



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE PONTE NOVA
COORDENADORIA DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**EMPRESAS DE MINERAÇÃO: APLICAÇÃO DA FMEA NA
PREVENÇÃO DE ACIDENTES**

JÉSSICA APARECIDA BARBOSA LIMA

PONTE NOVA, 14 DE DEZEMBRO, DE 2023



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE PONTE NOVA
COORDENADORIA DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**EMPRESAS DE MINERAÇÃO: APLICAÇÃO DA FMEA NA
PREVENÇÃO DE ACIDENTES**

Jéssica Aparecida Barbosa Lima

Monografia a ser apresentada à Fundação Presidente Antônio Carlos de Ponte Nova como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador(a): Daniele Silva

Aluno: Jéssica Aparecida Barbosa Lima

PONTE NOVA, 14 DE DEZEMBRO, DE 2023



FUPAC
PONTE NOVA

**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE PONTE NOVA
COORDENADORIA DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**EMPRESAS DE MINERAÇÃO: APLICAÇÃO DA FMEA NA
PREVENÇÃO DE ACIDENTES**

Este trabalho foi apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Produção da Fundação Presidente Antônio Carlos de Ponte Nova – FUPAC, obtendo a nota média de _____, atribuída pela Banca Examinadora, constituída pelo Orientador e membros abaixo relacionados.

Autor: Jéssica Aparecida Barbosa Lima

Orientador(a): Daniele Silva

Professor (a) Daniele Silva, Presidente
Fundação Presidente Antônio Carlos de Ponte Nova

Bruno de Freitas Homem de Faria
Fundação Presidente Antônio Carlos de Ponte Nova

João Victor Ribeiro Santos
Fundação Presidente Antônio Carlos de Ponte Nova

PONTE NOVA, 14 DE DEZEMBRO, DE 2023



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE PONTE NOVA COORDENADORIA DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que me concedeu saúde, determinação e sabedoria para superar todos os desafios ao longo desses anos.

Ao meu pai (in memoriam), que infelizmente não pode estar presente neste momento tão importante na minha vida, mas continua sendo minha maior força e inspiração na vida. Sei que de algum lugar está orgulhoso por mais essa etapa vencida.

A minha mãe, mulher lutadora e forte que sempre esteve presente nesta trajetória e não mediu esforços para lutar por minha educação.

Ao meu noivo, pelo seu apoio incondicional oferecido em todos os aspectos, seu apoio e incentivo foram imprescindíveis para enfrentar os obstáculos.

Quero expressar a minha gratidão aos meus familiares e amigos que de alguma forma me encorajaram e me ajudaram a manter a motivação nos momentos difíceis.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os professores, que ao longo da jornada acadêmica não mediram esforços para o meu aprendizado, em especial a Daniele Silva e o Raphael Teixeira.

**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE PONTE NOVA
COORDENADORIA DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

RESUMO

Contemporaneamente, as empresas de mineração estão cada vez mais recorrendo à aplicação da Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) para prevenir acidentes e melhorar a segurança em suas operações. Diante desses argumentos, o objetivo da presente pesquisa foi analisar acidentes envolvendo empresas de mineração e, a partir disso, propor uma forma de prevenção utilizando a metodologia FMEA. Para efetuar esse objetivo, a metodologia trata-se de uma revisão de literatura narrativa, no qual utiliza de base de dados através de uma busca no Google Scholar no período de 2017 a 2023 para analisar as publicações que corroboram com objetivo. Ao longo dos estudos, observou-se que a aplicação FMEA demonstrou ser uma ferramenta eficaz na redução de falhas e na prevenção de acidentes em operações de mineração. A FMEA é valiosa para mensurar, avaliar e priorizar os riscos em diversas áreas, como logística, equipamentos de perfuração, barragens e gestão de riscos

Palavras-chave: Prevenir Acidentes; Empresas de Mineração; Logística de Equipamentos.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Resultados das publicações	17
Quadro 2. Acidentes brasileiros em mineradoras ao longo dos anos	19
Quadro 3.OSD do FMEA.....	25
Quadro 4. Modelo de FMEA.....	26
Quadro 5. Formulário de FMEA	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Acidentes em barragens de rejeitos entre os anos de 1915 a 2019	10
Figura 2. Acidentes de trabalho no setor de mineração	10
Figura 3. Publicações que tangenciam a temática	16
Figura 4. Promotores e causadores acidentes em mineradoras	20
Figura 5. Principais acidentes no cenário brasileiro e mundial	21
Figura 6. Escala Ordinal da FMEA	23

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Objetivos do trabalho	11
2. REVISÃO DA LITERATURA	12
3. METODOLOGIA	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 Organizações Mineradoras do Brasil e do Mundo: Reflexões sobre os Acidentes	18
4.2 Aplicabilidade da ferramenta FMEA: Redução de falhas em mineradoras.....	23
5. CONCLUSÃO	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO

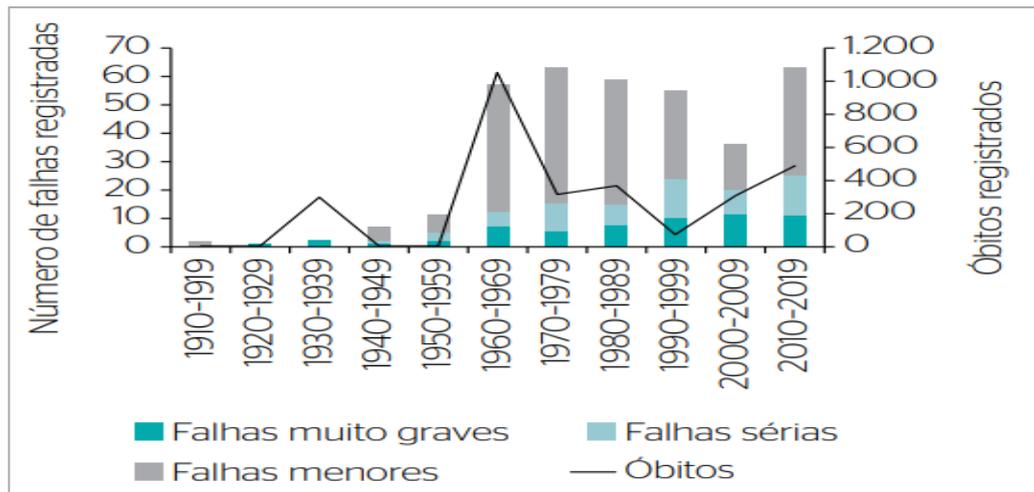
O processo de extração e aproveitamento de bens minerais é intrigante, englobando distintas variáveis. Cada etapa do processo produtivo, desde a exploração até o beneficiamento, gera uma grande quantidade de dados. Para o sucesso das empresas de mineração, é importante aderir desempenho dos equipamentos, capacidade produtiva, redução de custos, planejamento eficiente, entre outros. É necessário também manter índices favoráveis relacionados ao meio ambiente, como emissões de gases, geração de poeira e contaminação da água, além de considerar aspectos do fator humano, relacionados a acidentes, que muitas vezes se originam de comportamentos inadequados (BATISTA et al., 2022).

Apesar de haver punições para empresas de mineração que se envolvem com acidentes e, muitas vezes, tragédias, ainda ocorrem diversos acidentes neste setor. Assim, as indenizações e multas, além dos bloqueios das atividades e a reparação dos danos causados aos trabalhadores ou terceiros, não tem sido suficiente.

Os acidentes envolvendo tais empresas, em alguns casos, não se restringem apenas a organização e os seus colaboradores, os eventos acabam ultrapassando as fronteiras da organização. As grandes tragédias ocorridas no Brasil, nos últimos anos, acarretaram impactos ambientais irreversíveis, alterando de forma degenerativa a flora e a fauna local, bem como pondo fim a diversas vidas humanas.

De acordo com a afirmação de Freitas e Silva (2019), os eventos de rompimento de barragens ocorrem com uma frequência. Os dados do World Mine Tailings Failures (WMTF), foram registradas 356 ocorrências correlacionadas a barragens de rejeitos ao longo de um período de monitoramento de pouco mais de cem anos (Figura 1), o que representa um número significativo, considerando-se o potencial de danos que um rompimento de barragem pode acarretar.

