

FUNDAMENTOS DE SEGURANÇA EM  
**MINERAÇÃO**



JORGE GAVRONSKI

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Departamento de Engenharia de Minas

Jorge Gavronski

# **FUNDAMENTOS DE SEGURANÇA EM MINERAÇÃO**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre  
2022

Esta obra é licenciada sob Atribuição CC BY 4.0, sendo permitida a reprodução parcial ou total desde que mencionada a fonte.



Esta obra foi elaborada para fins ensino/aprendizagem.

Editoração:

*Científica - Assessoria para pesquisadores*

 **10.29327/5176037**

#### DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

G283 Gavronski, Jorge  
Fundamentos de segurança em mineração. [recurso eletrônico] /  
Jorge Gavronski. Porto Alegre, 2023  
129 p. : il., color. ; 11.215 kb.  
  
E-book.  
ISBN 978-65-5973-212-8.  
DOI 10.29327/5176037  
  
1. Engenharia de Minas. 2. Segurança do trabalho.-I. Título. II.  
Departamento de Engenharia de Minas

CDU 622

Catálogo na Publicação: Amanda de Abreu Gularte, CRB 10/2500

*À minha esposa e companheira Heidi e  
aos meus filhos Lucas e Pedro*

# SUMÁRIO

## 1 MINERAÇÃO E A SOCIEDADE ..... 9

1.1	Atividade de Mineração.....	9
1.2	Melhoria nas técnicas.....	10
1.3	Perigos representados por pequenas minerações.....	10
1.4	Fases do projeto mineiro.....	10
1.5	Riscos da etapa de encerramento.....	11
1.6	Imagem da Mineração.....	12
1.7	A Mineração é Perigosa.....	12
1.8	A importância da mineração para a sociedade.....	13
1.9	Mineração não é uma atividade do passado.....	14
1.10	Reciclagem.....	15
1.11	Atividade Garimpeira.....	16
1.11.1	Recomendações para as áreas de garimpo existentes.....	17
1.11.2	Cooperativa de garimpeiros do Médio Alto Uruguai.....	18
1.12	Impactos sociais dos projetos de mineração.....	19
1.12.1	Deslocamento e realocação humana.....	19
1.12.2	Disputa pelo uso da água.....	20
1.13	Necessidade de equilibrar a preservação do meio ambiente com o desenvolvimento social e econômico.....	21
2.1	Riscos Físicos.....	25
2.1.1	Ruídos.....	25

## 2 RISCOS AMBIENTAIS NO AMBIENTE DE MINERAÇÃO..... 25

2.1.1.1	Medida física do som.....	26
2.1.1.2	Escalas para medida de pressão, potência e intensidade das ondas sonoras - Lineares. Decibel na medida física do som.....	27
2.1.2	Vibrações.....	29
2.1.3	Radiações.....	29
2.1.3.1	Radiações ionizantes.....	31
2.1.3.2	Radiação não ionizante.....	32
2.1.4	Temperaturas extremas.....	33
2.1.5	Pressões anormais.....	35
2.1.6	Umidade.....	36
2.1.7	Riscos Ergonômicos.....	36
2.2	Agentes Químicos.....	40
2.3	Riscos Biológicos.....	42
2.4	Riscos Acidentes.....	43
2.4.1	Condição insegura.....	44
2.4.2	Atos Inseguros.....	44
2.4.3	Consequências do Acidente.....	45
2.4.4	Comunicação de Acidentes.....	45

2.5	Exposição conjunta de agentes ambientais .....	46
-----	--	----

### **3 IMPACTOS AMBIENTAIS DOS PROJETOS DE MINERAÇÃO ..... 51**

3.1	Fase de implantação da mina .....	52
3.2	Desenvolvimento da mina.....	53
3.3	Extração do minério (lavra).....	53
3.4	Mineração aluvial ou de depósito de placer .....	53
3.5	Mineração subterrânea .....	53
3.6	Beneficiamento .....	54
3.7	Reprocessamento em minas e rejeitos antigos .....	54
3.8	Resíduos dos processos de beneficiamento .....	54
3.9	Pilhas de Lixiviação .....	54
3.10	Barragem de Rejeitos .....	55
3.11	Opções para descarte de rejeitos.....	55
3.12	Prática comum antes das normas ambientais .....	56
3.13	Impactos nos recursos hídricos .....	56
3.14	O potencial de drenagem ácida é uma questão fundamental? .....	56
3.15	Impactos dos projetos de mineração na qualidade do solo .....	57
3.16	Erosão é um grande problema .....	57
3.17	Erosão do solo e resíduos de mineração em águas superficiais.....	57
4.1	Definições importantes (acidente/evento indesejável; risco, perigo, fonte de risco) .....	59

### **4 TEORIAS E CONCEITOS BÁSICOS: GESTÃO DE RISCOS ..... 59**

4.2	Expressão do Risco.....	61
4.3	Condições de segurança de um processo.....	62
4.4	Modelagem cartesiana de avaliação do risco .....	64
4.5	Noção de cadeia de acontecimentos (Atos inseguros e Condições inseguras).....	66
4.6	Modelos Sistêmicos .....	67
4.7	Pirâmide de Bird .....	68
4.8	Aplicação das teoria de Bird na mineração .....	69

### **5 SEGURANÇA DE SISTEMAS VISÃO DE PROCESSO; HISTÓRICO; NORMAS ISO; CERTIFICAÇÃO; CICLO PDCA..... 71**

5.1	Histórico da aplicação de Confiabilidade em Sistemas.....	72
5.2	Considerações sobre as Metodologias de segurança desenvolvidas a partir da Teoria de Sistemas e aplicação na Mineração .....	74
5.3	Sistema de normatização ISO .....	75
5.3.1	OHSAS 18001.....	76
5.3.2	Normas ISO .....	76
5.3.3	Norma de Saúde e Segurança Ocupacional ISO 45001.....	77
5.4	Processo de Melhoria Contínua – Ciclo PDCA.....	77
5.5	Compliance .....	80
6.1	Processo de Gestão dos riscos na visão da ABNT NBR ISO 31.000.....	83

## **6 VISÃO INTERNACIONAL DA GESTÃO DE RISCOS, ESPECIALMENTE NAS EMPRESAS DE MINERAÇÃO..... 83**

6.2	ALARP.....	86
6.3	Métodos qualitativos x métodos quantitativos ou semiquantitativos.....	87
6.4	Certificação pelo Sistema ISO no contexto mineiro.....	88

## **7 TEORIA DAS BARREIRAS ..... 90**

7.1	Hierarquia das Medidas de Controle (HMC).....	93
-----	---	----

## **8 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DO RISCO E AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS RISCOS ..... 96**

8.1	Análise qualitativa – Digrama de Ishikawa.....	99
-----	--	----

## **9 MÉTODOS QUANTITATIVOS DE AVALIAÇÃO DOS RISCOS..... 103**

9.1	Confiabilidade.....	104
9.2	Aplicação de probabilidade e estatística para determinar a sobrevivência do sistema.....	105
9.3	Equações de Weibull.....	106
9.4	Tipos de falhas esperadas em um Sistema ou produto.....	107
9.5	Modelos.....	108
9.6	Confiabilidades de Sistemas.....	109
9.7	Redundância.....	109
9.8	Processo da decisão em situação de risco.....	110
9.9	Regras e Definições da álgebra Booleana.....	111
9.9.1	Operação lógica - E (AND).....	111
9.9.2	Operação lógica – Ou (OR).....	111
9.9.3	Exemplos de aplicação:.....	112
9.10	Árvore de Decisões.....	114
9.10.1	Etapas para o traçado da árvore de decisão.....	115
9.10.2	Árvores de decisão – Vantagens e desvantagens.....	117

## **10 METODOLOGIA SEMIQUANTITATIVA PARA GESTÃO DO RISCO - MATRIZ DE RISCO ..... 119**

10.1	Como criar uma matriz de Risco.....	120
10.2	Determinação do nível do risco (Risk rating).....	120
10.3	Implantação e utilização da matriz de risco na organização.....	122

## **11 METODOLOGIA BOWTIE ..... 125**

# PREFÁCIO

A mineração é uma atividade fundamental para a sociedade, mas também tem sido alvo de desconfiança devido aos impactos negativos e acidentes ocorridos ao longo dos anos. É importante garantir que seja realizada de forma responsável, com menos impactos e garantindo a segurança dos trabalhadores.

A gestão dos riscos nas empresas de mineração se tornou mais complexa e exige a incorporação de novas técnicas e habilidades, especialmente relacionadas às relações sociais, questões ambientais e segurança do trabalho.

A realização da mineração de forma mais segura e sustentável é, no entanto, um desafio considerável! Trata-se de uma atividade complexa, que envolve muitos fatores, tem suas peculiaridades, com problemas específicos que envolvem técnicas e alguma subjetividade. A atividade depende de jazidas, recursos não renováveis com vida útil limitada e localizados onde a natureza os colocou, e não necessariamente em locais convenientes.

Os gerentes são responsáveis por gerenciar todos os aspectos da operação, incluindo a segurança dos trabalhadores, a qualidade do produto final, o cumprimento de regulamentações e a maximização dos resultados. Eles são frequentemente confrontados com decisões não rotineiras e precisam tomar decisões sob pressão em situações de risco. Além disso, a mineração pode ter impacto significativo no meio ambiente e na comunidade local que precisam ser consideradas nas decisões.

O uso de tecnologias modernas é uma ferramenta poderosa para facilitar a conformidade com práticas ambientais responsáveis e aumentar a segurança, mas também há muitos exemplos de impactos negativos causados pela falta de conformidade com as melhores técnicas que continuam acontecendo.

O autor, com mais de 40 anos de vida profissional nas empresas de mineração e de professor na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, usou sua experiência e extensa pesquisa bibliográfica para escrever sobre o assunto.

O livro "Fundamentos de Segurança em Mineração" aborda os principais aspectos da segurança na indústria da mineração e tem como objetivo fornecer informações e orientações para os atuais e futuros gestores sobre como gerenciar os riscos. Ele é organizado em onze capítulos e visa contribuir para a melhoria do ambiente de trabalho na mineração, oferecendo condições mais seguras e saudáveis para as pessoas.



# CAPÍTULO 1

# MINERAÇÃO E A SOCIEDADE

## 1.1 ATIVIDADE DE MINERAÇÃO

A mineração é uma atividade necessária para a obtenção da maioria dos materiais que a sociedade necessita e que não podem ser cultivados por processos agrícolas ou criados em laboratórios ou fábricas.

A mineração consiste nos processos de pesquisa, exploração, extração e beneficiamento de minerais, normalmente na crosta da terra, que podem se apresentar em estados sólido, líquido ou gasoso.

Um depósito mineral necessita de capital para ser desenvolvido e ser transformado num empreendimento mineiro ou numa mina. A implantação necessita de grandes volumes de recursos e longo tempo de maturação para entrar em fase de produção dependendo do porte, localização e condições da jazida ou do depósito mineral.

A atividade tem como condicionante a viabilidade econômica do investimento, que envolve uma análise do potencial de lucro do empreendimento proposto.

A viabilidade econômica depende, entre outros fatores, das concentrações dos minerais e das quantidades que eles estão presentes na jazida. O preço de mercado do mineral, depende, principalmente frequência em que ocorre na crosta terrestre, e da demanda.

O projeto viável de mineração é aquele que dá lucro depois vender os produtos por um preço que pague os custos do capital de produção, comercialização e impostos.

A mineração apresenta ainda a peculiaridades da jazida se constituir em um recurso não renovável, com vida útil limitada. Depois que o minério é extraído deve ocorrer o encerramento das atividades e a restauração do site, cujos custos também devem ser considerados na viabilidade econômica do empreendimento mineiro.

Os fatores de maior impacto na viabilidade do empreendimento de mineração são o porte, a complexidade das operações e a localização das instalações. Normalmente são posicionados junto da jazida, mas em algumas situações podem ser mais distantes ou próximos dos locais de consumo ou de transformação do produto.

Outros fatores de grande relevância que impactam na viabilidade e que devem ser considerados são:

- Método de lavra (Céu aberto ou subterrâneo)
- Recuperação da reserva (depende do método de lavra).
- Processo de beneficiamento
- Necessidade de infraestrutura e distância dos centros urbanos (energia, transporte, habitações entre outros).
- Exigências contratuais do mercado.
- Vida útil das instalações e equipamentos.
- Vida útil do empreendimento como um todo: Prazos de implantação, desenvolvimento dos acessos ao minério. Número de anos de produção.
- Competência e capacidade (técnica financeira) da empresa para produzir e comercializar a um custo lucrativo.
- Custos de descomissionamento do site no encerramento das atividades: A área tem que ser reabilitada e disponibilizada para outra utilização da sociedade.
- Legislação - Restrições ambientais, relativas à segurança de trabalhadores e comunidades próximas.

As operações mineiras geralmente criam um impacto ambiental negativo, tanto durante a atividade de mineração quanto após o fechamento da mina.

A maioria dos países tem implantado leis de controle para diminuir o impacto. Entretanto, o papel desproporcional da mineração na geração de negócios para comunidades muitas vezes rurais, remotas ou economicamente deprimidas induzem muitas situações de não atendimento da regulamentação na totalidade ou parcialmente.

A segurança dos trabalhadores é uma preocupação antiga sobre o setor da mineração. A história registra muitos acidentes e doenças do trabalho. A mineração mal regulamentada, especialmente em economias em desenvolvimento, frequentemente contribui para violações locais de direitos humanos

## 1.2 MELHORIA NAS TÉCNICAS

Ao longo do tempo, as empresas de mineração têm operado em um ambiente de volatilidade, influenciado por fatores como: globalização dos mercados, aumento da flutuação das taxas de câmbio, mudanças tecnológicas, dentre outros.

Esse conjunto de elementos somados às incertezas das informações geológicas, expõe o empreendimento de mineração à elevados riscos.

O setor se caracteriza também pela grande diferença que existe entre as empresas mineração de grande, médio e pequeno porte. Fator que deve ser considerada no estabelecimento de políticas de controle para o setor.

Existem empresas idôneas e sérias que operam comprometidas com padrões éticos de "Compliance" sociais e ambientais, mas deve ser lembrado que as riquezas minerais historicamente atraem especuladores, sonhadores, trapaceiros etc.

O incremento, das melhores técnicas de mineração e prospecção somados a controles da sociedade materializadas em legislações tendem a levar a uma situação mais racional e sustentável.

Nas últimas décadas houve uma evolução muito grande nas tecnologias de mineração e os impactos da atividade podem ser abrandados com técnicas, mundialmente dominadas, que permitem atender padrões adequados de segurança e qualidade ambiental. Por outro lado, a mineração representa grandes desafios: - As jazidas apresentam restrições locais, não estão onde se quer, e sim onde a natureza as formou, fato que gera conflitos em relação ao uso e ocupação do território.

Para a alocação de capital num projeto devem ser realizadas rigorosas avaliações de viabilidade econômica. Existem parâmetros mundialmente estabelecidos. Verifica-se um esforço contínuo, crescente dos executivos para aprimorar as técnicas e procedimentos para diminuir os riscos.

