



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
ENGENHARIA DE MINAS**



PEDRO DOS SANTOS GRANDINETTI DE BARROS

**PROPOSIÇÃO DE MODELO PARA GERENCIAMENTO DE RISCOS EM
MINAS SUBTERRÂNEAS POR MEIO DE FERRAMENTAS DE MELHORIA
CONTÍNUA**

OURO PRETO

2023

Pedro dos Santos Grandinetti de Barros

**PROPOSIÇÃO DE MODELO PARA GERENCIAMENTO DE RISCOS EM
MINAS SUBTERRÂNEAS POR MEIO DE FERRAMENTAS DE MELHORIA
CONTÍNUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Minas.

Orientador: Dr. José Margarida Silva

OURO PRETO

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B277p Barros, Pedro dos Santos Grandinetti de.
Proposição de modelo para gerenciamento de riscos em minas
subterrâneas por meio de ferramentas de melhoria contínua.
[manuscrito] / Pedro dos Santos Grandinetti de Barros. - 2023.
83 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. José Margarida Silva.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Minas e mineração - Lavra subterrânea. 2. Controle de qualidade.
3. Avaliação de riscos. I. Silva, José Margarida. II. Universidade Federal de
Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.272

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Pedro dos Santos Grandinetti de Barros

Proposição de modelo para gerenciamento de riscos em minas subterrâneas por meio de ferramentas de melhoria contínua

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 21 de março de 2023

Membros da banca

Prof. Dr. José Margarida da Silva- Orientador- Universidade Federal de Ouro Preto
Profa. Dra. Rita de Cássia Pedrosa Santos - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Leandro Vilhena Costa - Universidade Federal de Catalão

José Margarida da Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 03/04/2023



Documento assinado eletronicamente por **Jose Margarida da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/04/2023, às 11:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0503087** e o código CRC **CD6517CE**.

Dedico este trabalho aos meus pais, meu irmão, meus familiares e amigos, que foram fontes de apoio e ensinamentos durante minha jornada acadêmica. Este trabalho é uma homenagem a todos que estiveram comigo durante esta trajetória.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente aos meus pais, Maria Izabel e Sergio, pelo amor e dedicação que sempre tiveram comigo ao longo da minha jornada acadêmica. Sem o seu apoio incansável, eu nunca teria chegado até aqui.

Ao meu irmão Henrique, agradeço por ser uma fonte de inspiração e por compartilhar minhas alegrias e dificuldades durante este percurso.

Ao meu orientador, o Prof. José Margarida Silva, agradeço a paciência, direção e esforço dedicado à minha formação. O seu conhecimento e sabedoria foram fundamentais para o êxito deste trabalho.

Aos professores e colegas do Departamento de Engenharia de Minas da UFOP, agradeço pelo apoio, ensinamentos e possibilidades de crescimento acadêmico que tive durante a minha passagem pela universidade.

Aos meus amigos, agradeço por compartilhar momentos inesquecíveis e por serem uma fonte constante de apoio e incentivo.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto e à cidade de Ouro Preto pelas oportunidades maravilhosas de desenvolvimento pessoal e acadêmico que tive durante minha estadia aqui.

“Os benefícios de adotar essas recomendações são inúmeros, com destaque para a diminuição dos acidentes e doenças ocupacionais, assim como a proteção da integridade e da capacidade de trabalho do colaborador. O ambiente seguro, o que inclui prevenção de doenças e outros problemas que possam se originar no trabalho, resulta em melhor qualidade de vida para o funcionário, com mais bem-estar físico e emocional”.

Fábio Cruz

RESUMO

O presente estudo aborda a importância do gerenciamento de riscos na mineração, especialmente, nas atividades de minas subterrâneas para identificar, avaliar e planejar possíveis riscos que possam surgir no processo de gerenciamento de projetos. Busca-se saber como as ferramentas de avaliação de risco são usadas na elaboração de um plano de gerenciamento de riscos para minas subterrâneas. O objetivo foi apresentar uma proposta de um PGR (Plano de Gerenciamento de Risco) com foco nas atividades operacionais e o uso das ferramentas Diagrama de Ishikawa, Método *Bow-Tie*, Método 5W2H e PDCA para minas subterrâneas com base na literatura de referência. A metodologia utilizada foi a revisão de literatura amparada no método do estado da arte sobre o tema enfatizando metodologias comuns a elaboração de um PGR, para uma ampla análise de riscos associados às operações de minas subterrâneas, visando propor controles preventivos e mitigatórios, a fim de assegurar a integridade dos colaboradores. Pode-se dizer que o diagrama de Ishikawa se mostrou como uma ferramenta visual que oferece uma visão geral das causas e efeitos dos riscos operacionais de minas subterrâneas, permitindo que os usuários classifiquem essas causas e efeitos para identificar com precisão as origens do problema. A técnica de solução de problemas 5W2H mostrou-se como um processo simples e uma estratégia eficaz para identificar as causas dos riscos operacionais comuns às minas subterrâneas. O Método *Bow-Tie* para o PGR em minas subterrâneas mostra-se desafiador quando envolve a construção abrangente do mecanismo de dupla prevenção. No PDCA, deve-se compreender as etapas específicas de implementação da construção do mecanismo de prevenção dos riscos identificados nas minas subterrâneas em detalhes. O PGR envolve muitos aspectos, como processo de produção, sistema e segurança. Pode-se concluir que a elaboração de PGR, amparando em ferramentas de melhorias contínuas, traz a concepção de uma nova abordagem prática para gerenciamento de riscos aplicável a projetos de mineração subterrânea. É preciso sempre aprimorar os métodos de gerenciamento de praticamente todos os riscos em projetos de mineração e envolve a adaptação de novos conceitos desenvolvidos no contexto da mineração de ouro a céu aberto para o contexto subterrâneo.

Palavras-chave: Minas Subterrâneas; Plano de Gerenciamento de Riscos; Melhoria Contínua; PDCA; Avaliação de Risco.

ABSTRACT

This study addresses the importance of risk management in mining, especially in underground mining activities to identify, assess and plan possible risks that may arise in the project management process. It seeks to know how risk assessment tools are used in the preparation of a risk management plan for underground mines. The objective was to present a proposal for a PGR focused on operational activities and the use of the Ishikawa Diagram, *Bow-Tie* Method, 5W2H Method and PDCA tools for underground mines based on the reference literature. The methodology used was a literature review based on the state-of-the-art method on the subject, emphasizing common methodologies and the elaboration of a Risk Management Plan, PGR, for a broad analysis of risks associated with underground mine operations, aiming to propose preventive controls, and mitigating measures, in order to ensure the integrity of employees. It can be said that the Ishikawa diagram has proven itself as a visual tool that offers an overview of the causes and effects of operational risks in underground mines, allowing users to classify these causes and effects to accurately identify the origins of the problem. The 5W2H troubleshooting technique proved to be a straightforward process and an effective strategy to identify the causes of operational risks common to underground mines. The *Bow-Tie* Method for PGR in underground mines proves to be challenging when it involves the comprehensive construction of the double prevention mechanism. In the PDCA, one should understand the specific steps of implementing the construction of the mechanism to prevent the risks identified in underground mines in detail. PGR involves many aspects such as production process, system, and security. It can be concluded that the elaboration of PGR supported by continuous improvement tools brings the conception of a new practical approach to risk management applicable to underground mining projects. There is always a need to improve methods of managing virtually all risks in mining projects and it involved adapting new concepts developed in the context of open pit gold mining to the underground context.

Keywords: Underground mines; Risk Management Plan; Continuous Improvement; PDCA; Risk assessment.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais normas para PGR	26
Tabela 2 - Medidas qualitativas de consequência ou impactos	33
Tabela 3 - Medidas qualitativas de probabilidade	33
Tabela 4 - Número de vítimas em acidentes fatais entre o ano 2000 e maio de 2008 (Peru)	51
Tabela 5- Número de vítimas em acidentes fatais entre o ano 1980 e maio de 2008.....	53
Tabela 6 - Método 5W2H	62
Tabela 7 - Etapas do Método 5W2H para minas subterrâneas.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de Gestão de Riscos	28
Figura 2 - Matriz Qualitativa de Riscos.....	34
Figura 3 - Exemplo de Matriz Semiquantitativa de Riscos	35
Figura 4 - Exemplo de Tabela de Consequências.....	36
Figura 5 - Exemplo de Matriz Quantitativa de Risco	38
Figura 6 - Exemplo de Mapa de Risco	38
Figura 7 - Exemplo de Perfil de Risco	39
Figura 8 - Fluxograma da busca e seleção dos estudos	43
Figura 9 - Estatísticas dos acidentes ocorridos entre 2000 e 2005 na Mina Obuasi.....	47
Figura 10 - Causas dos acidentes fatais ocorridos na Mina Obuasi entre 2000 e 2005 ..	47
Figura 11 - Lesões causadas por comportamentos inseguros e condições inseguras na Mina Obuasi entre 2000 e 2005.....	48
Figura 12 - Cargos ocupados pelas vítimas dos acidentes fatais ocorridos na Mina Obuasi entre 2000 e 2005	48
Figura 13 - Impacto dos acidentes com afastamento na produção de ouro da Mina Obuasi (2000 a 2005).....	49
Figura 14 - Estatísticas dos acidentes ocorridos entre 2000 e 2005 na jazida de Cherat (1998 e 2019).....	50
Figura 15 - Impacto dos acidentes na produção total de carvão da jazida de Cherat (1998 a 2019).....	50
Figura 16 - Participação percentual de vítimas fatais segundo o tipo de atividade.....	52
Figura 17 - Participação percentual de vítimas fatais segundo o tipo de acidente	53
Figura 18 - Participação percentual de acidentes fatais segundo o tipo	54
Figura 19 - Ciclo PDCA	56
Figura 20 - Exemplo Genérico do Diagrama de Ishikawa	60
Figura 21 - Exemplo genérico do diagrama utilizado pelo Método <i>Bow-Tie</i>	61
Figura 22 - Diagrama de Ishikawa	63
Figura 23 - <i>Bow-Tie</i> do risco de queda de blocos de rocha.....	65
Figura 24 - Metodologia do Diagrama de Ishikawa para gestão de riscos em minas	67
Figura 25 - Metodologia método 5W2H - exemplo de falha em equipamento.....	69
Figura 26 - Modo de operação PDCA do mecanismo de dupla prevenção da mina subterrânea.....	73

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

DT - Doença Tuberculose

FERMA - *Federation of European Risk Management Associations*

GR - Gestão de Riscos

ISO - International Organization for Standardization

NAGR - Norma Australiana para Gerenciamento de Riscos (AS/NZS 4360:2004)

NMRs - Normas Reguladoras de Mineração

5w2h - *Who? What? Where? When? Why? How? How Much?*

PDCA - *Plan, Do, Check e Act*

PGR - Plano de Gerenciamento de Risco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 RISCO.....	17
3.2 AVALIAÇÃO E CONTROLE DE RISCO.....	19
3.3 TIPOS DE RISCOS NA ATIVIDADE LABORAL DA MINERAÇÃO	20
3.4 PLANO E GERENCIAMENTO DE RISCOS.....	22
3.4.1 Gestão de riscos na mineração	22
3.4.2 Plano de Gerenciamento de Riscos (PGR).....	24
3.4.3 Normas de gestão de riscos	25
3.5 O PROCESSO DE GESTÃO DE RISCOS	27
3.6 PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE RISCOS.....	30
3.6.1 Avaliação de Riscos – Etapa Inicial.....	30
3.6.2 Avaliação de Riscos – Etapa Final.....	40
4 METODOLOGIA.....	42
5 RESULTADOS	46
5.1 CENÁRIOS DE RISCO NO AMBIENTE SUBTERRÂNEO	46
5.1.1 Mina Obuasi – AngloGold Ashanti (Gana).....	46
5.1.2 Minas de Carvão em Cherat – Paquistão.....	49
5.1.3 Mineração no Peru.....	51
5.1.4 Minas Subterrâneas de Carvão na Turquia.....	52
5.1.5 Discussão.....	55
5.2 O CICLO PDCA NO CONTEXTO DO GERENCIAMENTO DE RISCO DE MINAS SUBTERRÂNEAS	55
5.2.1 Descrição e aplicações do método.....	55
5.2.2 Etapa <i>Plan</i> (Planejar).....	56
5.2.3 Etapa <i>Do</i> (Executar)	57
5.2.4 Etapa <i>Check</i> (Verificar).....	58
5.2.5 Etapa <i>Act</i> (Atuar).....	59
5.3 FERRAMENTAS DE GESTÃO AUXILIARES	59

5.3.1	Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe)	59
5.3.2	Metodologia Bow-Tie	60
5.3.3	Método 5W2H	61
5.4	GERENCIAMENTO DE RISCOS DE QUEDAS DE BLOCOS DE ROCHA EM MINAS SUBTERRÂNEAS	62
5.5	ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO	64
5.5.1	Proposição de PGR amparado na Metodologia <i>Bow-Tie</i>	65
5.5.2	Proposição de PGR amparado na Metodologia do Diagrama de Ishikawa	66
5.5.3	Método 5W2H para minas subterrâneas	68
5.5.4	Proposição de PGR amparado na Metodologia PDCA	72
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
	REFERÊNCIAS	79
	ANEXOS	83

1 INTRODUÇÃO

Da mina ao porto, todas as operações presentes em projetos de mineração possuem riscos associados. Devido à natureza da extração mineral na etapa de escavação, em especial, enviando homens para espaços confinados e potencialmente tóxicos com máquinas e equipamentos pesados - a operação extrativa é um trabalho extremamente perigoso. Para prevenir a materialização desses riscos e mitigar os impactos negativos ao patrimônio físico e material, ao meio ambiente e às vidas humanas, caso um evento acidental venha a ocorrer, a maioria das grandes empresas do setor vem investindo em práticas de Gestão de Riscos.

Os processos de uma mina como um todo possuem riscos intrínsecos, tanto nas minas a céu aberto, quanto nas minas subterrâneas, que podem impactar diretamente na saúde e segurança ocupacional dos colaboradores, degradação do meio-ambiente, viabilidade financeira dos negócios e na reputação das companhias perante a sociedade. O presente estudo limita-se a análise das minas subterrâneas para melhor abordagem de pesquisa.

Quando se trata de operações em subsolo, o número de acidentes fatais é significativamente superior ao dos projetos de superfície. Segundo Candia (2009), 90,4% dos acidentes fatais ocorridos entre 2000 e 2008, em minas do Peru, se deram no ambiente subterrâneo, o que aumenta ainda mais a responsabilidade das empresas ao gerir as incertezas que carregam suas operações. Ainda segundo o levantamento feito por Candia (2009), os tipos de acidente que mais ocasionaram fatalidades no setor mineral do Peru entre 2000 e 2008 foram a queda de rochas (36,53%), trânsito (9,23%) e queda de pessoas (9,04%).

Em dados mais atuais, Dragan, Georges e Mustafa (2018) apontam que, embora a indústria de mineração empregue apenas 1% da força de trabalho global, ela gera 8% de todos os acidentes fatais. Desmoronamentos ou colapsos de minas são alguns dos acidentes de mineração mais amplamente relatados que acontecem em todo o mundo. Por exemplo, o resgate de 33 mineiros em 2010 de uma mina parcialmente desmoronada na região de Atacama, no Chile, onde os mineiros acabaram presos a cerca de 700m de profundidade por mais de dois meses. Por outro lado, Silva (2022) aponta que, nas últimas décadas, mesmo tendo aumentado o número de trabalhadores na mineração, o número de acidentes fatais diminuiu proporcionalmente.

Em 2019, ocorreram mais de 10 acidentes fatais na indústria de mineração de carvão nos Estados Unidos. Na Turquia, em 14 de outubro de 2021, uma explosão na mina de carvão em Amasra, no nordeste do país, às margens do Mar Negro. Do total de 110 mineiros que trabalhavam na mina, 52 ficaram presos em galerias subterrâneas localizadas a 300 e 350 metros abaixo do nível do mar e 41 morreram (SOYLU, 2022).

A indústria de mineração sempre foi arriscada sob o ponto de visto econômico e operacional, com as preocupações com a segurança do trabalhador representando apenas uma parte dos desafios. Regulamentações cada vez mais rígidas, dependência de tecnologia, demanda inconsistente por matérias-primas e altos preços de commodities são preocupações com as quais toda mineradora tem se deparado (CATTABRIGA; CASTRO, 2014).

Alguns trabalhos se referem a operações específicas. Silva e Neme (2004) apontam as operações cuja mecanização apresentou um avanço importante com a adoção de máquinas e equipamentos que realizam a operação melhoram a segurança das atividades comuns a extração mineral por isolar operador dos perigos. Os autores reforçam que os operadores precisam ser treinados adequadamente e precisam ser vistos como capital humano que auxiliam tanto a produtividade quanto a segurança.

Fiscor (2020) realça que, no ambiente subterrâneo, as condições do maciço rochoso nas minas são específicas para cada local. E, com isso, para o trabalho de extração é necessário estudos de viabilidade econômica e operacional. Algumas minas subterrâneas são privilegiadas com geologia consistente e formação rochosa competente. Para maioria das minas, entretanto, tem de se lidar com condições de terreno realmente ruins, a geologia se altera ao longo do tempo e os mineradores devem aprender a se adaptar.

Silva e Neme (2004); Silva, Miranda e Curi (2012); Santos (2015) assinalam que a maioria das empresas de mineração é capaz de neutralizar essa condição, esse ambiente desfavorável, que sugere atenção em programas eficazes de gerenciamento de riscos. Muitos executivos do setor já estão à frente da operacionalidade em termos de sua capacidade de gerenciar riscos com eficácia. Os autores entendem que grandes ganhos geralmente vêm com grandes riscos, e programas bem elaborados permitem que eles busquem essas oportunidades com segurança.

O objetivo de um plano de gerenciamento de riscos é ajudá-lo a identificar, avaliar e planejar possíveis riscos que possam surgir no processo de gerenciamento de projetos. As ferramentas de avaliação de risco são usadas para ajudar a evitar grandes perigos na

indústria de mineração, por exemplo, incêndio, explosão, rajada de vento, explosões, combustão espontânea, instabilidade da estrutura, substâncias químicas e perigosas dentre outros, de mineiros feridos.

Nesse sentido é que se discute sobre as ferramentas apropriadas que são utilizadas para fazer a análise de riscos, de modo a evitar a ocorrência de eventos indesejados, definindo técnicas de controle e planos de ação necessários para prevenir e mitigar os impactos causados por incidentes, como por exemplo os métodos: *Bow-Tie*, PDCA, Diagrama Espinha de Peixe, 5W2H, dentre outros.

As operações de perfuração e desmonte são imprescindíveis em qualquer empreendimento minerário e, trazem consigo, diversos agentes de riscos, como por exemplo: poeira, vibração, calor, ruídos, quedas de rochas e gases citados por Cunha (2014). Um programa de gerenciamento de riscos permite que as mineradoras garantam o sucesso de suas operações e a colaboração eficaz com especialistas em gerenciamento de risco pode beneficiar muito as operações de mineração. O autor reforça que a chave está em entender todos os riscos antes de se comprometer com qualquer projeto específico.

Nessa linha de pensamento, Santos (2015) reforça a necessidade de se avaliar o cenário político minuciosamente antes de iniciar uma operação de mineração, pois, problemas nesse campo podem interromper uma operação em qualquer estágio de desenvolvimento. Ameaças típicas às cadeias de suprimentos incluem acesso deficiente a equipamentos de reposição em áreas remotas.

Os recorrentes acidentes em áreas de mineração, trouxeram à tona dúvidas e questionamentos acerca das boas práticas no setor mineral. Portanto, o gerenciamento de riscos assume um importante papel na identificação, análise, planejamento, desenvolvimento de respostas aos riscos, monitoramento e controle (KERZNER, 2009).

Conforme evidenciado por Rabechini Jr. (2011), a adoção de práticas de gerenciamento de riscos possui impacto significativo e positivo na percepção de sucesso em projetos. Porém, é necessário o entendimento conceitual das incertezas destes projetos, e a utilização de processos, técnicas e ferramentas adequadas.

Assim sendo, o presente estudo concentra-se nas metodologias comuns a elaboração de um Plano de Gerenciamento de Risco, PGR, para uma ampla análise de riscos associados às operações de minas subterrâneas, visando propor controles preventivos e mitigatórios, a fim de assegurar a integridade dos colaboradores, do meio-ambiente e a viabilidade econômica dos empreendimentos minerários.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar uma proposta de um Plano de Gerenciamento de Risco (PGR) com foco nas atividades operacionais e o uso das ferramentas Diagrama de Ishikawa, Método *Bow-Tie*, Método *5W* (*Who? What? Where? When? Why?*) *2H* (*How? How Much?*) (*5W2H*) e *Plan, Do, Check e Act* (PDCA) para minas subterrâneas com base na literatura de referência.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Já os objetivos específicos foram assim delimitados:

- Expor as características típicas, a dinâmica de operação e os métodos de lavra subterrânea;
- Compreender os aspetos conceituais e práticos dos principais riscos operacionais nas minas subterrâneas, sua avaliação e gestão em áreas minadas, dando ênfase às minas subterrâneas;
- Identificar os riscos pertinentes a operação de minas subterrâneas com bases em exemplos e estudos de caso publicados na literatura, compilando proposta de PGR amparando-se nas ferramentas PDCA.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresentam-se os conceitos, definições e esclarecimentos acerca do amparo teórico necessário o tema dessa pesquisa em que se destaca a concepção de risco, a avaliação e controle de risco, tipos de riscos na atividade laboral da mineração e a importância do Plano e Gerenciamento de Riscos.