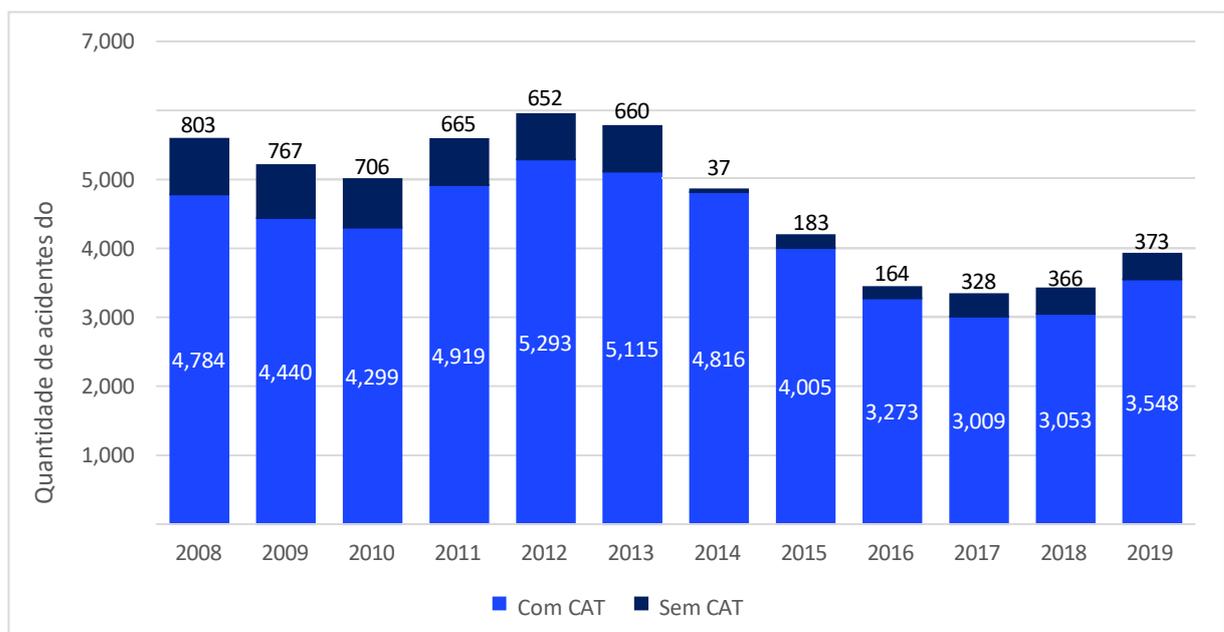
Figura 1. Acidentes em barragens de rejeitos entre os anos de 1915 a 2019



Fonte: WMTF, 2019.

Por outro lado, o gráfico ilustrado (Figura 2) por Vaz (2022), expõe a quantidade de acidentes de trabalho, discorrendo entre aqueles com Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) (típico, trajeto e doença do trabalho) e os sem CAT. Observa-se um fenômeno aparentemente inexplicável ocorrido no ano de 2014. Entre 2018 e 2019, mesmo com a crise ainda se arrastando por estes anos, há um aumento considerável nos acidentes, cujo fato está relacionado ao rompimento da barragem da mineradora Vale no Córrego do Feijão, situada no município de Brumadinho, em 25 de janeiro de 2019, deixando 270 mortos.

Figura 2. Acidentes de trabalho no setor de mineração



Fonte: Vaz (2022).

Acidentes no setor de mineração tem motivado a construção de diversos trabalhos acadêmicos sobre o tema. Augusto Lima, Gilmar Santos e Pedro Penha (2020), em artigo, contextualiza os acidentes de mineração a partir de dados estatísticos. Já Gabriela Vaz (2022), em monografia, realiza uma análise de acidentes de trabalho na mineração. No cenário mundial, Candia, Hennies, Iramina e Elguera (2009) descrevem sobre os acidentes fatais no Peru.

Portanto, o trabalho justifica-se pela necessidade de utilizar o conhecimento científico para reduzir o número de acidentes relacionados a mineração e, assim, salvar vidas e preservar o meio ambiente. A utilização da Análise do Modo de Falhas, ou Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) em um estudo de caso auxilia profissionais da área que estão na linha de frente do problema.

1.1. Objetivos do trabalho

O objetivo geral deste trabalho é analisar acidentes envolvendo empresas de mineração e, a partir disso, propor uma forma de prevenção utilizando a metodologia FMEA. Como objetivos específicos pretende-se:

- Descrever os principais acidentes envolvendo empresas mineradoras no Brasil e no mundo;
- Explicar a metodologia Failure Mode And Effect Analysis (FMEA), seu desenvolvimento e como ela pode ser aplicada em empresas mineradoras;
- Relatar FMEA é eficiente em sua aplicabilidade em indústrias mineradoras.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Historicamente, a exploração do minério de ferro na sociedade brasileira floresceu no período colônia, as primeiras evidências datam no XVI. Contudo, foi em meados o século XX que a indústria de mineração de ferro emergiu. A consolidação da Companhia Vale do Rio Doce (atual Vale S.A.) na década de 1940 foi um marco significativo, impulsionando a produção e exportação de minério de ferro brasileiro para o mercado internacional. A partir desse período, o país se estabeleceu como um dos principais produtores globais desse recurso mineral, com sua produção e exportação exercendo influência sobre a economia nacional e as dinâmicas do comércio global de commodities (FERNANDES e ARAÚJO, 2016).

No cenário contemporâneo o setor de mineração desempenha um papel de suma relevância geográfica, tanto na economia nacional quanto global. No cenário internacional, o Brasil se destaca como o segundo maior produtor de minério de ferro, seguindo apenas a Austrália (REICHL et al., 2020; FELICIANO e GARCIA, 2020). No fomento da Agência Nacional de Mineração (ANM), em 2018, o país negociou minerais metálicos no valor de R\$ 102.995.919.847,00, sendo em torno metade desse montante proveniente do estado do Pará, seguido por Minas Gerais. Juntos, esses dois estados contribuem com cerca de 89% do montante total (ANM, 2020).

Apesar da atividade de mineração ser importante para sustentar múltiplas facetas da vida humana, suas ramificações agregam perturbações ambientais significativas e riscos tanto para o meio ambiente quanto para os seres humanos. As operações de extração e processamento mineral são identificadas como atividades com potencial de poluição e consumo de recursos ambientais (FELICIANO e GARCIA, 2020).

Os impactos gerados pela mineração afetam a economia, a esfera social e o meio ambiente nas áreas circundantes às comunidades onde se localizam as reservas minerais. Esses impactos incluem poluição do ar, escassez de recursos hídricos, contaminação do solo devido ao descarte de resíduos tóxicos e a ameaça de rompimento de barragens de rejeitos (REICHL et al., 2020).

Fernandes e Araújo (2016) abordam que esses impactos ocorrem em uma linha temporal de quase cinco séculos de atividade mineradora no território brasileiro que resultaram em consideráveis impasses ambientais, abrangendo inúmeras minas e garimpos. Além disso, uma gama de conflitos socioambientais aflora no cenário nacional, envolvendo comunidades tradicionais, como povos indígenas, quilombolas e populações ribeirinhas. Tais conflitos

abarcam também as populações afetadas pela implantação de projetos de mineração em larga escala, as comunidades impactadas pela poluição proveniente da extração mineral, bem como embates oriundos de divergências de interesses e visões conflitantes acerca do desenvolvimento, especialmente em áreas de notável riqueza natural e potencial turístico, bem como em regiões densamente povoadas.

[...]o minério de onde é extraído o ouro costuma ser rico em arsenopirita, o que significa que o ouro se encontra associado ao arsênio, elemento altamente tóxico. Isso acontece, por exemplo, em Ouro Preto (Minas Gerais), onde as águas subterrâneas presentes em antigas minas de ouro registram presença de doses significativas desse elemento tóxico, e também em outros locais como Crixás (Goiás); no Morro do Ouro, em Paracatu (Minas Gerais); e na Fazenda Brasileiro (Bahia).