## 1.3 PERIGOS REPRESENTADOS POR PEQUENAS MINERAÇÕES

As pequenas minerações são atualmente as que apresentam maior número de fatalidades e ferimentos graves nos seus trabalhadores.

Também exigem atenção especial, os empregados terceirizados ou temporários trabalhando nas minas com jornadas exaustivas, menos treinados com maior propensão a acidentes de trabalho.

De acordo com o Plano Nacional de Mineração, feito pelo Ministério de Minas e Energia, existem um milhão e cem mil pessoas trabalhando na mineração no Brasil, desse total apenas 200 mil são contratados diretos da mineração. O restante são funcionários como vigilantes, técnicos, trabalhadores do transporte, logística etc. O caso que melhor ilustra esse dado é o [da barragem] de Fundão, em Mariana (MG), em que dos 14 trabalhadores que morreram no rompimento, 13 eram terceirizados. Em algumas minas, o número de terceirizados chega a 80%.

## 1.4 FASES DO PROJETO MINEIRO

O ciclo de vida de um projeto de mineração é dividido em quatro fases principais.

- A primeira fase de exploração que se estende por um período de 7 a 10 anos, engloba a pesquisa

para caracterização, quantificação dos materiais a serem extraídos e viabilidade econômica.

- A segunda fase de desenvolvimento que se estende por 5 a 10 anos, inicia com o planejamento das várias fases que se seguem exploração e com as ações necessárias para colocar o depósito em produção comercial.
- A terceira fase de operação dependendo do porte da jazida normalmente engloba um período de 2 a 20 anos. Existem também projetos que se estendem por maior tempo, até centenários. Essa fase compreende principalmente a fase de produção comercial e marca o início da lucratividade. As equipes da mina assumem o controle de todas as operações de mineração.
- A quarta fase de descomissionamento ou encerramento (Closure) e pós-fechamento (pós-closure). Os princípios das ações de fechamento mundialmente aceitos devem promover a estabilidade física e química do site. Deve ainda adequar o site para uma nova utilização.

Normalmente é uma etapa longa, se estende por 2 a 10 anos. Envolve a desmontagem e realocação de instalações e equipamentos. A fase final inclui o fechamento definitivo do site fechamento de poços, estruturas de acessos e a reabilitação das terras usadas.

Envolve ainda o monitoramento e intervenções nas estruturas e nas áreas que foram reabilitadas.

## 1.5 RISCOS DA ETAPA DE ENCERRAMENTO

A vida útil da mina é limitada à reserva lavrável, mas fatores econômicos, sociais e ambientais podem tornar a vida útil da mina mais curta do que o esperado.

O fechamento da mina está associado a impactos adversos no site e no seu entorno, como desemprego, perda de serviços comunitários e poluição que ameaçam atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável.

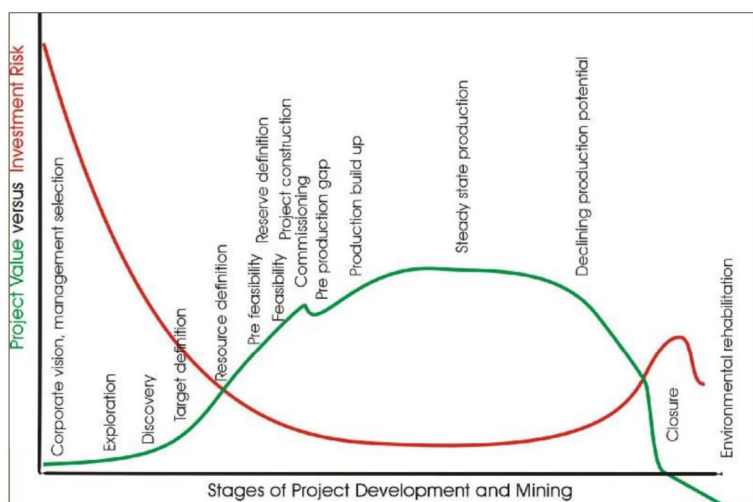
Portanto, a gestão do risco de fechamento de mina é necessária para reduzir os efeitos negativos.

A figura 1.1 mostra os tempos envolvidos em um projeto mineiro comparando as curvas de risco e a variação do valor do negócio com o passar do tempo.

Chama a atenção o elevado risco inicial do negócio ou risco empresarial que vai reduzindo conforme as etapas do projeto. De forma diferente a curva de valor do negócio aumenta até um patamar de plenitude da operação e depois vai caindo na proporção do esgotamento das reservas minerais.

Chama atenção também a elevação dos riscos na fase final, coincidente com o encerramento das atividades. São riscos diversos que o empreendedor deve considerar relativo ao fechamento da mina (novas legislações, custos ambientais, sociais, indenizações etc.).

**FIGURA 1.1** Comparação de valor e risco do projeto mineiro.



Fonte: O'Connor e Spearing, 2017

## 1.6 IMAGEM DA MINERAÇÃO

A mineração apesar da importância para a manutenção do nível de vida e avanços das sociedades modernas não tem boa imagem perante as populações. A noção de que as mineradoras enriquecem às custas da sociedade é bastante difundida, ao mesmo tempo em que sua contribuição econômico-social é questionada. "Esse movimento cresce a despeito de as empresas do setor investirem somas significativas em políticas voltadas à preservação do meio ambiente e ao desenvolvimento de comunidades locais." (DELLOITE, 2015, p. 4)

A sociedade precisa dos bens minerais que são as bases, das indústrias energética, metalúrgica, química, da construção civil e de alta tecnologia. Pode-se dizer que a sociedade quer os bens produzidos, mas não gosta da mineração.

Do ponto de vista histórico, o sentimento negativo deve-se aos impactos no meio ambiente e a história de acidentes, conflitos sociais e doenças provocados pela atividade mineira ao longo dos tempos. São fatos relacionados a falta de controle social e falta de soluções tecnológicas adequadas, que resultaram em elevadas penalizações para os trabalhadores e comunidades em diversas regiões/países.

**FIGURA 1.2** Desenho de um aluno de uma escola em Carajás/Pará expressando a sua percepção sobre a mineração.



Fonte: Costa, 2010

"A sociedade está cobrando de organizações de todos os portes um posicionamento claro sobre questões que vão muito além de seus produtos ou serviços." (DELLOITE, 2015, p. 4) Tão importante quanto ter um produto ou serviço de qualidade é garantir que a sua origem e produção respeitem os valores da sociedade.

Os lucros continuarão sendo fundamentais. No entanto, o retorno financeiro dependerá cada vez mais da atenção das mineradoras, a temas importantes como atuação ética, redução de litígios, melhoria de imagem e convivência harmônica com as comunidades locais. As empresas que não souberem se adaptar a esses novos tempos colocam a própria sobrevivência em risco. (DELLOITE, 2015)

## 1.7 A MINERAÇÃO É PERIGOSA

A mineração é conhecida por ser perigosa, devido ao seu complexo ambiente de trabalho. A instalação mineira tem características que diferem bastante de outras indústrias.

Por exemplo, na indústria do automóvel a linha de produção moderna é projetada de forma similar em diferentes países. Mesmo indústrias consideradas de alto risco como em uma refinaria de petróleo, a configuração espacial do processo é similar em diferentes instalações e o ambiente de produção é estável no tempo da vida útil da planta industrial. Essa condição permite conhecer, avaliar e adotar as medidas preventivas de forma mais padronizadas e estáveis no tempo. Todo o processo vai ocorrer durante um espaço de tempo definido pelo projeto,

no mesmo lugar. A experiência ruim pode ser alterada com medidas de correção dos problemas; e a experiência boa, pode ser mais facilmente copiada e padronizada de uma planta para outra.

Na atividade de mineração o ambiente de trabalho está em constante mutação, vai se construindo e se transformando durante o tempo de operação. A mina vai se modificando espacialmente com o passar do tempo, na medida que as escavações vão ocorrendo. As frentes de trabalho vão se alterando e as distâncias de transporte aumentam com aberturas de novas galerias, estradas e construção de outras instalações induzidas pelo aprofundamento da mina.

O ambiente de mineração é único para cada jazida. A geometria da jazida, sua posição espacial e as condições locais variam de uma mina para outra. Mesmo as instalações de beneficiamento são diferentes, pois a composição do minério é variável e necessita equipamentos com arranjos e especificidades para cada situação.

Existem vários tipos de riscos, que mudam de frequência e gravidade dependendo da fase do projeto. Todas essas características da mineração a tornam mais perigosa, pois é mais difícil prever todos os riscos e controles.

A gestão de um projeto de mineração não é uma questão simples, os equipamentos e meios empregados durante todas as fases do projeto contêm fontes de perigo e fatores incertos; relacionados ao uso de equipamentos de exploração (perfuração profunda, escavação, explosivos etc.).

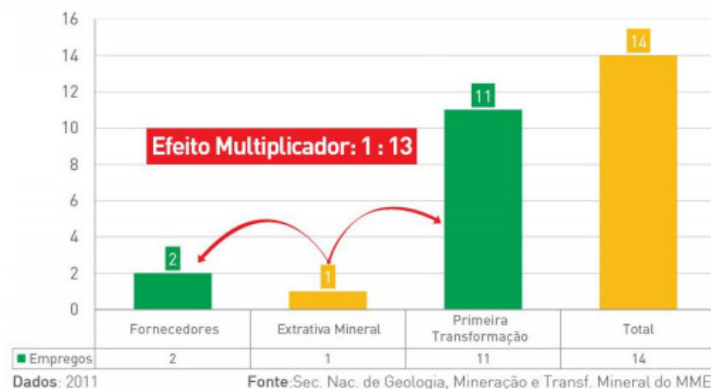
As áreas que requerem maior atenção para a redução de fatalidades incluem o transporte motorizado, controle de desabamentos e trabalhos nas proximidades de equipamentos/máquinas. As atividades com maior ocorrência de lesões incluem manuseio de materiais, manutenção e reparos, trabalhos de construção, escoramento do teto e outras tarefas específicas, como trabalhar junto de correias transportadoras.

A lista de problemas persistentes relacionados à saúde do trabalho inclui também doenças pulmonares (pneumoconiose, silicose), perda auditiva e distúrbios musculoesqueléticos (problemas lombares entre outros).

## 1.8 A IMPORTÂNCIA DA MINERAÇÃO PARA A SOCIEDADE

A mineração é uma atividade alavancadora que propicia novas fronteiras econômicas e geográficas, que reduz as disparidades regionais, capaz de criar polos de grande capacitação tecnológica e de infraestrutura. Aeroportos, portos, corredores de transporte, usinas, hospitais, escolas e oficinas podem ser implantados com recursos das mineradoras. Estudos feitos pela Secretaria Nacional de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, do Ministério de Minas e Energia (INFORMAÇÕES..., 2015), mostram que o efeito multiplicador de empregos na cadeia produtiva do setor mineral é de 1:13, ou seja, para cada posto de trabalho na mineração são criadas 13 outras vagas (empregos indiretos induzidos). A cadeia produtiva envolve produção de insumos e equipamentos para as próprias atividades de mineração, transporte, processamento, transformação mineral, metalurgia nos casos dos metais e comercialização do produto.

Os países onde a mineração é desenvolvida e tem importância significativa na economia como, Canadá, Austrália, Estados Unidos são exemplos onde a indústria da mineração, detém conhecimento e experiências concretas de êxito em conciliar a conservação ambiental com desenvolvimento econômico.

**FIGURA 1.3** Geração de empregos na cadeia produtiva da mineração.

Fonte: Informações sobre a economia mineral brasileira, 2015, p. 11.

## 1.9 MINERAÇÃO NÃO É UMA ATIVIDADE DO PASSADO

As populações, para suprir as necessidades de melhoria das condições de vida, e afastamento da pobreza necessitam de energia e de matéria primas que são insumos gerados pela mineração. Mesmo as energias renováveis, ditas mais futuristas, necessitam de metais para a construção dos parques de geração e linhas de transmissão. Os modernos equipamentos de comunicação, de tecnologia da medicina moderna necessitam quantidades crescentes de metais

As tecnologias de produção de energia de baixo carbono devem aumentar substancialmente até 2050, especialmente solar fotovoltaica (PV), eólica e geotérmica. Todas compartilham uma característica comum: uso mais intensivo de minerais em comparação com a geração de eletricidade baseada em combustíveis fósseis.

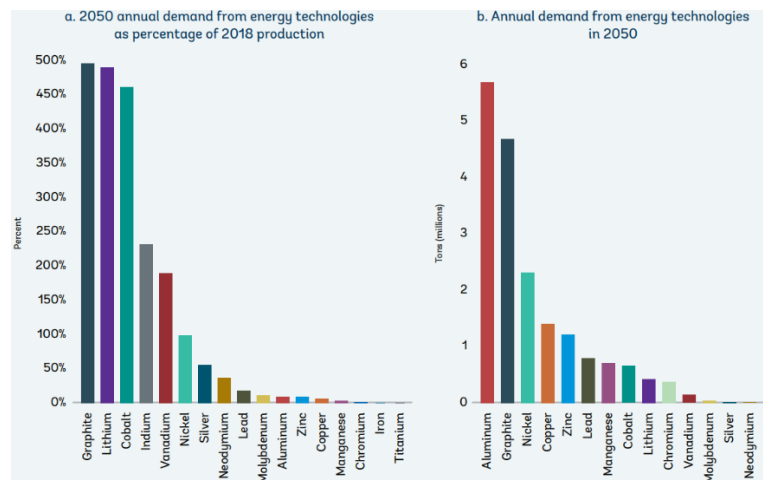
As projeções do relatório desenvolvido pela equipe "Climate-Smart Mining da Prática Global de Energia e Extração do Banco Mundial" publicado em 2020 "Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition" (HUND *et al.*, 2020) informam que conforme o Acordo de Paris: "Independentemente de qual caminho de tecnologia de baixo carbono é selecionado para manter a variação de temperatura global do planeta entre 1.50C- 20C ou abaixo, levará a aumentos significativos na demanda por minerais". Informa também que qualquer potencial escassez no fornecimento de minerais poderia impactar a velocidade e escala em que certas tecnologias podem ser implantadas globalmente.

Por exemplo, cerca de 3.000 painéis solares são necessários para 1 megawatt (MW) de capacidade de energia solar fotovoltaica. Esse parâmetro significa que um projeto de energia solar fotovoltaica de 200 MW necessita uma área equivalente a 550 campos de futebol americano (ECKHOUSE; MATHIS; MURTAUGH, 2021).

Diferentes tecnologias de energia requerem diferentes tipos de minerais, seja para construir suas estruturas ou armações, ou como componentes da tecnologia usada para gerar eletricidade, como as células fotovoltaicas, ímãs ou motores em turbinas eólicas. Portanto, o caminho da tecnologia que emerge da energia limpa transição irá moldar os tipos de minerais que irão experimentar os maiores aumentos na demanda.

Minerais como cobre, cromo e molibdênio, são usados em uma ampla variedade de energia limpa com tecnologias de geração e armazenamento. Para o cobre, a maior parcela da demanda vem de energia solar fotovoltaica e eólica, mas a demanda pode estar subestimada uma vez que não inclui a infraestrutura de transmissão necessária para conectar essas novas tecnologias às redes de eletricidade. Aumentos na demanda de até quase 500 por cento são estimados para certos minerais, especialmente aqueles previstos para implementação das tecnologias de armazenamento, como lítio, grafite e cobalto (ECKHOUSE; MATHIS; MURTAUGH, 2021).