3.1 RISCO

O significado da palavra risco pode ser confuso. Muitas vezes, os dicionários não fornecem definições específicas ou combinam com o termo "risco". Por exemplo, um dicionário define risco como "um perigo", o que ajuda a explicar por que muitas pessoas usam os termos de forma intercambiável (ARAÚJO, 2018, p.13).

Existem muitas definições para perigo, mas a mais comum quando se fala em saúde e segurança no local de trabalho é: um perigo é qualquer fonte de dano (*damage*) potencial, danos ou efeitos adversos à saúde em algo ou alguém. Basicamente, um perigo é o potencial de dano ou efeito adverso (por exemplo, para as pessoas como efeitos na saúde, para as organizações como perdas de propriedade ou equipamento ou para o meio ambiente) (KAERCHER, 2017).

Segundo Sousa (2015), às vezes, o dano resultante é referido como o perigo em vez da fonte real do perigo. Por exemplo, a doença tuberculose (DT) pode ser chamada de "perigo" por alguns, mas, em geral, a bactéria causadora da tuberculose (*Mycobacterium tuberculosis*) seria considerada o "perigo" ou "agente biológico perigoso".

De acordo com Bernstein (1997) citado por Cruz (2021), o termo risco provém do italiano antigo *riscare*, sendo derivado do latim *riscu*, que possui o significado de ousar. Atualmente, quando se fala em risco, refere-se a “algo que pode não dar certo”. Desta forma, o conceito atual está relacionado a quantificação e qualificação da incerteza, aliado ao impacto planejado.

Conforme estabelecido pela Norma de Gestão de Riscos da *Federation of European Risk Management Associations* (FERMA, 2002), o risco pode ser designado como o arranjo entre a probabilidade de materialização de um evento, e suas consequências.

Segundo a Norma Australiana para Gerenciamento de Riscos (AS/NZS 4360:2004), o risco pode ser definido como “a chance de algo que irá impactar nos objetivos acontecer”, ou seja, os riscos podem impactar negativamente e positivamente.

Kaplan (1981) estabeleceu uma relação entre o dano e a incerteza, e afirmou que a incerteza é um dos aspectos do risco. Para tal, pode-se descrever a seguinte equação (Eq.1):

$$risco = incerteza + dano$$

Segundo Araújo (2018), essa equação expressa a primeira distinção a ser levada em conta. Porém, há também uma segunda distinção de grande importância a se considerar, a diferença entre as noções de “risco” e “perigo”. De acordo com Kaplan, “perigo” é a fonte de danos e “risco” é a probabilidade de o dano acontecer. Sendo assim possível, expressar simbolicamente esta ideia por meio da equação (Eq.2):

$$risco = \frac{perigo}{proteções}$$

Esta equação também traz à tona o pensamento de que somos capazes de diminuir os riscos aumentando as proteções, ou seja, os controles de risco, mas não é possível reduzi-los a zero.

De acordo com o manual de Avaliação de Gestão de Riscos do Governo Australiano (2008), uma abordagem comum é definir risco como a combinação da probabilidade e da consequência de um evento (ou resultado da exposição). Isso dá origem ao conceito amplamente utilizado de risco:

$$risco = probabilidade \times consequência$$

Quando se faz referência a risco em relação à segurança e saúde ocupacional, a definição mais comumente usada é risco como probabilidade de uma pessoa ser prejudicada ou sofrer efeitos adversos à saúde se exposta a um perigo. O nível de risco é frequentemente categorizado de acordo com o dano potencial ou efeito adverso à saúde que o perigo pode causar, o número de vezes que as pessoas são expostas e o número de pessoas expostas (LIRONG et al., 2011).

Ou seja, risco é a chance ou probabilidade de que uma pessoa seja prejudicada ou sofra um efeito adverso à saúde se exposta a um perigo. Também pode se aplicar a situações com perda de propriedade ou equipamento, ou efeitos nocivos ao meio ambiente. Esses riscos são expressos como uma probabilidade ou chance de desenvolver uma doença ou se machucar, enquanto o perigo se refere ao agente responsável (ou seja, fumar).

De acordo com Sousa (2015), os fatores que influenciam o grau ou probabilidade de risco são: a natureza da exposição, ou quanto uma pessoa é exposta a uma coisa ou condição perigosa (por exemplo, várias vezes ao dia ou uma vez por ano); como a pessoa está exposta (por exemplo, inalando um vapor, contato com a pele) e a gravidade do efeito. Por exemplo, uma substância pode causar câncer de pele, enquanto outra pode causar irritação na pele. O câncer é um efeito muito mais grave do que a irritação.

Portanto, a gestão de riscos não se trata de um processo singular, e sim de um processo com diferentes pontos de vista, variáveis, percepções, abordagens qualitativas e quantitativas.

3.2 AVALIAÇÃO E CONTROLE DE RISCO

Badri (2015) explica que sempre haverá riscos em qualquer esforço de transformação de arquitetura/negócios. É importante identificar, classificar e mitigar esses riscos antes de começar, para que possam ser rastreados durante todo o esforço de transformação. A mitigação é um esforço contínuo e muitas vezes os gatilhos de risco podem estar fora do escopo dos planejadores de transformação (por exemplo, fusão, aquisição), portanto, os planejadores devem monitorar o contexto de transformação constantemente.

Na opinião de Freitas e Silva (2009), também é importante identificar os riscos e mitigar alguns, mas é dentro da estrutura de governança que os riscos devem ser primeiro aceitos e depois gerenciados. Existem dois níveis de risco que devem ser considerados, a saber:

- Nível inicial de risco: categorização de risco antes de determinar e implementar ações de mitigação;
- Nível residual de risco: categorização do risco após a implementação de ações de mitigação (se houver).

Segundo Cruz (2021), a avaliação de riscos é o processo em que se pode:

- Identificar perigos e fatores de risco que têm o potencial de causar danos (identificação de perigos).
- Analisar e avaliar o risco associado a esse perigo (análise de risco e avaliação de risco).
- Determinar formas apropriadas de eliminar o perigo ou controlar o risco quando o perigo não puder ser eliminado (controle de risco).

De acordo com Araújo (2018), é comum ver o processo de identificação de perigos e avaliação do risco correspondente ser descrito de várias maneiras, incluindo “avaliação de perigo”, “avaliação de perigo e risco”, “avaliação de risco de todos os perigos”, entre outras. Independentemente da terminologia usada, as etapas críticas são garantir que o local de trabalho tenha adotado uma abordagem sistemática que procure quaisquer perigos (existentes ou potenciais), tome as medidas apropriadas para determinar o nível de risco desses perigos e, em seguida, tome medidas para controlar o risco ou eliminar o perigo.

3.3 TIPOS DE RISCOS NA ATIVIDADE LABORAL DA MINERAÇÃO

A indústria de mineração tem a reputação de ser um negócio arriscado, classificado no nível 4 com riscos à saúde que são variados e muitas vezes bastante graves, e é importante que os mineradores se protejam adequadamente. No entanto, a mineração não precisa ser insegura.

Silva (2022) assinala que, com a introdução de rígida legislação e protocolo de segurança, bem como avanços em equipamentos de segurança, a indústria viu sua taxa de mortalidade cair ao longo do tempo. Embora a meta de dano zero ainda não tenha sido alcançada, continua sendo o padrão que as empresas de mineração continuam buscando.

De acordo com Budke (2012), uma maneira comum de classificar os perigos é por categoria:

- biológicos - bactérias, vírus, insetos, plantas, pássaros, animais e humanos,

- químico - depende das propriedades físicas, químicas e tóxicas do produto químico,
- ergonômico - movimentos repetitivos, configuração inadequada do posto de trabalho,
- físico - radiação, campos magnéticos, extremos de pressão (alta pressão ou vácuo), ruído,
- psicossocial - estresse, violência, dentre outros,
- segurança - riscos de escorregar/tropeçar, proteção inadequada da máquina, mau funcionamento ou avaria do equipamento.

Na mineração, os riscos são mapeados, analisados, avaliados e gerenciados em uma grande variedade de etapas e atividades do negócio. Identificar e diferenciar os vários tipos de riscos inerentes associados às operações de uma companhia, é de extrema importância para que uma organização seja capaz de realizar uma gestão de riscos eficaz, objetivando a maior segurança e sustentabilidade nos processos (SOUSA, 2015).

Os riscos, basicamente, apresentam-se em duas formas: riscos estratégicos e riscos operacionais. Ambos podem estar associados à probabilidade de materialização de diversos tipos de riscos, incluindo saúde e segurança ocupacional, meio ambiente, saúde e segurança pública, regulamentação, produção, reputação e risco financeiro.

Os riscos estratégicos são aqueles que impactam na saúde do negócio, ou seja, afetam o cumprimento dos objetivos estratégicos ou a sustentabilidade de uma operação. Esses riscos também podem estar associados a grandes impactos ambientais e financeiros, paralisação das operações e questões ligadas à reputação de uma companhia mineradora perante a sociedade e o mercado.

O estudo de Da Silva (2016) cita que os riscos estratégicos também estão associados a mudanças ambientais de longo prazo, que podem afetar a maneira de a empresa adicionar valor às partes interessadas, e seu gerenciamento é baseado nas ferramentas utilizadas em planejamento estratégico, como por exemplo, análise de cenários.

Já os riscos operacionais afetam as operações da mineração (lavra, processamento mineral e metalurgia) de forma mais direta, e em prazos mais curtos. São aqueles que podem ser identificados como tendo um ou mais tipos de impacto e que afetam um resultado esperado pelas equipes de operação. Esses riscos podem estar por exemplo,

associados a acidentes causados por falhas na integridade de equipamentos utilizados nos processos (RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT, 2008).

Segundo Da Silva (2016), o risco operacional pode ser definido como a possibilidade de ocorrência de perdas resultantes de falha, deficiência ou inadequação de processos internos das companhias, pessoas e sistemas, ou eventos externos.

3.4 PLANO E GERENCIAMENTO DE RISCOS

3.4.1 Gestão de riscos na mineração

O objetivo principal das leis e regulamentos de saúde e segurança no trabalho é estabelecer os requisitos mínimos para locais de trabalho para garantir que as pessoas não sejam feridas por causa do trabalho que realizam ou pelas atividades de trabalho de uma empresa ou empreendimento. Conforme a Norma Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR ISO 31000:2018, o gerenciamento de riscos trata-se das atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização no que se refere aos riscos aos quais ela está exposta.

Segundo Cruz (2021), a gestão ou gerenciamento de riscos pode ser compreendido como um conjunto de disciplinas que compõem um sistema de elementos e adoção de protocolos e procedimentos, estruturas, políticas e metodologias, capazes de habilitar um melhor discernimento dos limites aceitáveis dos riscos.

Para a FERMA, a gestão de riscos:

É o processo por meio do qual as organizações analisam metodicamente os riscos inerentes às respectivas atividades, com o objetivo de atingirem uma vantagem sustentada em cada atividade individual e no conjunto de todas as atividades (FERMA, 2002, p. 3) tradução nossa.

A gestão de riscos auxilia as organizações na definição de estratégias, atingimento dos objetivos, na tomada de decisões, sendo fundamental para a maneira como a companhia é gerenciada em todos os níveis, considerando o contexto externo e interno do empreendimento, incluindo comportamento humano e fatores culturais.

Os Regulamentos de Minas dos EUA, Austrália e no Brasil exigem que os operadores de minas documentem no Sistema de Gestão de Segurança as providências para o gerenciamento de riscos. O processo de gerenciamento de riscos é enquadrado em torno dos princípios-chave de: identificar os perigos que podem representar um risco para

os trabalhadores e outros; avaliar as consequências e a probabilidade desses riscos e controlando esses riscos (LIRONG et al. 2011).

De acordo com Cruz (2021), embora o processo geral de gerenciamento de riscos tenha como objetivo fornecer um mecanismo para abordar questões de segurança em toda a mina, é amplamente reconhecido que existem alguns perigos em uma mina que podem apresentar riscos muito significativos para os trabalhadores e outros. Esses são referidos coletivamente como principais riscos de mineração.

De acordo com Freitas e Silva (2009), os operadores de mina devem preparar e documentar um plano que descreva como os vários riscos decorrentes do perigo serão controlados. Dado o maior fator de risco associado a esses perigos, é necessário um nível mais alto de planejamento e controle. Esses planos precisam ser mais detalhados do que outra documentação geral de gerenciamento de riscos e devem indicar:

- A natureza do principal risco de mineração;
- Como se relaciona com outros perigos na mina;
- Os métodos de análise usados na identificação do principal risco de mineração;
- Um registro da avaliação de risco realizada em relação ao principal perigo de mineração;
- Os métodos de investigação e análise usados na determinação das medidas de controle a serem implementadas;
- Uma descrição de todas as medidas de controle a serem implementadas para gerenciar os riscos à saúde e segurança associados aos principais perigos da mineração;
- Uma descrição dos arranjos em vigor para fornecer aos trabalhadores as informações, treinamento e instrução necessários em relação ao principal risco de mineração;
- Quaisquer princípios de projeto, padrões de engenharia e padrões técnicos utilizados para medidas de controle para os principais riscos de mineração;
- As razões para a adoção ou rejeição das medidas de controle consideradas.

Segundo esclarece Araújo (2018), há uma série de riscos principais de mineração conhecidos, incluindo:

- Ruptura de solo ou estratos;
- Inundação ou irrupção de qualquer substância;
- Complexidade da infraestrutura em áreas de operação de veículos;
- Qualidade do ar ou poeira ou outros contaminantes transportados pelo ar;
- Incêndio ou explosão;
- Explosões de gás;
- Combustão espontânea.

Compreende-se, portanto, que de todos os principais setores da indústria, a mineração provavelmente pode reivindicar a maior familiaridade com o risco. O perigo muito real para a vida e a integridade física enfrentado pelos primeiros mineradores continua sendo uma característica das operações modernas, mas a atenção explícita ao risco agora está se espalhando para outras áreas da mineração, desde a operação de processos e projetos até o gerenciamento estratégico de um negócio (KAERCHER, 2017).

3.4.2 Plano de Gerenciamento de Riscos (PGR)

De acordo com Fontes (2018), cada projeto demanda um Plano de Gerenciamento de Riscos específico, podendo ter por base os documentos do projeto e os ativos de processos organizacionais, a exemplo de planos de projetos anteriores das organizações envolvidas. O plano de gerenciamento dos riscos descreve como a gestão dos riscos será estruturada e executada no projeto, sendo recomendado que contenha definições quanto à metodologia, papéis e responsabilidades, orçamento e prazos (PMI, 2013).

O Plano de Gerenciamento de Riscos também fornecerá uma estrutura que garante um processo abrangente de identificação sistemática em um nível de detalhe consistente por meio de categorias de risco (FONTES, 2018).

As práticas formais do plano de gerenciamento de risco agora se estendem a todos os aspectos operacionais de uma atividade produtiva, e no caso da mineração e processamento, as maiores operadoras estão começando a integrar todas as suas práticas de gerenciamento de risco em uma estratégia corporativa unificada. É importante descobrir que as incertezas que cercam o negócio exigem mais do que profissionais experientes e bom senso para garantir o sucesso. Além de ter certeza de que está tomando decisões acertadas, há uma necessidade crescente de demonstrar que os processos pelos

quais essas decisões foram alcançadas estão de acordo com as melhores práticas atuais (CRUZ, 2021).

Em geral, Badri (2019) descreve que a segurança das pessoas, instalações e meio ambiente é fundamental para o planejamento e gerenciamento de processos. Existem métodos e técnicas usadas para avaliar esses riscos, embora os princípios subjacentes sejam sempre os mesmos. No entanto, com a crescente necessidade de ser visto como fazendo a coisa certa, bem como realmente fazendo, minimizando o custo dos estudos, a abordagem para identificação e avaliação de riscos começou a se tornar mais formal.

De acordo com Gomes (2011), a avaliação e o gerenciamento de riscos de processo abrangem tudo, desde perigos de baixo nível a longo prazo até grandes eventos catastróficos. Geralmente, é necessária uma forte contribuição técnica para garantir que todos os problemas significativos sejam identificados, e a avaliação das probabilidades e impactos dos riscos do processo geralmente se baseia na análise de engenharia. Técnicas para analisar grandes riscos, como explosão, incêndio ou liberação de materiais tóxicos, são muitas vezes áreas especializadas por si só, apoiadas por ferramentas sofisticadas baseadas em algoritmos de computador.

3.4.3 Normas de gestão de riscos

A gestão de riscos é uma área em constante desenvolvimento, envolvendo diferentes pontos de vista e áreas do conhecimento. Portanto, para se definir como deve ser realizada, e qual seu objetivo, foram criados conjuntos de normas para regulamentar e padronizar esses processos. As normas e guias sobre gestão de riscos de maior destaque estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais normas para PGR

NORMA	ORIGEM	LANÇAMENTO	REVISÃO	DESCRIÇÃO
AS/NZS 4360	Austrália e Nova Zelândia	1995	1999 e 2004	Primeira norma de Gestão de Riscos, servindo de base para definição da norma ISO 31000
HB 436	Austrália e Nova Zelândia	2004	-	Guia para gestão de riscos, anexo da norma AS/NZS 4360:2004
JSI Q 2001	Japão	2001	-	Apresenta definição formal de sistema de gestão de riscos e introduz a melhoria contínua
Guia 73	Internacional	2002	2009	Documento normativo anexo à norma ISO 31000:2009
ISO 31000	Internacional	2009	2018	Abrange todos os tipos de risco em qualquer contexto. Construída em torno de três pilares: princípios de gestão de riscos, guia de gestão de riscos e processo de gestão de riscos

Fonte: Adaptado de Rosa e Toledo (2015).

No Brasil, o PGR é um regramento documentado, elaborado baseando-se na Norma Regulamentadora NR 22, Portaria N.º 732 de 22/05/14, do Ministério do Trabalho e Emprego. Tal referência normativa teve sua instituição dada em conformidade com o item 22.3.7 que estabelece “cabe à empresa ou Permissionário de Lavra Garimpeira elaborar e implementar o Programa de Gerenciamento de Riscos – PGR, contemplando os aspectos desta Norma”.

Deste modo, tem-se como obrigatório para empresas com atuação no setor da mineração e suas subcontratadas que o PGR contenha as disposições do Anexo I. Korf e Goellner (2011) assinalam que o Ministério do Trabalho e Emprego traz a exigência e a fiscalização da existência e a adequada aplicação das nomeadas Documentações de Segurança. Trata-se de registros de referência elaboradas para assegurar a integridade física e a saúde dos empregados. O descumprimento da legislação pode desencadear acidentes, com prejuízo para a saúde dos empregados, e, para a imagem da empresa. Ainda podem ocorrer prejuízos financeiros para a empresa, incidindo multas e futuras ações trabalhistas.

Sob a perspectiva normativa que sofreu alterações até o ano de 2022, Freitas e Silva (2009, p.53) esclareceram aspectos que ainda vigentes:

A NR 22 estabelece que a empresa que elaborar o PGR está desobrigada de elaborar o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA (NR 9). Entretanto, é obrigada a desenvolver o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO, de acordo com a NR 7. O PGR – Programa de Gerenciamento de Riscos – deve considerar os níveis de ação acima dos limites de exposição ocupacional e limites de tolerância previstos na Norma Regulamentadora n.º 15, ou na ausência destes observar valores limites de exposição ocupacional adotados pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH ou valores que venham a ser estabelecidos em

negociação coletiva, desde que mais rigorosos que os acima mencionados (conforme NR 9, item 9.3.5.1, “c”).

Compreende-se, portanto, que o PGR está no centro das decisões mais importantes em um negócio, desde o trabalho detalhado de um processo de engenharia até a estratégia de longo prazo e a formulação de políticas. A necessidade de uma abordagem formal e métodos de análise e avaliação econômicos está crescendo, à medida que os negócios se tornam mais competitivos e agressivos a cada ano. A indústria de mineração não é exceção a essa tendência e está começando a descobrir que a atenção explícita ao gerenciamento de riscos compensa em decisões de melhor qualidade e negócios mais previsíveis.

3.5 O PROCESSO DE GESTÃO DE RISCOS

A Norma ABNT ISO 31000 também afirma que o processo de gerenciamento de riscos se dá com o envolvimento da aplicação sistemática de políticas, protocolos e práticas para as atividades de comunicação e consulta, definição de contexto e análise, controle, tratamento, monitoramento, registro e relato de riscos, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Processo de Gestão de Riscos



Fonte: Norma NBR ISO 31000:2018.

No processo de elaboração de um PGR, a análise de segurança sugere preparação para lidar com os riscos. Mas o treinamento de segurança é mais do que apenas prática: ele oferece *insights* (entendimentos) sobre processos e regulamentos aprimorados. Os *transponders* (transmissores) vestíveis desempenham um papel crucial na obtenção de tais percepções durante o treinamento. Eles também são valiosos para evitar, mitigar e alertar sobre perigos em cenários reais de trabalho (LIRONG et al. 2011).

Silva e Silva (2022) mostram vestíveis tecnológicos na mineração uma vez que a necessidade de equilibrar o desejo de exploração com os riscos financeiros e operacionais associados é mais premente do que nunca, e vários atores da indústria de mineração estão desenvolvendo novos métodos para tornar a exploração mais segura financeiramente e aumentar a probabilidade de sucesso.

a) Comunicação e consulta

Segundo a Norma ABNT ISO 31000, uma das etapas do processo de gestão de riscos é a da comunicação e consulta, cujo propósito, é dar suporte aos *stakeholders* (partes interessadas) pertinentes no que se diz respeito à compreensão dos riscos, e auxiliar nas tomadas de decisões necessárias. A comunicação visa impulsionar a conscientização e o entendimento do risco, e a consulta, busca envolver e obter retorno das lideranças quanto às ações a serem desenvolvidas para prevenir ou mitigar a materialização de riscos (FREITAS; SILVA, 2009).