[...] as minas abandonadas de carvão e metais, que geram Drenagem Ácida de Minas (DAM), caracterizada pela oxidação de minerais de sulfeto, que provoca degradação da qualidade de águas superficiais e subterrâneas, solos e sedimentos. Apenas na Bacia Carbonífera Sulcatarinense (Santa Catarina), estima-se que existam mil bocas de minas antigas abandonadas, a maior parte delas com 50-80 anos.

[...] disposição inadequada de rejeitos da lavra de minério de chumbo, em Boquira, e a metalurgia do chumbo, em Santo Amaro, contaminaram mananciais e solos, causando danos à saúde da população, levando centenas de pessoas a contraírem o saturnismo (intoxicação por chumbo) e causando dezenas de mortes (FERNANDES e ARAÚJO, 2016, p.76).

Recentemente, como abordam os pesquisadores Feliciano e Garcia (2020), os dois desastres ocorridos na sociedade brasileira em decorrência do rompimento de barragens de rejeitos causam a vastidão dos impactos. Em 2015, nas operações da SAMARCO (uma subsidiária da Vale) em Mariana (MG), o incidente resultou na contaminação do Rio Doce, na perda de 19 vidas humanas e na devastação de 39 localidades. Em janeiro de 2019, nas instalações da Vale em Brumadinho (MG), as consequências ainda permanecem incalculáveis. Os detritos atingiram comunidades, causando a destruição de residências e propriedades rurais, alcançaram o Rio Paraopeba e suas nascentes, e resultaram em 259 óbitos e 11 pessoas desaparecidas.

Além desses acidentes devastadores, ocorre acidentes em atividades-chaves com colaboradores das mineradoras. Para os autores Costa et al., (2022) e Batista et al. (2022), no segmento industrial, o setor de mineração é pautado como um dos mais perigosos em detrimento à frequência de acidentes e à taxa de mortalidade. Distintos fatores contribuem para a ocorrência de acidentes na mineração, incluindo a excessiva confiança de trabalhadores experientes, falta de habilidade para tarefas específicas, negligência em relação às medidas de segurança estabelecidas pela empresa, exibicionismo e falhas de comunicação entre equipes distintas. Soma-se a isso, que natureza intrínseca da mineração apresenta riscos para os

trabalhadores, como colapsos, incidentes com explosivos, perigos mecânicos devido à interação contínua com maquinaria, riscos químicos, biológicos e ergonômicos.

Como definição os acidentes laborais são eventos que ocorrem durante o período de trabalho ou no trajeto de ida e volta da residência ao local de trabalho, podendo resultar em óbito ou lesões. Tais ocorrências também podem levar a uma diminuição temporária ou duradoura da aptidão laboral da pessoa afetada. Por esse aspecto que é incumbência da empresa empregadora resguardar proteção dos empregados/trabalhadores, garantindo a aderência às normas de segurança e aos planos de emergência. Os desdobramentos dos acidentes de trabalho englobam prejuízos financeiros, mas suas ramificações vão além do contexto organizacional, ocorrendo fatalidades, lesões e enfermidades que afetam diretamente a vítima, sua família e a sociedade em geral (CAVALCANTI et al., 2023).

Frequentemente, como pontuam Cavalcanti et al. (2023), os acidentes de trabalho ocorrem com agentes químicos, veículos e transportes e agentes biológicos no qual resulta em corte, laceração, ferida, contusa e punctura seguido de escoriação, abrasão, além dos demais tipos de lesões notificadas. Ademais, os riscos podem ser classificados como físicos (deficiência auditiva, distúrbios espinais, queimaduras solares, radiações ionizantes, entre outros); químicos (hidrargirismo, explosões, silicose); biológicos (desenvolvimento de doenças como malária, tuberculose e outras); psicossociais (saúde mental); e ergonômicos (mecânica e biomecânica).

Diante desses impactos a saúde humana, uma ferramenta para reduzir os riscos Failure Mode And Effect Analysis (FMEA), como é mencionado por Oliveira Júnior et al. (2020) pois seu propósito consiste em antecipar a identificação de possíveis modos de falha antes que ocorram, resultando em melhorias de produtividade, qualidade e satisfação do cliente final. O FMEA é uma abordagem de baixo risco e alta eficácia para prevenir problemas e encontrar soluções efetivas em termos de custo.

Adicionalmente, o FMEA é uma método analítico que foca em identificar e resolver possíveis problemas de forma sistemática. Realizado pela equipe de manufatura, avalia modos de falha no processo e implementa mecanismos de controle. Se aplicado corretamente, traz vantagens como otimização de recursos financeiros, tempo e eficiência; orientação para atividades eficazes; sugestões de testes; redução de modificações na produção; satisfação do cliente; corte de gastos desnecessários; e uso das informações do FMEA como aprendizado (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2020).

3. METODOLOGIA

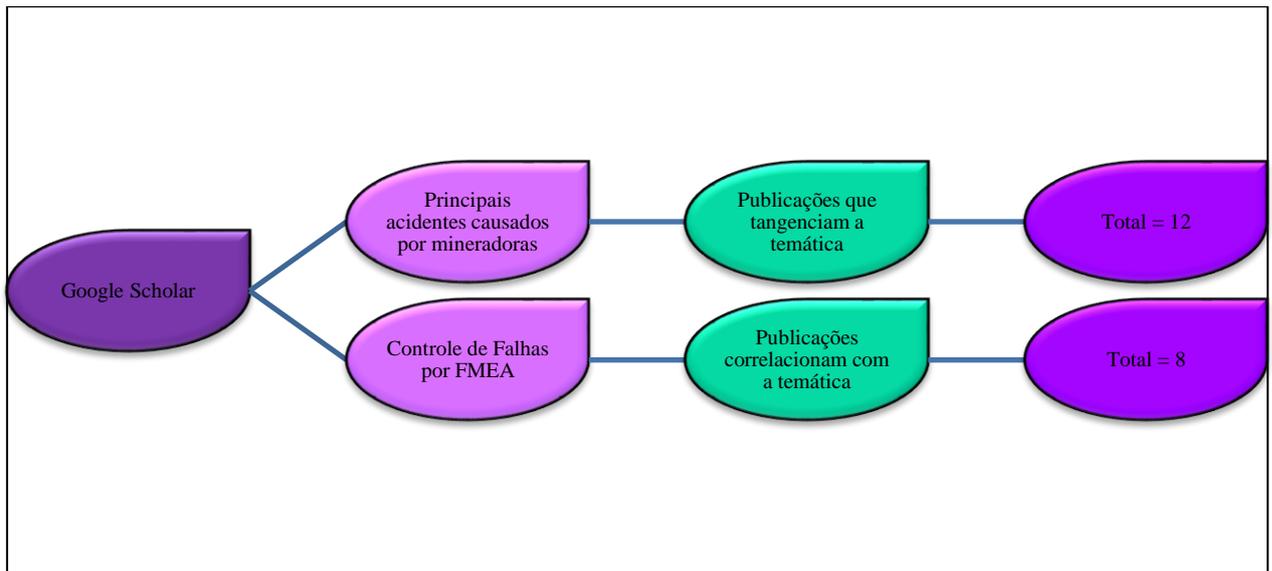
Trata-se de uma revisão de literatura narrativa de abordagem qualitativa e descritiva. Seu propósito é proporcionar fundamentação teórica ao pesquisador para subsidiar o exercício reflexivo e crítico acerca do tema em estudo, contextualizando-o com o conhecimento disponível. A revisão de literatura narrativa desempenha um papel fundamental como base teórica da pesquisa, envolvendo uma abordagem seletiva, analítica e interpretativa de livros, artigos, reportagens, textos online, filmes, imagens e áudios, com vistas a identificar ideias relevantes para o estudo, devidamente registradas.

Para estruturar essa revisão de literatura narrativa, será realizado um levantamento na base de dados através de uma busca no Google Scholar, utilizando os seguintes descritores: "acidentes", "mineradora", "prevenção" e "métodos", combinados em si. Os critérios de inclusão adotados nesta pesquisa consistem na utilização de publicações escritas em língua portuguesa e inglesa e na íntegra, com o período de busca limitado aos últimos 6 anos, abrangendo o intervalo de 2017 a 2023.