**FIGURA 1.4** Projeção de demanda anual de minerais necessários para a implementação das novas tecnologias de baixo carbono (comparação anos 2050 e 2018).



Fonte: Hund *et al.*, 2020, p.73.

## 1.10 RECICLAGEM

Conforme foi discutido no tópico anterior a demanda por minerais será crescente. Alguns céticos ou ativistas das questões ambientais falam em reciclagem como alternativa para suprir as necessidades da sociedade.

Mesmo considerando as oportunidades de reciclagem e reconhecendo a necessidade dessa prática para a qualidade ambiental do planeta, ela é absolutamente insuficiente para suprir as necessidades crescentes das populações.

Não há disponibilidade de matéria prima suficiente para atender as necessidades.

As taxas de reciclagem variam muito entre os minerais devido ao custo e questões técnicas. Alguns minerais recicláveis podem não ser adequados para a produção de certas tecnologias de energia, que podem exigir um grau muito alto de pureza de um mineral específico para sua aplicação. Além disso, a intensidade energética de alguns processos de reciclagem pode representar uma barreira.

Apresentamos a seguir as projeções de reciclagem informadas no relatório publicado em 2020 pelo Banco Mundial (HUND *et al.*, 2020)

**Alumínio** - Entre 42 e 70 por cento é reciclado no final de sua vida útil. Alguns países têm a indústria bem desenvolvida em reciclagem e alcançam taxas de até 90 por cento. Ainda assim, a o conteúdo reciclado de novos produtos de alumínio foi estimado entre 34 e 36 por cento. Isso ocorre porque a disponibilidade de sucata simplesmente não é suficiente para atender à crescente demanda.

**Aço (minério de ferro)** - As taxas de reciclagem de aço são especialmente altas, com cerca de 85 por cento reciclado ao final de sua vida útil. As taxas variam entre os produtos, 95 por cento do aço dos automóveis é reciclado, em comparação com 70 por cento de embalagens de aço. As taxas de reciclagem, no entanto, podem não ser um bom indicador para medir a demanda. Apesar de 85 por cento do aço ser reciclado, cerca de um terço do aço vem da produção primária, já que a maioria de aço está preso em estruturas duráveis de longo prazo.

## 1.11 ATIVIDADE GARIMPEIRA

A atividade garimpeira é muitas vezes confundida com a mineração regular com projetos licenciados, por empresa que opera, pagando impostos e principalmente cumprindo a legislação. Essa situação colabora para confundir as pessoas e prejudica a imagem da mineração perante a sociedade.

O código de mineração no Brasil, "Decreto-Lei 227/27", no artigo 70, define o garimpo como: "O trabalho individual de quem utilize instrumentos rudimentares, aparelhos manuais ou máquinas simples e portáteis, na extração de pedras preciosas, semipreciosas e minerais metálicos ou não metálicos, valiosos, em depósitos de aluvião ou aluvião, nos álveos de cursos d'água ou nas margens reservadas, bem como nos depósitos secundários ou chapadas, vertentes e altos de morros, depósitos esses genericamente denominados garimpos". (BRASIL, 1967)

A atividade garimpeira pode ser realizada no solo, subsolo e nas margens ou nos fundos dos rios. Considera a atividade realizada pelo trabalhador "garimpeiro" que atua na atividade de extração de minerais nobres (Ouro, prata e pedras preciosas).

Trabalho é realizado, na maioria das vezes, de forma independente e ilegal, apesar de ser normalizada pelo Governo Federal.

A atividade persiste, apesar da massiva ilegalidade e dos grandes impactos ambientais e à saúde do trabalhador. Predomina a atividade manual, rudimentar e com pouca sofisticação. Geralmente utiliza recursos baratos, custo de mão de obra baixo.

Se constitui num grande problema social pelo número de pessoas envolvidas.

Muitos trabalhadores acabam com doenças do trabalho como: Problemas respiratórios, neurológicos, intoxicações causadas pelos componentes químicos - manuseados diariamente. Além disso o garimpeiro tem exposição diária a variações climáticas sem proteção adequada.

**FIGURA 1.5** Garimpeiros minerando ouro, Província de Manica/Moçambique, 2017



Foto: Autor, 2017.

A prática do garimpo, de forma geral, tem importantes consequências ambientais. Quando acontece de forma ilícita e em áreas demarcadas e de preservação, o impacto é sentido com maior potência pelos indígenas e comunidades ribeirinhas que dependem dos recursos naturais. (CAETANO, 2018).

O uso do mercúrio para separar o ouro da areia contamina os rios, e, conseqüentemente, os peixes. "Além disso, a extração de minérios provoca desmatamento para acessar o subsolo, e assoreamento dos rios, causando distúrbios ambientais como o aumento de mosquitos transmissores de doenças." (CAETANO, 2018).

Como exemplo do problema a figura abaixo nos rios da Amazonia, mostra a atividade de garimpo com balsas minerando ouro.



**FIGURA 1.6** Balsas minerando nos rios da Amazônia

Foto: REUTERS/Bruno Kelly.

A atividade e o problema são exemplificados na Vila da Ressaca, que fica localizada em um lugar chamado Volta Grande do rio Xingu e se trata de uma comunidade de garimpeiros. Há muitos anos era um lugar onde podia ser encontrado uma grande quantidade de ouro, atualmente, não mais (VILA..., 2015). Já teve uma população bem maior do que a existente agora - cerca de 6 mil habitantes garimpeiros na extração de ouro. "Atualmente, moram cerca de somente 200 famílias, num total de 800 pessoas." (VILA..., 2015). O local é constituído por seis garimpos: Curimã, Ouro Verde, Grota Seca, Morro dos Araras, Galo e Itatá. A atividade de garimpo é mostrada nas figuras abaixo:

**FIGURA 1.7** Atividades de garimpo no rio Xingu/Amazônia

Fonte: Vila da Ressaca, 2015

### 1.11.1 Recomendações para as áreas de garimpo existentes

Os impactos ambientais causados pela atividade garimpeira podem ser significativos e colocam em risco a saúde dos garimpeiros e de pessoas de comunidades próximas.

O garimpo pelo número de pessoas envolvidas é um problema social e não pode ser combatido como simples caso de polícia. Deve haver maior presença do Estado para mitigar os problemas:

Trata-se de uma atividade muito impactante para o trabalhador, para as comunidades que pode esconder atividades ilícitas.

Deve haver ações e incentivos para a redução dos impactos socioeconômicos na área de influência das áreas de garimpo, através de gestão do relacionamento com as partes interessadas. Promoção de garantias a participação das partes impactadas pelo projeto, no âmbito do processo de licenciamento ambiental.

Os governos devem desenvolver e aplicar métodos de monitoramento para o controle da lavra clandestina e garimpos por meio de sistemas de satélites e fiscalização aérea.

Deve ser incentivada ações de regularização para controle e cumprimento das normas junto a Agência Nacional de Mineração e órgãos ambientais (IBAMA e outros de abrangência estadual e local).

Ações visando ao reforço da política de gestão ambiental e sustentabilidade dos empreendimentos mineiros, voltado para a melhoria contínua da prevenção e mitigação de impactos ambientais, incluindo controle da qualidade do ar, gestão do uso e descarte de água, uso de substâncias perigosas, emissões de gases do efeito estufa e gestão da biodiversidade.

Criação de fundos, a partir da exploração de bens minerais para viabilizar ações de educação, capacitação e treinamento para os trabalhadores e lideranças das comunidades.

Existem exemplos bem-sucedidos que permitiram praticar essas ações como a citada a seguir:

### 1.11.2 Cooperativa de garimpeiros do Médio Alto Uruguai

No Rio Grande do Sul, na região Noroeste do RS, a Associação dos Garimpeiros do Médio Alto Uruguai foi fundada em 21/06/1990 por trabalhadores e pequenos proprietários. O objetivo primeiro foi evitar que algumas poucas empresas dominassem o setor e dos direitos de lavra na região.

Essa associação foi o embrião cooperativa Coogamai que se tornou a primeira cooperativa de garimpeiros do Brasil e já tem mais de vinte anos de atividade.

A cooperativa atua em oito municípios – Ametista do Sul – sede da Cooperativa, Planalto, Frederico Westphalen, Rodeio Bonito, Cristal do Sul, Trindade do Sul, Gramado dos Loureiros e Iraí, com a área permissionada de quinze mil e trezentos hectares – 153.000 km<sup>2</sup>.

A missão da cooperativa conforme declarado no seu site: "A organização da atividade garimpeira, em sua área de abrangência, tornando legal o setor e possibilitando ao associado a continuidade do seu trabalho, respeitando as normas ambientais e de saúde e segurança"

A cooperativa tem mais de 1.500 associados e possui um quadro de cinco funcionários, além de uma diretoria. A cooperativa mantém contrato com duas empresas de prestação de serviços, sendo uma de consultoria ambiental e outra na área de segurança de trabalho. (LORINI *et al.*, 2017).

Em uma área de 15.313 hectares, são 500 garimpos cadastrados na cooperativa (200 em atividade), a maioria (75%) concentrados nos municípios de Ametista do Sul e Planalto.

Os garimpos mineram e comercializam cerca de 500 toneladas por mês de geodos de ametista. Além da ametista são extraídos também: ágata, calcita, zeolita, gipsita e quartzo.

A cooperativa transfere ao associado o direito de exploração da lavra garimpeira na área de abrangência, possibilitando a legalidade do seu trabalho.

A cooperativa também acompanha o cumprimento das exigências dos órgãos fiscalizadores tais como: Ministério do Trabalho e Emprego – no âmbito das relações garimpeiro/proprietário do solo e na segurança do trabalho; Agência Nacional de Mineração/ANM com a Permissão de Lavra Garimpeira/PLG; Ministério da Defesa - manuseio e comercialização de explosivos; Ministério da Previdência Social - direitos previdenciários e nos órgãos ambientais federal e estadual.

Entre as conquistas da atuação da cooperativa estão:

- A redução significativa de acidentes fatais nos garimpos, mediante as ações de prevenção e melhorias nas condições de trabalho dos garimpeiros; (LORINI *et al.*, 2017).
- Recuperação de áreas degradadas, com o aproveitamento dos rejeitos com a fabricação de tijolos ecológicos, a utilização no encascalhamento de estradas. (LORINI *et al.*, 2017).
- Obtenção das licenças ambientais – Licença de Operação das áreas de Permissão de Lavra Garimpeira

junto à FEPAM – órgão ambiental do Estado do Rio Grande do Sul; (LORINI *et al.*, 2017).

- Criação do Fundo de Saúde do Garimpeiro e a construção do Centro de Diagnóstico de Saúde do Trabalhador Garimpeiro, possibilitando o controle da qualidade de vida, conforme preconiza a NR7, do Ministério do Trabalho e Emprego.
- Obtenção do CR – Certificado de Registro, junto ao Exército Brasileiro, para aquisição e manuseio de explosivos.
- Qualificação do quadro técnico da cooperativa, com a contratação de profissionais – tais como Engenheiro de Minas, Bióloga, Engenheiro e Técnico de Segurança do Trabalho, Engenheira Química e Agrônoma.
- Criação de um Centro de Saúde do Garimpeiro, onde são realizados exames e consultas específicas para os trabalhadores. (“Cooperativas de mineração: Conheça esse tipo de cooperativa”) O centro é mantido por um Fundo de Saúde do Garimpeiro composto pelos proprietários de garimpo. (LORINI *et al.*, 2017).

## 1.12 IMPACTOS SOCIAIS DOS PROJETOS DE MINERAÇÃO

Os projetos de mineração são controversos e complexos. Podem representar desenvolvimento e criar riqueza para as regiões, mas também grandes distúrbios.

A melhoria da infraestrutura atrai colonos e os efeitos da migração podem se estender além dos arredores de uma mina. Podem afetar diversos segmentos sociais com alterações das tradições culturais.

O fluxo de pessoas prejudica a conservação de ecossistemas e paisagens, eleva as pressões sobre a terra e a distribuição de benefícios. Também o aumento repentino das populações resulta em pressões sobre a água e outros recursos, além de mais problemas de saneamento e disposição de resíduos.

Os projetos de mineração induzem a criação de empregos, estradas, escolas e aumentam a demanda por bens e serviços em áreas pobres e remotas, mas em muitas situações do passado, os custos e benefícios não foram distribuídos com equidade.

Nos países menos desenvolvidos na economia e com instituições menos democráticas, a capacidade das populações para interferir nos projetos em curso é reduzida. As diferenças de poder podem causar uma sensação de desamparo quando as situações de mudança são induzidas por empresas, grandes e poderosas.

As comunidades se sentem particularmente vulneráveis quando os impactos ambientais causados pela mineração (na poluição do solo, do ar e da água) afetam os meios de subsistência e o apoio da população local. Podem oferecer risco não apenas a sobrevivência física, pela perda de rendimentos, como também pelas ameaças a saúde e para a identidade cultural das populações locais.

Nos casos mais intensos, se as comunidades locais sentem que os seus interesses não são adequadamente considerados, pode resultar em tensão social e conflitos violentos.

Muitas vezes o Estudo de Impacto Ambiental/EIA e o Relatório de Impacto Ambiental/RIMA podem subestimar o impacto de projetos de mineração na população local.

Os mecanismos de avaliação e tomadas de decisão do EIA RIMA de novos projetos, deve permitir uma participação efetiva das populações locais para que os seus direitos individuais e coletivos fundamentais sejam respeitados. Deve incluir o direito de manter as suas condições de sustento, um ambiente saudável e garantir uma compensação justa em caso de perdas.

### 1.12.1 Deslocamento e realocação humana

Deslocamento de comunidades assentadas pode ser a causa de conflitos, caso de ressentimentos relaciona-

dos à projetos de mineração em larga escala. O reassentamento involuntário pode ser particularmente devastador para as comunidades indígenas com fortes raízes culturais e espirituais em suas terras.

Em muitas áreas de mineração, as comunidades perdem suas terras e conseqüentemente seus meios de subsistência, interrompendo as instituições comunitárias e as relações de poder. É possível que comunidades inteiras sejam forçadas a mudar para assentamentos construídos para esse fim. Eles também podem permanecer perto da mina, onde podem estar sujeitos a contaminação.

## 1.12.2 Disputa pelo uso da água

Um exemplo que cabe mencionar é a mineração de cobre no Chile que representa cerca de 30% da atividade econômica do país andino. "Sua capacidade de gerar riqueza para o país é enorme e oscila de acordo com os preços internacionais do cobre." (FERRO, 2016).

No deserto de Atacama, região extremamente árida, concentra grandes reservas de minerais metálicos e não metálicos.

Nessa região, durante o século XIX e início do século XX, a exploração do nitrato significou o surgimento de muitas cidades ao redor dos reservatórios, destruição da vegetação (combustível utilizado) e secagem de múltiplas fontes de água. A substituição dos sais naturais por químicos, implicou no abandono de todas estas paisagens e a consequência foi a formação de cidades fantasmas que permaneceram abandonadas até hoje.