Reunindo equipes multidisciplinares para cada etapa do processo de gerenciamento de riscos, a comunicação e a consulta visam assegurar que pontos de vista diferentes sejam levados em consideração ao se avaliar um risco, fornecendo informações suficientes para controlar e monitorar os riscos de uma operação (CRUZ, 2021).

b) Escopo, contexto e critério

O propósito da definição de escopo, contexto e critérios fazem parte de um processo de personalização da gestão de riscos, possibilitando realizar uma avaliação de riscos eficaz, e o tratamento adequado deles (BADRI, 2019).

Ao definir o escopo, segundo Kaercher (2017), deve-se levar em conta:

- objetivos e decisões a serem tomadas;
- resultados esperados de cada etapa do processo;

- tempo, localização, inclusões e exclusões específicas;
- ferramentas e técnicas apropriadas para o processo de avaliação de riscos;
- recursos necessários, responsabilidades e registros a serem mantidos;
- relação com outros projetos, processos e atividades.

De acordo com a norma, existem algumas premissas essenciais para a o entendimento de todo o contexto interno, externo e os critérios de risco de um empreendimento. A compreensão do contexto externo também é de extrema importância ao se implantar um processo de gestão de riscos. Portanto, ao conceber a este contexto, é necessário que a organização busque entender os fatores sociais, culturais, políticos, jurídicos, regulatórios, financeiros, tecnológicos, econômicos e ambientais que a envolvem. Para tal, deve-se compreender de maneira ampla as relações e compromissos da organização com as partes interessadas externas (LIRONG et al. 2011).

No contexto interno, uma organização que vislumbre uma gestão de riscos eficaz, tem a necessidade de compreender sua própria visão, missão e valores. Ter uma estrutura organizacional e de governança corporativa sólidas, com normas, diretrizes e modelos de gestão adotados internamente. Desta maneira, o caminho para se desenvolver as estratégias e objetivos da empresa, e ter uma relação de transparência com os *stakeholders* internos se torna menos tortuoso (CRUZ, 2021).

Para a ISO 31000, “embora convenha que os critérios de risco sejam estabelecidos no início do processo de avaliação de riscos, eles são dinâmicos; e convém que sejam continuamente analisados criticamente e alterados, se necessário” (ABNT ISO 31000, 2018, p.11).

Nesse campo das normativas, é fundamental a revisão periódica de normas reguladoras do trabalho. Martins (2017) pesquisou a opinião dos agentes envolvidos nas normativas brasileiras que dizem respeito à sustentação de escavações e ventilação, respectivamente, Normas Reguladoras de Mineração, NMRs 5 e 6. O principal objetivo do controle de solo é manter escavações seguras em rocha e solo e os sistemas de ventilação são essenciais para garantir condições de trabalho seguras para o pessoal no subsolo. Eles fornecem ar fresco e fresco e diluem e removem gases inflamáveis, bem como gases de escape da máquina.

De certo que o risco de acidentes varia de acordo com a natureza da mina, pois a mão de obra executa suas tarefas em espaços confinados, expondo-os a condições

perigosas que podem resultar em doenças ou morte. A matriz de avaliação de risco permite que as organizações categorizem os incidentes de trabalho como laranja (sem lesões), amarelo (lesões recuperáveis, uma fatalidade e muitas lesões) ou vermelho (múltiplas lesões, várias mortes e muitos feridos). Os avaliadores de risco podem usar cores para alertá-los sobre problemas no local de trabalho. Além da pesquisa anterior, a seguir estão métodos para prevenir acidentes e doenças no local de trabalho como visto adiante.

3.6 PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE RISCOS

Segundo a norma internacional vigente, o processo de avaliação de riscos engloba a identificação, análise e avaliação dos riscos. O mesmo deve ser conduzido de maneira sistemática, baseada no conhecimento de nas diferentes perspectivas das partes interessadas. A avaliação de riscos envolve a atribuição de um nível de risco a cada um dos perigos comuns de saúde e segurança em um local de trabalho, seguido pela classificação desses perigos (BUDKE, 2012).

Um perigo é qualquer fonte de dano potencial, danos ou efeitos adversos à saúde em algo ou alguém sob certas condições no trabalho. O risco é geralmente considerado como a chance de algo acontecer que terá um impacto nos objetivos. Geralmente é medido em termos de probabilidade e consequências do evento. Os riscos podem ser inerentes ou residuais. Quando tais condições ou situações efetivamente se concretizam de forma a comprometer a saúde e a segurança dos trabalhadores, são denominadas de eventos (CAMPOS, 2019).

3.6.1 Avaliação de Riscos – Etapa Inicial

a) Identificação de Riscos

De acordo com a norma AS/NZS 4360:2004, o propósito do processo de identificação de um risco é buscar o entendimento de todos os principais eventos relevantes para um projeto que podem vir a se materializar. Portanto, é necessário se identificar e quantificar a natureza e extensão das consequências potenciais.

Cada organização pode utilizar uma grande variedade de técnicas para identificar os riscos intrínsecos ao processo. As informações de risco podem ser obtidas, por

exemplo, por partes interessadas especialistas nas etapas da operação que, em conjunto, são capazes de determinar os potenciais impactos para os negócios e para os ativos do empreendimento (CAMPOS, 2019).

As partes interessadas externas, também podem ser consultadas quanto às situações de risco pelas quais elas podem estar expostas, principalmente quando se trata de consequências mais amplas com relação à comunidade, contribuindo para a identificação dos principais riscos provenientes das atividades da organização (BADRI, 2019).

Segundo a ISO 31000:2018, os seguintes fatores e a relação entre eles devem ser considerados:

- fontes tangíveis e intangíveis de risco;
- causas e eventos;
- ameaças e oportunidades;
- vulnerabilidades e capacidades;
- mudanças nos contextos interno e externo;
- indicadores de riscos emergentes;
- natureza e valor dos ativos e recursos;
- consequências e seus impactos nos objetivos;
- limitações de conhecimento e de confiabilidade da informação;
- fatores temporais.

Os resultados das identificações de riscos precisam ser documentados, visando comunicar os *stakeholders* sobre os potenciais eventos de risco, serem usados como referência para identificar pontos de melhoria nos processos, e manter os registros para fins de governança e transparência, conforme estabelecido pela AS/NZS 4360:2004.

b) Análise de Riscos

Uma vez identificados, os locais de trabalho precisam determinar os controles apropriados para prevenir ou mitigar o risco associado a um perigo. Os controles podem ser atividades, procedimentos, equipamentos físicos ou objetos, ou sistemas. Às vezes, os controles são descritos como preventivos (ou seja, reduzindo a probabilidade de ocorrência de um evento indesejado) e atenuantes (ou seja, reduzindo ou eliminando as

consequências de um evento indesejado) e como críticos ou não críticos. Os locais de trabalho que desejam aprender mais sobre esses conceitos podem consultar os recursos listados no final desta diretriz (BUDKE, 2012).

A ABNT ISO 31000:2018 define que o principal propósito da análise de riscos é realizar a compreensão das características e natureza do risco, levando em conta as incertezas, fontes e consequências de um risco, bem como a probabilidade de materialização dele. Também é necessário avaliar os controles e sua eficácia, pois estes irão prevenir ou mitigar os cenários provenientes da ocorrência de eventos (CAMPOS, 2019).

Segundo o documento publicado pelo Departamento de Turismo, Energia e Recursos do Governo Australiano (2008), a análise de riscos tem como objetivo definir qual a fonte do risco, e desenvolver estratégias para gerenciá-lo de maneira efetiva (FREITAS; SILVA, 2009).

Essa análise pode ser feita com diferentes níveis de complexidade e detalhamento, a depender do propósito da análise, e da disponibilidade de informações. As técnicas utilizadas podem ser qualitativas, quantitativas ou semiquantitativas, e cada uma delas é abordada no manual citado anteriormente, servindo como base para o presente estudo.

c) Métodos Qualitativos

As técnicas de análise qualitativas são as mais aplicadas no processo de análise de riscos, devido a agilidade, facilidade e o fato de fornecerem uma compreensão mais generalista do risco como um todo, além de trazerem a possibilidade de se realizar abrangências para riscos similares (GOMES, 2011).

Segundo a AS/NZS 4360, as técnicas qualitativas utilizam termos descritivos para definir quais são as probabilidades e as possíveis consequências associadas aos eventos de risco. Seus resultados geralmente são avaliados utilizando uma matriz qualitativa de risco (Figura 2), ferramenta que auxilia na determinação da priorização de tratamento dos riscos, pois separa os riscos em níveis de probabilidade de materialização e os impactos (caso o evento venha a ocorrer).

As Tabelas 2 e 3 mostram de maneira simplificada, exemplos de escalas qualitativas de probabilidades dos riscos e suas consequências, utilizando medidas não quantitativas, para inserir parâmetros na matriz qualitativa de riscos posteriormente.

Tabela 2: Medidas qualitativas de consequência ou impactos

Nível	Descritor	Exemplo
1	Insignificante	Sem lesões, pequena perda financeira
2	Menor	Pequenas lesões, média perda financeira
3	Moderado	Médias lesões, alta perda financeira
4	Maior	Graves lesões, grande perda financeira
5	Catastrófico	Lesões fatais e enorme perda financeira

Fonte: Adaptado de MARCONDES, 2020.

Para cada evento adverso ou exposição a risco indesejável identificado, deve ser feita uma estimativa quanto à sua probabilidade de ocorrência e a gravidade da consequência se o evento ocorrer, selecionando os descritores mais apropriados. Uma vez determinada a probabilidade e a consequência de cada evento, seu nível de risco pode ser determinado por meio da matriz de risco. Uma vez atribuído um nível de risco a cada evento, eles podem ser classificados de acordo com o nível de risco descendente (CAMPOS, 2019).

Tabela 3: Medidas qualitativas de probabilidade

Nível	Descritor	Exemplo
A	Quase Certo	Espera-se que ocorra na maioria das vezes
B	Provável	Provavelmente ocorrerá na maioria das vezes
C	Possível	Deverá ocorrer algumas vezes
D	Improvável	Poderá ocorrer algumas vezes
E	Raro	Poderá ocorrer somente em circunstâncias excepcionais

Fonte: Adaptado de MARCONDES, 2020.

O nível de risco mostrado em cada caixa na matriz de risco é determinado pela multiplicação do valor da classificação de probabilidade pelo valor da classificação de consequência correspondente a qualquer caixa na matriz.

Figura 2: Matriz Qualitativa de Riscos

Probabilidade	Consequência				
	Insignificante 1	Menor 2	Moderado 3	Maior 4	Catastrófico 5
Quase Certo	A	A	E	E	E
Provável	M	A	A	E	E
Possível	B	M	A	E	E
Improvável	B	B	M	A	E
Raro	B	B	M	A	A

Legenda: E = Risco Extremo A = Risco Alto M = Risco Moderado B = Risco Baixo

Fonte: MARCONDES, 2020

A matriz apresenta vinte e cinco combinações de cenários de riscos diferentes, separados em quatro categorias: Baixo, Moderado, Alto e Extremo (ou Muito Alto). Segundo Marcondes (2020), de posse desta análise, é possível se traçar uma priorização para o tratamento e/ou monitoramento dos riscos intrínsecos a uma operação. A priorização deve começar pelos riscos extremos, passando subsequentemente pelos riscos altos, moderados e baixos, caso as ações adotadas para os riscos de maior prioridade já tenham sido definidas ou concluídas.

De acordo com o documento publicado pelo governo australiano o Manual *Risk assessment and management*, Australian Government (2008) o estudo qualitativo geralmente é utilizado como uma abordagem rápida e inicial, para posteriormente serem utilizados métodos que levam em conta mais variáveis, fazendo uma abordagem mais completa. Entretanto, muitas companhias utilizam métodos qualitativos para análises de risco mais abrangentes, apesar de suas deficiências quando em comparação com as demais formas de abordagem.

d) Métodos Semiquantitativos

Os métodos de abordagem semiquantitativa têm sido amplamente utilizados na indústria, visando suprir as deficiências dos métodos quantitativos. De acordo com a Norma AZ/NZS 4360 (2004), esse tipo de abordagem fornece uma classificação de riscos mais detalhada, aumentando a assertividade na priorização do tratamento de riscos. Neste

método também se utilizam matrizes de risco, porém, elas se apresentam de maneira semiquantitativa (Figura 3).

De acordo com Araújo (2018), essa maneira de se analisar riscos, pode atribuir valores numéricos aos parâmetros utilizados na análise qualitativa, não havendo a necessidade de que estes valores sejam exatamente correspondentes à intensidade dos impactos e/ou a probabilidade de materialização de riscos.

Porém, segundo Marcondes (2020), os valores utilizados na abordagem semiquantitativa não são absolutos, como os utilizados na análise quantitativa. Portanto, deve-se ter muita cautela com relação aos números, pois esses podem não corresponder à realidade, comprometendo os resultados da análise. O autor ressalta que para evitar inconsistências, este método deve ser utilizado em conjunto com outros tipos de abordagem.

Figura 3: Exemplo de Matriz Semiquantitativa de Riscos

	Desprezível (1)	Menor (2)	Moderada (4)	Maior (8)	Catastrófica (16)
Quase Certo (5)	5	10	20	40	80
Provável (4)	4	8	16	32	64
Possível (3)	3	6	12	24	48
Improvável (2)	2	4	8	16	32
Raro (1)	1	2	4	8	16

Fonte: De Cicco, 2021. Disponível em: <https://www.qsp.net.br/>

Outra solução viável, e amplamente utilizada segundo o guia disponibilizado pelo governo da Austrália (2008), é contabilizar as incertezas por meio de estimativas de impactos de maneira conservadora, até a ordem de magnitude mais próxima, mediante por exemplo, de uma tabela de consequências, comumente utilizada na análise de riscos de galgamento de estruturas marítimas, conforme explicitado no exemplo a seguir (Figura 4).

Figura 4: Exemplo de Tabela de Consequências

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)						Grau
	Pessoas	Ambiente	Gestão portuária	Património			
				Edifícios	Equipamentos ¹	Estrutura marítima	
Insignificantes	Possibilidade de ferimentos muito ligeiros	Impacto ambiental desprezável	Alterações ligeiras nas actividades portuárias	Danos exteriores quase inexistentes	Danos quase inexistentes	Dano na zona activa da estrutura não necessitando reparação	1
Reduzidas	Uma única lesão ligeira	Pequenos derrames (por exemplo de combustível)	Algumas alterações nas actividades portuárias; má publicidade para o porto a nível local	Danos interiores e exteriores insignificantes	Danos ligeiros que não implicam a paragem do equipamento; resolução de problemas quase imediata	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos sem exposição de filtros; reparação imediata desnecessária	2
Sérias	Múltiplas lesões ligeiras ou uma única lesão grave	Algumas áreas com acesso proibido devido a poluição causada por derrames	Operações de carga e descarga condicionadas; possibilidade de paragem parcial do porto; má publicidade generalizada	Danos interiores moderados	Danos que implicam inatividade temporária do equipamento para reparação	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos com exposição de filtros; superestrutura afetada mas sem movimentos significativos	5
Muito sérias	Muitas lesões graves ou uma perda de vida	Episódios de poluição dentro e fora do porto com possibilidade de consequências irreparáveis para o ambiente	Impossibilidade de realização de operações de carga e descarga durante vários dias; má publicidade a nível nacional	Grandes danos no interior; estrutura do edifício afectada	Danos graves; inatividade prolongada do equipamento	Filtros afectados; movimentos substanciais da superestrutura	10
Catastróficas	Muitas perdas de vidas	Derrames generalizados; contaminação muito grave; consequências irreparáveis para o ambiente; necessidade de ajuda internacional	Restrições muito sérias às operações de carga e descarga durante muito tempo; perda de trocas comerciais durante muito tempo; má publicidade internacional	Danos interiores muito graves; estrutura do edifício seriamente afectada; colapso iminente	Perda do equipamento (reparação impossível)	Colapso da estrutura	25

Fonte: NEVES, REIS, FORTES e SANTOS (2011)

Segundo Korf e Goellner (2011), por meio da classificação de risco de todos os perigos de saúde e segurança especificados para uma mina ou planta de mineração, é possível identificar os perigos prioritários que podem evoluir para eventos de várias maneiras diferentes.

Os métodos mais aceitáveis para identificar perigos prioritários são os seguintes: qualquer perigo que possa resultar em um evento ao qual tenha sido atribuído um nível crítico de risco deve ser considerado um perigo prioritário. Se nenhum perigo que possa resultar em eventos for identificado como tendo um nível crítico de risco, então os perigos que estão nos eventos de risco de classificação mais alta (ou seja, pelo menos os cinco

primeiros) devem ser considerados como perigos prioritários. Os perigos que resultaram em fatalidades na mina no passado devem ser considerados como perigos prioritários (BUDKE, 2012).

e) Métodos Quantitativos

Segundo a Norma AZ/NZS 4360 citada por Marcondes (2020), na abordagem quantitativa, utilizam-se exclusivamente valores numéricos para representar os impactos e as probabilidades. Recorrendo a diversas fontes de dados para embasamento, a assertividade da análise é proporcional à precisão dos valores utilizados.

O guia *Risk Assessment and Management* Australian Government (2008) expõe que as abordagens quantitativas têm sido cada vez mais utilizadas no setor mineral, pois trazem a possibilidade de se comparar os riscos financeiros com os ambientais e sociais, apoiando as tomadas de decisão.

Ainda segundo a publicação, este tipo de análise pode ser utilizado desde as avaliações preliminares do risco, até avaliações mais abrangentes. As análises quantitativas mais abrangentes podem carregar informações essenciais para a gestão de riscos, como a classificação de prioridade, estimativas de custos caso ocorra a materialização do risco e até variáveis pertinentes para a análise de viabilidade econômica do empreendimento.

Gomes (2011) acredita que, seguindo o mesmo princípio dos outros métodos e análise de risco, a abordagem qualitativa atribui valores absolutos às probabilidades e possíveis impactos. Ao estimar a probabilidade de um risco se materializar, analisa-se a frequência em que um evento ocorre em um projeto ou espaço de tempo específico, e as estimativas de consequências podem ser realizadas utilizando qualquer variável consistente, selecionada de acordo com a natureza da aplicação, como por exemplo o número de vidas perdidas ou o possível impacto ambiental causado por um evento de risco.

Neste tipo de abordagem, costuma-se utilizar o Quociente de Risco (QR), usado para diferenciar, variável que leva em conta a relação entre probabilidade e consequência de um evento. Além da matriz quantitativa de risco (Figura 5), análise quantitativa também pode utilizar outras ferramentas, como os mapas de risco (Figura 6) e os perfis de risco (Figura 7).

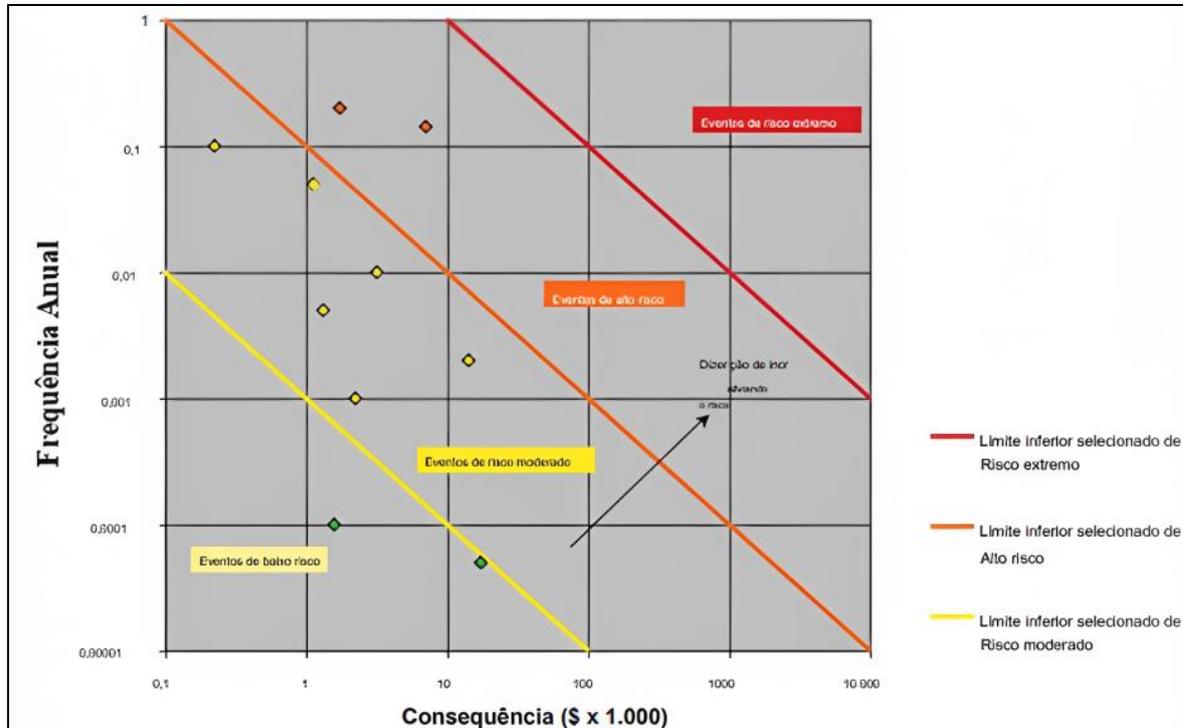
Figura 5: Exemplo de Matriz Quantitativa de Risco

Probabilidade	Impacto						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0,9	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,63
0,8	0,08	0,16	0,24	0,32	0,4	0,48	0,56
0,7	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49
0,6	0,06	0,12	0,18	0,24	0,3	0,36	0,42
0,5	0,05	0,10	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
0,4	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2	0,24	0,28
0,3	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21
0,2	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
0,1	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07

Fonte: Adaptado de Marcondes (2020)

A Figura 5 representa que os riscos geralmente são apresentados em uma matriz de avaliação de riscos, essa é uma ferramenta quantitativa (matemática) que visa produzir avaliações/estimativas sistemáticas de risco para fins de Gerenciamento de Risco que estabelece uma relação decrescente de probabilidade X crescente para impacto.