Após a seleção das publicações que convergem com a proposta de desenvolver estratégias voltadas a FMEA e os principais acidentes envolvendo empresas mineradoras no Brasil, será realizada uma análise crítica que estabeleça interconexões entre as temáticas abordadas.

Durante a busca realizada encontrou-se um total de 78 publicações. Após a identificação dos estudos pré-selecionados e selecionados, seguiu-se a leitura dos títulos e resumos, excluindo-se estudos que não atendiam aos critérios de inclusão e/ou ao tema proposto. Desses, foram selecionados 20 artigos para leitura na íntegra visando descrever acerca dos principais acidentes ocorridos em mineradoras (12 publicações) e a aplicabilidade da ferramenta FMEA para evitar tais acidentes (8 publicações), definindo a amostra final das publicações, como descrito de forma resumida na Figura subsequente.

Figura 3. Publicações que tangenciam a temática



Fonte: Elaboração Própria.

No Quadro 1 observa-se as principais publicações acerca das temáticas, por título, autoria e país no qual o estudo foi aplicado. Observa-se que baseado na pesquisa, foram pautados dois tópicos sendo eles: I) Acidentes em organizações de minérios; II) Aplicação FMEA. Observa-se que quanto ao país de estudos, a maioria é da nação brasileira (15), seguida de forma simplória China (2), Índia (1), Polônia(1), Irã(1) e Espanha(1).

Os temas frequentes nas publicações do primeiro tópico ficaram frequentes foram barragens, atividade e avaliação. Cabe pontuar, que essa frequência se alinha ao objetivo da pesquisa que é analisar acidentes envolvendo empresas de mineração. Assim, os temas frequentes nas publicações da Aplicação da FMEA foram, barragens, riscos e análise. Evidenciando a importância da aplicação de tal ferramenta na redução de riscos prospectivos.

Em suma, os resultados elucidam uma pesquisa abrangente e focalizada em temas críticos, evidenciando a necessidade de uma abordagem multidisciplinar e estratégica para lidar com a segurança e gestão de riscos no setor de mineração, especialmente no contexto de acidentes e aplicação de ferramentas como a FMEA, conforme ilustrado no Quadro subsequente e discorrido nas seções 4.1 e 4.2.

Quadro 1. Resultados das publicações

	Título	Autor	País
Acidentes em organizações de minérios	Histórico de grandes acidentes em barragens de contenção de rejeitos no cenário nacional e mundial	FIORILLO et al. (2017)	Brasil
	Principais impactos da atividade mineradora no Estado do Pará: o caso da Companhia Brasileira de Bauxita – CBB/USPAM	MELO et al., (2021)	Brasil
	Segurança de barragens de rejeitos no Brasil: avaliação dos acidentes recentes	ÁVILA et al., (2021)	Brasil
	Gerenciamento de Riscos em Barragens de Mineração: Aplicação do Método <i>Bow Tie</i>	BONUCCI et al., (2019)	Brasil
	Cenário dos acidentes de trabalho relacionados à atividade mineradora na Amazônia oriental brasileira	CAVALCANTI, et al., (2022)	Brasil
	Proposta para modelo de gerenciamento de risco, visando a Mitigação de acidentes ampliados na mineração	CRUZ (2021)	Brasil
	Análise dos fatores humanos e organizacionais que influenciam os acidentes de mineração com base na rede bayesiana	ALIABADI et al., (2020)	Irã
	O Acidente de Brumadinho e a Valoração de Ações dos Principais Players de Minério no Mundo	SILVA e BARROS (2021)	Brasil
	Avaliação de risco de comportamentos inseguros de mineiros: um estudo de caso de acidentes com explosão de gás em mina de carvão, China	TONG et al., (2019)	China
	Diferenciando entre acidentes de mineração fatais e não fatais usando técnicas de inteligência artificial	GERASSIS et al., (2020)	Espanha
	Análise Estratégica de Fatores Seleccionados que Moldam o Cultura de Saúde e Segurança Ocupacional da Mineração Empresas na Polónia	KAPUSTA et al., (2020)	Polónia
	Uma abordagem sistêmica para acidentes extraordinariamente graves em minas de carvão na China de 1997 a 2011: uma aplicação da abordagem HFACS.	ZHANG, et al. (2019)	China
Aplicação FMEA	Avaliação de risco por análise de modo de falha e efeitos (FMEA) usando um modelo de regressão logística baseado em número de intervalo	BHATTACHARJEE; DEY, (2020)	Índia
	Análise dos modos de falha e efeitos (FMEA) para avaliação de um acidente em barragem de rejeitos: um evento de Mineração no Brasil	FONSECA (2018)	Brasil
	Estudo do Sistema de Tratamentos de Falhas para Auxiliar na Análise e Detecção de Falhas em Caminhões Fora de Estrada: o caso de uma empresa de mineração	FABRO(2021)	Brasil
	Proposta de aplicação da metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade para uma Recuperadora de Minério Tipo Ponte em uma mineradora	RIBEIRO NETO et al., (2021)	Brasil
	Elaboração e aplicação de um plano diretor de manutenção em uma empresa mineradora	VIANA E RIBEIRO (2018)	Brasil
	Análise de falhas de uma frota de equipamentos móveis em uma mineradora do estado de Minas Gerais	SANTOS (2022)	Brasil
	Aplicação da metodologia FMEA para revisão das estratégias de manutenção em equipamentos de perfuração de uma mineradora	ZANETTI (2019)	Brasil
	Análise da gestão ambiental de uma mineradora de calcário	SILVA et al., (2020)	Brasil

Fonte: Elaboração Própria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Organizações Mineradoras do Brasil e do Mundo: Reflexões sobre os Acidentes

A Organização de Minério Brasileira é uma das principais riquezas do Brasil e exerce uma influência significativa sobre o Produto Interno Bruto (PIB) do país. Em 2017, sua contribuição ao PIB atingiu cerca de 4,2%. Essa atividade engloba desde a extração de areia até a exploração de minerais de ferro, e coloca o Brasil entre os maiores produtores de minerais do mundo. A produção anual supera os dois bilhões de toneladas, o que equivale a aproximadamente 30% do saldo da balança comercial do ano mencionado, principalmente devido à exportação de minério de ferro (MELO et al., 2021).

Melo et al., (2021) destacam que em 2018, o setor de mineração empregava em torno de 183.635 trabalhadores diretos e aproximadamente 2 milhões de trabalhadores indiretos no Brasil. Essa atividade agrega múltiplas ocupações e está correlacionada à remoção de minerais não metálicos e carvão mineral. Contudo, a mineração é considerada perigosa devido ao potencial de impacto ambiental, incluindo desmatamento, erosão e contaminação de aquíferos por produtos químicos, bem como à geração significativa de resíduos industriais, exigindo uma atenção especial para o descarte ou reaproveitamento responsável desses materiais.

Os autores aludidos ainda complementam que os indivíduos que colaboradores de forma direta ou indireta de uma organização mineradora enfrentam riscos ambientais e ocupacionais consideráveis. Além de executar suas tarefas, estão sujeitos a ameaças como desmoronamentos, rompimentos, soterramentos e exposição a partículas de poeira decorrentes da atividade de extração mineral. Esses fatores apresentados para uma série de preocupações relacionadas à saúde, incluindo doenças respiratórias e o potencial desenvolvimento de câncer em decorrência da exposição a substâncias químicas tóxicas. Exemplificam ainda dois casos:

[...] o acidente ocorrido em 2016, na cidade de Mariana, Barragem de fundão em Minas Gerais, que além dos danos ambientais, causou também 14 mortes, e destes, 13 eram terceirizados, que já nos mostram mais um agravante.