A região do Atacama concentra algumas das reservas mais importantes do mundo de cobre, ouro, prata, molibdênio e lítio, que têm atraído grandes quantidades de investimentos econômicos nacionais e estrangeiros. De acordo com o U.S. Geological Survey, o Chile possui 30% das reservas mundiais de cobre.

Um grande problema para a viabilização de novos projetos é a disponibilidade de água.

A região de Antofagasta gasta mais de 8.000 l / s de água subterrânea extraída do planalto em atividades de mineração. As regiões de Tarapacá e Atacama, planaltos de altitude, também são as principais regiões mineradoras, enquanto a água retirada do restante de seus territórios pode, principalmente neste último caso, ser utilizada na agricultura, serviços e turismo.

A maior fonte de água vem do degelo nos meses de verão dos Andes, entretanto é visível a redução da quantidade de neve acumulada nos altos dos Andes (Mudança climática).

Há demandas de novos projetos de mineração e a sociedade chilena deve refletir sobre o que deve fazer a curto e longo prazo em relação à sobrevivência de ecossistemas únicos, como os pântanos do altiplano andino que margeiam o deserto do Atacama.

Também devem tomar decisões sobre assentamentos e territórios historicamente ocupados por comunidades indígenas e rurais nessas paisagens.

O Código de Águas existente está sendo objeto de grande discussão visando alcançar mecanismos e procedimentos que considerem explicitamente a equidade e a justiça social na distribuição de recursos para avaliar os custos e benefícios ambientais e sociais decorrentes de sua utilização.

A discussão deve necessariamente girar em torno da sustentabilidade ambiental e deve considerar não apenas os benefícios econômicos associados à atividade de mineração, mas também uma avaliação socioambiental de quem serão os beneficiários e perdedores da nova situação.

Avaliações ambientais estratégicas devem ser aplicadas nas situações complexas semelhantes às observadas no Deserto de Atacama.

Um exemplo, na região, é a Divisão Chuquicamata da estatal Chilena CODELCO. Essa mina (cobre e ouro) que já foi considerada a maior do mundo no gênero, está situada na junto a região árida do deserto de Atacama. A cava da mina tem 4,5 km de comprimento, 3,5 km de largura e 900 metros de profundidade.

Em 2018, a mina produziu 320.744 toneladas de cobre com a alocação de 5.494 trabalhadores (31/12/2018). A reserva da mina a céu aberto está exaurida e uma nova mina subterrânea vai dar continuidade na produção, minerando agora uma parte mais profunda da jazida. O número de empregados está sendo reduzido para cerca de 1000 trabalhadores no prazo de um ano.

Além disso, o depósito de bota fora está soterrando a vila mineira. Desde 2003 todos os moradores da Vila de Chuquicamata estão sendo transferidos para a vizinha Calama, distante cerca de 10 quilômetros. Os custos da operação, estimados em mais de 200 milhões de dólares, são bancados pela estatal

A mina de Chuquicamata é uma demonstração prática do fechamento da mina à céu aberto e transferência das atividades para mineração subterrânea. Embora se diferencie pelo grande porte, pode ser considerada como situação típica de muitas minas metálicas quando as jazidas à céu aberto são exauridas.

**FIGURA 1.8** Soterramento da Vila de Chuquicamata pelas pilhas de Bota fora da cava de Mineração.



Fonte: Autor, 2019.

O impacto social, do caso de Chuquicamata, está sendo gerido e pode ser minimizado pela empresa estatal "CODELCO", uma grande organização controlada pelo Governo Federal, que detém outras grandes operações mineiras na região e grandes reservas de cobre, metal cuja demanda global deve permanecer aquecida ainda por muitas décadas.

Esse exemplo mostra que mesmo regiões tradicionais e com projetos consolidados de mineração passam por grandes transformações pois as jazidas são um recurso finito e que vão estar exauridas no tempo.

A paralização por exaustão da jazida ou de viabilidade econômica, provoca desemprego de trabalhadores em regiões distantes sem outros meios de sustento, por empresas que não tem condições de continuidade e que foram constituídas para a finalidade de operação uma única mina é uma situação que tem sido vista em muitos outros lugares.

Como dar suporte as populações que se estabeleceram no local, em função da própria mineração é uma questão importante e que deve ser muito bem planejada e uma preocupação da sociedade e de todas as instâncias de governo.

## 1.13 NECESSIDADE DE EQUILIBRAR A PRESERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE COM O DESENVOLVIMENTO SOCIAL E ECONÔMICO

A centralidade dos conflitos mineiros deriva diretamente do seu posicionamento estratégico na economia mundial, situado na encruzilhada das indústrias energética, metalúrgica, química, da construção civil e de alta tec-

nologia, por um lado, e dos seus fatores de localização com elevados impactos ambientais sobre o território. Na ótica de organizações com visão embaçadas e conceitos civilizatórios ultrapassados, os conflitos ambientais são reduzidos à dimensão de simples conflitos intermodais: o problema, afinal, reside nessas comunidades que habitam "no local errado". A solução pode ser encontrada com o princípio da harmonia de interesses com mecanismos de indenização para a resolução de conflitos de interesses. A resolução destes conflitos sobre os usos dos territórios por via judicial, por livre acordo entre as partes ou por via administrativa (atuando o Estado como mediador ou facilitador) constitui a via mais frequente de resolução que, no entanto, pode deixar de fora os custos inerentes às alterações ambientais irreversíveis. (GUIMARÃES; CEBADA, 2016)

A Imagem negativa da mineração deve ficar no passado, precisa mudar, precisa se modernizar com controles mais efetivos. A "Globalização" mudou a forma como os negócios são feitos. A expansão da mineração é estimulada pela concorrência globalizada dos mercados mundiais. As empresas operam cadeias de abastecimento cada vez mais complexas. Existe um aumento na expectativa de clientes e outras partes interessadas e mais informação - a sociedade tem hoje uma voz mais forte do que nunca. (ABNT, 2015).

Projetos de mineração normalmente necessitam, grande volume de recursos e longo tempo de maturação. Os investidores têm aversão ao risco e querem os melhores retornos para o capital. Procuram "World Class Deposits". Jazidas que podem operar pelas características geológicas e de mercado de forma rentável, independente de legislações ou de protecionismos fiscais específicos de um determinado país.

Considerando a tendência de controles sociais, legislação cada vez mais restritivas e preocupação com a imagem, os investidores para reduzir os riscos, tendem a buscar projetos e operações ambientalmente sustentáveis, éticos e seguros para os trabalhadores e para as comunidades próximas, em conformidade com padrões de "compliance" internacionais. Procuram locais com estabilidade política, econômica, e com legislações compatíveis e similares dos países mais desenvolvidos.

A operação de mineração deve ser entendida como um Sistema que requer, acima de tudo, novas abordagens sistêmicas e sistemáticas que sejam capazes de resolver continuamente os problemas encontrados.

Além disso, há necessidade de preocupação com algumas realidades emergentes nas próximas décadas que podem piorar as condições ao invés de melhorar:

Os mercados globalizados buscam viabilizar projetos de mineração em corpos de minérios em maiores profundidades, jazidas com menores teores e descontínuas, com baixos custos de extração e de processamento, que resultam em menos remuneração e empregos (relativamente ao que ocorria no passado). À medida que a tecnologia avança e as operações são automatizadas ou realizadas remotamente, a necessidade de mão de obra local reduz drasticamente. (DELLOITE, 2015).

Portanto, para continuar e avançar num ambiente de melhoria contínua, a indústria da mineração deve buscar novos métodos de mineração e novas tecnologias. Organizar e gerenciar o trabalho de forma mais eficaz. Deve buscar inovações para a solução de problemas mais persistentes. Deve exigir mais recursos de saúde e segurança em equipamentos de mineração para garantir melhores práticas na realização do trabalho.

Os aspectos de saúde, segurança e meio ambiente devem estar incorporados em todas as fases da atividade de mineração (projeto, implantação, operação e fechamento).

A aplicação de técnicas de gerenciamento de risco eficaz observando as legislações, com segurança e ética perante seus trabalhadores e comunidades tornou-se um requisito na indústria de mineração.

"Considerando que muitas licenças sociais e operacionais têm como contrapartida a criação de postos de trabalho para as comunidades locais, as mineradoras precisarão repactuar seu valor para a sociedade." (DELLOITE, 2015). Deverão demonstrar que a mineração pode ser realizada de forma sustentável, mesmo sendo considerada de alto impacto ambiental e social. A arrecadação de tributos sobre a atividade mineral deve ser usada para investimentos que proporcionem melhoria da qualidade de vida dos moradores das regiões produtoras, assim como das gerações futuras. Isso pode ser feito por meio de investimentos em infraestrutura e gastos sociais, como saúde e educação.

Devemos utilizar as lições aprendidas do passado para melhor compreender as consequências sociais, eco-

nômicas e ambientais para viabilizar uma mineração sustentável e socialmente aceita pela sociedade nas próximas décadas do século XXI.

## Referências:

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 9001**: Sistemas de gestão da qualidade — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- BRASIL. [Código de Minas]. **Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967**. Dá nova redação ao Decreto-lei no 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del0227.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm). Acesso em: 18 out. 2022.
- CAETANO, Bruna. Crescimento do garimpo ilegal na Amazônia atinge duramente áreas indígenas. **Brasil de Fato**, São Paulo, SP, 14 dez. 2018. Direitos Humanos. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2018/12/14/crescimento-do-garimpo-ilegal-na-amazonia-atinge-duramente-areas-indigenas>. Acesso em: 18 out. 2022.
- DELLOITTE. **Valor além do compliance**. Belo Horizonte: IBRAM, 2015. Disponível em: [https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Deloitte\\_valor\\_alem\\_compliance\\_compressed.pdf](https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Deloitte_valor_alem_compliance_compressed.pdf).
- ECKHOUSE, Brian; MATHIS, Will; MURTAUGH, Dan. The 10 ways renewable energy's boom year will shape 2021. **The business standard**. 2021. Disponível em: <https://www.tbsnews.net/analysis/10-ways-renewable-energys-boom-year-will-shape-2021-182986>. Acesso em: 11 out. 2022.
- FERNANDEZ-RUBIO, R; REAL, F; CARVALHO, P. Mining-hydrological characteristics of the underground copper mine of Neves-Corvo, Portugal. In: 3rd International mine water congress, 1988, Melbourne. **Proceedings [...]**. Wendelstein: IMWA, 1988. p. 49–63. Disponível em: [https://www.imwa.info/docs/imwa\\_1988/IMWA1988\\_FernandezRubio\\_049.pdf](https://www.imwa.info/docs/imwa_1988/IMWA1988_FernandezRubio_049.pdf). Acesso em: 17 out. 2022.
- FERRO, José Roberto. Uma nova mineração surgindo no Chile. **Época Negócios**, [s. l.], 2016. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/colunas/Enxuga-Ai/noticia/2016/04/uma-nova-mineracao-surgindo-no-chile.html>. Acesso em: 18 out. 2022.
- GUIMARÃES, P.E., CEBADA, J.D.P. **Conflitos ambientais na indústria mineira e metalúrgica**: o passado e o presente. Rio de Janeiro: CETEM/CICP, 2016
- HUND, Kirsten *et al.* **Minerals for climate action**: the mineral intensity of the clean energy transition. Washington, DC: The World Bank, 2020. Disponível em: <https://www.commddev.org/publications/minerals-for-climate-action-the-mineral-intensity-of-the-clean-energy-transition/>. Acesso em: 18 out. 2022.
- INFORMAÇÕES sobre a economia brasileira**. Brasília: IBRAM, 2015. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/07/Economia-Mineral-Brasileira.pdf>. Acesso em: 18 out. 2022.
- LORINI, Angelo *et al.* Coogamai: Um exemplo gaúcho para o cooperativismo brasileiro. **Rádio comunitária - 87.9 FM**. Frederico Westphalen, RS, 2017. Disponível em: <http://www2.comunitaria.com.br/coogamai-um-exemplo-gaucha-para-o-cooperativismo-brasileiro/>. Acesso em: 11 out. 2022.
- O'CONNOR, L.; SPEARING, S. **Expanding the extractive metallurgy discipline**. Bentley, AU: Curtin University, 2017. Disponível em: [https://www.ausimm.com/globalassets/communities/branches/kalgoorlie/kalgoorlie\\_expanding\\_extmet\\_spearing.pdf](https://www.ausimm.com/globalassets/communities/branches/kalgoorlie/kalgoorlie_expanding_extmet_spearing.pdf). Acesso em: 15 dez. 2022.

TORRES, Vidal Felix Navarro; GAMA, Carlos Dinis da. **Engenharia Ambiental subterrânea e aplicações**. Rio de Janeiro: CETEM/CYTED, 2005. E-book. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/677>. Acesso em: 17 out. 2022.

TRIPATHY, Debi Prasad; ALA, Charan Kumar. Identification of safety hazards in Indian underground coal mines. **Journal of Sustainable Mining**, Gwarków, v. 17, n. 4, p. 175–183, 2018.

VILA da Ressaca: o garimpo no Brasil. *In*: **Gemas do Brasil**. 2015. Disponível em: <https://gemasdobrasil.blogspot.com/2015/12/vila-da-ressaca-o-garimpo-no-brasil.html>. Acesso em: 18 out. 2022.



# CAPÍTULO 2

## RISCOS AMBIENTAIS NO AMBIENTE DE MINERAÇÃO

A expressão “Riscos ambientais do trabalho” foi utilizada, em um primeiro momento, na Portaria n.º 3.214 de 08 de junho de 1978, do extinto Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

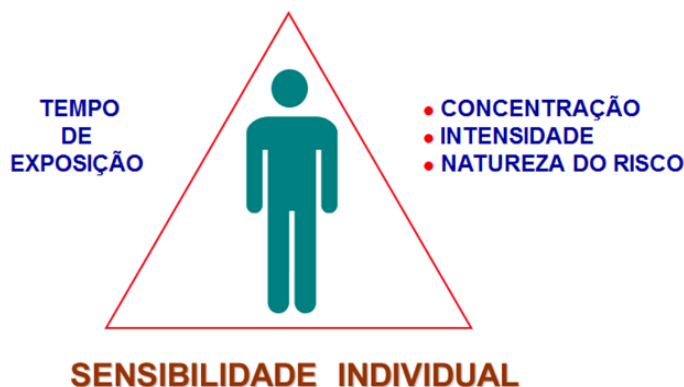
“Consideram-se riscos ambientais os agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador.” (BRASIL, 2022a)

Existem ainda riscos que fogem da definição da NR09, estes são os riscos ergonômicos e o risco de acidentes.

Assim, para fins didáticos, consideramos riscos ambientais de trabalho, aqueles que podem causar danos à saúde do profissional: Riscos físicos, químicos ou biológicos, riscos de acidentes e riscos ergonômicos.

Os fatores que influenciam na agressividade do agente ambiental no trabalhador são a “natureza do agente”, a “concentração”, a “intensidade” o “tempo de exposição” e a sensibilidade individual de cada um.