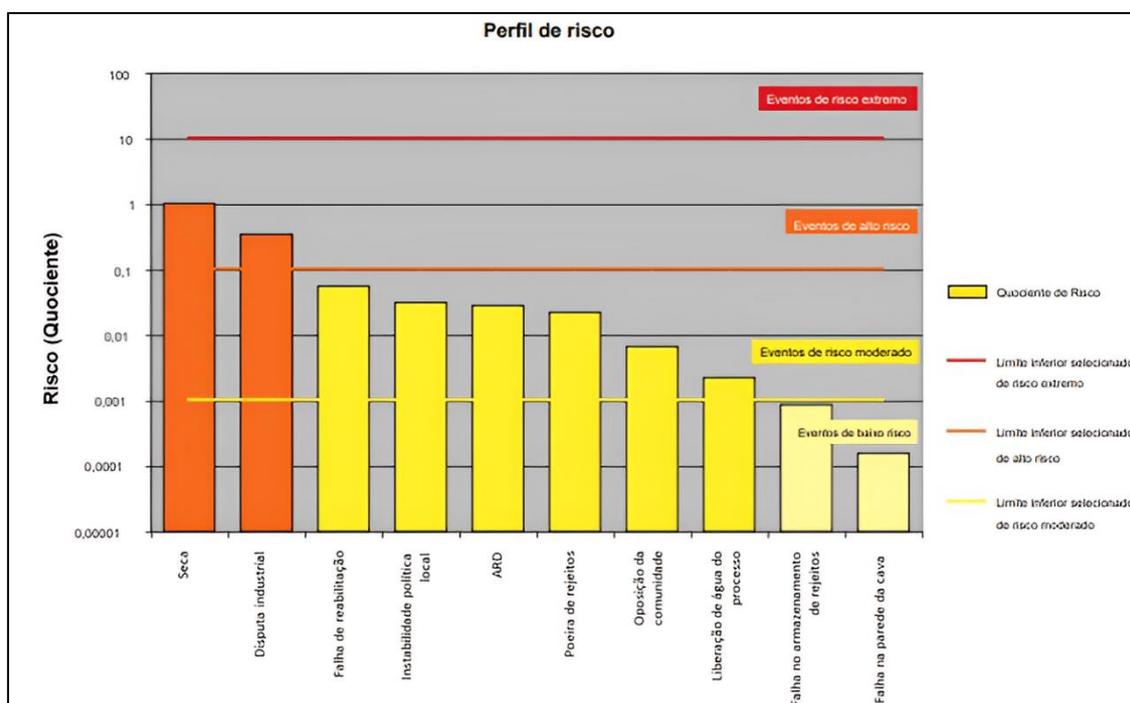
Figura 6: Exemplo de Mapa de Risco



Fonte: Adaptado de *Risk assessment and management* (2008)

O mapa de risco da Figura 6 é uma ferramenta de visualização de dados para comunicar riscos específicos que uma organização enfrenta. Um mapa de riscos ajuda as empresas a identificar e priorizar os riscos associados aos seus negócios. Um componente importante do gerenciamento de riscos corporativos, um mapa de riscos facilita: impulsiona a compreensão do perfil de risco e do apetite de risco de uma organização; esclarece o pensamento sobre a natureza e o impacto dos riscos e melhora a avaliação de risco da organização.

Figura 7: Exemplo de Perfil de Risco



Fonte: Adaptado de *Risk assessment and management* (2008).

O perfil de risco da Figura 7 é também uma espécie de matriz de avaliação de risco (às vezes chamada de matriz de controle de risco), ou seja, uma ferramenta usada durante o estágio de avaliação de risco do planejamento do projeto. Esse perfil de risco identifica e captura a probabilidade de riscos do projeto e avalia o dano potencial ou interrupção causada por esses riscos e oferece uma representação visual da análise de risco e categoriza os riscos com base em seu nível de probabilidade e gravidade ou impacto. Essa ferramenta é uma maneira simples e eficaz de obter uma visão holística dos riscos do projeto para todos os membros da equipe e principais interessados.

3.6.2 Avaliação de Riscos – Etapa Final

Segundo a norma ABNT ISO 31000:2018, a etapa final do processo de avaliação de riscos envolve a comparação entre os resultados da análise de riscos e os critérios de risco definidos, no intuito de determinar a necessidade de se imputar mais ações dentro das áreas operacionais visando a prevenir ou mitigar os impactos de um evento de risco. Dessa maneira, as lideranças da companhia têm mais assertividade ao tomar decisões como: não fazer mais nada com relação a um risco, considerar as opções de tratamento de riscos, realizar mais análises para compreender o risco, manter os controles existentes ou reconsiderar os objetivos.

Ainda de acordo com a norma, é importante que as decisões levem em conta o contexto mais amplo e as reais consequências para os *stakeholders* internos e externos. A resolução também frisa a importância do registro, comunicação e validação dos resultados obtidos nas avaliações de risco nos níveis apropriados da companhia (BRASIL-ABNT, 2018).

a) Tratamento de Riscos

O principal intuito desta etapa da gestão de riscos, é definir e implementar opções para prevenir e mitigar as consequências dos eventos de risco, propondo uma abordagem adequada (CAMPOS, 2019).

De acordo com a ISO 31000:2018, a escolha do método de tratamento ou controle deve se basear na análise dos potenciais benefícios relacionados ao alcance dos objetivos, face aos custos, esforço ou desvantagens da implantação.

Segundo a AZ/NZS 4360 (2004), o tratamento de risco é uma abordagem adotada para se gerenciar o risco e, na maioria das abordagens de tratamento, surge a necessidade de se projetar, executar e monitorar adequadamente os controles de risco.

b) Controles de Risco

Os controles de risco são sistemas, processos, procedimentos ou equipamentos utilizados pela companhia, a fim de realizar a mitigação, prevenção, proteção ou detecção dos impactos da materialização de um risco (GOMES, 2011).

Segundo Budke (2012), os controles mitigatórios, são aqueles que são projetados para diminuir os impactos de longo prazo causados pelo evento de risco, os preventivos para evitar a materialização, os de detecção para identificar a ocorrência de um evento indesejado enquanto ele ocorre e os de proteção para diminuir os impactos imediatos do risco.

Korf e Goellner (2011) consideram importante avaliar a confiabilidade e a eficácia de um controle de risco para que ele seja considerado apropriado, e ao se utilizar os controles já existentes, há também a necessidade de se gerenciá-los e monitorá-los, incluindo processos para avaliar a eficácia contínua dos controles, como auditorias internas.

“O aumento da confiança no gerenciamento de riscos é alcançado pela aplicação de controles de alta confiabilidade a riscos com consequências de alto potencial.” (AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2008, p. 64).

c) Registro e Relato

De acordo com a Norma ISO 31000:2018, a última etapa do processo de gestão de riscos consiste no registro e relato dos potenciais riscos da organização. Portanto, por meio de sistemas internos, indicadores e comunicados, devem-se registrar e relatar os principais riscos da operação para toda a companhia, apoiando as lideranças nas tomadas de decisão, e auxiliando as equipes operacionais com as práticas do cotidiano.

O relato faz parte da governança corporativa da companhia. Portanto, assume importante papel no diálogo com os *stakeholders* e no apoio da Alta Direção e órgãos de supervisão a cumprirem suas responsabilidades (GOMES, 2011).

4 METODOLOGIA

Este trabalho pode ser considerado uma revisão teórico-analítica, sendo caracterizada como uma pesquisa básica, ou seja, um tipo de abordagem de pesquisa que visa obter uma melhor compreensão de um assunto, fenômeno ou lei básica da natureza. Este tipo de pesquisa é focado principalmente no avanço do conhecimento, em vez de resolver um problema específico. A pesquisa básica também é chamada de pesquisa pura ou pesquisa fundamental. O conceito de pesquisa básica surgiu entre o final do século 19 e o início do século 20, na tentativa de preencher as lacunas existentes na utilidade social da ciência (GIL, 2019).

Sendo assim, foi realizado um estudo com coleta de dados amparado em fontes primárias, por meio de levantamento bibliográfico por ocasião de uma revisão da literatura com método do estado da arte sobre o PGR em minas subterrâneas e as possíveis ferramentas a serem utilizadas na construção dos planos.

Gil (2019) explica que a revisão inclui estudos experimentais, integrativos, estudos de caso, relatos de experiência e compilados quantitativos e qualitativos sobre PGR em minas subterrâneas, mas não ambos ao mesmo tempo. Para que uma revisão seja denominada estado da arte, ela deve incluir estudos experimentais e teóricos. Dados de ambos os tipos de estudos são usados para tirar novas conclusões.

A escolha do método revisão se deu como estratégia metodológica, vista a possibilidade da síntese e a análise do conhecimento científico já produzido acerca do tema proposto, ou seja, uso de ferramentas de melhorias contínuas para elaboração do PGR para minas subterrâneas.

Foi adotada a pesquisa exploratória, que como postula Michel (2020) se trata de uma abordagem metodológica que explora questões de pesquisa que não foram previamente estudadas em profundidade, como é o caso do uso de ferramentas e melhoria contínua para elaboração dos PGR em minas subterrâneas. Geralmente é usado quando o problema estudado é novo ou o processo de coleta de dados é desafiador de alguma forma.

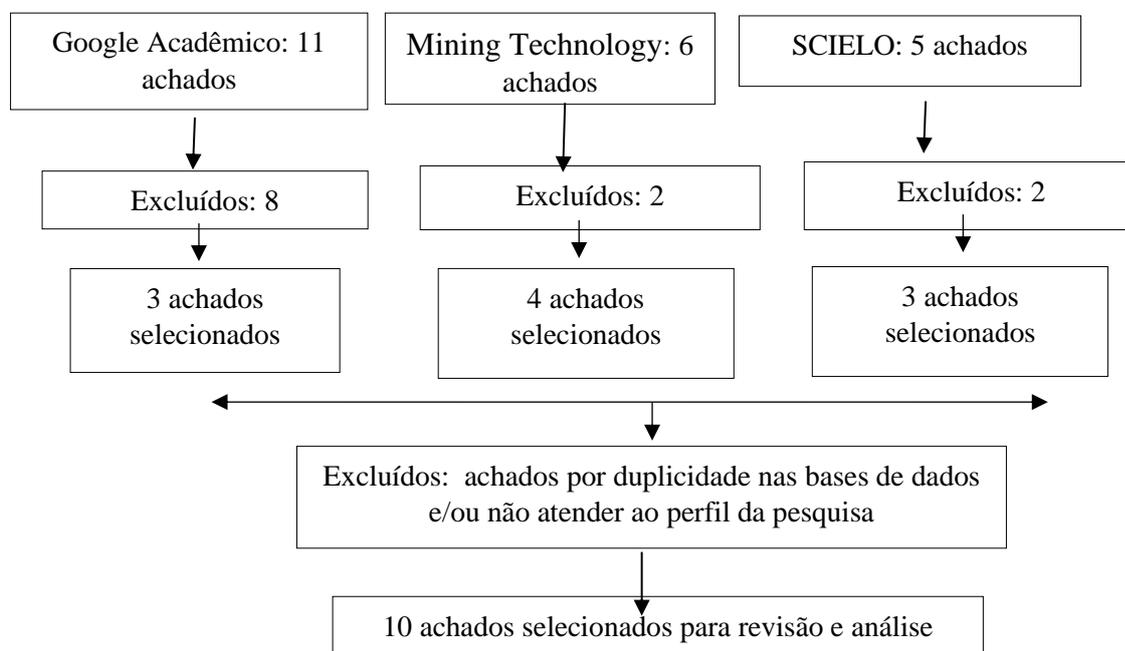
Nesse sentido tem-se que a revisão de literatura e a construção do estado da arte apresentou-se como método de pesquisa desenvolvido com frequência em Michel (2020) esclarece que o objetivo é organizar informações mais relevantes, buscando procedimentos mais eficientes e com custo adequado às circunstâncias.

Na elaboração da pesquisa proposta foi realizado um levantamento dos artigos na literatura indexada no portal de periódicos *Scientific Eletronic Library Online* (SCIELO); na base do Google Acadêmicos -*Science Direct e Mining Technology*, além dos livros de referência. Foram utilizados, para busca de livros e artigos, os seguintes descritores e suas combinações nas línguas portuguesa e inglesa: “Gestão de Risco”; “Minas Subterrâneas”, “Melhoria Contínua”.

Os critérios de inclusão definidos para a seleção dos artigos foram: artigos publicados em português e inglês; publicações na íntegra que retratassem a temática referente à relação ao uso de ferramentas de melhoria contínua para a construção de um PGR para minas subterrâneas publicados entre 2005 e 2023.

Foram encontradas 21 publicações iniciais, fazendo combinações entre os descritores. A partir da leitura exploratória dos resumos desses materiais bibliográficos encontrados, foram selecionadas 10 publicações que apresentaram proximidade com o tema em questão. As publicações foram lidas na íntegra de modo a confirmar se os assuntos contemplavam a pergunta de interesse, sendo então selecionados como amostra final. O fluxograma seguido para pesquisa nas bases eletrônicas é apresentado na Figura 8.

Figura 8: Fluxograma da busca e seleção dos estudos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Os critérios de exclusão dos artigos inicialmente selecionados envolveram: a sua indisponibilidade de em inteiro teor, não permitir tradução para a língua portuguesa, estar fora do recorte temporal determinado anteriormente, não responder ao objetivo proposto para essa pesquisa e estar duplicado nas bases de dados. Esses 10 achados selecionados foram delimitados apenas na seção “6. Resultados” uma vez que para o embasamento teórico, foi necessário trazer a contribuição de autores que não se limitaram ao contexto das minas subterrâneas e por ser necessário amparar-se em conceitos e termos clássicos, que antecedem o recorte temporal de 2005.

O presente estudo foi desenvolvido seguindo-se uma sequência de etapas que se iniciou a partir de uma revisão bibliográfica dos principais conceitos e normas de gestão de riscos vigentes no mundo, seguida pelo levantamento dos tipos de acidentes e cenários de riscos mais comuns da mineração subterrânea.

As normas ISO 31000 (Internacional) e AS/NZS 4360 (Austrália e Nova Zelândia) foram as principais bases para realizar a introdução dos conceitos básicos de gestão de riscos, e as análises de dados relativos aos acidentes na mineração foram feitas a partir de estudos como os de: Amegbey, Ndur e Adjei (2008), Candia (2009), Erdogan (2016) e Shah et al. (2020).

Todos os estudos citados analisaram dados de acidentes ocorridos na mineração ao longo de algum determinado período. Amegbey, Ndur e Adjei (2008) estudaram os incidentes de uma mina de Ouro da AngloGold Ashanti em Gana (organização multinacional de grande porte), Candia (2009) em um contexto mais geral, de toda a mineração peruana, e Erdogan (2016) e Shah et al. (2020), em pequenas minas de carvão, pertencentes a companhias de pequeno porte.

A abordagem qualitativa foi adotada para compilar e analisar os achados. Gerenciamento de riscos é um tópico relativamente novo no âmbito da mineração e da indústria no geral; portanto, é importante ressaltar a baixa disponibilidade de literaturas especificamente voltadas para gestão de riscos em empreendimentos minerários.

Sob essa ótica, este estudo busca propor um modelo de gestão para os principais cenários de riscos do ambiente subterrâneo, mediante do uso de ferramentas de gerenciamento amplamente utilizadas na indústria. A ferramenta escolhida foi o Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check e Act*, respectivamente correspondentes a Planejar, Fazer, Verificar e Agir), e dentro de cada etapa, foram aplicadas diversas outras técnicas de gestão e melhoria contínua, como o Diagrama de Ishikawa, Método Bowtie e 5W2H, com

o intuito de avaliar os perigos e propor controles que venham a prevenir ou mitigar os impactos da materialização destes riscos.

5 RESULTADOS

5.1 CENÁRIOS DE RISCO NO AMBIENTE SUBTERRÂNEO

De acordo com Coelho (2014), de uma maneira geral, as escavações subterrâneas possuem maior risco do que as operações a céu aberto, pois apresentam menor grau de previsibilidade no que se diz respeito às características do maciço rochoso, por mais detalhada que seja a caracterização geotécnica.

Nesse sentido é que se compilaram dados amparados em estudos de caso publicados na literatura de referência em diferentes minas subterrâneas de modo que se possa mapear quais os mais importantes cenários de risco sob a perspectiva operacional dentro de uma mina subterrânea, a partir de análises de estudos relacionados a acidentes neste ambiente, em diversas localidades.

Para exemplificar, de forma a abranger alguns portes de operações, bem como substâncias minerais diferentes têm-se os casos relatados adiante.

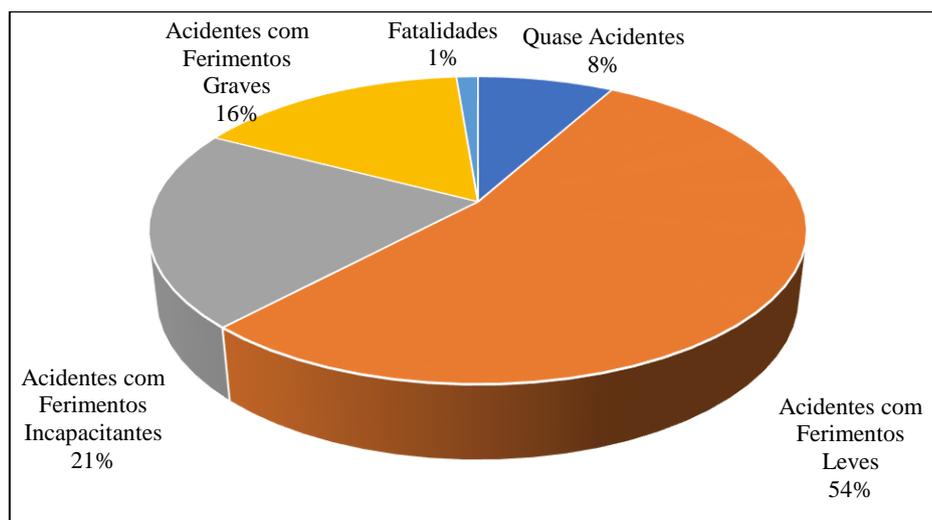
5.1.1 Mina Obuasi – AngloGold Ashanti (Gana)

Amegbey, Ndur e Adjei (2008) realizaram um estudo dos acidentes ocorridos no período entre os anos de 2000 e 2005, na Mina de ouro Obuasi, pertencente à empresa Anglo Gold Ashanti, localizada na cidade de Obuasi em Gana, na África Ocidental.

Os dados foram coletados dos arquivos departamentais e registros de acidentes pessoais do Departamento de Saúde e Segurança (SHD) da companhia. Todos os incidentes foram relatados por meio do preenchimento de um formulário de incidentes, e encaminhados para o SHD.

O total de acidentes subterrâneos relatados durante o período de estudo, conforme informado pelo estudo, foi de 1.502, compreendendo 120 incidentes, 810 acidentes com ferimentos leves, 313 com ferimentos incapacitantes, 240 com ferimentos graves e 19 fatalidades (Figura 9).

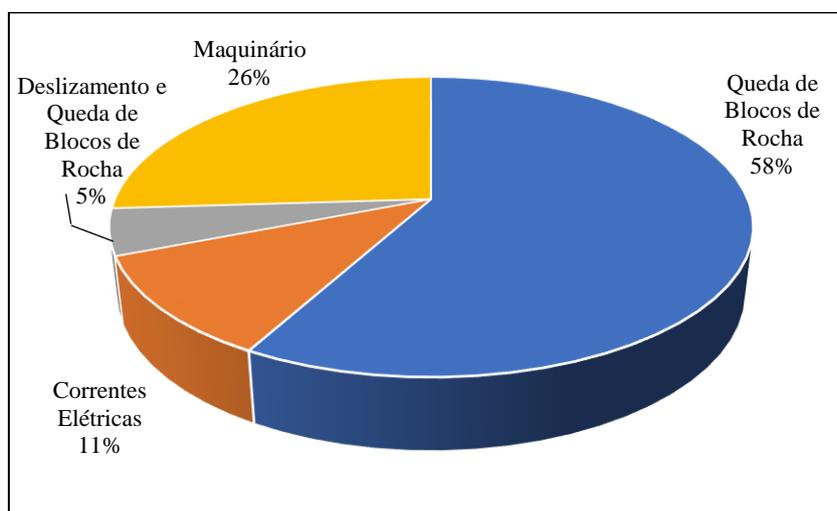
Figura 9: Estatísticas dos acidentes ocorridos entre 2000 e 2005 na Mina Obuasi.



Fonte: Adaptado de AMEGBEY, NDUR e ADJEI (2008)

As causas dos 19 acidentes fatais foram levantadas, conforme mostrado pelo gráfico da Figura 10.