[...] caso recente ocorreu em 2019 no município de Brumadinho também em Minas Gerais. Esta tragédia que já é considerada o maior acidente ambiental com reflexos no de acidente do trabalho do país, veio a deixar centenas de mortos e dezenas de desaparecidos, causando enormes danos tanto sociais, que afetaram a vida da população local e as que viviam nas redondezas, causando danos no solo, lençóis freáticos e nas nascentes dos rios, como o Paraopeba (MELO et al., 2021, p. 32761).

Corroborando com esses exemplos, Ávila et al. (2021) abordam um panorama contextual brasileiro dos acidentes ocorridos na nação brasileira. Nos anos 2000, rupturas de

barragens em Minas Gerais resultaram em novas legislações estaduais e programas de gestão. Em 2007, a ruptura de uma barragem em Mirai levou à aprovação da Lei 12.334 em 2010. As recentes tragédias em Mariana e Brumadinho incentivaram o setor de mineração a revisar a segurança de barragens e desenvolver técnicas de disposição de rejeitos. No Quadro 1 elaborados pelos pesquisadores observa-se os principais acidentes ao longo das duas décadas.

Quadro 2. Acidentes brasileiros em mineradoras ao longo dos anos

- ✖ 2001 → Rio Verde ⇒ 5 mortes.
- ✖ 2003 → Florestal Cataguases ⇒ Vazamento de lixívia negra, contaminação da água a jusante.
- ✖ 2006/ 2007 → São Francisco ⇒ Vazamento de rejeito de bauxita, contaminação da água a jusante.
- ✖ 2014 → Herculano ⇒ 3 mortes.
- ✖ 2015 → Fundão ⇒ 19 mortes, contaminação da água a jusante.
- ✖ 2019 → Córrego do Feijão ⇒ 270 mortes, contaminação ambiental a jusante.

Fonte: Adaptado por Ávila et al., (2021).

No estudo quantitativo de Silva e Barros (2021), os autores relatam, especificamente, acerca, rompimento da barragem 1 da Mina de Córrego Feijão, adjacente à mineradora Vale S.A., em Brumadinho no Estado de Minas Gerais, devastou o Centro Administrativo da Vale, além de atingir parte da comunidade rural Vila Ferteco e o Rio Paraopeba, a mais de 5 km do local do rompimento. O vazamento de rejeitos desta tragédia foi aproximadamente 12 milhões de metros cúbicos, conforme informado pelo presidente da Vale, Fábio Schvartsman, afetando cerca de 400 sujeitos, conforme relatado pelo Corpo de Bombeiros, entre funcionários da empresa, terceirizados e moradores da região.

Similar a tais pesquisas, Fiorillo et al., (2017) relatam que os principais acidentes brasileiros promovidos pelas organizações mineradoras são em barragens de contenção de rejeitos. Ademais, agregam os autores que os danos resultantes de incidentes em barragens têm frequentemente caráter irreversível. Nesse aspecto, evidencia-se que o aprimoramento da segurança em tais estruturas não só resguarda a comunidade, a fauna e a flora contra impactos significativos, mas também promove ganhos econômicos, ao viabilizar a extração mineral de forma segura.

Em um estudo específico, elaborado por Cavalcanti et al. (2022), em cidades paraenses, com maiores índices de notificações de acidentes de trabalho na última década (2012 a 2020), em Marabá e Parauapebas. Foi possível verificar que embora haja um grande número de

notificações agrupadas em várias outras ocupações, Parauapebas destacou-se uma alta frequência de acidentes relacionadas à ocupação de mecânico de manutenção de máquinas em geral. Em Marabá, os acidentes prevaleceram com servidores de obras nas organizações mineradoras. Em suma, fica notório se planeja e executa ações e políticas voltadas a este grupo, devendo-se ter como premissa a proteção e promoção da saúde desses indivíduos.

De forma análoga, observa-se que as principais causas subjacentes aos acidentes em mineradoras são as deficiências tecnológicas, exposições externas ao risco, falhas de natureza humana e organizacional, intervenções operacionais e perdas de função de equipamentos (Figura 4). É importante destacar que todas essas causas são suscetíveis de serem mitigadas, como evidenciado nas iniciativas atuais de descaracterização de barragens com alteração de montante. Essas questões são passíveis de gerenciamento por meio do modelo proposto (CRUZ, 2021).

Figura 4. Promotores e causadores acidentes em mineradoras



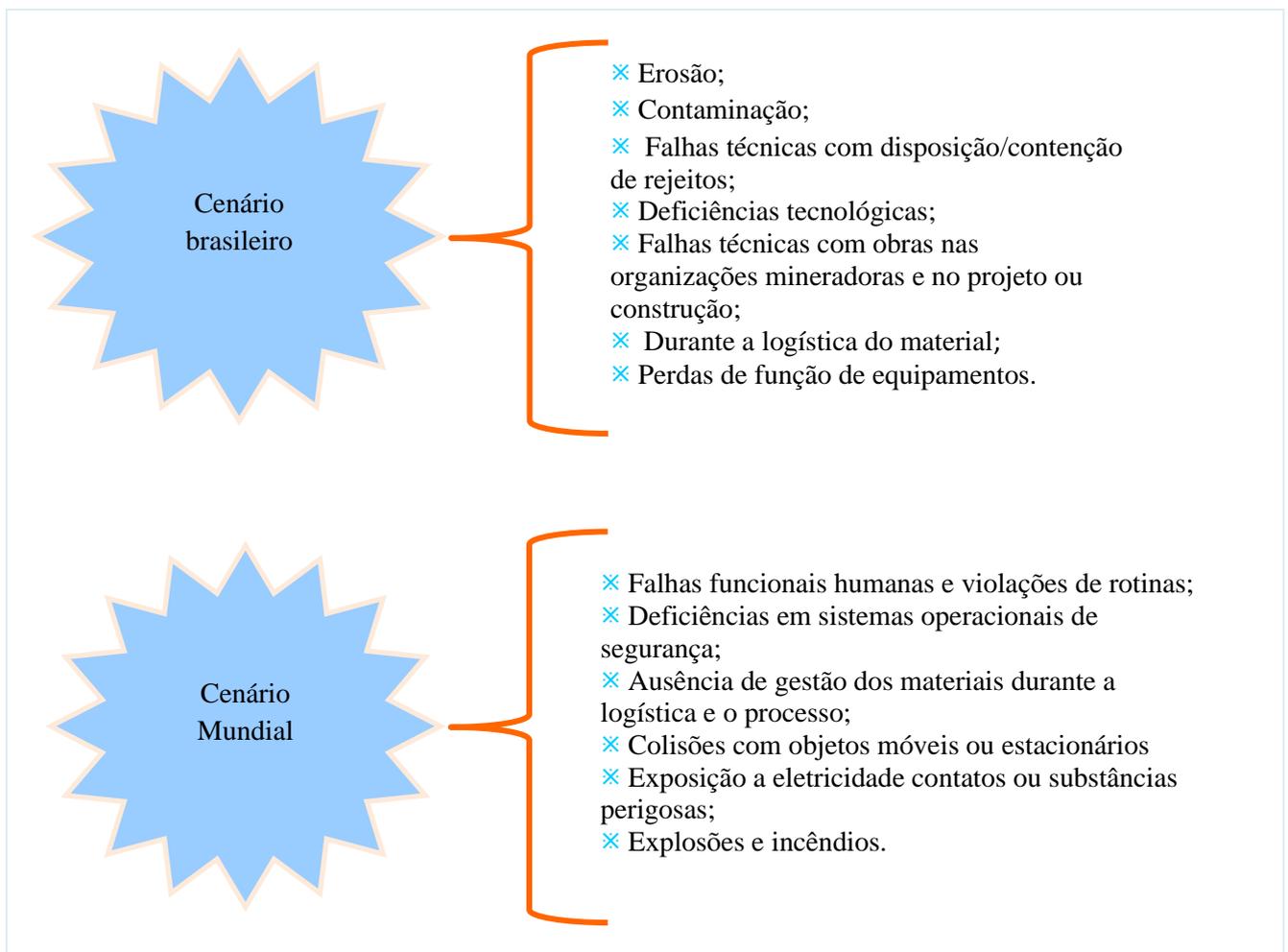
Fonte: Cruz (2021).

