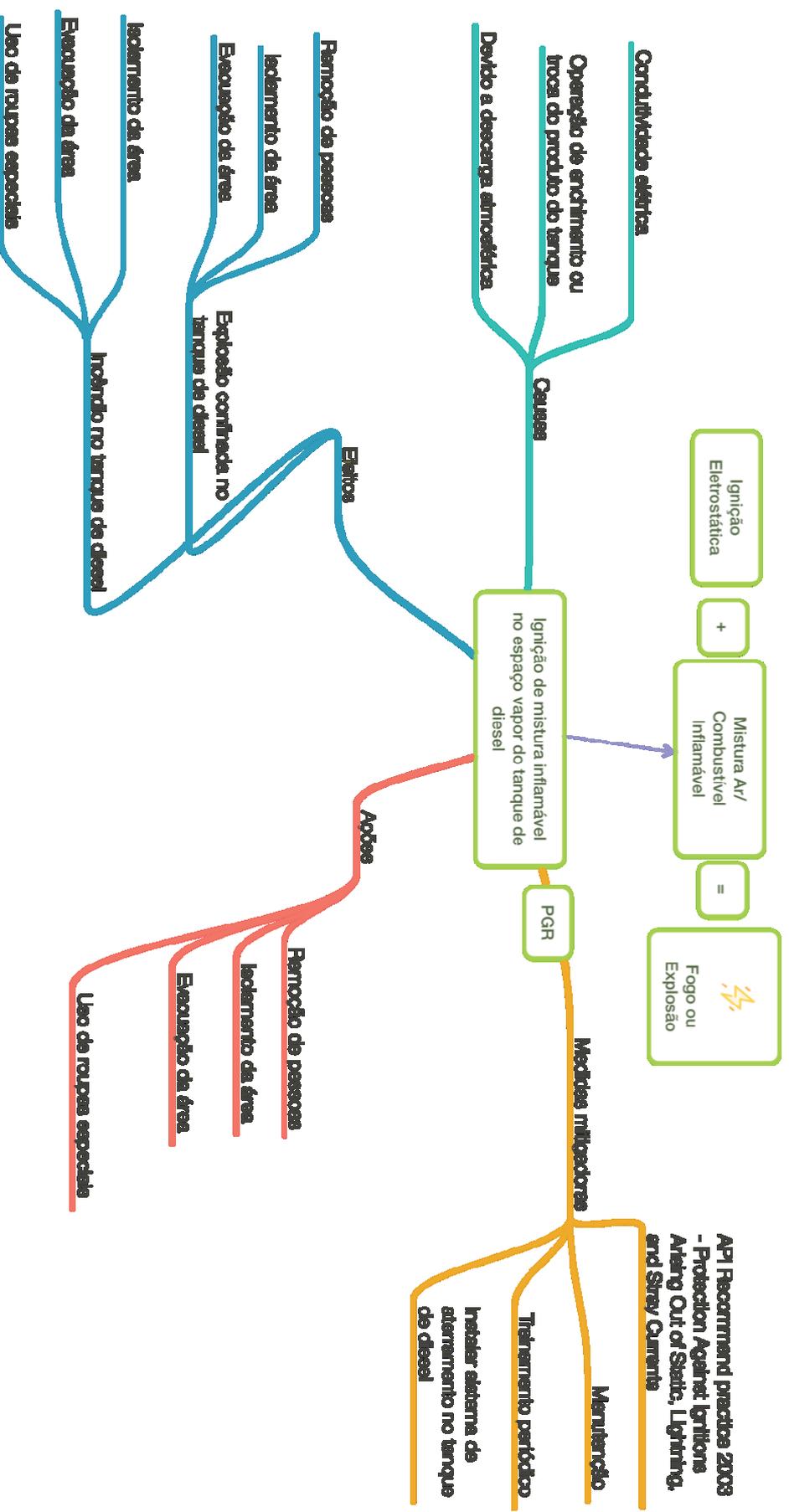
Fonte: Autor (2018)

Figura 8: Mapa Mental Explosão de Caldeira



Fonte: Autor (2018)

Figura 9: Mapa Mental da ignição de mistura inflamável no espaço vapor do tanque de diesel



Fonte: Autor (2018)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer do trabalho foi possível observar a necessidade de um plano de gerenciamento de riscos em um empreendimento como uma usina termoelétrica, que é responsável pela geração de impactos que afetam o meio ambiente, o trabalhador e a comunidade como um todo.

Foram analisados nove perigos de forma genérica, e o PGR foi proposto priorizando os perigos de emissão atmosférica e explosão de caldeira que apresentaram os maiores valores do coeficiente de prioridade do risco (RPN) através da aplicação da metodologia FMEA. No entanto, cada perigo por si só mostrou que pode gerar um extenso estudo de análise de risco e plano de gerenciamento, levantando a importância de estudar minuciosamente cada perigo e seus aspectos.

De fato, este trabalho o representa uma contribuição, que deixa clara a relevância e importância aos gestores da elaboração de um planejamento, com visão sistêmica, orientada na gestão do risco, para o atendimento das demandas de cada unidade da usina termoelétrica.

A partir da hierarquização dos perigos, os três primeiros – emissão atmosférica, explosão de caldeira e ignição da mistura inflamável no espaço vapor do tanque de diesel, – foram elaborados mapas mentais com o intuito de melhor assimilar, organizar e levantar os requisitos a serem gerenciados para cada perigo no PGR.