**FIGURA 2.1** Fatores que influenciam na agressividade do agente ambiental no trabalhador



Fonte: Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/5618143/> Acesso em: 15 dez. 2022.

## 2.1 RISCOS FÍSICOS

São definidos como “Riscos Físicos” as diversas formas de energia a que possam estar expostos os trabalhadores, tais como: ruído, vibrações, pressões anormais, temperaturas extremas, radiações ionizantes, radiações não ionizantes, bem como o infrassom e o ultrassom..

### 2.1.1 Ruídos

Ruídos que podem atingir níveis excessivos pode a curto, médio e longo prazo provocar prejuízos à saúde.

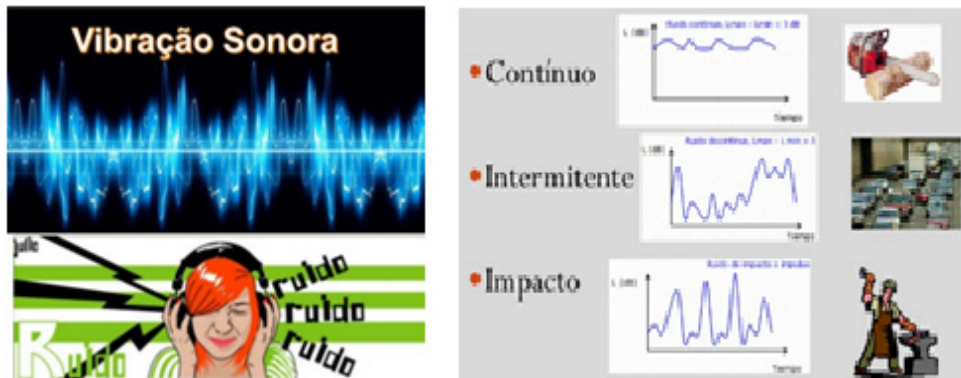
A intensidade dos danos vão depender do tempo de exposição, do nível sonoro e da sensibilidade individual de cada indivíduo.

As alterações danosas poderão manifestar-se imediatamente ou gradualmente.

Quanto maior o nível de ruído, menor deverá ser o tempo de exposição.

Os ruído podem ser classificados em : Contínuo, intermitente ou de impacto.

**FIGURA 2.2** Ruído – Vibração Sonora (Contínuo, intermitente e de impacto)



Fonte: Composição realizada pelo autor, com imagens disponíveis em: <https://raquellima16.wordpress.com/2011/01/29/tipos-de-som-ruído-fala-musica-e-silencio/>, <https://profes.com.br/felipes.rocha/blog/o-som-e-o-vacuo> e <https://pt.slideshare.net/pipaandrade/riscos-fsicos-16241029> . Acesso em: 15 dez 2022

O ruído dependendo das condições, pode atingir o aparelho auditivo causando a perda temporária ou definitiva da audição. O efeito pode ser imediato, gradual acumulativo (não reversível).

Normalmente as pessoas com mais idade tem pior audição. Isso acontece pois o nervo auditivo vai sendo afetado pelo modo de vida de cada indivíduo. Não é uma situação determinante pois depende de condições individuais genética, dos tipos de experiências e vivências de cada um ao longo da vida.

O ruído age diretamente sobre o sistema nervoso do indivíduo. Pode provocar fadiga nervosa, alterações mentais (de memória, irritabilidade, dificuldade em coordenar idéias). Pode provocar hipertensão, modificação do ritmo cardíaco, modificação do calibre dos vasos sanguíneos, modificação do ritmo respiratório, perturbações gastrointestinais, diminuição da visão noturna, e ainda dificuldade na percepção de cores.

**FIGURA 2.3** Tipos de ruído atingindo o aparelho auditivo



Fonte: Disponível em: <https://conceito.de/ruído-ambiental> Acesso em: 15 dez. 2022

## 2.1.1.1 Medida física do som

O som é uma oscilação na pressão do ar (ou de outro meio elástico) capaz de ser percebida pelo ouvido humano. Os seguintes parâmetros são importantes para definir as propriedades das variáveis físicas relativas as oscilações de pressão:

- Frequência (F) - Número de oscilações por unidade de tempo; unidade de medida: hertz - ciclos/segundo.

- Pressão (P) - Expressa em pascal ou newtons/m<sup>2</sup>.
- Potência (W) - Energia emitida pela fonte sonora por unidade de tempo; unidades de medida - joules/s ou Watts.
- Intensidade sonora (I) - Definida como potência por unidade de área; unidade watt/m<sup>2</sup>.

### 2.1.1.2 Escalas para medida de pressão, potência e intensidade das ondas sonoras - Lineares. Decibel na medida física do som

A intensidade dos sons captados pelo ouvido humano cobrem uma ampla faixa de variação. Exemplos: Murmúrio irradia uma potência de 0.000 000 001 watt; grito comum cerca de 0.001 watt; orquestra sinfônica 10 watts; avião a jato na decolagem - 100 000 watts.

A escala logarítmica, como o **decibel** é mais adequada para medida dessas grandezas físicas.

## Histórico da unidade DECIBEL

Alexander Graham Bell, inventor telefone (1847 – 1922), verificou que o sinal enviado por um par de fios entre uma cidade e outra, sofria uma grande atenuação (diminuição na amplitude do sinal). Se as perdas não fossem corrigidas por meio de amplificadores, o sinal não chegaria inteligível na outra ponta da transmissão.

Graham Bell descobriu que a variação de som percebido pelo ouvido humano não acompanha uma escala linear. Exemplo: Se dobrar a amplitude de um sinal (duplicar tensão elétrica), o ouvido não percebe como sendo o dobro da pressão sonora recebida, ou o dobro do volume.

Para representar a amplificação ou a atenuação, Graham Bell utilizou uma escala logarítma. Ele criou uma unidade de medida para esta atenuação que denominou originalmente de TU (*transmission unit*).

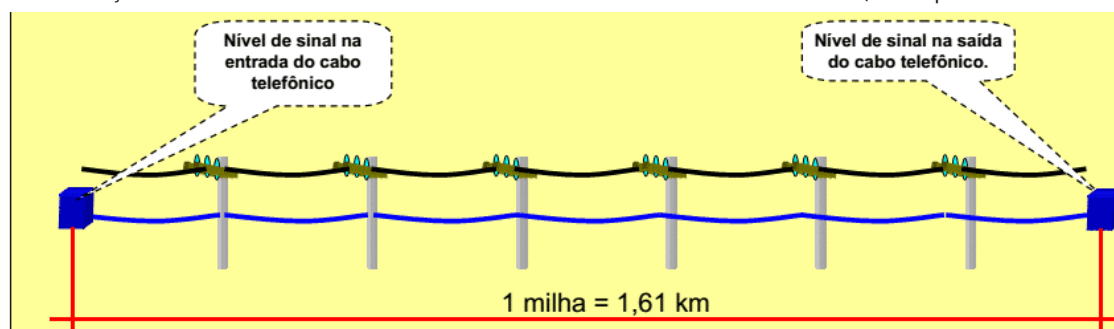
Em 1929, após morte de Graham Bell, Engenheiros do *Bell Telephone Laboratory* resolveram homenagear seu fundador, dando o nome de Bel (símbolo B) a esta unidade de medida. Depois com a prática perceberam que a unidade (1 Bel) era muito grande.

As relações resultavam em valores muito elevados e era mais prático dividir a unidade Bel em dez (um décimo de Bel = Decibel, símbolo dB).

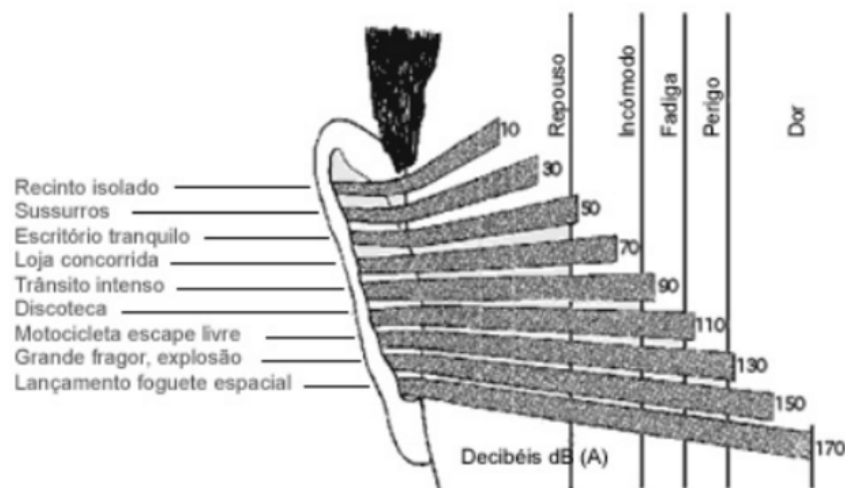
Por definição do *Bell Labs*:

1 Bel = Atenuação sinal de áudio em uma milha (1,61 km) de cabo telefônico

**FIGURA 2.4** Atenuação de um sinal de áudio em uma linha de telenone na distância de 1 milha (usado para definir a unidade Bell)



Fonte: Cunha, 2016.

**FIGURA 2.5** Percepção dos níveis de ruído pelo ouvido humano.

Fonte: Disponível em: <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-el-ruído-los-decibelios/>. Acesso em: 15 dez. 2022

## Limite de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

A Norma Regulamentadora 15, regula as sobre operações e atividades insalubres. A norma, no Anexo 1 da NR15 apresenta a tabela "Limites de Tolerância para ruído contínuo ou intermitente". A tabela relaciona o limite de tempo de exposição ao ruído que causará dano à saúde do trabalhador na jornada diária de trabalho.

A tabela é usada como parâmetro para avaliação pericial das condições ambientais de trabalho. Chamamos a atenção que para um regime de trabalho de 8 horas diárias, usual para jornadas semanais de 40 horas, o nível de ruído máximo permitido é 85 dB.

**TABELA 2.1** Limites de Tolerância para ruído contínuo ou intermitente

Nível de ruído dB (A)	Máxima exposição diária permitida
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 40 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora

Continua na próxima página

102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: Brasil, 2022b.

## 2.1.2 Vibrações

As máquinas e equipamentos que produzem vibrações podem ser nocivas ao indivíduo. Pode-se citar como exemplo os equipamentos, tipo perfuratrizes, que são facilmente encontrados em áreas de trabalhos da construção civil ou mineração.

As vibrações podem ser transmitidas ao operador no corpo inteiro ou em partes localizadas.

**Vibrações no corpo inteiro** – São lesões que ocorrem com os operadores de grandes máquinas, como os motoristas de caminhões, ônibus e tratores. As consequências podem ser lesões na coluna vertebral; dores lombares.

**Vibrações localizadas** – São lesões localizadas em determinadas partes do corpo do operador. As consequências são alterações neuro vasculares nas mãos, problemas nas articulações das mãos e braços; osteoporose (perda de substância óssea).

Para evitar ou diminuir as consequências das vibrações é recomendado o revezamento dos trabalhadores expostos aos riscos buscando assim menor tempo de exposição.

Deve ser dada especial atenção ao problema das vibrações optando por equipamentos ou processos que reduzam a exposição dos trabalhadores especialmente nas etapas de projeto e especificação da compra dos equipamentos.

## 2.1.3 Radiações

Segundo a definição do Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN), radiação são ondas eletromagnéticas resultado da aceleração de partículas carregadas que se propagam ao mesmo tempo, sob forma de onda e energia com velocidade elevada.

As ondas de radiação eletromagnética (REM) são uma junção de campo magnético com campo elétrico que se propaga no vácuo transportando energia. A luz é um exemplo de radiação eletromagnética. Não requer nenhum meio e pode viajar através do vácuo.

Pode ser descrita como um deslocamento pulsante e repetidos no espaço de energia, desacoplados das cargas elétricas que o induziram. As pulsações podem ser entendidas como a propagação de uma onda transversal, cujas oscilações são perpendiculares à direção do movimento da onda.

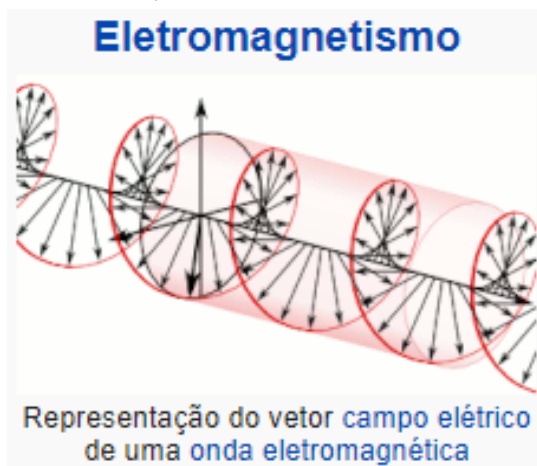
De acordo com as formulações desenvolvidas por James C. Maxwell em 1865, uma partícula carregada ele-

tricamente gera um campo elétrico em torno de si e o movimento dessa partícula gera, por sua vez, um campo magnético. Ambos os campos, elétrico e magnético, atuam vibrando ortogonalmente entre si e possuem as mesmas amplitudes, isso é, alcançam os seus máximos ao mesmo tempo. As variações do campo são causadas pelas vibrações da partícula. Quando essa partícula é acelerada, as perturbações entre os dois campos se propagam repetitivamente no vácuo em uma direção ortogonal à direção dos campos elétricos e magnéticos.

Segundo o modelo ondulatório, a REM pode ser apresentada como uma forma de onda senoidal e harmônica.

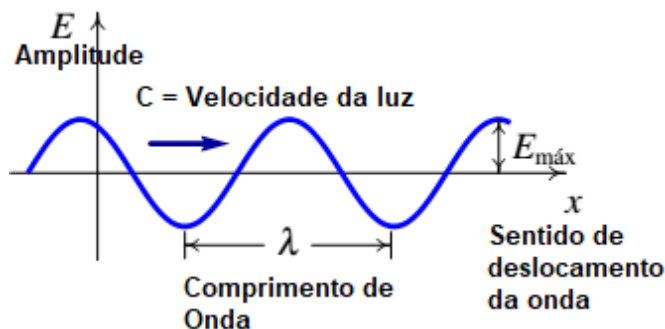
A Figura 2.6, representa o deslocamento da onda, conforme uma função senoidal, no sentido positivo do eixo dos X.

**FIGURA 2.6** Representação do deslocamento do campo elétrico.



Fonte: Figura disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Eletromagnetismo#/media/Ficheiro:Circular.Polarization.Circularly.Polarized.Light\\_Right.Handed.Animation.305x190.255Colors.gif](https://pt.wikipedia.org/wiki/Eletromagnetismo#/media/Ficheiro:Circular.Polarization.Circularly.Polarized.Light_Right.Handed.Animation.305x190.255Colors.gif). Acesso em: 15 dez. 2022

**FIGURA 2.7** Onda eletromagnética representada como função senoidal



Fonte: Figura disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o\\_eletromagn%C3%A9tica#/media/Ficheiro:Onda\\_Harm%C3%B4nica.png](https://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_eletromagn%C3%A9tica#/media/Ficheiro:Onda_Harm%C3%B4nica.png). Acesso em: 15 dez. 2022

O valor máximo do campo eletromagnético "E" representa a amplitude e o comprimento de onda, representada pela letra grega Lambda " $\lambda$ ", é a distância entre dois pontos máximos ou mínimos consecutivos do campo eletromagnético. O tempo que a onda demora para percorrer um comprimento de onda designa-se por "T". O inverso do período é a frequência "f", que indica o número de comprimentos de onda (pulsos), por unidade de tempo.

$$f = \frac{1}{T}$$

No sistema SI a unidade da frequência é o hertz "Hz" (ciclos/segundo).