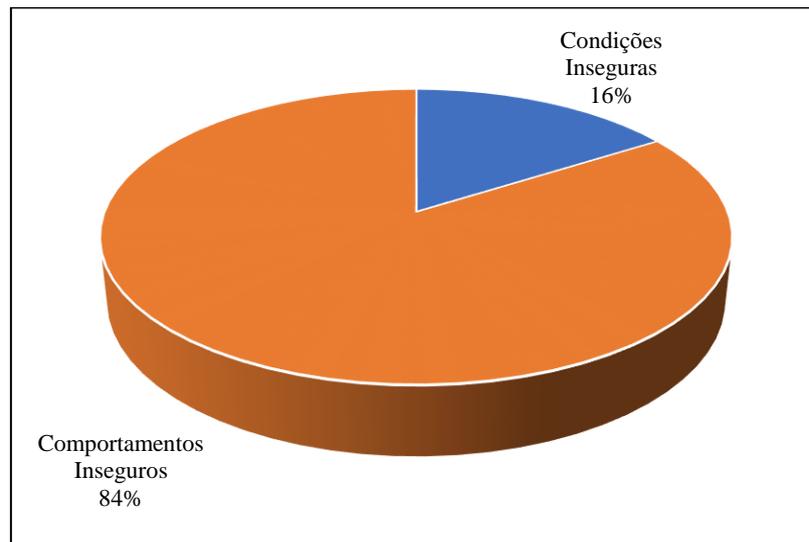
Figura 10: Causas dos acidentes fatais ocorridos na Mina Obuasi entre 2000 e 2005.



Fonte: Adaptado de AMEGBEY, NDUR e ADJEI (2008)

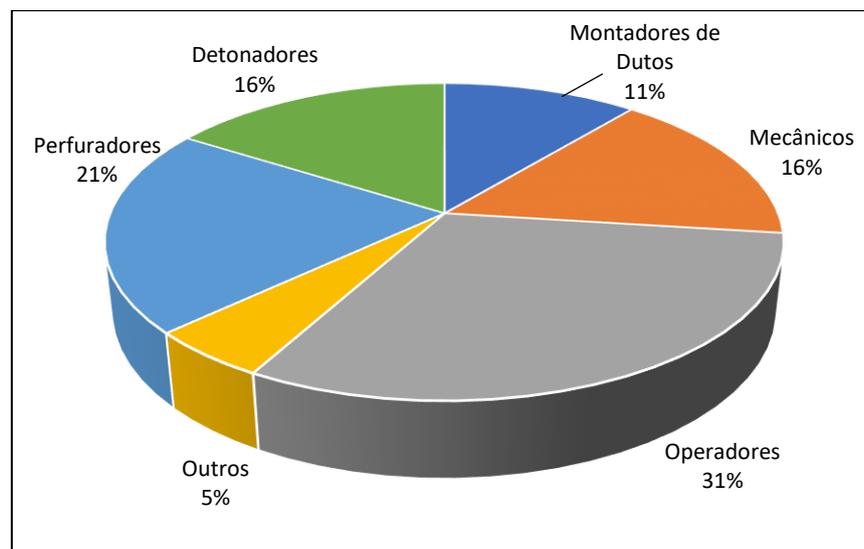
Outros dados relevantes provenientes do estudo realizado em Obuasi, são: a proporção de lesões causadas por comportamentos inseguros e condições inseguras (Figura 10), os cargos ocupados pelas vítimas dos acidentes fatais ocorridos no período (Figura 11) e a produção de ouro com relação à quantidade de acidentes com afastamento (Figura 12).

Figura 11: Lesões causadas por comportamentos inseguros e condições inseguras na Mina Obuasi entre 2000 e 2005.



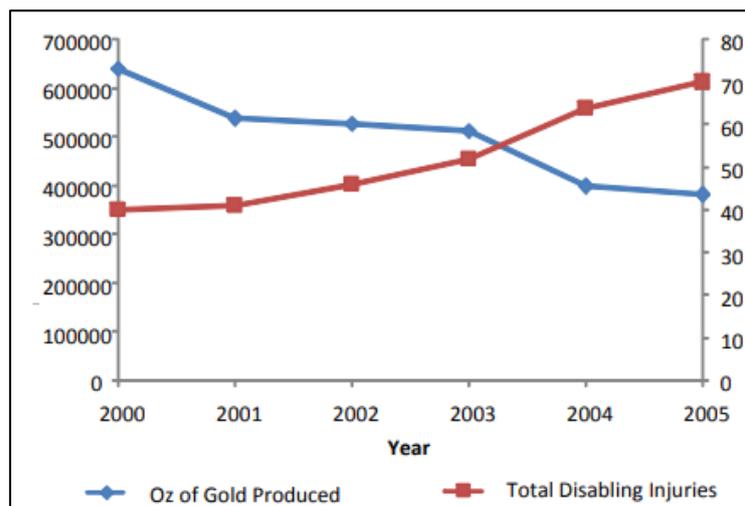
Fonte: Adaptado de AMEGBEY, NDUR e ADJEI (2008)

Figura 12: Cargos ocupados pelas vítimas dos acidentes fatais ocorridos na Mina Obuasi entre 2000 e 2005.



Fonte: Adaptado de AMEGBEY, NDUR e ADJEI (2008)

Figura 13: Impacto dos acidentes com afastamento na produção de ouro da Mina Obuasi (2000 a 2005).



Fonte: AMEGBEY, NDUR e ADJEI (2008)

O estudo também concluiu que a maioria dos acidentes ocorridos na mina de ouro aconteceu durante turno da manhã (54%), seguido pelos turnos da tarde (28%) e noite (18%).

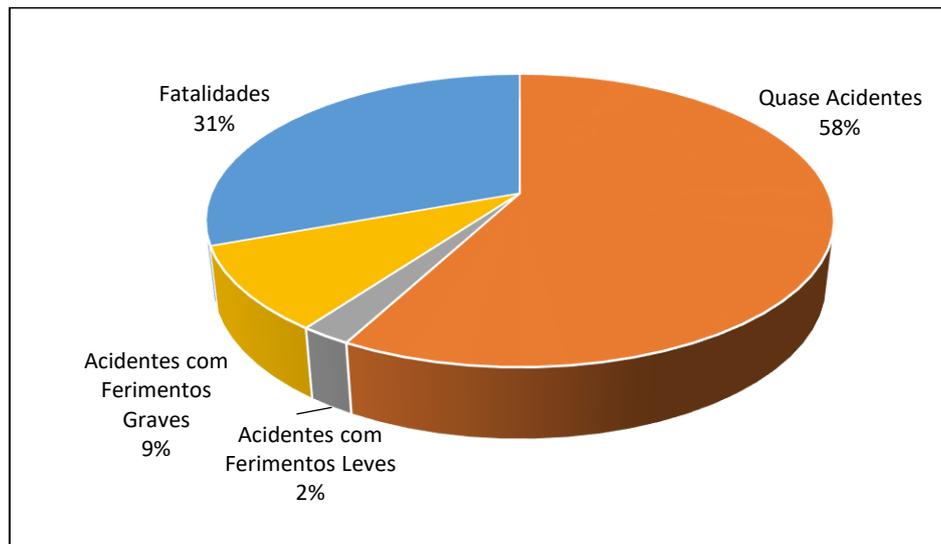
5.1.2 Minas de Carvão em Cherat – Paquistão

Shah (2020) realizou um estudo, em que foi desenvolvida uma análise dos acidentes de minas subterrâneas de carvão da jazida de Cherat, situada no Distrito de Nowshera, na província de e Khyber-Pakhtunkhwa, no Paquistão. Existem seis áreas carboníferas identificadas na região de Cherat; que são Shahkot-1, Shahkot-2, Jaba husky, Jaba thar, Bakhtai e Dag Ismael Khel. Os dados utilizados no estudo foram retirados das minas de carvão Shahkot-1, Shahkot-2 e Bakhtai.

Os dados dos acidentes ocorridos em Cherat durante o período de 1998 a 2019 foram coletados por meio de registros da empresa e da Inspetoria de Minas e Minerais de Khyber Pakhtunkhwa. De acordo com o regulamento das minas de carvão, todos os acidentes ocorridos foram reportados mediante de formulários e enviados à Inspetoria para investigação.

No período de 1998 a 2019, foram registrados 130 quase acidentes, 5 lesões leves, 21 lesões graves e 69 fatalidades, totalizando 225 ocorrências reportadas (Figura 14).

Figura 14: Estatísticas dos acidentes ocorridos entre 2000 e 2005 na jazida de Cherat (1998 e 2019).

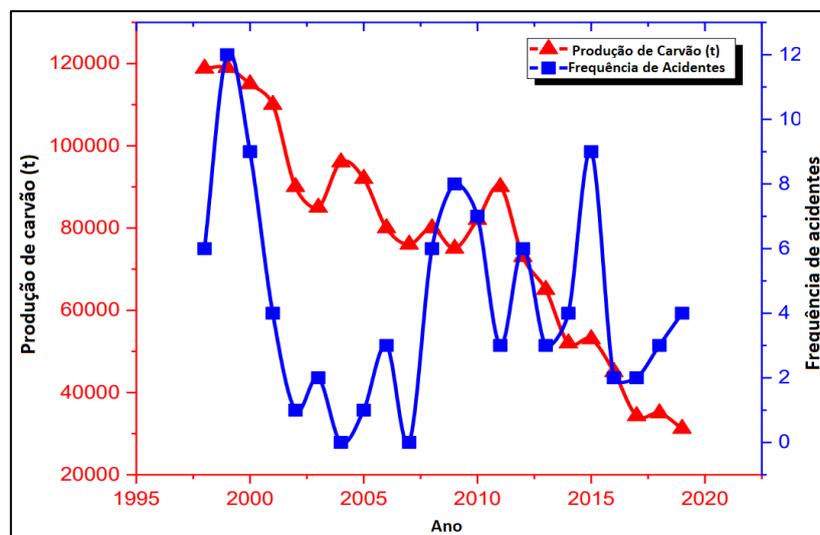


Fonte: SHAH (2020).

O estudo de Shah (2020) não quantifica as principais causas dos acidentes, mas afirma que a maioria ocorreu devido a quedas de teto, seguido de liberação por gases tóxicos, correntes elétricas e deficiência de oxigênio. A pesquisa também afirma que os acidentes são causados principalmente por atos inseguros dentro da área operacional.

O impacto dos acidentes na produção de carvão em toneladas na jazida de Cherat ao longo do período de 1998 a 2019 também foi medido por Shah (2020), conforme mostrado pela Figura 15.

Figura 15: Impacto dos acidentes na produção total de carvão da jazida de Cherat (1998 a 2019).



Fonte: SHAH (2020).

Segundo Shah (2020), a maioria dos acidentes nas minas estudadas ocorreu no turno da manhã (62%), e o restante (38%) ocorreu no durante o turno da tarde. Não há registros de acidentes no turno da noite, portanto, presume-se que as minas da região não operam em jornada noturna.

5.1.3 Mineração no Peru

O trabalho de Candia (2009) realizou uma análise dos acidentes fatais ocorridos entre o ano 2000 e maio de 2008 em minas a céu aberto e subterrâneas localizadas no Peru. As informações foram obtidas por meio de fontes oficiais Ministério de Energia e Minas do Peru, e foram utilizadas como base para o estudo.

Durante o período de análise, foram constatados 471 acidentes fatais, com 531 vítimas. O tipo de acidente com o maior número de vítimas foi o de queda de rochas em escavações subterrâneas (194), seguido por trânsito de pessoas (49), queda de pessoas (48) e escorregamento de terreno (42), conforme mostrado pela Tabela 4.

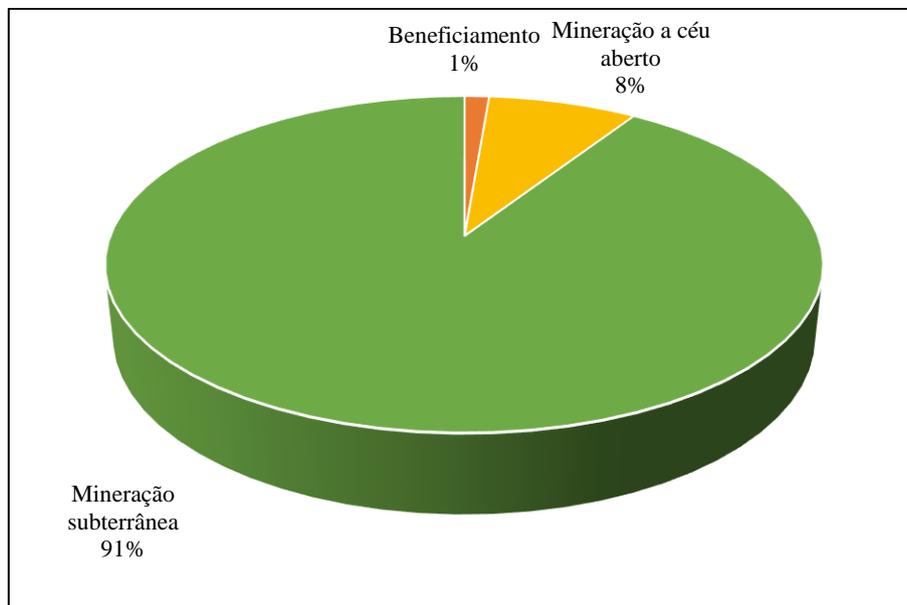
Tabela 4: Número de vítimas em acidentes fatais entre o ano 2000 e maio de 2008 (Peru).

Tipo de Acidente	Quantidade	Frequência (%)
Quedas de rochas	194	36,53
Trânsito	49	9,23
Queda de pessoas	48	9,04
Escorregamento de terreno	42	7,91
Outros	41	7,72
Intoxicação, asfixia, absorção e radiações	38	7,16
Carregamento e transporte	30	5,65
Manobra de equipamentos	24	4,52
Explosivos	23	4,33
Correntes elétricas	19	3,58
Manipulação de materiais	9	1,69
Afogamento ou inundação	6	1,13
Enterramento por afundamento de terreno	6	1,13
Ferramentas	2	0,38
Total	531	100

Fonte: Adaptado de CANDIA, 2009.

A Figura 16 mostra a participação percentual de vítimas fatais segundo o tipo de atividade (beneficiamento, mineração a céu aberto e mineração subterrânea).

Figura 16 - Participação percentual de vítimas fatais segundo o tipo de atividade.



Fonte: Adaptado de CANDIA, 2009.

5.1.4 Minas Subterrâneas de Carvão na Turquia

O estudo realizado por Erdogan (2016) propõe um método quantitativo para análise de riscos relacionados aos acidentes ocorridos nas minas subterrâneas de carvão da empresa estatal *Turkish Hard Coal Enterprises (TTK)*, na Turquia, entre os anos de 1983 e 2014.

O trabalho traz dados disponibilizados pela organização, relacionados aos acidentes fatais ocorridos nas minas, como: número de acidentes, número de vítimas, localização e tipo dos acidentes ocorridos, foram disponibilizados pela empresa, e utilizados como base para o estudo.

No total, foram registrados 19 acidentes fatais, com 950 vítimas, conforme demonstrado pela Tabela 5.

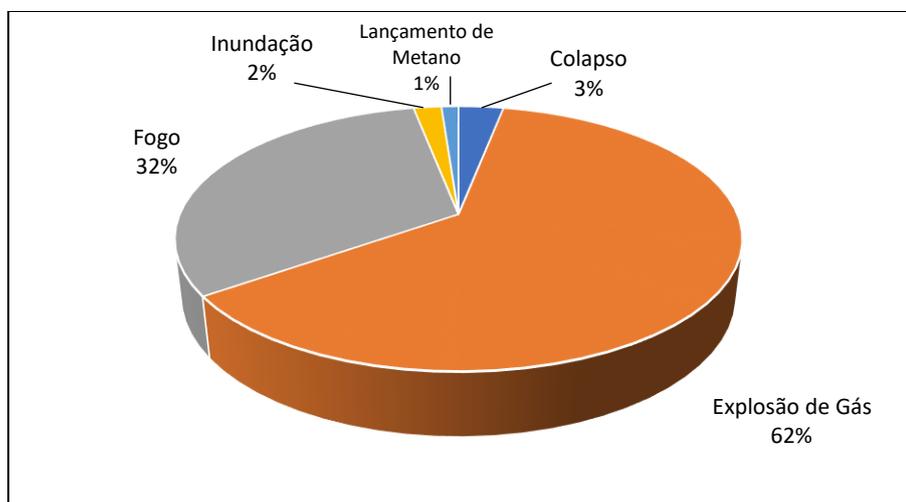
Tabela 5: Número de vítimas em acidentes fatais entre o ano 1980 e maio de 2008.

Local	Data	Tipo de Acidente	Número de Mortes
Zonguldak-Armutcuk	07/03/1983	Explosão de Gás	103
Zonguldak-Kozlu	10/04/1983	Colapso	10
Zonguldak-Kozlu	31/01/1987	Colapso	8
Bartın-Amasra	31/01/1990	Explosão de Gás	5
Amasya-Yeni Celtek	07/02/1990	Explosão de Gás	68
Zonguldak-Kozlu	03/03/1992	Explosão de Gás	263
Yozgat-Sorgun	26/03/1995	Explosão de Gás	37
Erzurum-Askale	08/08/2003	Explosão de Gás	8
Karaman-Ermenek	22/11/2003	Explosão de Gás	10
Çorum-Bayat	09/08/2004	Lançamento de Metano	3
Kütahya-Gediz	21/04/2005	Explosão de Gás	18
Balıkesir-Dursunbey	02/06/2006	Explosão de Gás	17
Bursa-M. Kemalpaşa	10/12/2009	Explosão de Gás	19
Balıkesir-Dursunbey	23/02/2010	Explosão de Gás	13
Zonguldak-Karadon	17/05/2010	Explosão de Gás	30
K. Maraş-Elbistan	10/02/2011	Colapso	11
Zonguldak-Kozlu	08/01/2013	Lançamento de Metano	8
Manisa-Soma	13/05/2014	Fogo	301
Ermenek	28/10/2014	Inundação	18

Fonte: Adaptado de ERDOGAN, 2016.

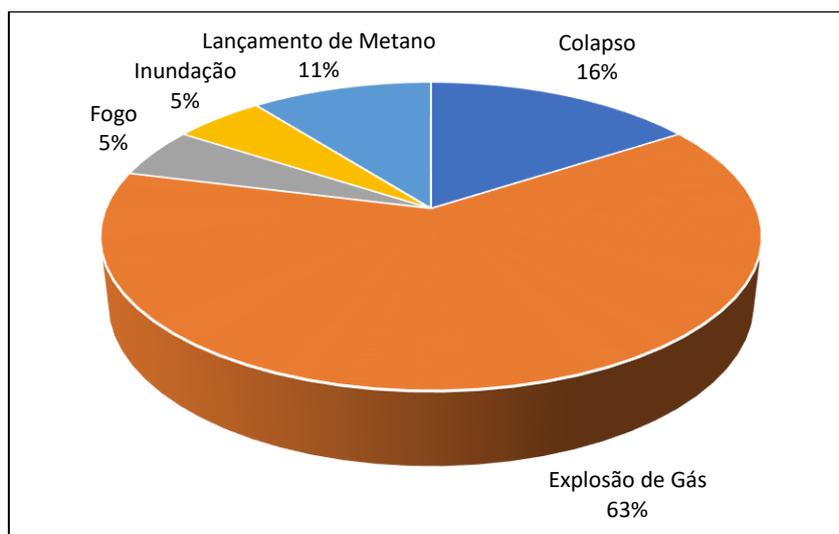
A partir da tabela 5, foram desenvolvidos os gráficos das Figuras 17 e 18 que trazem as informações de participação percentual de vítimas fatais segundo o tipo de acidente e participação percentual de acidentes fatais segundo o tipo, respectivamente.

Figura 17- Participação percentual de vítimas fatais segundo o tipo de acidente.



Fonte: Adaptado de ERDOGAN, 2016.

Figura 18 - Participação percentual de acidentes fatais segundo o tipo.



Fonte: Adaptado de ERDOGAN, 2016.

A impossibilidade de compilar e comparar os dados dos acidentes em minas subterrâneas se deve ao fato de que cada uma delas traz suas especificidades de dimensões, condições físicas e de infraestrutura de trabalho, porte e a legislação típica de cada país na notificação e classificação dos acidentes. É considerado certo que a mineração envolve tarefas arriscadas. Os acidentes de mineração acontecem devido a mau funcionamento de equipamentos, explosivos, quedas, deslizamentos, vazamentos de gases tóxicos e inundações.

Os riscos e controles críticos precisam ser avaliados com o objetivo de identificar os melhores controles para as operações de maior risco. Com base em testes conduzidos em minas subterrâneas, pode-se abordar os principais riscos (interações de equipamentos móveis; queda de alturas/profundidades; queda e queda de objetos; falha no solo/queda de rochas; e pneus e aros) e conhecer melhor o perfil de risco.

A avaliação dos dados de lesões permite a identificação dos tipos de operações e eventos associados ao maior número de lesões e/ou eventos catastróficos nas minas subterrâneas. Perigos críticos e controles para operações de alto risco ajudam os gestores de riscos a tomar decisões sobre as intervenções de segurança mais importantes e eficazes. Planilhas, incluindo os controles, padrões de desempenho de gerenciamento e medidas de desempenho do dia a dia para minas grandes e pequenas devem considerar os controles críticos: objetos caídos ou em queda; situações de queda de alturas; ruptura no solo e queda/desprendimento de rochas; incidentes com equipamentos móveis; falha no aterramento subterrâneo, dentre outros.

O pessoal da mina pode usar as informações fornecidas nessas planilhas para avaliar a necessidade e medir a eficácia dos controles críticos em seu local. Essas informações permitem a introdução de controles em escala, dependentes dos recursos da mina. É necessário explorar e ter domínio de cada risco crítico e controles clicando no título no menu da barra lateral direita.