Bonucci et al., (2019), por outro lado, argumentam, que os principais acidentes ocorridos em organizações mineradoras podem estar correlacionados nas falhas no projeto ou construção. Apesar de em grande parte dos acidentes estejam alinhados a algum fenômeno natural, o projeto adequado da barragem deve antecipar estas condições por meio de extensivos estudos das condições geológicas, geográficas, hidrológicas e climáticas do local onde a barragem irá ser construída. O projeto deve incluir a concepção do sistema de disposição de rejeitos, investigações de campo e de laboratório, estudos hidrológicos, hidráulicos e geotécnicos.

A mineração, abrangendo o processamento de minerais e atividades correlatas, é uma atividade intrinsecamente complexa e de elevado risco de acidentes em decorrência da exposição a múltiplas formas de energia, como elétrica, química e mecânica. O envio de cargas de pedras decorativas durante a produção e logística, peculiarmente, representa um alto risco, com um índice significativo de acidentes graves, sendo abordado pela normativa NR-11 para transporte, entrega e armazenamento de materiais (SILVA; BARROS, 2021).

Em detrimento, aos acidentes provocados pelas organizações ofertantes de minérios foi possível observar uma série desses no cenário brasileiro, assim como no cenário internacional como verificado na Figura 5.

Figura 5. Principais acidentes no cenário brasileiro e mundial



Fonte: Elaboração Própria.

Em diálogo com a Figura 5, Aliabadi et al., (2020) sublinham em um estudo empírico realizado em Sirjan, Kerman, Irã, com uma base num conjunto de dados de acidentes mineiros significativos que resultaram em consequências graves, tais como mortes, lesões incapacitantes ou danos materiais consideráveis. Em seus resultados, os autores observaram que erros

baseados em habilidades, violações de rotina, fatores ambientais e operação planejada inadequada tiveram maior importância relativa nos acidentes. Além disso, a análise de sensibilidade revelou que os fatores ambientais não conseguiram corrigir o problema conhecido e os fatores pessoais tiveram maior influência nos atos inseguros.

Tong et al. (2020), verificaram em uma análise descritiva, realizada em uma mineradora chinesa, que os maiores acidentes ocorrem em ambientes com ausência de seguridade, falhas na ventilação, na prevenção de gás, na prevenção de incêndio detonação e no setor eletricitista, sendo o grau de acidente maior de forma consecutiva. Exemplificam que, tendo em conta os comportamentos inseguros da ventilação, sugere-se que as instalações de ventilação sejam verificadas cotidianamente e que os ventiladores sejam operados de acordo com os regulamentos. Mais importante ainda, métodos eficazes de gestão de segurança, objetivos de gestão de segurança, ambiente de produção de segurança favorável, cultura de segurança e clima de segurança são fatores importantes na formação de um sistema de gestão de segurança sólido.

Outro estudo chinês, de forma convergente Zhang et al., (2019) abordam, as falhas de ventilação, ausência gestão dos materiais durante a logística e o processo, a violação de detonação e falta de ferramentas de proteção ou uso inadequado foram os principais. Soma-se a isso, no estudo de caso foram descobertos vários problemas graves na mineradora, tais como a incapacidade de encontrar perigos ocultos antecipadamente, a incapacidade de fornecer orientação e a incapacidade de fornecer supervisão.

Os acidentes mais comuns ocorridos em mineradoras acarretam em aprisionamento entre objetos, quedas da mesma altura ou de altura diferente e esforço excessivo. Entre os mais graves em organizações mineradoras, observa-se colisões com objetos móveis ou estacionários e exposição a eletricidade contatos ou substâncias perigosas. Apesar, o perigo implícito nas minas subterrâneas e, mais especialmente, nas minas de carvão seja amplamente reconhecido, isto por vezes leva a preconceitos relativamente às tarefas de prevenção mais importantes e sublinha a necessidade de um controlo dinâmico dos riscos profissionais. Em países (como Espanha), onde a mineração subterrânea de carvão está em declínio, as taxas de acidentes mais elevadas ocorrem agora nas pedreiras (GERASSIS et al., 2020).

Os acidentes mais trágicos (catástrofes) estão relacionados com riscos de metano, incêndio e explosões. Soma-se a isso, e a causa mais frequente de acidentes na mineração subterrânea é o fator humano (erro humano), que ocorre em mais de 80% dos casos. Deve-se notar que essas causas são estados tanto para os funcionários quanto para seus superiores. Uma

diminuição considerável dos acidentes só pode ser alcançada minimizando o número de funcionários que realizam trabalhos. Os avanços da tecnologia possibilitam a realização de obras remotamente, automatizando os processos produtivos. Métodos de treinamento inovadores fornecem meios para simular situações de acidentes usando aprendizagem virtual (KAPUSTA et al., 2020).

Em linhas gerais, os acidentes de caráter nacional e mundial representam uma série de incidentes graves, com causas variáveis desde erros baseados em habilidades, exibição de rotinas, falhas ambientais, planejamento inadequado, entre outros. O fator humano desempenha um papel predominante, sendo a automação e a formação inovadora essencial para a redução desses incidentes. Portanto, a mineração requer um foco contínuo na segurança e na gestão de riscos para minimizar o impacto adverso desses acidentes. Nesse aspecto que na próxima seção será delineado a utilização da FMEA como redução de falhas para evitar tais acidentes.

4.2 Aplicabilidade da ferramenta FMEA: Redução de falhas em mineradoras

Para diminuir os riscos de falha, as organizações utilizam uma metodologia chamada Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA) em termos do Número de Prioridade de Risco (RPN). O número RPN é um produto de variáveis de escala ordinal, severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) e o produto de tais variáveis ordinais é discutível. Os três atributos de risco (S, O e D) geralmente recebem peso igual, mas esta suposição pode não ser adequada para aplicações do mundo real. Além da severidade, ocorrência e detecção, a presença de outros atributos de risco também pode influenciar o risco de falha e, portanto, deve ser considerada para alcançar uma abordagem holística para mitigar os modos de falha (BHATTACHARJEE; DEY, 2020).

Figura 6. Escala Ordinal da FMEA



Fonte: Elaboração própria.

Por meio dessa análise, torna-se viável mensurar o impacto de cada categoria de falha e, assim, implementar medidas de controle para prevenir a ocorrência de novas falhas. Esse

processo de quantificação segue uma abordagem padronizada. Assim, são quantificados os índices de ocorrência (probabilidade), severidade e detecção das falhas (Quadro 3).

Quadro 3.OSD do FMEA

Índice	Ocorrência	Severidade	Deteção
1	Chance Remota de Falha	Efeito não detectável no sistema	Deteção quase certa do modo de falha
2	Frequência muito baixa: 1 vez a cada 5 anos	Baixa severidade causando aborrecimento leve no cliente	Probabilidade muito alta de deteção
3	Pouco Frequente: 1 vez a cada 2 anos		Alta probabilidade de deteção do modo de falha
4	Frequência baixa: 1 vez por ano	Severidade moderada: cliente hora insatisfeito com perda de desempenho perceptível	Moderadamente alta probabilidade de deteção do modo de falha
5	Frequência ocasional: 1 vez por semestre		Moderada probabilidade de deteção do modo de falha
6	Frequência moderada: 1 vez por mês		Baixa probabilidade de deteção do modo de falha
7	Frequente: 1 vez por semana	Severidade alta com alta insatisfação do cliente	Probabilidade muito baixa de deteção do modo de falha
8	Frequência elevada: algumas vezes por semana		Probabilidade remota de deteção do modo de falha
9	Frequência muito elevada: 1 vez ao dia	Severidade muita alta: risco potencial de segurança e problemas graves de não-conformidades	Probabilidade muito remota de deteção do modo de falha
10	Frequência máxima: várias vezes ao dia		Não é possível detectar o modo de falha

Fonte: Adaptado por Fabro (2021).