No caso de uma onda eletromagnética no vácuo, a velocidade de propagação é a velocidade da luz representada por "C".

Dessa forma considerando:

- Distância entre dois pontos de máximo ou mínimo =  $\lambda$
- Velocidade de deslocamento (luz) = C
- t = tempo (segundos)
- Tempo para percorrer a distância entre dois máximos ou mínimos = T
- Frequência =  $\frac{1}{T}$  (pulsações por unidade de tempo)

Deverá observar a relação:

$$\lambda = Ct; \quad c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

O comprimento da radiação eletromagnética depende de quanto tempo a partícula é acelerada, e a frequência  $\nu$  da radiação depende da frequência de vibração da partícula. Eventualmente carga elétrica e magnética, ao interagirem podem produzir variados efeitos sobre matéria. Existem vários tipos de ondas eletromagnéticas e o seu comportamento e absorção pelo organismos quando toca a matéria vai depender do comprimento da onda e da frequência.

**FIGURA 2.8** Espectro das ondas eletromagnéticas e Utilização.

	Frequência - $\nu$ (Hz)	Radiação	Comprimento de onda $\lambda$ (m)	Utilização
Radiação Ionizante	$10^{25}$	Raios Gama	$10^{-17}$	
	$10^{23}$		$10^{-15}$	
	$10^{21}$		$10^{-13}$	
	$10^{19}$		$10^{-11}$	Tratamento cancer
	$10^{17}$	Raios X	$10^{-8}$	Sondagens geofísica; reconhecimento de
Radiação Não Ionizante	$10^{15}$	Raios Ultravioleta	$10^{-7}$	
	$10^{15}$	Luz Visível	$10^{-6}$	
	$10^{11}$	Infravermelho	$10^{-3}$	Lâmpadas de calor; Fornos
	$10^9$	Microondas	$10^{-1}$	Radar, telefonia
	$10^7$	Rádio (FM, AM)	101	Radar; TV, Rádio,
	$10^5$	Ondas de rádio longas	$10^3$	Navegação
	$10^3$		$10^5$	
	$10^1$	$10^7$		

Fonte: Adaptado de Peixoto e Ferreira, 2013

As radiações podem ser classificadas em dois grupos principais: Ionizantes e não ionizantes.

### 2.1.3.1 Radiações ionizantes

As partículas carregadas eletricamente são consideradas ionizantes quando possuem uma energia suficiente para ionizar átomos que estão em sua trajetória. A radiação ionizante pode arrancar elétrons de um átomo se tiver energia maior que a da ligação deles ao núcleo.

Considerando o espectro de onda eletromagnética, normalmente somente os raios X e gama são radiações

ionizantes, ou seja, têm energia suficiente para ionizar átomos. Em algumas situações as partículas alfa e Beta também tem energia com poder de ionização.

Além de ser reconhecidamente cancerígena, a radiação ionizante pode causar queimaduras na pele e dentro do corpo, dependendo da quantidade e intensidade da dose. Pode causar mutações genéticas em óvulos, espermatozoides, na gestação e nos sistemas reprodutores masculino e feminino, além de danos irreversíveis às células. Os trabalhadores que são frequentemente expostos a esse tipo de radiação podem ter o seu organismo ou dos seus descendentes afetados.

Quando aplicada em pequenas doses, controladas por conhecimento técnico adequado, a radiação ionizante é eficaz no diagnóstico e tratamento de doenças.

Podemos encontrar trabalhadores com exposição a esse tipo de radiação nos operadores de equipamentos de raios-X usados em clínicas médicas e odontológicas; laboratórios de diferentes especialidades; serviços de segurança e alfandegários em portos e aeroportos entre outros. Nas áreas de pesquisa mineral e mineração podem ser encontrados em modernos equipamentos de prospecção geofísica, sensoriamento remoto e também em equipamentos e sensores industriais de controle.

### 2.1.3.2 Radiação não ionizante

As radiações não ionizantes são insuficientes para ionizar átomos ou moléculas porém podem quebrar ligações químicas e moléculas.

Possuem energia inferior a 10 ou 12 eV. A radiação não ionizante possui comprimento de onda maior que 100 nm (ou ainda, com frequências menores que  $3 \times 10^{15}$  Hz).

Observação:

- Unidade SI a carga elétrica de um próton é  $1.60 \times 10^{-19}$  coulombs. A unidade de energia de uma partícula física é o elétron volt. Símbolo (eV)
- Por definição, um elétron-volt é a energia ganha por um elétron que atravessa uma diferença de potencial de um volt, no vácuo.
- Unidade SI, nanômetro é uma unidade de medida de comprimento do sistema métrico, correspondente a  $1 \times 10^{-9}$  metro. Tem como símbolo nm.

O espectro da radiação não ionizante pode ser subdividido em três grandes categorias, historicamente chamados de: óptico, radiofrequência e elétrico.

**Óptico** - A energia é associada à luz, comprimentos de onda da luz visível (400 nm a 700 nm) ou suas radiações vizinhas (infravermelho e ultravioleta). A radiação ultravioleta é considerada não ionizante por não possuir energia suficiente para arrancar elétrons dos principais átomos que constituem o corpo humano e por ser muito pequena a sua penetração. O infravermelho (radiação infravermelha), possui comprimento de onda de 700 nm a 1 mm. O infravermelho próximo (700 nm a 1400 nm) atravessa o cristalino do olho e chega até a retina.

**Radiofrequência** - Inclui frequências abaixo e acima das tradicionais ondas de rádio, compreendendo tipicamente as frequências entre 10 kHz até 300 GHz. As frequências na faixa entre 300 MHz até 300 GHz são conhecidas como micro-ondas.

**Elétrico** - A energia é usualmente transmitida por fios ou cabos com uma frequência de 50 e 60 Hz. O espectro elétrico cobre a maioria dos equipamentos eletroeletrônicos e tradicionalmente tem seu limite superior como sendo 20 kHz. Ondas nessas frequências podem irradiar e propagar-se no espaço da mesma forma que as ondas eletromagnéticas de frequência mais altas.

## Radiações não ionizantes no ambiente de trabalho

Trabalhadores com exposição à radiação não ionizante ou radiação infravermelha na operação em fornos; sol-



da oxiacetilênica; radiação ultravioleta gerada por operações em solda elétrica, ou ainda raios laser, micro-ondas, etc. São atividades muito facilmente encontradas nos setores de montagem e manutenção de diferentes indústrias, oficinas, em canteiros da construção civil e também nas instalações de apoio à mineração.

Exposições a radiação não ionizantes podem ser encontradas nas atividades ao ar livre, com exposição ao sol. Típico no caso das operações unitárias da mineração à céu aberto

Os efeitos indesejáveis da radiação ultravioleta ocorrem principalmente na pele e nos olhos (perturbações visuais, conjuntivites, cataratas). Os efeitos nos trabalhadores à exposição, sem proteção adequada, são queimaduras, lesões na pele, cancerígena para a pele, causa depressão imunológica, fotoenvelhecimento.

## 2.1.4 Temperaturas extremas

A temperatura interna do corpo é determinada pelo balanço entre o calor produzido internamente e o calor ganho ou perdido para o ambiente externo. A energia interna é produzida pelo organismo através da transformação química dos alimentos ingeridos. A transferência de calor com o meio é função das condições externas, e podem ocorrer por convecção, radiação, condução e evaporação.

Conforme a temperatura do sangue e a sinais dos receptores cutâneos, o centro termorregulador, localizado no cérebro/hipotálamo, envia sinais de resposta às condições ambientais térmicas ao qual o indivíduo está submetido (temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e intensidade de radiação solar).

A temperatura do sangue se deve ao calor da energia liberada pelas células quando estas absorvem o alimento (um processo que requer um suprimento constante de alimento e oxigênio). No caso de exposição ao calor ambiental excessivo, o organismo produz mais calor e utiliza esses mecanismos de regulação para perder mais calor e manter constante sua temperatura. O excesso é eliminado, sendo normal que o corpo perca constantemente calor através dos pulmões e da pele.

As manifestações fisiológicas da transferência do calor, ocorre pelo fluxo regular do sangue através de vasodilatação e vaso constrição, aumento ou diminuição da taxa respiratória, aumento da sudorese, variação das condições da alimentação e alterações comportamentais.

Quando, adequadamente vestido o homem pode suportar variações de temperatura entre -50 até 100°C. Porém, o organismo não suporta uma variação de temperatura na parte central do corpo acima de 4°C sem que haja consequências da capacidade física e mental. A manutenção de temperatura é essencial para garantir a vida e a capacidade de trabalho.

A temperatura do corpo não é igual em todo o organismo. Uma temperatura média próxima dos 37°C é mantida no cérebro, no coração e nos órgãos abdominais, chamada de temperatura de núcleo.

A temperatura de núcleo do corpo, ajustada pelo sistema termorregulador, não é constante e depende da taxa de metabolismo. Em atividades físicas severas, com alta taxa de metabolismo, essa temperatura pode ser elevada até 39,5°C.

## Exposição ao frio

O frio é um dos agentes físicos capaz de causar estresse ao organismo humano, dificulta a concentração mental, e provoca distrações." As pessoas passam a tomar decisões mais arriscadas e isso pode diminuir a qualidade do trabalho e aumentar o risco de acidentes. Enregelamento de membros é uma lesão comum causada pela exposição ao frio intenso ou contato com objetos extremamente frios. Ocorre quando a temperatura do tecido cai abaixo de 0°C. Os vasos sanguíneos podem ficar lesados gravemente e de maneira irreversível, e a circulação sanguínea pode se interromper no tecido afetado. Nos casos mais leves, o sintoma é uma inflamação da pele (bolhas), seguida por uma dor leve. A pele enregelada é suscetível à infecção, podendo chegar à gangrena.

Uma grande diversidade de ocupações pode levar a exposições ocupacionais ao frio, tais como trabalho a céu

aberto em regiões frias, mineração, trabalho em câmaras frias ou navios frigorificados, pesca, mergulho e muitas outras ocupações profissionais.

## Exposição ao calor intenso

Esgotamento por calor ocorre quando a perda contínua de fluidos, através da transpiração, não é compensada pela ingestão de líquidos e sais.

Os riscos aumentam com a umidade elevada, que diminui o efeito refrescante da sudorese, e com o esforço físico prolongado, que aumenta a quantidade de calor produzido pelos músculos.

A exposição prolongada ao calor excessivo pode causar um aumento da irritabilidade, fraqueza, depressão, ansiedade e incapacidade para concentrar-se. Os casos mais graves, podem ocorrer alterações físicas tais como desidratação, erupção (vesículas roxas na área afetada da pele) e câimbras (espasmos e dor nos músculos do abdômen e das extremidades).

Altas temperaturas podem provocar:

1. Desidratação
2. Erupção da pele
3. Câimbras
4. Fadiga física
5. Distúrbios psiconeuróticos
6. Problemas cardiocirculatórios
7. Insolação.

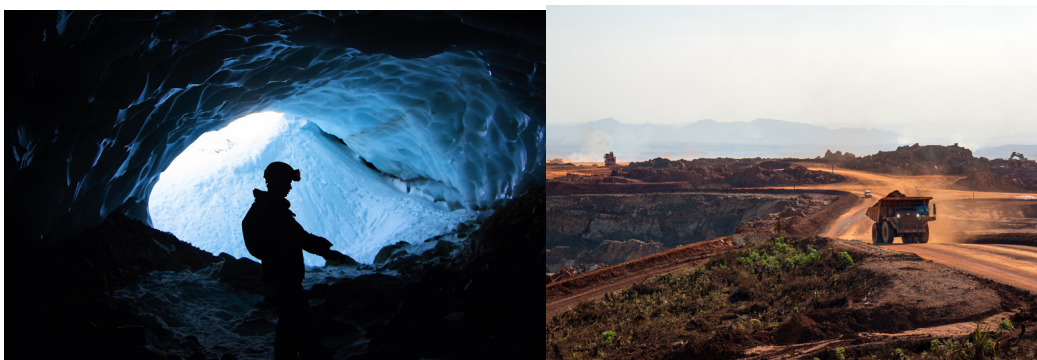
Profissões que expõem os trabalhadores à intensa radiação solar, têm taxas de incidência de câncer de pele mais elevadas do que a população em geral ou trabalhadores de outras profissões.

Podem ser encontrados nas áreas de trabalho em situações de temperaturas extremas: Agricultores, trabalhadores da construção civil e mineração a céu aberto, pescadores e marinheiros, cozinheiros, padeiros, fundidores de metais, fabricantes de vidros, mineiros, entre outros.

São exemplos de atividades com exposição à temperaturas extremas:

- Trabalhos ao ar livre em situações de elevadas ou baixas temperaturas (neve ou sol).
- Bombeiros em atividade de combate à incêndios.
- Trabalhadores em atividades em câmaras frigoríficas.
- Mineração subterrânea quando a ventilação do ambiente não está convenientemente controlada.

**FIGURA 2.9** Situações de trabalho sob condição de temperaturas extremas (frio ou calor)



Fonte: Imagens disponíveis em: [https://br.freepik.com/fotos-gratis/homem-solitario-caminhando-nas-montanhas-em-uma-gaiola-coberta-de-neve-durante-o-dia\\_14890484.htm#query=mining%20siberia&position=19&from\\_view=search&track=ais](https://br.freepik.com/fotos-gratis/homem-solitario-caminhando-nas-montanhas-em-uma-gaiola-coberta-de-neve-durante-o-dia_14890484.htm#query=mining%20siberia&position=19&from_view=search&track=ais) e [https://br.freepik.com/fotos-gratis/caminhao-basculante-na-mina-de-poco\\_29506167.htm#query=mining%20on%20hot%20sun&position=2&from\\_view=search&track=ais](https://br.freepik.com/fotos-gratis/caminhao-basculante-na-mina-de-poco_29506167.htm#query=mining%20on%20hot%20sun&position=2&from_view=search&track=ais). Acesso em: 15 dez. 2022

## 2.1.5 Pressões anormais

Trabalhadores expostos a pressões ambientais acima ou abaixo das pressões normais.

**Baixas pressões:** Abaixo da pressão atmosférica normal, ocorrem com trabalhadores que realizam tarefas em grandes altitudes.

**Altas pressões:** são as que se situam acima da pressão atmosférica normal, como no caso dos "Caixões pneumáticos". São compartimentos estanques instalados nos fundos dos mares, rios, e represas onde é injetado ar comprimido que expulsa a água do interior do caixão, possibilitando o trabalho. Esse tipo de tecnologia é usado na construção de pontes e barragens, abertura de poços de minas para a contenção de entrada de água na frente de trabalho.