5.1.5 Discussão

Em incidentes e fatalidades reportáveis, a abordagem da indústria mineral tem enfatizado principalmente sobre experiências passadas e lições aprendidas. Apesar de diferentes técnicas serem utilizadas para extrair metais básicos, metais preciosos, minerais não-metálicos, diamantes e carvão, os perigos não diferem muito.

Segundo Silva (2020), acidentes e questões de segurança relacionados ao trabalho em minas subterrâneas são numerosos. O setor busca identificar causas e propor intervenções para melhoria das práticas. Existe pouca informação, estatística ou dados disponíveis e publicados a respeito da segurança em mineração subterrânea, nem mesmo da lavra, às vezes incluída no grupo indústria extrativa, sem especificação.

Com isso faz-se necessário avaliar conformidade, aplicabilidade, necessidade de atualização de parâmetros numéricos delas, indicar boas práticas como padrão de referência no trabalho e definição de procedimentos operacionais padrão (POPs), debatendo-se com mineradores a respeito do tema.

Assim têm-se condições de continuar seu estudo possibilitando melhoria das operações, estabelecendo sua influência na produtividade das minas.

5.2 O CICLO PDCA NO CONTEXTO DO GERENCIAMENTO DE RISCO DE MINAS SUBTERRÂNEAS

5.2.1 Descrição e aplicações do método

O PDCA também é conhecido como ciclo de Deming ou de Stewart, o método de melhorias PDCA - cuja sigla significa (*Plan, Do, Check e Act*, respectivamente equivalente a Planejar, Fazer, Verificar e Agir), é uma ferramenta de gerenciamento amplamente utilizada na indústria, especialmente na gestão de projetos, processos e da qualidade. O método visa promover continuamente a melhoria dos processos, e é uma

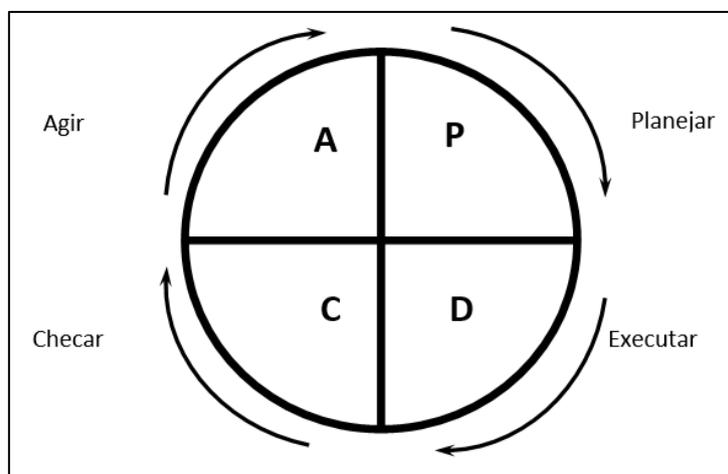
ferramenta relativamente simples, porém se utilizada de maneira adequada, capaz de trazer melhorias significativas para um negócio (OLIVEIRA, SILVA; BRANDÃO, 2022).

A ferramenta (Figura 19) consiste, basicamente, em um ciclo composto por quatro etapas: Planejar, fazer ou executar, checar ou verificar e agir.

Segundo Oliveira, Silva e Brandão (2022), o motivo de receber o nome de ciclo é o fato de o método aplicar as quatro etapas (ou ações) ao processo de maneira cíclica, pois trata-se de uma metodologia de melhoria contínua. Isso acontece, pois o método parte da premissa de que o planejamento não é imutável e sempre deverá passar por ajustes e melhorias, de maneira que os resultados sejam alcançados com maior facilidade, qualidade e eficácia.

De acordo com Santos, Bakke, Araújo e Ferreira (2009), o gerenciamento de riscos, tal como processo de melhoria contínua, onde cada ciclo deve ser atualizado de acordo com os indicadores e a análise crítica deles. Portanto, o processo pode ser implantado conforme a lógica do ciclo PDCA.

Figura 19- Ciclo PDCA.



Fonte: LONGARAY e col., 2017.

5.2.2 Etapa *Plan* (Planejar)

A etapa inicial da metodologia PDCA é representada pela letra P (Planejar). Segundo Andrade (2003), é a mais importante etapa do ciclo, por ser o início e responsável por desencadear todo o restante do processo.

Andrade (2003), define que nessa fase, deve-se debater assuntos como: qual a meta a ser alcançada pela companhia, quais as partes interessadas a serem envolvidas no processo, qual será o prazo para a implantação do plano de ação a ser elaborado, quais os recursos necessários para concluir o plano e qual a base de dados a ser coletada durante o processo.

Segundo Campos (1996), Melo (2001) e Andrade (2003), este módulo do ciclo é subdividido em cinco etapas:

1. Localizar o problema;
2. Estabelecer meta;
3. Análise do fenômeno;
4. Análise do processo (causas);
5. Elaborar plano de ação.

De acordo com Badiru (1993) e Andrade (2003), o êxito futuro do ciclo depende de um planejamento bem elaborado e rico em detalhes, o qual fornecerá dados e informações a todos os demais módulos restantes do método.

5.2.3 Etapa *Do* (Executar)

Posteriormente à etapa de planejamento, tem-se a etapa de execução, definida como *DO*, que pode ser traduzida como *EXECUTAR* em português. Segundo Andrade (2003), neste módulo, com as metas e objetivos traçados anteriormente, coloca-se em prática o plano de ação, também formalizado no módulo anterior. O autor também ressalta que esta etapa será viável apenas se o plano de ação tiver sido bem estruturado ao se realizar o planejamento. Em contrapartida, um plano de ação não alcançará seu objetivo se não colocado em prática.

Conforme estabelecido por Campos (2001), citado por Andrade (2003), este módulo pode ser subdividido em duas etapas principais:

1. Treinamento;
2. Execução da ação;

No treinamento, a companhia tem o dever de divulgar o plano de ação a todos os colaboradores envolvidos em reuniões participativas, evidenciando claramente as ações e a razão delas, assim como responsáveis e prazos. A organização também deve certificar-

se de que todos envolvidos conseguiram compreender as ações a serem executadas, e se a maioria concorda com elas.

Já a segunda etapa, consiste na execução do plano de ação, uma vez que ele tenha sido divulgado. Nesta fase, é importante que verificações periódicas sejam feitas no local em que as ações estão sendo efetuadas.

O autor ressalta que as ações de treinamento de equipe devem ser as primeiras a serem executadas, para que os colaboradores possam estar preparados para a execução do plano de ação.

5.2.4 Etapa *Check* (Verificar)

A terceira etapa do ciclo de melhoria PDCA é denominada como *CHECK*, adequadamente traduzida para o português como *VERIFICAR*. Neste módulo, realiza-se a verificação das ações executadas no módulo de execução.

Essa fase irá se basear nos resultados das ações procedentes da fase de planejamento, e devido a esse fato, todas as ações deverão ser monitoradas e formalizadas adequadamente na fase *EXECUTAR*, para que a verificação dos resultados na fase em questão possa ser realizada da maneira mais eficaz possível (ANDRADE, 2003).

Segundo Andrade (2003), a companhia deve se atentar a todos os indicadores propostos na etapa de planejamento e monitorados durante a execução do plano de ação, interpretando-os minuciosamente, exprimindo quais ações obtiveram bons resultados, e quais não tiveram.

Andrade (2003), sugere a subdivisão deste módulo em três fases:

1. Comparação dos resultados;
2. Listagem dos efeitos secundários;
3. Verificação da continuidade ou não do problema.

Os autores definem que na comparação de resultados, devem-se analisar os dados coletados anteriormente e posteriormente à realização das ações propostas, objetivando a verificação da efetividade delas.

Já na listagem de efeitos secundários, verificam-se os efeitos positivos ou negativos advindos das ações executadas. Caso tenham ocorrido, ciente disso, a organização deve tomar as medidas necessárias relacionadas a estes efeitos.

Na última fase deste módulo, caso o resultado da ação seja satisfatório, é necessário que a organização verifique se todas as ações imputadas foram concluídas.

Caso o problema persista, mesmo após a implementação das ações, infere-se que o plano de ação apresentado foi falho, portanto, deve-se reiniciar o ciclo PDCA, a fim de buscar uma solução adequada para o problema.

5.2.5 Etapa *Act* (Atuar)

A última fase do ciclo PDCA é o processo de padronização das ações executadas, e com eficácia comprovada na etapa de verificação. De acordo com Badiru (1993) e Andrade (2003), neste módulo, as ações devem se basear nos resultados positivos gerados durante a etapa anterior, com o intuito de estabelecer um padrão para essas ações, para que as mesmas possam ser utilizadas em situações semelhantes futuramente.

Segundo Oliveira (2022), esta etapa também consiste nas ações a serem implementadas visando corrigir os gargalos encontrados no passo anterior. É possível se adotar soluções para os problemas e, subsequentemente, refazer o planejamento de acordo com os novos resultados.

5.3 FERRAMENTAS DE GESTÃO AUXILIARES

5.3.1 Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe)

Conforme definido por Costa e Mendes (2018), O Diagrama de Ishikawa, comumente chamado por Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama de Espinha de Peixe, é uma ferramenta de gestão da qualidade que ajuda a levantar as principais causas raiz de um problema, analisando todos os fatores envolvidos no processo.

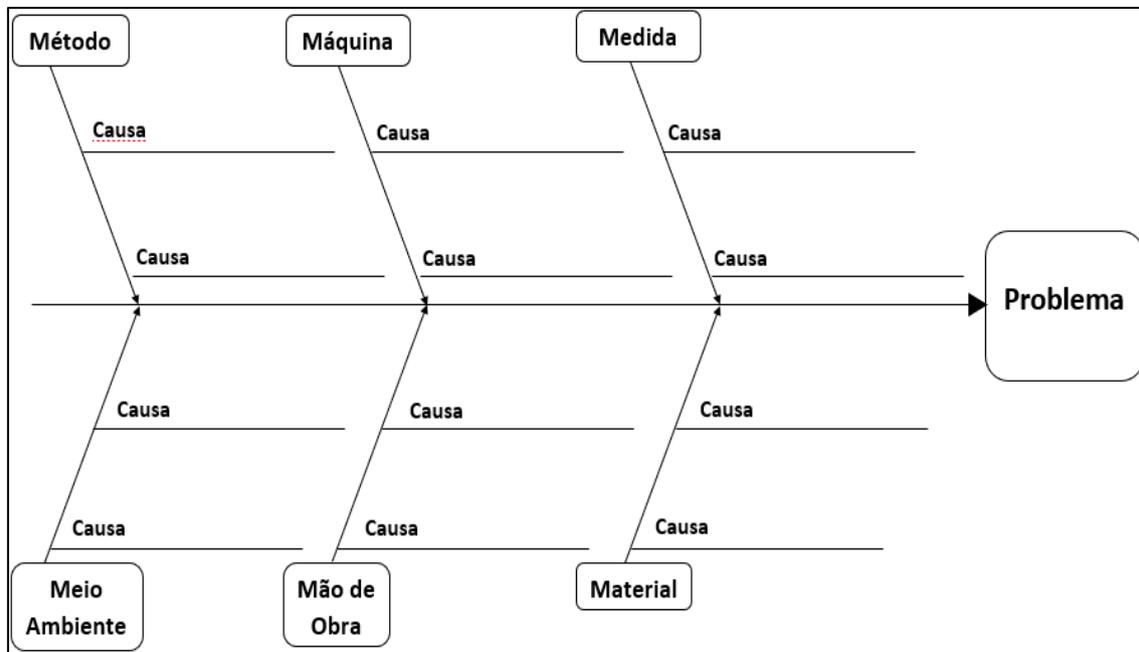
A ferramenta consiste na utilização de um diagrama gráfico usado como método de análise para representar as causas sobre um determinado problema ou risco (efeito).

De acordo com os autores, a metodologia pode ser utilizada seguindo os seguintes passos:

1. Identificação do problema ou risco a ser analisado;
2. Listagem das principais causas e registro delas no diagrama;
3. Construção do diagrama agrupando as causas em “6M” (método, máquina, medida, meio ambiente, mão de obra, material);
4. Análise do diagrama, a fim de identificar as verdadeiras causas do problema;

O diagrama da Figura 20 é construído a partir de um *brainstorming* (tempestade de ideias), ou seja, pode ser elaborado em reuniões em grupo de discussões, em que as ideias de cada *stakeholder* pode ser expressa sem restrições.

Figura 20 - Exemplo Genérico do Diagrama de Ishikawa



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

5.3.2 Metodologia *Bow-Tie*

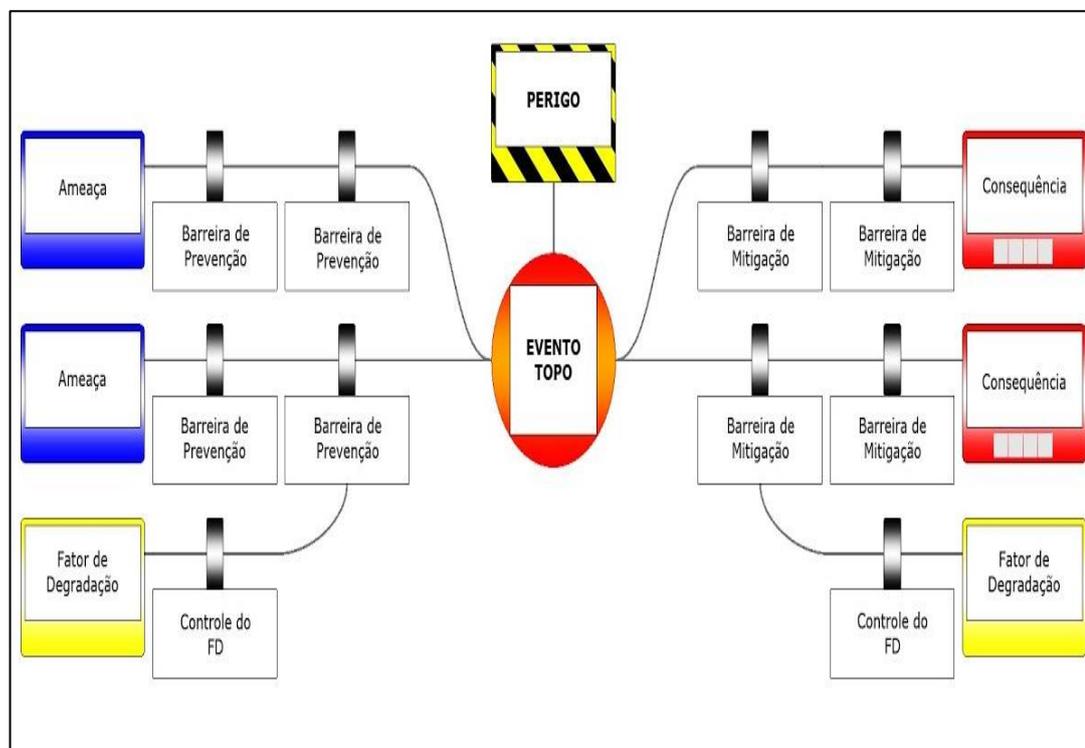
A ferramenta *Bow-Tie Analysis* ou “análise de gravata borboleta”, permite uma análise dinâmica das causas que favorecem à materialização de um risco, bem como facilita a quem a usa, a proposição de controles de risco preventivos e/ou mitigatórios a serem inseridos dentro de uma operação. De acordo com Kopkin (2018), a proposta da ferramenta é representar as atividades de gerenciamento de risco em evolução constante.

Segundo Silva, Trombine e Correa (2019), o método fornece um melhor entendimento das relações entre as causas de algum evento e suas barreiras ou controles de prevenção e mitigação de impactos. O método também faz a verificação das possibilidades de propagação (fatores de propagação) caso ocorra a falha de qualquer um dos controles.

A ferramenta consiste em um diagrama utilizado para mapear todas as ameaças, causas e consequências de um evento causado por um perigo. Dentro de cada um destes

elementos, é possível se estipular barreiras ou controles de risco, conforme demonstrado pela Figura 21.

Figura 21 - Exemplo genérico do diagrama utilizado pelo Método *Bow-Tie*.



Fonte: BowTieXP, 2022.

Este tipo de diagrama pode ser construído mediante do uso de *softwares* como o BowTieXP, e, podem ser essenciais para a elaboração de Planos de Ação referentes à gestão de riscos, e possibilitar aos especialistas, uma definição de controles e barreiras de maneira dinâmica, visual e assertiva.

5.3.3 Método 5W2H

De acordo com Mello (2016) citado por Silva (2019), a ferramenta 5W2H pode ser utilizada na elaboração ou implantação de planos de ação de maneira objetiva, executando um *checklist* por meio de perguntas que permitirão, a partir das respostas, gerar um plano para tomada de decisão quanto as ações a serem realizadas, bem como nomear os responsáveis e definir prazos.

O nome 5W2H se refere às sete perguntas a serem respondidas na elaboração do plano de ação: *What, Who, When, Where, Why, How, How much* (O que, quem, quando, onde,

por que, como e quanto). Estas perguntas e respostas podem ser distribuídas em tabelas de modo a facilitar a organização das informações, conforme demonstrado pela Tabela 6.

Tabela 6 - Método 5W2H

What (O que)	Who (Quem)	When (Quando)	Where (Onde)	Why (Por que)	How (Como)	How much (Quanto custa)
O problema a ser resolvido	Responsável que irá executar a ação	Prazo para a conclusão da ação	Local exato onde a ação deverá ser executada	Motivos que levaram à proposição da ação visando a resolução do problema	Método a ser utilizado para a resolução do problema	Custos relacionados a resolução do problema

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

5.4 GERENCIAMENTO DE RISCOS DE QUEDAS DE BLOCOS DE ROCHA EM MINAS SUBTERRÂNEAS

Nesta etapa, o presente estudo focou em identificar quais são as causas-raiz do problema, ou seja, os riscos de quedas de blocos de rocha e acidentes causados por eles, e conseqüentemente, a definição de um plano de ação com o intuito de prevenir ou mitigar os impactos gerados pelo risco ou evento.

a) Localização do problema e estabelecimento da meta

Conforme relatado por Amegbey, Ndur e Adjei (2008), Candia (2009) e Shah (2020), a maioria dos acidentes fatais em escavações subterrâneas se deve à queda de blocos de rocha. Logo, trata-se do cenário de risco mais representativo no âmbito da mineração em subsolo.

Portanto, iniciando a etapa de planejamento pela identificação do problema, tem-se que o maior causador de acidentes fatais dentro do ambiente subterrâneo, é o risco de colapso do maciço rochoso, ou queda de blocos de rocha. Sendo possível considerar este como o principal problema a ser atacado pelo modelo de gerenciamento de riscos proposto pelo presente estudo.

Como o estudo encaixa-se em um contexto geral da mineração em subsolo, e não em um caso específico de apenas uma mina, tornando o estabelecimento de metas de maneira quantitativa incerto. Portanto, considerou-se que a meta a ser adotada, será a

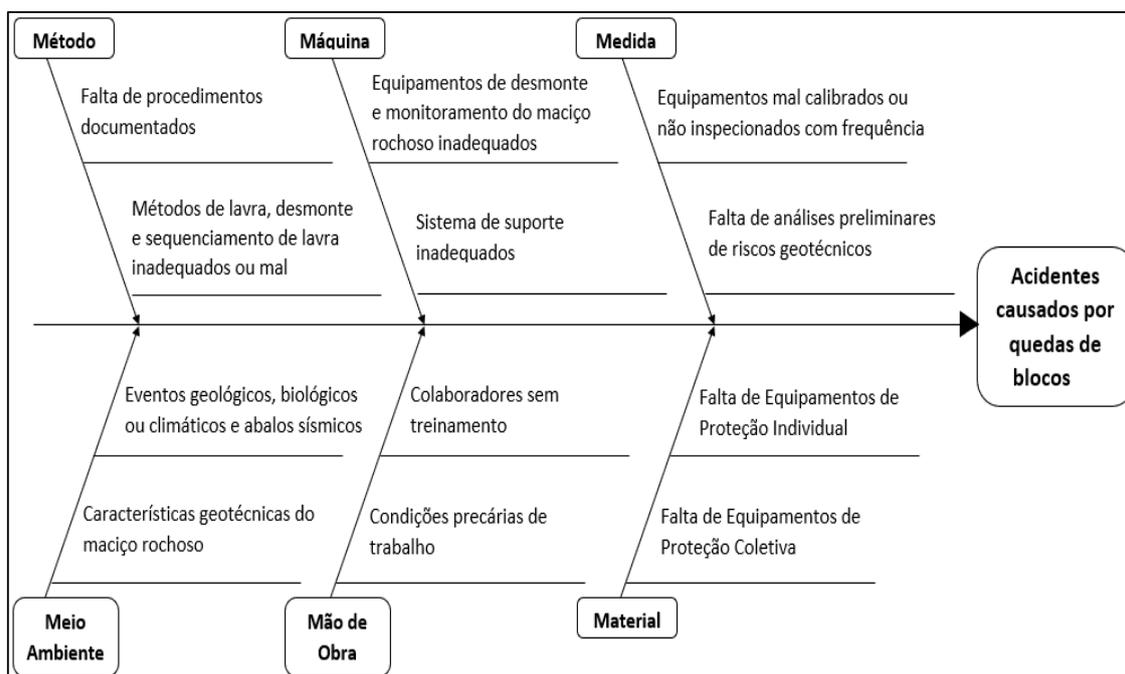
diminuição da materialização de riscos, e conseqüentemente, do número de fatalidades ocorridas em minas subterrâneas.

b) Análise do fenômeno e processo

A queda de blocos normalmente é originada devido a alterações do maciço rochoso geradas por eventos geológicos, biológicos ou climáticos. Segundo Sala (2016), a partir do momento em que é feita a escavação em uma galeria mina subterrânea, ela pode apresentar condições geotécnicas inesperadas, mais suscetíveis a quedas de blocos e maior potencial de rupturas.