Adicionalmente, FMEA é uma ferramenta empregada na prevenção de falhas e erros, destinada a analisar os riscos associados a um determinado processo. Esse método também envolve a identificação de causas e efeitos, visando determinar ações específicas que serão implementadas para prevenir ou mitigar falhas potenciais. Este relatório apresenta campos designados para a inserção de informações pertinentes ao equipamento, tais como o nome do equipamento, componente propenso a falhas, função do componente, modo de falha, efeito da falha, consequência da falha, ocorrência, severidade, detectabilidade, risco e ação corretiva recomendada para a falha abordada (FABRO, 2021). O FMEA, ilustrado nos Quadros (4 e 5) a seguir.

Quadro 4. Modelo de FMEA

Equipamento	Componente	Função do componente	Modo de falha	Efeito da falha	Consequência da falha	Ocorrência	Severidade	Detectabilidade	Risco	Ação Corretiva Recomendada
						(0-10)	(0-10)	(0-10)	(0 ^o S ^o D)	
Motor	Carcaça	Proteção	Fragilidade da carcaça	Trincas	Danos aos componentes internos					Troca do material da carcaça.

Fonte: Adaptado por Fabro (2021).

Quadro 5. Formulário de FMEA

SEU LOGO		Formulário Folha do FMEA												
CLIENTE:			CÓD. DO PRODUTO:			N° FMEA:		REVISÃO:						
PROJETO <input type="radio"/>						PROCESSO <input type="radio"/>								
RESP/DATA:														
PARTICIPANTES:														
COORDENADOR:		APROVAÇÃO:												
FUNÇÃO DO PROCESSO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL DA FALHA	S E V	C L A S	CAUSA POTENCIAL	O C O R	CONTROLE PREVENTIVO	D E T	N P R	REAVLIAÇÃO				
										S E V	O C O R	D E T	N P R	

Fonte: Smart (2023).

Em detrimento do modelo e formulário da FMEA, os critérios de avaliação para severidade, ocorrência e detecção são classificados de 1 a 10. Consequentemente, o Número de Prioridade de Risco (NPR), também denominado apenas como "risco" (R), conforme ilustrado na Figura 8, é calculado pela expressão $R = S \times O \times D$. Esse valor é empregado como um indicador de prioridade nas ações corretivas do processo; quanto maior o valor, maior deve ser o enfoque dedicado à resolução da falha específica (BHATTACHARJEE; DEY, 2020).

Discorrida tal metodologia, um estudo elaborado por Fonseca (2018) com a aplicação da FMEA a barragem do Fundão, município de Mariana, Minas Gerais, observou-se que a FMEA para implantação da gestão de riscos mostrou-se ser uma ferramenta bastante eficiente, fácil e rápida aplicação. Por meio dessa metodologia, foi possível identificar que os principais riscos detentores de futuros acidentes são correlacionados aos eventos antecedentes de saturação da areia, assim como invasão da água que permite que a lama se deposite na praia de rejeitos. Soma-se a isso, a FMEA for aplicada antecipadamente, inviabiliza a ineficiência de gastos com projetos adjacentes na mineradora.

Ainda na análise de Fabro (2021), que se concentrou na logística de uma mineradora, no qual conduziu um estudo minucioso sobre a FMEA em sistemas de transporte de minérios. Identificou-se que as principais áreas suscetíveis a falhas críticas nesse contexto englobam o sistema elétrico, a estrutura, o motor de combustão e o sistema de frenagem. Esses pontos críticos podem acarretar acidentes graves como incêndios elétricos, colapsos de veículos, perda de potência e perda de controle, representando sérios riscos para a segurança e a integridade das operações. Nesse aspecto, medidas preventivas e corretivas são permitidas para mitigar essas falhas, com a metodologia FMEA desempenhando um papel crucial na identificação e gestão desses riscos.

Ribeiro Neto (2021) destaca que a metodologia FMEA foi empregada na análise das falhas de uma máquina específica utilizada na extração de minério. A equipe responsável pela análise incluiu os autores do estudo, um supervisor de manutenção, técnicos de inspeção, técnicos de planejamento e um engenheiro mecânico. Os resultados indicam que a aplicação da FMEA na máquina contribuiu para a redução da ocorrência de eventos de falhas. Além disso, a metodologia permitiu identificar os componentes mais críticos da máquina, suas causas fundamentais e propostas de abordagens para tratamento.

Em um estudo aplicado realizado por Silva et al., (2020) os autores pontuam que a aplicação do FMEA tem como objetivo reduzir a probabilidade de ocorrência de falhas em projetos de novos produtos ou processos, bem como minimizar a possibilidade de falhas potenciais em produtos ou processos em funcionamento que ainda não tenham se manifestado. Além disso, busca-se aprimorar a confiabilidade de produtos ou processos em operação por meio da análise das falhas anteriores, enquanto também procura mitigar os riscos de erros e melhorar a qualidade em procedimentos administrativos.

Viana e Ribeiro (2017) buscaram analisar a elaboração e aplicação de um plano diretor de manutenção em uma empresa mineradora. Em seus resultados verificaram a aplicação do FMEA revelou detalhes das falhas no processo produtivo, possibilitando recomendações para sua eliminação/minimização. Essa ferramenta de gestão ofertou uma valiosa identificação prévia de falhas no processo e no ambiente de trabalho, permitindo correções antecipadas, fortalecendo assim sua utilidade como instrumentos gerenciais.

Convergindo com esses argumentos, a aplicabilidade da FMEA em uma frota de equipamentos móveis em operação de uma mineradora demonstra-se viável, pois resulta na confiabilidade do sistema produtivo, resultando na redução das falhas. Isso incluiu o desenvolvimento de um novo modelo de ordem de manutenção com campos específicos para a

identificação de falhas, bem como a melhoria na qualidade dos planos de manutenção. Adicionalmente, houve um aperfeiçoamento na interface entre as operações e a equipe de manutenção, um equilíbrio técnico da equipe de manutenção, melhorias nos indicadores de desempenho dos equipamentos, aprimoramento no gerenciamento da manutenção e, por conseguinte, uma redução dos custos envolvidos (SANTOS, 2022).

De forma análoga, aos estudos de Viana e Ribeiro (2018) e Santos (2022), Zanetti (2019) assevera que a aplicação do FMEA no sistema de travamento dos equipamentos de perfuração de uma empresa mineradora demonstrou a viabilidade de aprimorar a confiabilidade desses equipamentos. Isso ocorre por meio da adoção de estratégias de manutenção adequadas, que oferecem benefícios em termos de custo e desempenho. Além disso, a ferramenta contribui para otimizar as práticas de manutenção, preservando a saúde dos ativos, promovendo uma abordagem preventiva e incentivando a participação ativa da equipe de manutenção.

Complementar a isso, esses aprimoramentos se traduzem em ganhos econômicos, operacionais e em termos de saúde, segurança e meio ambiente. A implementação de planos de manutenção mais eficazes reduz despesas excessivas com correções emergenciais e a perda irrecuperável de componentes. Da mesma forma, o controle mais rigoroso dos modos e efeitos das falhas minimiza a probabilidade de danos ambientais e riscos à segurança humana, ou, caso ocorram, atenua seus impactos. Para a operação da mina, o principal cliente interno do setor de manutenção, a melhoria na disponibilidade dos equipamentos contribui para um ambiente operacional mais estável e produtivo (ZANETTI, 2019).

Em suma, ficou perceptível que a aplicabilidade da FMEA na redução de falhas para evitar acidentes foi significativa, isso porque ao considerar gravidade, ocorrência e detecção de falhas, permite medidas preventivas e corretivas. Promove manutenção preventiva, melhora a segurança e reduz custos. A FMEA é oportuna para uma gestão de riscos eficaz na mineração, resultando em ambientes mais seguros e eficientes.

5. CONCLUSÃO

Diante da pesquisa realizada, analisar acidentes envolvendo empresas de mineração e, a partir disso, propor uma forma de prevenção utilizando a metodologia FMEA foi pertinente, pois evidenciou acidentes relacionados a logísticas, operações e recursos humanos em mineradoras, bem como a ferramenta FMEA é eficaz em prever falhas e prevenir acidentes.