A doença descompressiva de origem ocupacional pode acometer uma ampla gama de trabalhadores que trabalham em ambientes hiperbáricos: mergulhadores, trabalhadores da construção civil de túneis, fundações, exploração submarina de petróleo, atividades de mineração, aviação civil e militar, entre outras.

Os trabalhadores quando operam nessas condições estão sujeitos a uma atividade de alto risco com legislação específica (BRASIL, 2022b) que regula as atividades. O tempo de exposição e de retorno, equipamentos entre outros.

A exposição a pressões anormais, pode causar a ruptura do tímpano quando o aumento de pressão for brusco e a liberação de nitrogênio nos tecidos e vasos sanguíneos e morte.

Nos casos agudos de doença descompressiva, o tratamento é a terapia de recompressão, acompanhada por 100% de oxigênio, prescrita de acordo com tabelas de descompressão. O transporte do paciente para a câmara de recompressão deve ser imediato com medidas de suporte acrescentados.

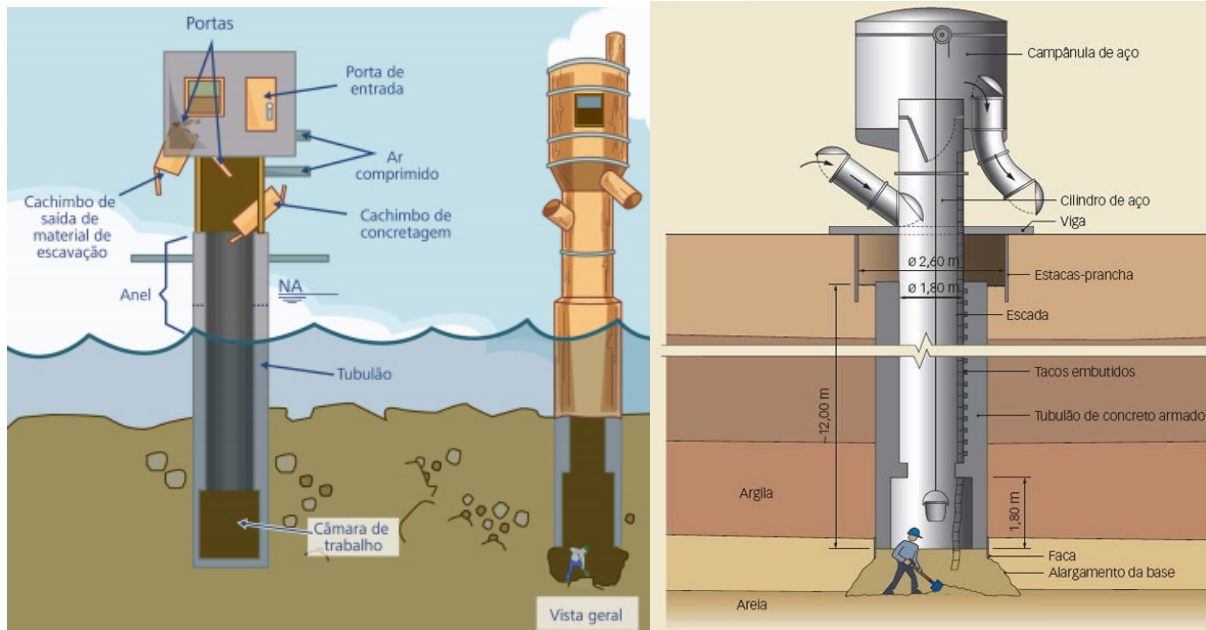
Outra doença ocupacional freqüente, relacionada a doença descompressiva ou de exposições repetidas a ambientes hiperbáricos, é a Osteonecrose ou "Mal dos Caixões". Tipo especial de necrose óssea causada pela oclusão de pequenas artérias e capilares ósseos, seguida de infarto na área envolvida, e por bolhas de nitrogênio formadas durante o processo de descompressão. Essa doença aumenta em populações de trabalhadores sujeitos a condições em que não se observam estritamente as tabelas de descompressão, constituindo-se a descompressão inadequada a principal causa da doença (BRASIL, 2022b). Parece haver uma correlação entre a ocorrência da doença e o número de episódios de descompressão sofridos pelo trabalhador, a freqüência da exposição, a magnitude da pressão e a freqüência de acidentes descompressivos relatados.

A maior parte dos casos são assintomáticos e identificados por meio de exame radiológico em indivíduos expostos. Pode surgir gradual ou repentinamente, após um levantamento de peso. Nas lesões do fêmur, a dor pode ser referida na virilha, irradiando-se para a superfície anterior da coxa. Desenvolve-se lentamente, tornando-se cada vez mais intensa.

A prevenção da osteonecrose no mal dos caixões relacionada ao trabalho baseia-se na vigilância dos processos de atividades que envolvem exposição a pressões hiperbáricas, destacando-se mergulhadores, trabalhadores da construção civil de túneis, fundações, exploração submarina de petróleo, atividades de mineração, aviação civil e militar.

Os procedimentos de prevenção têm como referência o cumprimento das prescrições contidas no Anexo n.º 6 da NR 15 (Portaria/MTb n.º 3.214/1978), que trata dos trabalhos sob condições hiperbáricas.

**FIGURA 2.10** Trabalhos em câmaras com pressão elevada para evitar a entrada de água.



Fonte: Peixoto e Ferreira, 2013

## 2.1.6 Umidade

Se refere a atividades ou operações executadas em locais alagados ou encharcados, com umidades excessivas.

Efeitos da exposição do trabalhador à umidade pode acarretar doenças do aparelho respiratório, quedas, doenças de pele, doenças circulatórias, entre outras.

Para o controle da exposição do trabalhador, as medidas de proteção coletiva (como o estudo de modificações no processo do trabalho, colocação de estrados de madeira, ralos para escoamento).

Medidas de proteção individual (como o fornecimento do EPI - luvas de borracha, botas, avental para trabalhadores em galvanoplastia, cozinha, limpeza etc).

## 2.1.7 Riscos Ergonômicos

Se refere a quaisquer fatores que possam interferir nas características psicofisiológicas do trabalhador, causando desconforto ou afetando sua saúde.

Podemos citar: Esforço físico intenso, levantamento e transport de peso, postura inadequada, controle rígido de produtividade, repetitividade, stress, monotonia e jornada prolongada.

Elevado número de doenças ocupacionais e acidentes trabalhistas é decorrente da ausência de medidas ergonômicas adequadas, de jornadas muito longas de trabalho.

Execução de atividades muito monótonas ou repetitivas e execução do trabalho em uma posição inadequada e até situações de alto nível de estresse mental.

A aplicação dos princípios ergonômicos no ambiente do trabalho pode propiciar uma interação adequada e confortável do ser humano com os objetos que maneja e com o ambiente onde trabalha que resultam em melhorar a produtividade. Possibilitam também reduzir os custos laborais que se manifestam através de absenteísmo, rotatividade, conflitos e pela falta de interesse para o trabalho.

Pequenas mudanças no design ergonômico de equipamentos, nas estações trabalho ou nas tarefas de traba-

lho podem trazer melhorias significativas.

Os trabalhadores que possam ser afetados por quaisquer mudanças ergonômicas no ambiente de trabalho devem se envolver nas discussões. Sua contribuição pode ser muito útil para determinar as mudanças necessárias e adequadas.

A ergonomia pode contribuir para solucionar um grande número de problemas sociais. Principalmente aqueles relacionados com a segurança e com a saúde do trabalho, pode contribuir também para a prevenção de erros e de melhoria do desempenho.

Os principais objetivos da ergonomia são: Satisfação e conforto; garantia de que a prática laboral e o uso do equipamento/produto não causem problemas à saúde do usuário. Isso pode ser feito de forma técnica através da análise da interação entre operador e produto/equipamento. Atuação nas atividades e nos ambientes laborais.

O trabalho engloba o contexto organizacional, psicossocial e político de um sistema de trabalho ou de uma organização. Devem ser estudados os acidentes ocorridos e suas causas. Devem ser estudados os erros humanos e o inadequado relacionamento entre o trabalhador e suas tarefas.

Os acidentes e doenças do trabalho podem ser reduzidos se forem consideradas as capacidades e limitações humanas durante o projeto de trabalho e seu ambiente, incluindo equipamentos e tecnologias. Elevado número de doenças ocupacionais e acidentes trabalhistas é decorrente da ausência de medidas ergonômicas adequadas.

Esforço físico intenso, levantamento e transporte manual de peso, exigência de postura inadequada, controle rígido de produtividade, imposição de ritmos excessivos, jornadas de trabalho prolongadas, monotonia e repetitividade, além de outras situações causadoras de stress físico e/ou psíquico.

## Ergonomia de concepção

Ocorre quando a contribuição ergonômica se faz durante o projeto do produto, da máquina, do ambiente ou do sistema. É a melhor situação, pois as alternativas poderão ser amplamente examinadas.

Exige maior conhecimento e experiência, porque as decisões são tomadas com base em situações hipotéticas, ainda sem uma existência real.

O nível de decisões pode ser melhorado, buscando-se informações em situações semelhantes que já existam ou construindo-se modelos tridimensionais de postos de trabalho.

As situações de trabalho podem ser simuladas a custos relativamente baixos e modernamente, podem ser simuladas no computador, com uso de modelos virtuais.

## Ergonomia de Correção

A ergonomia de correção é aplicada em situações reais, já existentes, para resolver problemas que se refletem na segurança, quantidade e qualidade da produção, resultando em fadiga excessiva, doenças do trabalhador.

Muitas vezes, a solução adotada não é completamente satisfatória, pois ela pode exigir custo elevado de implantação. Em alguns casos, certas melhorias, como mudanças de posturas, colocação de dispositivos de segurança e aumento da iluminação podem ser feitas com relativa facilidade enquanto, em outros casos, como as reduções de carga mental ou de ruído, tornam-se difíceis.

## Ergonomia de Conscientização

Procura capacitar os trabalhadores para a identificação e correção dos problemas do dia a dia ou emergenciais. Muitas vezes, os problemas ergonômicos não são solucionados, nas fases de concepção e de correção.

Novos problemas poderão surgir devido à própria dinâmica do processo produtivo.

Podem ocorrer, desgastes naturais das máquinas e equipamentos, modificações introduzidas pelos serviços

de manutenção, alteração dos produtos e da programação da produção, introdução de novos equipamentos, substituição de trabalhadores e assim por diante.

Os imprevistos podem surgir e os trabalhadores devem estar preparados para enfrentá-los. É importante conscientizar o trabalhador, através de cursos de treinamento e frequentes reciclagens.

A conscientização dos trabalhadores nem sempre é feita em termos individuais e deve ser feita coletivamente, quando o problema afetar um grupo.

## Ergonomia de participação

Procura envolver o próprio usuário na solução de problemas ergonômicos. Pode ser o trabalhador, no caso de um posto de trabalho, ou o consumidor, no caso de produtos de consumo.

Tem como base, a crença de que usuário possui conhecimento prático, cujos detalhes podem passar despercebidos ao analista ou projetista. Enquanto a ergonomia de conscientização procura apenas manter os trabalhadores informados, a de participação envolve aquele de forma mais ativa, na busca da solução para o problema.

Conforme a Agência Internacional de Energia IEA (2000), os domínios de especialização da ergonomia são:

***Ergonomia física*** - Está relacionada com as características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica em sua relação a atividade física. Postura, manuseio de cargas, movimentos repetitivos, distúrbios músculo-esqueléticos, projeto de posto de trabalho, segurança e saúde do trabalhador. Os tópicos relevantes incluem o estudo da postura no trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, distúrbios músculo esqueléticos relacionados ao trabalho, projeto de posto de trabalho, segurança e saúde.

***Ergonomia cognitiva*** - Refere-se aos processos mentais, tais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora conforme afetem as interações entre seres humanos e outros elementos de um sistema.

Os tópicos relevantes incluem o estudo da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado, interação entre homem e computador, estresse e treinamento conforme esses se relacionem a projetos envolvendo seres humanos e sistemas. Carga mental, tomada de decisões, interação homem-máquina, estresse e treinamento.

***Ergonomia organizacional*** - Projeto de trabalho, programação de trabalho em grupo, projeto participativo, trabalho cooperativo, cultura organizacional, organizações e gestão da qualidade. Se refere à otimização dos sistemas sociotécnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e de processos. Os tópicos relevantes incluem comunicações, gerenciamento de recursos dos coletivos de trabalho, projeto de trabalho, organização temporal do trabalho, trabalho em grupo, projeto participativo, novos paradigmas do trabalho, trabalho cooperativo e cultura organizacional.

***Análise Ergonômica do Trabalho (AET)*** – Práticas da ergonomia de concepção, de correção, de conscientização e de participação que são abordados na NR17 que visa a estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente. As condições de trabalho citadas na NR 17 (1990) incluem aspectos relacionados ao levantamento, transporte e descarga de materiais, ao mobiliário, aos equipamentos e às condições ambientais do posto de trabalho e à própria organização do trabalho.

O item 17.1.2 da NR 17 destaca que "para avaliar a adaptação das condições de trabalho cabe ao empregador realizar a AET, devendo ela abordar, no mínimo, as condições de trabalho, conforme estabelecido nesta Norma Regulamentadora".

## Ergonomia na mineração

Os mineiros atuam em ambientes inadequados, que aumenta o risco de acidentes de trabalho e de doenças ocupacionais.

A ausência de medidas ergonômicas pode ser considerada como parte importante dos problemas de acidentes e doenças ocupacionais na mineração. A incorporação dos princípios ergonômicos irá trazer uma contribuição na melhoria do ambiente e das condições de segurança e saúde do trabalhador das minas.

Uma empresa de mineração é dividida em vários setores, com diferenças grandes entre as atividades realizadas. Em algumas minerações menos desenvolvidas, convivem com tarefas ou processos onde o sistema musculoesquelético é o mais exigido podendo chegar, em alguns setores, a 90% das causas de afastamentos. 70% dos afastamentos vem de lesões do sistema músculo esquelético, as dores lombares são campeãs". Fatos que evidencia que fundamentos da ergonomia é facilitador, para atingir os objetivos da organização e melhorias necessárias no ambiente de trabalho.

Uma das soluções para o problema é a adoção de programas de incentivo para o uso consciente dos equipamentos de segurança (EPI) e acompanhamento mais próximo possível das condições de saúde e bem-estar dos trabalhadores.

Para reduzir os afastamentos vem de lesões do sistema músculo esquelético, as medidas preventivas sempre são as mais sugeridas. As medidas emergenciais sempre são mais caras e tem menor resultado. É necessário intervir com informação e conscientização do colaborador quanto a sua tarefa, seu ambiente de trabalho e atitudes de bem estar.

O treinamento para a utilização das máquinas e para os movimentos que envolvem o trabalho é uma boa medida preventiva".

Evolução dos equipamentos reduzem o esforço físicos e posturais.

Podemos citar como exemplo: Uma das principais causas dos acidentes em minas subterrâneas - desmoronamento de blocos de rocha (chocos).

Operação de "abatimento de choccos", constitui uma das atividades mais árduas e perigosas em mineração de subsolo.

A retirada mecânica de choccos: geralmente oferece ao trabalhador maior proteção. O operador remove a rocha solta, enquanto fica posicionado em cabine de proteção e a maior distância que na retirada manual.