Para se analisar cada fenômeno, é de extrema importância compreender os motivos que levam à materialização de cada risco. Portanto, para realizar o levantamento das principais causas do processo de quedas de blocos de rocha em minas subterrâneas, utilizou-se o Diagrama de Ishikawa (Figura 22).

Figura 22 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

A partir da análise do diagrama, é possível se identificar as causas raízes do problema, auxiliando inclusive na próxima sub etapa, a elaboração do Plano de Ação, cuja intenção é prevenir ou mitigar a materialização do risco.

No que se diz respeito à metodologia, é essencial que os métodos de lavra, desmonte e sequenciamento (planejamento de mina) sejam escolhidos de maneira assertiva, e realizados de acordo com procedimentos padronizados por documentos normativos em conformidade com as normas relacionadas à saúde, segurança e meio-ambiente. Pois, no caso de se escolher um método inadequado para o depósito a ser explorado, aumenta-se o risco de algum colapso vir a ocorrer.

Os equipamentos de lavra, monitoramento geotécnico e sistemas de suporte, se escolhidos de maneira equivocada ou apresentarem defeitos devido à falta de manutenção, inspeção ou calibração, também podem deixar de evitar ou mitigar os impactos que eventos indesejados podem trazer, não só para os riscos de queda de blocos, mas como também para diversos riscos presentes dentro de uma mina subterrânea.

Já tratando-se da mão-de-obra, a falta de treinamento e boas condições de trabalho pode ser um importante causa quando se analisam todos os tipos de fatalidades que ocorrem no subsolo. De acordo com Amegbey, Ndur e Adjei (2008) e Shah (2020), a grande maioria destes acidentes ocorrem devido a comportamentos inseguros praticados pelos colaboradores, e não por condições inseguras. Portanto, ter equipes treinadas e com equipamentos de proteção individual e coletiva é de extrema importância para a segurança ocupacional do empreendimento.

Porém, a ação do meio ambiente pode ser uma das principais causas dos colapsos ocorridos em operações subterrâneas. Há uma série de parâmetros geológicos e geotécnicos intrínsecos do depósito que podem favorecer a ocorrência de rupturas, além de fatores externos da natureza, como eventos biológicos, climáticos e sísmicos (questões hidrogeológicas), como os *rock bursts*. Portanto, os especialistas de gestão de riscos possuem o dever de implementar controles capazes de prevenir, ou ao menos mitigar os impactos de uma ruptura do maciço, com o intuito de preservar a saúde ocupacional dos colaboradores, o meio ambiente, e consequentemente a viabilidade econômica e reputação da companhia perante a sociedade.

5.5 ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

O presente estudo iniciou a elaboração do Plano de Ação pela proposição de controles de risco, e a ferramenta escolhida foi o Método *Bow-Tie*, comumente utilizado na indústria mineral. Para cada ameaça ou possível consequência, foram propostas

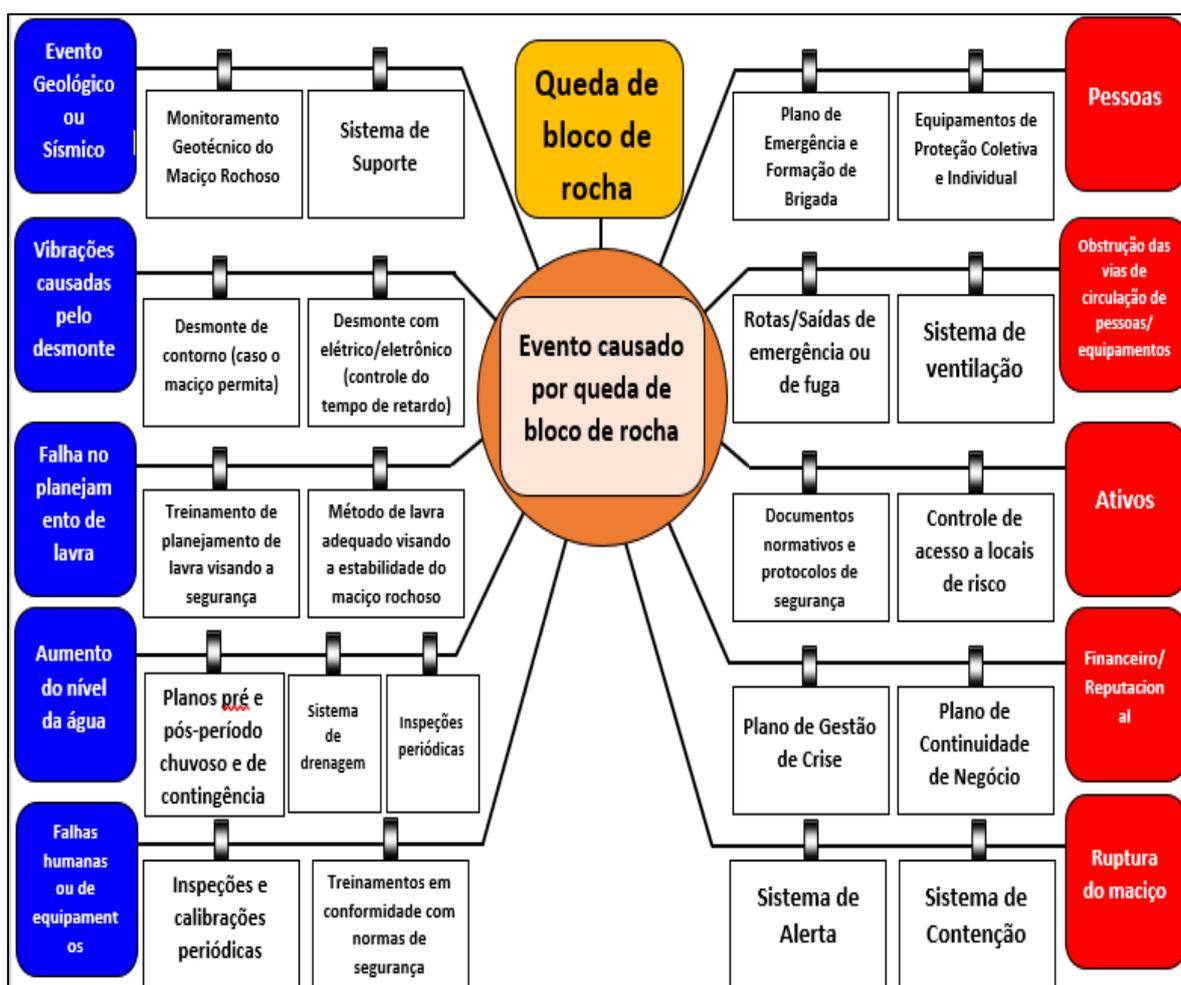
barreiras preventivas ou mitigatórias, visando evitar ou diminuir os impactos da materialização do risco de queda de bloco de rocha.

5.5.1 Proposição de PGR amparado na Metodologia *Bow-Tie*

Para se propor controles de risco, é necessário se analisar cada uma das possíveis ameaças ou consequências de sua materialização. O Método *Bow-Tie* ou gravata borboleta possibilita esta análise de maneira amigável visualmente, e pode ser utilizado mediante de *brainstormings* realizados pelas equipes de riscos, geotecnia, segurança do trabalho e demais *stakeholders* (partes interessadas) do empreendimento.

Este estudo utilizou o método da gravata borboleta para analisar o risco de queda de bloco de rocha e os eventos que podem ser causados pela materialização do mesmo, conforme mostrado pela Figura 23.

Figura 23 – Diagrama *Bow-Tie* do risco de queda de blocos de rocha.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

É importante ressaltar que a mineração tem sido identificada como um dos setores com taxas de lesões que são consistentemente superiores a todas as outras indústrias e, portanto, é preciso aumentar o reconhecimento de condições e práticas perigosas e desenvolver intervenções de engenharia que mitiguem as condições com mais frequência associados aos acidentes que ocorrem na dinâmica operacional das minas.

Muitas das condições perigosas presentes no subsolo, ambiente de mineração, são causados por uma combinação de fatores geológicos e fatores induzidos pela mineração. Reconhecer e avaliar as diferentes condições de estabilidade das minas subterrâneas é uma parte fundamental de um esforço proativo para lidar com os acidentes. A implementação deste processo permite que os tomadores de decisão em todos os níveis determinem o potencial do PGR.

6.5.2 Proposição de PGR amparado na Metodologia do Diagrama de Ishikawa

O diagrama espinha de peixe é um instrumento de representação para segurança de controle do ponto de vista da teoria do sistema, causado pela falta de controle suficiente e restrições relacionadas à segurança. Existe uma certa relação entre o modelo e os projetos de construção de minas de carvão. Com base na introdução dos conceitos básicos do diagrama de espinha de peixe, propõe-se a construção de projetos de minas subterrâneas com um PGR que evite acidentes frequentes.

Com base no modelo de diagrama de espinha de peixe, estabelece-se um modelo de causa de acidente de estampagem de mina subterrânea. Ao mesmo tempo, deve-se realizar uma análise empírica de acidentes típicos, por exemplo de explosão de rochas, e o ponto de partida da análise é o ponto de vista teórico causado por acidentes de sistema.

De acordo com o diagrama espinha de peixe, o processo de acidente é analisado, analisa-se a causa do acidente, descreve-se o acidente e identificam-se os constrangimentos de segurança e os comportamentos de falha. As causas básicas do acidente são analisadas e comparadas.

O diagrama espinha de peixe pode ser bem utilizado na gestão de riscos de grandes desastres em minas subterrâneas. Por meio da estrutura de controle de segurança do modelo de controle de risco, as restrições e os comportamentos de falha de cada nível de controle podem ser efetivamente identificados. De acordo com a interação e *feedback* em todos os níveis, a causa do acidente pode ser analisada e obtida, o que é de grande

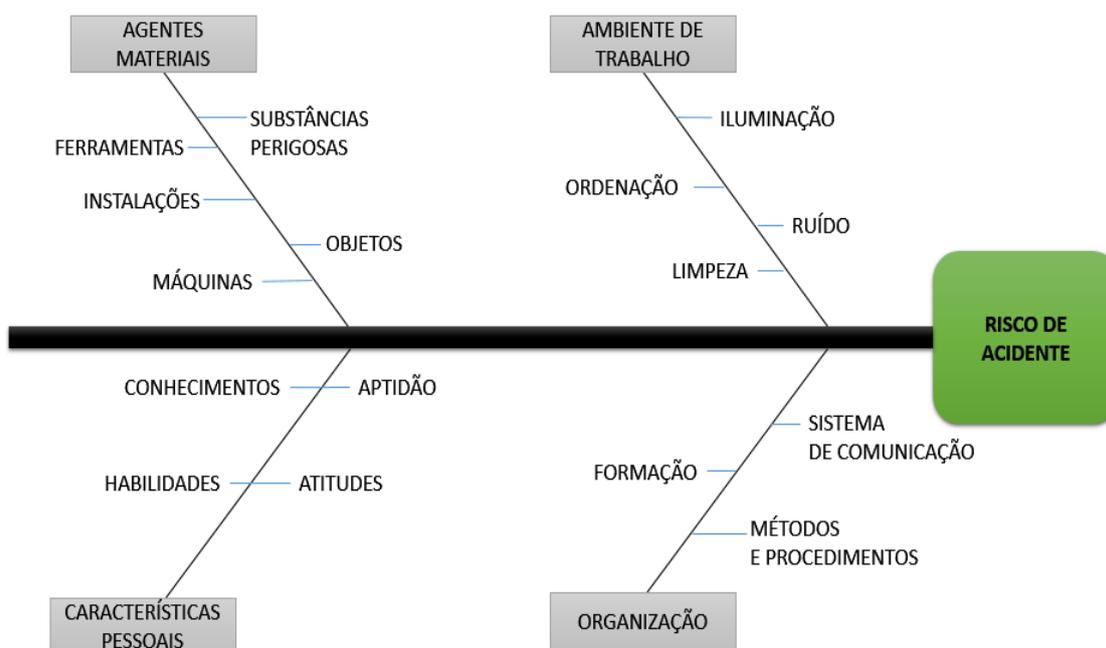
importância para a prevenção e controle de grandes desastres em minas de carvão. as causas básicas do acidente são analisadas e comparadas.

Devido às causas complexas dos acidentes, é difícil para o modelo de análise tradicional identificar os acidentes de forma abrangente. Com base no diagrama espinha de peixe, o sistema adota o método de avaliação de segurança do sistema, e mediante a construção do modelo e *feedback*, os fatores de risco no sistema podem ser identificados com precisão e controles eficazes podem ser encontrados, de modo a prevenir a ocorrência de tais acidentes.

O diagrama de espinha de peixe foi construído para analisar os riscos das operações de uma mina subterrânea com o objetivo de descobrir a causa dos acidentes e analisá-los, absorver a experiência do acidente e melhorar a segurança das operações de produção.

O diagrama espinha de peixe mostrado na Figura 25 pode ser feito com análise causal dos acidentes e verificar a existência dos muitos fatores causadores, mas geralmente esses são divididos em interferência, gerenciamento de defeitos e falha de *feedback* de restrição.

Figura 25 – Metodologia do Diagrama de Ishikawa para gestão de riscos em minas subterrâneas



Ao usar o diagrama de espinha de peixe para o PGR de minas subterrâneas pode-se obter o processo físico e vários motivos da gestão e descobrir a influência mútua entre as diferentes condicionantes que controlam os riscos operacionais. Deve-se trabalhar com a tendência de impacto do próprio e a profundidade excessiva de mineração são os principais fatores dos acidentes.

Ainda que se tenham falhas técnicas dos mineiros, elas não sejam a causa direta de alguns acidentes, dado que a raiz do problema está na ausência de um plano de educação e treinamento de segurança para esses operários, o que acaba refletindo em uma cultura de descaso, ausência de conscientização, negligência e imperícia que acaba resultando na previsão imprecisa de perigo e supervisão por reguladores locais autoridades.

Muitas vezes, a falha também é a principal causa de acidentes. Muitas podem ser as falhas na avaliação de segurança de minas subterrâneas. O foco aqui é dado aos fatores de impacto na segurança das minas e não compreende totalmente o impacto de vários aspectos sobre a segurança de minas subterrâneas.

A fim de garantir a segurança das minas tanto quanto possível, a avaliação deve ser mais precisa. Devem-se analisar vários fatores de influência, não apenas o impacto de um único risco da mina, mas também incluir mais aspectos, de modo a realizar o risco mais preciso na gestão e controle da segurança de uma mina subterrânea.

6.5.3 Método 5W2H para minas subterrâneas

A falta de clareza nas tarefas gera dúvidas, aumenta o prazo para a tomada de decisões e contribui para dificultar a comunicação entre pessoas e o fluxo operacional e de produção das minas subterrâneas, além de comprometer o gerenciamento de riscos operacionais e produtivos. Sabe-se que a gestão não é fácil, principalmente quando não há planejamento quanto a prazos ou delimitação de responsabilidades no escopo de funcionamento das minas subterrâneas.

Com isso, o método 5W2H pode ser utilizado como ferramenta útil e com ampla aplicabilidade no gerenciamento de riscos operacionais e produtivos, capaz de agilizar seus processos e contribuir para a execução do seu plano de ação para as minas subterrâneas. Visando simplificar o planejamento de qualquer atividade, é inicialmente utilizado para trazer melhorias para a gestão da qualidade um exemplo, que pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Metodologia método 5W2H - exemplo de falha em equipamento

Citisystems		Relatório de Medidas Conta Quebra-Falha do Equipamento					
Número: 2045	Data: 28/08/2016	Área: Área 1 - Painel E01	Produto/Processo: Projetor				
Descrição do Problema:					Data/hora ocorrência	Data/hora restauração	
A lâmpada do retroprojetor queima depois que se liga a chave					28/08/2016 14:00	28/08/2016 16:00	
<p>5 Por quês</p> <p>Por que? → A corrente elétrica excedeu a especificação. Portanto</p> <p>Por que? → Houve um pico de corrente. Portanto</p> <p>Por que? → circuito elétrico sobrecarregado. Portanto</p> <p>Por que? → Estava desbalanceado. Portanto</p> <p>Por que? → Não foi feito estudo de carga. Portanto</p> <p>Causa Raiz</p>					Tempo Conserto	Tipo de Quebra/Falha	
					2 Horas	Acidental Recidência	
					Itens Pesquisados	Resultados	
					Queimou Componente?	Sim. Supressor de entrada	
					Verificou projeto?	Sim. Esquema elétrico do painel possui erros	
Tensão correta?	Sim						
Planejamento das Ações:							
O que?	Como?	Quem?	Quando?	Onde?	Por que?	Quanto?	Status
Realizar Estudo Carga	Utilizar multi-medidores de energia na derivação de cada circuito, medindo a tensão, corrente e potência e após realizar o registro em planilha eletrônica padronizada	João	até 29/09/2016	Trafo 1	A fim de possibilitar correções nos circuitos e evitar sobrecargas de energia e queima de aparelhos.	\$ 4.000,00	Em andamento

Fonte: Monteiro, 2022, p.12.

A facilidade de uso dessa ferramenta ampliou sua aplicação, tornando o método 5W2H uma ferramenta de gestão mais difundida e que passou a ser utilizada nas mais diversas situações sendo trazido ao contexto operacional e produtivo das minas subterrâneas. Isso porque a metodologia que compõe a ferramenta é basicamente uma lista de itens que devem ser considerados e respondidos para garantir transparência e entendimento na execução de determinadas atividades nessas minas e seu gerenciamento de riscos operacionais e produtivos.

Essa clareza acontece porque o 5W2H funciona como um mapeamento das atividades das minas subterrâneas, definindo sua ordem de execução, prazos, responsáveis e áreas envolvidas, além de abranger os motivos e objetivos pelos quais essas tarefas são executadas.

A metodologia vai ainda mais longe, incluindo como será feito e quanto custará para a empresa. Conforme mencionado, esta ferramenta visa responder a uma espécie de *checklist* para entender o cenário atual de um determinado processo ou atividade dentro da empresa. Os cinco W's e os dois H's representam sete questões que o método busca responder para trazer a reflexão sobre determinado problema ou necessidade no gerenciamento de riscos operacionais e produtivos conforme sugerido na Tabela 7.

Tabela 7 – Etapas do Método 5W2H para minas subterrâneas

Etapa	Descrição
O que?	Aqui se reflete sobre o que deve ser feito na dinâmica operacional e produtiva da mina, descrevendo as etapas e os resultados a serem alcançados.
Por quê?	Nesta etapa, sua finalidade é explicada. É para resolver uma necessidade nas atividades operacionais e produtivas da mina. Isso melhorará uma etapa, um processo ou um gargalo?
Onde?	Aqui aponta-se o local, setor, área ou departamento da mina subterrânea onde o projeto será executado. O local pode ser físico ou virtual — um banco de dados, por exemplo.
Quando?	A resposta estabelece prazos para cada etapa que será realizada e para a conclusão do projeto nas minas subterrâneas. A criação de um cronograma auxilia no acompanhamento do projeto para a mina.
Quem?	Esta questão ajuda a definir qual(is) profissional(is) será(ão) responsável(eis) pela execução de cada atividade nas minas subterrâneas, bem como um único responsável pelo projeto como um todo.
Como?	Essa etapa é mais ampla, trata-se de descrever como e quais métodos e ferramentas serão utilizados para que as atividades e operações nas minas subterrâneas aconteçam e tragam os resultados desejados. Definir diretrizes para que todos estejam alinhados com o mesmo propósito.
Quanto?	Identificam-se os custos e despesas envolvidos na operação e produção das minas subterrâneas. Lembrando de listar todas as necessidades, como implementação de novos equipamentos ou ferramentas e softwares, contratação de pessoal, consultores, entre outros. Em suma, tudo o que exigirá investimento financeiro.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Quanto melhores e mais detalhadas forem as informações de cada etapa, melhor e mais preciso será o planejamento e, conseqüentemente, o controle e o gerenciamento de riscos operacionais e produtivos inseridas pela proposta desse método nas minas

subterrâneas. As ferramentas da metodologia ágil são um auxílio para acompanhar a execução de tudo o que foi estipulado pelo plano de ação 5W2H no gerenciamento de riscos.

É sabida a facilidade de execução desta ferramenta, e na sua capacidade de esclarecer todas as dúvidas relevantes sobre todos os elementos que compõem um processo nas minas subterrâneas. Esse é o principal motivo para utilizar a metodologia no gerenciamento de riscos operacionais e produtivos visando a agilidade do processo, pois quando há transparência sobre o que é uma tarefa e como ela deve ser realizada, bem como quem é o responsável, minimizam-se e, por fim, evitam-se erros e gargalos que são gerados principalmente por erros ou má interpretação de informações entre pessoas ou setores das minas subterrâneas.

A agilidade nos processos vem de uma melhor execução, o que traz um maior nível de desempenho. Esses indicadores são aprimorados quando os gargalos e suas principais causas são analisados e identificados nas operações e produção das minas subterrâneas.

O mapeamento das atividades nas minas subterrâneas do processo consiste em abranger tudo o que envolve sua execução. Isso proporciona um conhecimento aprofundado de suas deficiências, mas principalmente, ajuda a encontrar alternativas que possam atender e melhorar as necessidades diagnosticadas.

A observação de seus processos, e principalmente das etapas que o compõem, nos fornece o que precisamos para traçar um plano de ação cirúrgica condizente com os resultados almejados. E permite a otimização de recursos. Isso é possível porque, muitas vezes, a gestão sabe que existe uma determinada atividade que exige mais tempo para ser executada, ou mantém altos índices de retrabalho, porém, não sabe por que esse fenômeno ocorre.