Foi possível identificar que os principais acidentes envolvendo empresas mineradoras no Brasil e no mundo foram, em grande parte, a rompimentos de barragens de rejeitos, deslizamentos de terra, colapsos de estruturas, vazamentos tóxicos e incêndios em instalações mineradoras. Esses eventos frequentemente resultaram em impactos socioambientais significativos, além de perdas humanas e econômicas consideráveis. Estes acidentes chamaram a atenção para a necessidade crítica de aprimorar a gestão de riscos e as práticas de segurança na indústria de mineração.

Observou-se, em especial, que o fator humano como maior precursor de acidentes em mineradoras, em decorrência de falhas operacionais, ausência de treinamento adequado, negligência de procedimentos de segurança e tomada de decisões inadequadas. A análise revelou que a interação entre a equipe de trabalho e as operações de máquinas desempenhou um papel crítico na ocorrência de acidentes. Portanto, ressalta-se a necessidade de focar o aprimoramento da segurança, treinamento e conscientização dos trabalhadores, bem como a implementação de práticas de segurança rigorosas para mitigar o risco associado às atividades humanas na indústria de mineração.

Nessa concepção, a aplicabilidade da FMEA pode reduzir falhas e acidentes nas mineradoras, observou-se nos estudos que a FMEA permite uma abordagem holística para a gestão de riscos, levando em consideração não apenas os atributos tradicionais, mas também fatores adicionais que possam influenciar as falhas. A prevenção de falhas em sistemas críticos, como o sistema de travamento de equipamentos de perfuração, pode resultar em melhorias significativas na segurança, eficiência operacional e redução de custos.

Portanto, a aplicação FMEA demonstrou ser uma ferramenta eficaz na redução de falhas e na prevenção de acidentes em operações de mineração. A FMEA é valiosa para mensurar, avaliar e priorizar os riscos em diversas áreas, como logística, equipamentos de perfuração, barragens e gestão de riscos. Em detrimento que, ao avaliar a gravidade, a ocorrência e a detecção das falhas, é possível adotar medidas preventivas e corretivas para mitigar os riscos associados a essas falhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – ANM. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas**. Brasília: ANM, jun. 2020. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/> . Acesso em: 12 ago. 2022.

ALIABADI, Mostafa et al. Analysis of human and organizational factors that influence mining accidents based on Bayesian network. **International journal of occupational safety and ergonomics**, v. 26, n. 4, p. 670-677, 2020.

ÁVILA, Joaquim Pimenta et al. Segurança de barragens de rejeitos no Brasil: avaliação dos acidentes recentes. **Geotecnia**, n. 152, p. 435-464, 2021.

BATISTA, Samuel Pádua; SOUZA, Felipe Ribeiro; DE LIMA, Hernani Mota. Evolução dos indicadores de desempenho na mineração. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 17, p. e225111739273-e225111739273, 2022.

BHATTACHARJEE, Pushparenu; DEY, Vidyut; MANDAL, U. K. Risk assessment by failure mode and effects analysis (FMEA) using an interval number based logistic regression model. *Safety Science*, v. 132, p. 104967, 2020.

BONUCCI, Felipe Thadeu et al. Gerenciamento de riscos em barragens de mineração: aplicação do método Bow Tie. **Vertentes e desafios da segurança**, 2019.

CAVALCANTI, Aline Coutinho et al. Cenário dos acidentes de trabalho relacionados à atividade mineradora na Amazônia oriental brasileira. **RECISATEC-REVISTA CIENTÍFICA SAÚDE E TECNOLOGIA-ISSN 2763-8405**, v. 2, n. 1, p. e2180-e2180, 2022.

COSTA, Beatriz Souza; DE FREITAS PEREIRA, Camilla; DE OLIVEIRA, Marcio Luis. Preventive Measures for Work Accidents in Mining Activities. **Veredas do Direito**, v. 19, p. 69, 2022.

CRUZ, Fernando Discacciati. **Proposta para modelo de gerenciamento de risco, visando a mitigação de acidentes ampliados na mineração**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2021.

FABRO, Natália Piccinini. **Estudo do sistema de tratamentos de falhas para auxiliar na análise e detecção de falhas em caminhões fora de estrada: o caso de uma empresa de mineração**. 2021. 69 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

FERNANDES, Francisco Rego Chaves; ARAÚJO, Eliane Rocha. **Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais**. 2016. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1909/1/conflitos_ambientais_cap.2%20p65.pdf. Acesso em: 12 ago. 2022.

FELICIANO, A. F.; GARCIA, SOLANGE. Divulgação Socioambiental: Relato sobre Rejeitos Minerais das Empresas de Mineração no Brasil. **Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**, v. 11, 2020.

FIORILLO, Alexandre Ferreto. HISTÓRICO DE GRANDES ACIDENTES EM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS NO CENÁRIO NACIONAL E MUNDIAL. **Anais....** In: 8º Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica do IFSP. 2017.

FONSECA, Marcus Nicholas Esquivel. **ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS (FMEA) PARA AVALIAÇÃO DE UM ACIDENTE EM BARRAGEM DE REJEITOS: UM EVENTO DE MINERAÇÃO NO BRASIL**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) -Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2018.

FREITAS, Carlos Machado; SILVA, A. S. Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. **Rev. Bras. Med. Trab.**, v. 17, n. 1, p. 9-21, 2019.

GERASSIS, Saki et al. Differentiating between fatal and non-fatal mining accidents using artificial intelligence techniques. **International Journal of Mining, Reclamation and Environment**, v. 34, n. 10, p. 687-699, 2020.

KAPUSTA, Mariusz; BAŁK, Patrycja; SUKIENNIK, Marta. Strategic Analysis of Selected Factors Shaping the Occupational Health and Safety Culture of Mining Companies in Poland, Part 2. **Inżynieria Mineralna**, v. 1, n. 1, p. 243-248, 2020.

MELO, Ana de Fátima Lopes et al. Principais impactos da atividade mineradora no Estado do Pará: o caso da Companhia Brasileira de Bauxita–CBB/USPAM/Main impacts of mining activity in the State of Pará: the case of the Brazilian Bauxite Company-CBB/USPAM. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 32753-32782, 2021.

REICHL, C.; SCHATZ, M.; MASOPUST, A. **World Mining Data 2020**. Viena: Austrian Federal Ministry of Agriculture, Regions and Tourism, 2020. Disponível em: <http://www.world-mining-data.info>. Acesso em: 10 out. 2022.

RIBEIRO NETO, Pedro dos Santos; DA SILVA, Magson Araújo; DA COSTA FURTADO, Me Maciel. Proposta de aplicação da metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade para uma Recuperadora de Minério Tipo Ponte em uma mineradora. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 114591-114599, 2021.

SANTOS, Maicon Willian Moreira dos. **Análise de falhas de uma frota de equipamentos móveis em uma mineradora do estado de Minas Gerais**. 2022. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

SILVA, Mab Raísa Corrêa Leão; LOPES, Marcelo Dias; FERREIRA, Rafael Lopes. ANÁLISE DA GESTÃO AMBIENTAL DE UMA MINERADORA DE CALCÁRIO. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 73-91, 2020.

SMART. **Formulário Folha do FMEA em Excel**. 2023. Disponível em: <https://smartplanilhas.com.br/planilha-gratuita/formulario-folha-do-fmea-em-excel/>. Acesso: 17 nov. 2023.

TONG, Ruipeng et al. Risk assessment of Miners' unsafe behaviors: A case study of gas explosion accidents in coal mine, china. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 10, p. 1765, 2019.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia; RIBEIRO, José Luis Duarte. Elaboração e aplicação de um plano diretor de manutenção em uma empresa mineradora. **Revista Gestão Industrial**, [S.L.], v. 13, n. 3, p.37-56, 11 jan. 2018.

ZANETTI, Mateus Batista. Aplicação da metodologia FMEA para revisão das estratégias de manutenção em equipamentos de perfuração de uma mineradora. 2019. Monografia (Graduação).

Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia de Produção, 2019.

ZHANG, Yingyu et al. A systems approach to extraordinarily major coal mine accidents in China from 1997 to 2011: an application of the HFACS approach. **International journal of occupational safety and ergonomics**, v. 25, n. 2, p. 181-193, 2019.