REFERÊNCIAS

- ABDALAD, Rogério. **Perspectivas da geração termoelétrica no Brasil e emissões de CO₂**. 1999.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. Ed. Brasília: Aneel, 2008.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **BIG - Banco de Informações de Geração. Capacidade de Geração do Brasil**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>. Acesso em: 20/03/2018.
- BUZAN, T. **Mapas Mentais e sua elaboração**. São Paulo: Editora Pensamento – Cultrix LTDA, 2005.
- BRONDANI, Sergio A. *et al.* **Boate Kiss: definição de um método para avaliação da percepção do ambiente da tragédia**. In: 1º CONAERG - Congresso Internacional de Ergonomia Aplicada., 2016, Recife/PE.
- CARAZAS, F. J. G.; SOUZA, G. F. M. **Risk-based decision making method for maintenance policy selection of thermal power plant equipment**. Energy, v. 2009, p. 12, 2009.
- CARLSON, Carl S. **Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis**. Hoboken: Wiley, 2012.
- CEMIG. Cia Energ Minas Gerais. Disponível em: http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/historia_da_eletricidade_no_brasil.aspx. Acessado em: 20/03/2018.
- CETESB, COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Baixada Santista. **Carta do meio ambiente e de sua dinâmica**. São Paulo: Cetesb, 2003.
- COLOSSI, B. R. **Avaliação Ambiental De Uma Usina Termoelétrica A Óleo Combustível Utilizando Análise Do Ciclo De Vida**. 2012. 108f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- ELETROBRAS. ELETRONUCLEAR. Fontes de Energia. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/elb/services/eletrobras/trilhaenergia/pdfs/linha-do-tempo-da-energia.pdf>. Acessado em: 19/03/2018.
- EN 13084-1: 2007. **Free-standing chimneys – Part 1: General requirements**. 2007.

ESCELSA – Energias Do Brasil. **História da Energia Elétrica no Brasil**. Disponível em: <http://www.escelsa.com.br/aescelsa/historia-ee-brasil.asp>. Acesso em: 10/03/2018.

FERNANDES, J. M. R. **Proposição de abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA**. Curitiba, 2005.

FURNAS. **Furnas Centrais Elétricas S.A.** Rio de Janeiro – RJ Disponível em: http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemaFurnas/usina_term_funciona.asp. Acessado em: 19/03/2018.

GUIMARÃES, P. L. F. **Indústria Sucroalcooleira – Análise de Risco Ambiental**. 2011.40 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual da Paraíba. 2011.

HERMANN, W.; BOVO, V. **MAPAS MENTAIS – Enriquecendo Inteligências**. 2. Ed. Campinas, SP, 2005.

MATUDA, D. M.; BEGOSSO, L. C. . **A utilização de Mapas Mentais na Engenharia de Requisitos**. In: Escola Regional de Informática Norte 3, 2012, Porto Velho - RO. Anais do ERIN 3 2012, 2012.

MARTITS, L. A.; GARCIA, F. G.; AMARAL JR, J. B. C. **CONCESSÕES DE TERMOELÉTRICAS NO BRASIL: INVESTIR OU NÃO?**. Revista Brasileira de Casos de Ensino em Administração, v. 2, p. 1-11, 2012.

MME – **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: www.mme.gov.br. Acessado em 15/04/2018.

MOURA, C. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA) Manual de Referência SAE J-1739**. ASQC. 2000.

NASCIMENTO, R. S.; OLIVEIRA, R. **Avaliação de Risco FMEA**. Notas de aula. Paraíba, 2017.

NR-13 – Caldeiras e Vasos de Pressão. 2017.

OGATA, I. S. **Avaliação de risco da qualidade da água potável do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande (PB)**. 2011. 69p. Monografia (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba. Paraíba, 2011.

RODRIGUES, M. V. **Ações para a qualidade: GEIQ, gestão integrada para a qualidade: padrão seis sigma, classe mundial**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 495.p.

SANTOS, L. O. et al. **Avaliação das Publicações em Periódicos Nacionais e Internacionais**. Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 9., 2017, Sergipe. Anais do IX Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 2017.

SERPA, R. R. **Plano de Ação de Emergência**. Apostila do Curso “Introdução à Análise de Riscos”, Vol.2, CETESB. São Paulo, s.d.

SGA – PGR. **Programa de Gerenciamento de Riscos – Porto de São Francisco do Sul/SC**. Caruso JR Estudos Ambientais & Engenharia LTDA. Santa Catarina, 2012.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution**. 2. Ed. Milwaukee: Quality Press. 2013.

STEELCON. **STEELCON No. 1 In Steel Chimneys**. Disponível em: <https://www.steelcon.com/pt/inspeccoes-de-chaminis-industriais/> Acessado em: 29/05/2018.

VIANA, D. B. **Avaliação de riscos ambientais em áreas contaminadas: uma proposta metodológica**. Rio de Janeiro, 2010.

VIEIRA, B. G. A. **Análise de Rico Aplicada à Qualidade da Água do Sistema de Abastecimento de Campina Grande**. Dissertação (Dissertação em Engenharia Civil e Ambiental) – UFCG. Campina Grande, 2012.

ZAMBRANO, T. F.; MARTINS, M. F. **Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental**. São Carlos, 2007.

ZORZAN, F.; DORNELES, L.; SERVAT, M. E.; PEREIRA, E. O.; POLACINSKY, E. **FMEA: orientações conceituais para a aplicação de uma ferramenta de antecipação de falhas**. 3ª Semana Internacional das Engenharias de Fabor. Horizontina – RS, 2013.