Ao aplicar o método 5W2H no gerenciamento de riscos operacionais e produtivos, respondendo a todas as questões na operação e produção das minas subterrâneas, o gestor tem uma visão holística do processo, conhecendo suas deficiências e os motivos que as levam a surgir. Com isso, são criadas soluções e planejado um plano de ação para implementar as devidas melhorias.

Ou seja, o 5W2H no gerenciamento de riscos operacionais e produtivos pode gerar um plano de ação eficiente para melhorar seus processos, ressaltamos a importância de contar com a metodologia de melhoria contínua para aprimorá-los. Além de contribuir com o desempenho, ao contar com uma ferramenta na automação de processos, a empresa

obtem benefícios como economia de tempo, ganhos de produtividade, transparência, qualidade, consistência, redução de custos, melhoria contínua e controle de métricas.

O gerenciamento de risco amparado no 5W2H proporciona a customização e geração de uma série de relatórios que contêm informações relacionadas a cada etapa e ao processo como um todo, enriquecendo e tornando mais assertivo o plano de ação a ser implementado com o 5W2H.

6.5.4 Proposição de PGR amparado na Metodologia PDCA

Na proposta de uso do ciclo PDCA, parte-se do pressuposto de que é preciso uma abordagem de gestão em quatro partes, planejamento, execução, verificação e ajuste. Durante a operação, as quatro fases estão em constante execução e circulação, o problema é resolvido e a eficiência da produção é melhorado continuamente. Os funcionários do sistema não estão apenas em uma posição gerenciada, mas mobilizaram totalmente o entusiasmo em participar do estabelecimento e operação do sistema.

A utilização do sistema de circulação PDCA em minas subterrâneas tem a dualidade de micro e macro. De uma perspectiva macro, todas as práticas de gestão implementadas na mina estão sob a estrutura do gerenciamento ciclo PDCA e a operação de toda a mina está de acordo com este mesmo ciclo de gestão PDCA.

De uma perspectiva micro, o ciclo de gestão PDCA é composto por um método específico, cada meio específico de implementação é executado de acordo com a etapa do ciclo de gestão PDCA de planejar, fazer, verificar, ajustar. Um exemplo pode ser visto na Figura 27.

Figura 27- Modo de operação PDCA do mecanismo de dupla prevenção da mina subterrânea



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Na aplicação do Ciclo de Gestão PDCA na mina inicia-se com:

Fase P — Fase de Planejamento

"P" refere-se ao planejamento, que são as providências e arranjos para o desenvolvimento das coisas futuras. Esse estágio enfatiza a capacidade de compreender e descobrir problemas do *status quo*. Encontrar um problema é o primeiro passo para resolver o problema, que é a condição de analisar o problema. O papel do plano é unificar as atividades dentro da organização e o propósito do futuro, e depois especificar o processo de atividades. Esta função é a função primária de gestão, e outras funções de gestão são derivadas dela.

Quando a fase de planejamento for feita corretamente, esta afetará diretamente a qualidade do gerenciamento de todo o sistema circulatório. No empreendimento da mina, nesta fase, gerentes e técnicos precisam discutir bem o plano de produção da mina. No

nível macro, inclui a vida útil da mina, o esquema geral de exploração, o equipamento técnico, a configuração, a divisão pessoal do trabalho. No nível micro, a quantidade de trabalho por trabalhador precisa ser feita por dia. Isso requer um gráfico do ciclo de trabalho, o organograma do trabalho e outros planos de produção de mineração.

Além disso, o gestor também precisa abordar os frequentes problemas de segurança no processo de produção da mina, considerando os problemas de segurança que podem ocorrer durante a produção, desenvolvendo ações preventivas com antecedência para garantir que o pessoal segurança e o funcionamento normal da produção.

Fase D - Fase Fazendo

"D" significa a implementação do plano de trabalho, que é o processo de atingir a meta desejada por cronograma, alvo e medida, e divisão do trabalho. O plano de trabalho definido na etapa P executará o pedido de maneira forma abrangente, permitindo que cada departamento e indivíduo tenha suas próprias metas específicas, aumentando a produtividade da mão de obra.

Em uma empresa de mineração, esta etapa exige que os gerentes comuniquem as ordens a todos, para que conheçam suas próprias tarefas e como realizá-las. Estes trabalhos são normalmente realizados na preleção antes de irem para o trabalho, e os gerentes precisam informar os trabalhadores sobre o andamento do trabalho subterrâneo, as tarefas que precisam concluir hoje e as questões que precisam de atenção.

Fase C - Fase de Verificação

"C" refere-se à verificação no ciclo de gestão do PDCA, comparando a situação real de trabalho do trabalhador com o plano, verificando o efeito de execução do plano e verificando se a meta foi atingida. Acompanhe o que não é perfeito e encontrar a causa do problema. Em uma empresa de mineração, esta etapa exige que os gerentes supervisionem o trabalho dos trabalhadores e analisem os problemas dos trabalhadores com precisão para fornecer uma referência para melhorias futuras.

Fase A - Fase de Ajuste

"A" significa tomar medidas ou ajustes, analisar os problemas existentes na obra, apresentar as medidas de melhoria, fazer a correção no local onde existem preocupações

de segurança e eliminar os fatores de risco. Em uma empresa de mineração, esta etapa exige que os gerentes aprimorem o plano de produção de acordo com as informações obtidas e propor soluções para os problemas existentes no processo de produção. Ao mesmo tempo, os fatores de risco devem ser erradicados para garantir a segurança da produção.

O *loop* de gerenciamento PDCA está sempre em execução: os problemas antigos são resolvidos e novos problemas podem surgir e os problemas estão constantemente sendo resolvidos. Dessa forma, as mineradoras podem garantir a segurança e, ao mesmo tempo, melhorar a produtividade.

Os problemas do sistema de gestão em empresas de mineração modernas influenciaram muito a segurança e eficiência da produção. Aplica-se a abordagem de gerenciamento do ciclo PDCA ao gerenciamento de empresas de mineração e o problema é constantemente descoberto e resolvido por meio do ciclo contínuo de quatro etapas, o que melhora a sistema de gestão de toda a mina e melhora a eficiência da produção.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou o contexto do setor de mineração que tem centrado esforços no gerenciamento de risco de suas operações para extração e processamento renovada, desenvolvimento e *start-ups*. Sabe-se da contribuição da mineração para a recuperação econômica e colocaram-se muitos projetos em andamento, contribuindo para a inovação e a promoção da segurança da mineração, especialmente nas minas subterrâneas.

O PGR mostrou-se como uma gestão do risco centrada na identificação das incertezas e dos seus impactos associados às várias atividades funcionais realizadas para atingir os vários mandatos, metas e objetivos da empresa.

É certo que, para avaliar o nível de risco (como 'muito alto', 'alto', 'médio' ou 'baixo'), as consequências e a análise de probabilidade devem ser feitas com base no conhecimento de julgamento e nas experiências das atividades operacionais comuns às minas subterrâneas.

Os métodos tradicionais de classificação de risco são demorados e trabalhosos se os insumos forem volumosos. Os perigos que ocorrem em diferentes setores de mineração subterrânea devem ser categorizados e os riscos associados foram previstos usando diferentes ferramentas de melhoria contínua.

A atividade de projeto de mineração subterrânea está sujeita a altos riscos devido ao seu tamanho, incerteza, complexidade e altos custos. Grandes projetos de engenharia são situações de alto risco caracterizados por compromissos irreversíveis substanciais, estruturas de recompensa distorcidas em caso de sucesso e altas probabilidades de falha.

O objetivo desse estudo foi apresentar uma proposta de um PGR com foco nas atividades operacionais e o uso das ferramentas Diagrama de Ishikawa, Método *Bow-Tie*, Método 5W2H e PDCA para minas subterrâneas com base na literatura de referência.

Pode-se dizer que o diagrama de Ishikawa se mostrou como uma ferramenta visual que oferece uma visão geral das causas e efeitos dos riscos operacionais de minas subterrâneas, permitindo que os usuários classifiquem essas causas e efeitos para identificar com precisão as origens do problema.

A técnica de solução de problemas 5W2H mostrou-se, também, como um processo simples a seguir para resolver qualquer problema, fazendo repetidamente a pergunta “Por quê”, para remover as camadas de sintomas que podem levar à causa raiz

dos riscos operacionais comuns às minas subterrâneas. Essa estratégia está, portanto, relacionada ao princípio da solução sistemática de problemas no escopo do PGR.

Com relação ao Método *Bow-Tie* para o PGR em minas subterrâneas mostra-se desafiador quando envolve a construção abrangente do mecanismo de dupla prevenção. Nas minas subterrâneas a investigação de perigo oculto e avaliação de risco muitas vezes estão atreladas à avaliação de risco e aos fatores perigosos e nocivos identificados devem ser investigados e tratados a tempo, de modo a realizar a função de dupla barreira de defesa no PGR.

No PDCA, devem-se compreender as etapas específicas de implementação da construção do mecanismo de prevenção dos riscos identificados nas minas subterrâneas em detalhe. O peso das medidas de controle recomendadas para fatores perigosos e nocivos e a frequência de falhas são usados para melhorar o método do plano da probabilidade de acidente.

A operação das minas subterrâneas é baseada em leis, regulamentos e normas técnicas ao realizar a investigação de perigo oculto, dos riscos, que leva ao desvio entre os pontos chave de operação segura. O PGR envolve muitos aspectos, como processo de produção, sistema e segurança.

Deve-se notar que o banco de dados compilados de minas subterrâneas é bastante parecido aos usados para as minas a céu aberto. Isso sugere que os riscos e perigos identificados são aplicáveis, com alguns ajustes, às minas subterrâneas em geral. Existem algumas discrepâncias devido às características do processo e procedimento e aos tipos de minas, bem como diferenças na percepção das consequências dos riscos e perigos aos trabalhadores.

Pode-se concluir que a elaboração de PGR amparando em ferramentas de melhorias contínuas traz a concepção de uma nova abordagem prática para gerenciamento de riscos aplicável a projetos de mineração subterrânea. É preciso sempre aprimorar os métodos de gerenciamento de praticamente todos os riscos em projetos de mineração e envolver a adaptação de novos conceitos desenvolvidos no contexto da mineração de ouro a céu aberto para o contexto subterrâneo.

Defende-se a adoção de método de avaliação de riscos operacionais em minas subterrâneas que pode ser usado para ajudar a gerenciar mineradores, as exposições e as condições instáveis, de modo que os acidentes possam ser reduzidos. A indústria de mineração subterrânea tem enfrentado a necessidade aguda para esta capacidade porque as técnicas atuais de avaliação de riscos são limitadas por dificuldades com a avaliação

condições de trabalho, das atividades operacionais para minas subterrâneas e as suas diferentes condições.

Sugere-se que seja padronizado e constantemente atualizado um manual ou um documento nacional de Diretrizes Básicas para o PGR em minas subterrâneas de base orientativa. No referido documento pode-se exemplificar como se elabora o PGR com uma breve descrição (com diagramas, se apropriado) da mina, das máquinas ou equipamentos e do fluxo operacional. Deve-se enfatizar a necessidade de se fazer um breve resumo (do contexto do estratégico, pontos de vista organizacionais e de gestão de riscos da mina. Descrever em uma lista, as pessoas envolvidas na etapa de identificação de riscos, juntamente com seus papéis organizacionais. Além disso, é preciso ter um esboço da abordagem usada para identificar os riscos, incluindo uma lista das palavras-chave ou um método semelhante, somando com um esboço do método adotado para avaliar a probabilidade e consequências dos riscos.

Sob as condições de perturbação da mineração, as minas subterrâneas de riscos múltiplos estão sujeitas à interação de fatores complexos, e a possibilidade de acidentes é extremamente alta, a probabilidade de ocorrência de desastres varia, além das características e mecanismos causadores de vários desastres também serem diferentes.

A análise de risco único não pode realizar a medição unificada de risco e não reflete o risco abrangente de minas subterrâneas. Para avaliação de risco de sistema complexo, há uma falta de uso de um método de avaliação que seja aplicado a vários sistemas locais e reflita o risco geral do sistema. E, é nesse sentido que vale frisar a existência de diversas outras ferramentas de melhoria contínua que podem ser utilizadas de modo complementar para reforçar o propósito de um PGR em minas subterrâneas.

REFERÊNCIAS

AMEGBEY, N., NDUR, S.; ADJEL, R. K. Analysis of Underground Mining Accidents at AngloGold Ashanti Limited, Obuasi Mine, **Ghana Mining Journal**, pp. 25 – 29.

ARAÚJO, J. C. E. **Risco de reputação e compliance**. In: OLIVEIRA, Virgínia Izabel de (Org.); PINHEIRO, Juliano Lima (Org.). *Gestão de riscos no mercado financeiro*. São Paulo: Saraiva Educação, p. 229-253, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 31000:2018. *Gestão de Riscos – Diretrizes*, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 10006: *Gestão da qualidade – diretrizes para a qualidade no gerenciamento de projetos*. 2006.

AUSTRÁLIA. **Risk assessment and management**. 2008. Leading practice sustainable development program for the mining industry. Minerals Council of Australia.

BADRI, A. The challenge of integrating ohs into industrial project risk management: Proposal of a methodological approach to guide future research (case of mining projects in Quebec, Canada). **Minerals**, v. 5, n. 2, p. 314–334, 2015.

BUDKE, A. L. **Elaboração do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) em pedreira**. 2012. 30f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Três de Maio, 2012.

CAMPOS, P. H. A. et al. **Health and Safety in Brazilian Mines: A Statistical Analysis**. In: *Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection – MPES 2019*.

CANDIA, R. C., HENNIES, W. T., IRAMINA, W., & ELGUERA, J. F. S. Análise de acidentes fatais na mineração: o caso da mineração no Peru. *Rem: Revista Escola De Minas*, 62, **Rem: Rev. Esc. Minas**, 2009 62(4).

CATTABRIGA, L.; CASTRO, N. F. **Saúde e segurança no trabalho**. In: VIDAL, F. V.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. *Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. cap. 8, p. 399-432.

COELHO, A. M. **Gerenciamento de riscos geotécnicos em obras subterrâneas de tuneis**. 2014. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

CRUZ, F. D. C955p **Proposta para modelo de gerenciamento de risco, visando a mitigação de acidentes ampliados na mineração** [recurso eletrônico] / Fernando Discacciati Cruz. – 2021.

CUNHA, P. V. P. Da. **Análise dos Riscos Ocupacionais na Mineração de Calcário**. Marabá: Universidade Federal Do Pará, 2014.

DRAGAN, K.; GEORGES, L.; MUSTAFA, K. Organization: A new focus on mine safety improvement in a complex operational and business environment. **International Journal of Mining Science and Technology**, v. 27, p. 617-625, 2018.

ERDOĞAN, H. H. **A case of turkish hard coal enterprises**. 2016. Tese de Doutorado. School Of Applied and Natural Sciences of Middle East Technical University.

FERMA. FEDERATION OF EUROPEAN RISK MANAGEMENT ASSOCIATIONS. **Norma de Gestão De Riscos**. AIRMIC, ALARM, IRM: 2002, translation copyright FERMA: 2003.

FISCOR S. New Tools for Back Support. **Revista WOMP**, v. 07. 2020. Disponível em: www.womp-int.com. Acesso em 12 de de dez.

FREITAS, C. M; SILVA, A. S. Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. **Rev Bras Med Trab**. 2009;17(1):21-9.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOMES, L. O. **Proposta de modelo para a construção de um programa de gerenciamento de riscos para a mineração de carvão em subsolo**. 2011. 52f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

KAPLAN, S.; GARRICK, J. On The Quantitative Definition of Risk. **Risk Analysis**, Vol. I, No. I, 1981.

KAERCHER, A. R.; DA LUZ, D. F. **Gerenciamento de riscos: do ponto de vista da gestão de produção**. Rio de Janeiro: Interciência, 2017

KERZNER, H. **Project project management management a systems approach to planning, scheduling, and controlling**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2009.

KORF, E. P.; GOELLNER, C. I. Diretrizes para programas de gerenciamento de riscos de acidentes ambientais e ocupacionais (PGR) em instalações industriais. **Revista Gestão Industrial**, v. 7, n. 3, p. 60-74, 2011.

LIRONG, W. et al., Major accident analysis and prevention of coal mines in China from the year of 1949 to 2009. **Mining Science and Technology**. China, volume 21, Issue, 5, page 693-699, September 2011.

MARCONDES, J. S. **Análise Qualitativa e Quantitativa de Riscos – Conceitos e Diferenças**. 2020. Disponível em: <https://gestaodesegurancaprivada.com.br/tipos-de-analise-qualitativa-e-quantitativa>. Acesso em: 12 de jan. 2023.

MARTINS, C. F. V. **Avaliação das Normas Reguladoras de Mineração para Minas Subterrâneas no Brasil e da Legislação Mineral Brasileira para Segurança em**

Subsolo. 2017. Dissertação. Mestrado em Engenharia Mineral. Universidade Federal de Ouro Preto.

MICHEL, M. H. **Metodologia e Pesquisa Científica em Ciências Sociais.** São Paulo: Atlas, 2020.

OLIVEIRA, S. M. de; SILVA, C. T. da, BRANDÃO, E. M.. **Ciclo PDCA.** 2022. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/716521/2/Ciclo%20PDCA.pdf>. Acesso em: 11 de dez. 2022.

PASTORE, E. **Risco Geológico em Obras Civis.** 2009. Disponível em: pt.scribd.com/doc/.../Art-Risco-Geologico-Em-Obras-Civis. Acesso em: 18 de dez. 2022.

RABECHINI JUNIOR, R., & CARVALHO, M. M. DE . Relacionamento entre gerenciamento de risco e sucesso de projetos. **Production**, 23(Prod., 2013 23(3)).

ROSA, G.; TOLEDO, J.. **Gestão de riscos e a norma ISO 31000:** importância e impasses rumo a um consenso. Conference: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção At: Ponta Grossa – PR. Volume: V, 2015.

SANTOS, C. M. da S.; BAKKE, H. A.; ARAÚJO, N. M. C. de; FERREIRA, R. da Silva. Sistema de gestão de riscos: proposta para empresas construtoras de edificações verticais. **XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.** A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. Salvador, BA, Brasil, 06 a 09 de outubro de 2009

SANTOS, A. B. D. **O desafio do CBMGO em atender ocorrências nas minas subterrâneas de Goiás.** 2015. 30f. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Segurança Pública) – Universidade Estadual de Goiás, Goiânia, 2015.

SHAH, KAUSAR & KHAN, MOHSIN & KHAN, SAJID & REHMAN, ABDUR & KHAN, NASEER & ABBAS, NAEEM. Analysis of Underground Mining Accidents at Cherat Coalfield, Pakistan. **International Journal of Economic and Environmental Geology.** 11. 113-117, 2020.

SILVA, L. A. Identificação e proposta de medidas de controle dos riscos presentes nas funções dos colaboradores de uma mineradora de diamantes. **Revista IfesCiência,** Volume 8 / Número 1 / Ano 2022 – p. 01-11.

SILVA, T. G. **A importância do gerenciamento de riscos para o crescimento da empresa.** Rio de Janeiro: Universidade Cândido Mendes. 2016. http://www.avm.edu.br/docpdf/monografias_publicadas/K231710.pdf

SILVA, B. C. do C.; TROMBINE, J. de C.; CORREA, R. S. **Aplicação das ferramentas diagrama de ishikawa e 5W2H:** um estudo de caso em uma microempresa de móveis no sul de minas. Engenharia de Produção do Centro Universitário do Sul de Minas. 2019.

SILVA, J. M.; NEME, M. B. **Aspectos de segurança na extração e no escoamento de materiais fragmentados em minas subterrâneas.** In: I Semana Ibero-americana de Engenharia de Minas, 2004, São Paulo. I SIAEM, 2004. p. 241-246.

SILVA, J. M.; M, J. F.; CURI, A. **A regulamentação dos procedimentos de segurança das escavações das minas de ouro, do século XVIII aos dias atuais.** In: 5a Jornada Técnico-científica de Medio Ambiente Subterraneo y Sostenibilidad, 2012, Ouro Preto. Masys - 5a Jornada Iberoamericana de Medio Ambiente Subterraneo y Sostenibilidad, 2012.

SILVA, J. M. **MIN273- Segurança e Saúde na Mineração.** DEMIN/EM/UFOP, 2020.

SOUSA, H. H. B. **Segurança do trabalho na mineração de extração de ouro: estudo realizado na empresa Monte Sinai mineração no estado do Tocantins.** 2015. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2015.

SOYLU, S. **Sobe para 41 número de mortos em explosão em mina na Turquia.** 2022. <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2022/10/15/sobe-numero-de-mortos-em-explosao-em-mina-na-turquia.ghtml>. Acesso em: 11 de jan. 2023.

ANEXOS

Anexo I – Critérios para constar no PGR

1. Riscos físicos, químicos e biológicos;
2. Atmosferas explosivas;
3. Deficiências de oxigênio;
4. Ventilação;
5. Proteção respiratória, de acordo com a Instrução Normativa nº. 1, de 11/04/94, da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho;
6. Investigação e análise de acidentes do trabalho;
7. Ergonomia e organização do trabalho;
8. Riscos decorrentes do trabalho em altura, em profundidade e em espaços confinados;
9. Riscos decorrentes da utilização de energia elétrica, máquinas, equipamentos, veículos e trabalhos manuais;
10. Equipamentos de proteção individual de uso obrigatório, observando-se no mínimo o constante na Norma Regulamentadora nº. 6
11. Estabilidade do maciço;
12. Plano de emergência e
13. Outros resultantes de modificações e introduções de novas tecnologias