Em 2002, cerca de 25% das minas brasileiras já usavam scaler (perfuratriz adaptada para o batimento mecanizado de choccos).

**FIGURA 2.11** Operação de abatimento de "Choco" – Manual e evolução com equipamento "scaler"



Fonte: Imagem à esquerda: Faria, 2008. Imagem à direita: NMV GROUP, 2021

## 2.2 AGENTES QUÍMICOS

**FIGURA 2.12** Agentes químicos no ambiente do trabalho : poeiras, fumos, gases , substâncias e compostos químicos

Riscos químicos são representados pelas substâncias químicas que se encontram nas formas sólida, líquida ou gasosa, e quando absorvidas pelo organismo, podem produzir reações tóxicas e danos a saúde.

Exemplos:

Poeiras, fumos, gases, substâncias e compostos químicos.



Fonte: Imagem à esquerda disponível em [https://pt.slideshare.net/flavio\\_avlis/sade-e-segurana-no-trabalho-sociologia-20122](https://pt.slideshare.net/flavio_avlis/sade-e-segurana-no-trabalho-sociologia-20122), e imagem à direita disponível em: <https://metalurgicosdeminas.com.br/excesso-de-trabalho-pode-resultar-em-doencas-irreversiveis/>. Acesso em: 15 dez. 2022

São as substâncias, compostos ou produtos que possam ter contato ou ser absorvidos pelo organismo.

O contato com produtos químicos pode ocorrer por absorção pela via respiratória através da inalação direta ou indiretamente de produtos químicos, nas formas de poeiras, fumos, névoas, neblinas, gases ou vapores, ou que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou ser absorvidos pelo organismo por ingestão ou através da pele (tegumentar).

Observação: Tegumento reveste toda a superfície corpórea. Corresponde à pele e seus anexos e ao tecido subcutâneo.

A presença de substâncias agressivas no ambiente de trabalho constitui um risco para a saúde do trabalhador. Não significa que o mesmo venha a contrair uma doença profissional, pois sua ocorrência depende fundamentalmente da concentração do contaminante; tempo de exposição; características físico-químicas do contaminante e da susceptibilidade pessoal.

Conforme publicações do Ministério da Saúde do Brasil, as pneumopatias relacionadas etiológicamente à inalação de poeiras em ambientes de trabalho são genericamente designadas como pneumoconioses (do grego, conion = poeira). São excluídas dessa denominação as alterações neoplásicas, as reações de vias aéreas, como asma e a bronquite, e o enfisema. Para fins práticos, no entanto, o termo pneumoconiose será utilizado neste protocolo para designar genericamente todas as doenças pulmonares causadas por inalação de poeiras independente do processo envolvido.

As ocupações que expõem trabalhadores ao risco de inalação de poeiras causadoras de pneumoconiose estão relacionadas a diversos ramos de atividades, como mineração e transformação de minerais em geral, metalurgia, cerâmica, vidros, construção civil (fabricação de materiais construtivos e operações de construção), agricultura e indústria da madeira (poeiras orgânicas), entre outros.

Exemplo frequente de poeiras nas áreas de mineração:

- Sílica, muito comum nas áreas de britagem na produção de brita
- Manganês, gerada durante atividades de extração, moagem ou transporte desse minério. O manganês é o agente químico que se apresenta na forma de poeira.
- Carvão. A pneumoconiose dos trabalhadores do carvão (ou dos mineiros) é uma doença profissional causada pela inalação de poeiras de carvão mineral, caracterizada pela deposição destas poeiras nos alvéolos pulmonares e pela reação do tecido do órgão, provocada por sua presença.

Observação: O carvão mineral é considerado pela legislação para a determinação de salubridade do ambiente



como um agente químico. Dessa forma, apenas a sua presença ou o contato físico já determinam uma condição de insalubridade do ambiente. A avaliação de salubridade como poeira mineral necessita o dado quantitativo de concentração no ambiente. Essa questão tem sido objeto de muitas discussões e pendências em processos na área da justiça do trabalho, relativo a direitos trabalhistas e previdenciários por parte dos trabalhadores, empresas de mineração e do INPS.

O risco de ocorrência de pneumoconiose ainda é um problema mundial, embora as condições de trabalho e precariedade do controle ambiental e individual da exposição, possam levar a um risco maior nas minerações menos desenvolvidas ou em países com legislações mais brandas com sindicatos e fiscalização governamental menos atuantes..

Citamos como exemplo a ocorrência de silicose no ramo de pedreiras (exploração de granito e fabricação de pedra britada); na indústria naval (operações de jateamento com areia). Para todas as pneumoconioses existe indicação obrigatória de afastamento da exposição que a causou (BRASIL, 2006).

**FIGURA 2.13** Pneumoconioses, poeiras causadoras e doenças

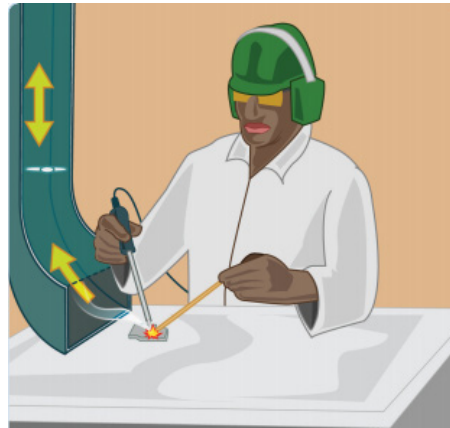
<b>Pneumoconiose</b>	<b>Agente (s) Etiológico (s)</b>	<b>Processo anatomo-patológico</b>
Asbetose	Fibras de asbestos/amianto	Fibrose difusa
Pneumoconiose do trabalhador do carvão (PTC)	Poeiras de carvão mineral ou vegetal	Deposição macular sem fibrose ou com diferenciados graus de fibrose
Silicatose	Silicatos variados	Fibrose difusa ou mista
Talcoose	Talco mineral(silicato)	Fibrose nodular e/ou difusa
Pneumoconiose por poeira mista	Poeiras variadas com menos de 7,5% de sílica livre	Fibrose nodular estrelada e/ou difusa
Siderose	Óxidos de ferro	Deposição macular de oxido de ferro associado ou não com fibrose nodular ou difusa
Estanose	Óxido de estanho	Deposição macular sem fibrose
Baritose	Sulfato de bário	Deposição macular sem fibrose
Pneumoconiose por rocha fosfática	Poeiras contendo fosfato de cálcio (rochas fosfáticas)	Presença de micronódulos e ausência de fibrose
Silicose	Sílica livre	Fibrose nodular

Fonte: Adaptado de Brasil, 2006

O controle da exposição dos trabalhadores pode reduzir a incidência de doenças ocupacionais aos agentes químicos do ambiente do trabalho.

Citamos algumas medidas que visam à eliminação da exposição ou à redução a níveis de concentração dos agentes químicos:

- Enclausuramento de processos e isolamento de setores de trabalho.
- Procedimentos rigorosos de limpeza dos locais de trabalho. Limpeza a úmido das superfícies do ambiente (bancadas, paredes, solo) ou por sucção, para retirada de partículas antes ou durante as atividades.
- Uso de sistemas de ventilação exaustora e monitoramento adequado e sistemático das concentrações de fumos, névoas e poeiras no ar ambiente de trabalho.

**FIGURA 2.14** Controle: ventilação local exaustora de processo

Fonte: Peixoto e Ferreira, 2013

### **Adequações na organização das atividades ou processos que reduzam a exposição, em termos do número e tempo de exposição dos trabalhadores.**

Nas atividades de mineração, devem ser adotadas técnicas de perfuração a úmido para diminuir concentração de poeiras no ar ambiente e o uso de máscaras protetoras respiratórias. Se os níveis forem acima dos aceitáveis, será ainda necessário o emprego de ventilação forçada que permita diluir os contaminantes à padrões adequados.

Fornecimento, pelo empregador, de equipamentos de proteção individual, de forma complementar às medidas de proteção coletiva. As máscaras protetoras respiratórias devem ser utilizadas como medida temporária, em emergências. Quando as medidas de proteção coletiva forem insuficientes, estas deverão ser cuidadosamente indicadas para alguns setores ou funções. Os trabalhadores devem ser treinados apropriadamente para sua utilização. As máscaras devem ser de qualidade e adequadas às exposições, com filtros químicos ou de poeiras, específicos para cada substância manipulada ou para grupos de substâncias passíveis de serem retidas pelo mesmo filtro. Os filtros devem ser rigorosamente trocados conforme as recomendações do fabricante. A Instrução Normativa/MTb n.º 1/1994 estabelece regulamento técnico sobre o uso de equipamentos para proteção respiratória.

## **2.3 RISCOS BIOLÓGICOS**

No processo de trabalho existem vários riscos que os trabalhadores estão submetidos sendo que alguns riscos ocupacionais se apresentam de forma invisível.

A Biossegurança é parte integrante da Segurança e da Higiene do Trabalho. São considerados riscos biológicos: vírus, bactérias, parasitas, protozoários, fungos e bacilos. Os riscos biológicos ocorrem por meio de microorganismos que, em contato com o homem, podem provocar inúmeras doenças. A exposição ocupacional em trabalhadores é relativamente comum e dá-se, principalmente, em acidentes de trabalho (agricultura, construção civil, mineração, saneamento e coleta de lixo) ou em acidentes de trajeto. O risco de contaminação por material biológico é inerente a qualquer categoria exposta a ele, porém, varia de acordo com as atividades desenvolvidas pelos trabalhadores. As exposições ocupacionais a material biológico entre os trabalhadores de saúde, envolvendo objetos perfurocortantes são elevadas.

Entre as inúmeras doenças profissionais provocadas por microorganismos incluem-se: tuberculose, brucelose, malária, febre amarela.

Um exemplo risco de contaminação biológica é o tétano, doença de notificação compulsória e investigação obrigatória no território nacional. A presença de tecido necrosado, pus ou corpos estranhos facilita a reprodução

local do bacilo, que não é invasivo e age a distância por sua toxina.

Entre as medidas clássicas de prevenção e controle estão: **VACINAÇÃO**: a manutenção de níveis adequados de cobertura vacinal dos trabalhadores. Todos os trabalhadores inseridos em atividades de maior risco, tais como agricultores e operários da construção civil, trabalhadores em saneamento e coleta de lixo e mineração devem ser vacinados.

A malária relacionada ao trabalho tem sido descrita em trabalhadores que exercem atividades em mineração, construção de barragens ou rodovias, em extração de petróleo e outras atividades que obrigam à presença dos trabalhadores em zonas endêmicas.

Para que as doenças possam ser consideradas doenças profissionais, é preciso que haja exposição do trabalhador ao microorganismo.

São necessárias medidas preventivas para que as condições de higiene e segurança nos diversos setores de trabalho sejam adequadas.

## 2.4 RISCOS ACIDENTES

Os acidentes podem ocorrer em todos os lugares onde vivemos. Pode ser entendido com acontecimento não previsto ou programado e que não é possível precisar quando vai acontecer.

**Qualquer evento que leve ou contribua para qualquer desvio adverso do plano é considerado um acidente, no sentido geral da palavra.**

Acontecimento que envolve amplo espectro de situações, está ligado a uma perspectiva de perda. Neste sentido, um acidente é um evento que não se espera ou não se pretende que ocorra e que causa algum tipo de perda.

Muitos profissionais preferem usar "incidente" em vez de "acidente" referente a lesões corporais, doenças, morte de pessoas, danos à propriedade, equipamentos e materiais, bem como custo de reposição tempo, produção e vendas. As perdas podem incluir aumento do custo de seguro, indenizações ou compensação de trabalhadores, limpeza do local do acidente, serviços jurídicos e médicos, reabilitação mais ampla da fábrica e danos à imagem pública, entre outros.

No que diz respeito ao acidente do trabalho, também há diferentes visões e conceitos, citamos pela relevância: Legal e prevencionista.

**Conceito LEGAL** – ACIDENTE DO TRABALHO é o evento que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço de empresa ou de empregador doméstico ou pelo exercício do trabalho provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho. Definido no artigo 19 da Lei n. 8.213/1991 (BRASIL, 1991).

O conceito é fundamentado na Ciência do Direito e, portanto, de maior relevância na solução de QUESTÕES JURÍDICAS TRABALHISTAS e/ou PREVIDENCIÁRIAS.

Para a classificação legal do "Acidente de Trabalho", é indispensável que o evento possua relação causal com o trabalho e que resulte em lesão corporal ou perturbação funcional. Significa que deve ter como consequência morte, perda ou a redução, permanente ou temporária, da capacidade produtiva do trabalhador.

**Conceito PREVENICIONISTA** – Ocorrência não programada, inesperada ou não, que interrompe ou interfere no processo normal de uma atividade, ocasionando perda de tempo útil e/ou lesões nos trabalhadores ou danos materiais.

Conceito centrado nos Aspectos Técnico-Preventivos da Segurança e Saúde no Trabalho, com o objetivo de prevenir a ocorrência do acidente, missão principal da Ciência Prevenção.

Na visão prevencionista o conceito "acidente" é mais abrangente, não é preciso que ocorra uma lesão no

trabalhador para ser considerado, basta que o evento propicie qualquer uma dessas possibilidades: Perda de tempo útil **e/ou** danos materiais **e/ou** lesão corporal ou perturbação funcional no trabalhador.

Conforme a concepção moderna do acidente considera-se um entendimento distorcido ou parcial - analisar as causas somente pelo enfoque legal que é o método tradicional de avaliação - através de inspeções e inquéritos obrigatórios.

Conforme o *U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration* (Equivalente ao Ministério do Trabalho nos USA), as causas dos acidentes são geralmente múltiplas. A investigação de um acidente bem conduzida normalmente encontram como fatores causadores: Atos inseguros e condição inseguras. Cada efeito tem pelo menos uma causa condicional e uma causa acional.

Assim sendo, todo evento tipificado no Conceito Legal de Acidente de Trabalho também se enquadra no Conceito Prevencionista; porém, o contrário não é verdadeiro.

Dessa forma é recomendável que os esforços prevencionistas que se façam necessários para evitar efeitos danosos para o trabalhador sejam concentrados, no meio ambiente do trabalho, nas hipóteses ou situações que possa configurar acidente do trabalho, em termos prevencionistas.

## 2.4.1 Condição insegura

**É responsabilidade do empregador a eliminação ou correção das condições inseguras existentes no ambiente do trabalho.**

Consiste em irregularidades ou deficiências existentes no ambiente de trabalho que constituem riscos para a integridade física do trabalhador e para a sua saúde, bem como para os bens materiais da empresa. Trata-se de conceito equivalente nas consequências e responsabilidades a "**Processo inseguro**" que são deficiências, defeitos, irregularidades técnicas nas instalações físicas, máquinas ou equipamentos que podem ocasionar acidentes de trabalho.

As situações que pode contribuir para a ocorrência do acidente do trabalho podem ser: Arranjo físico inadequado, máquinas e equipamentos sem proteção, ferramentas inadequadas ou defeituosas, iluminação inadequada, eletricidade, probabilidade de incêndio ou explosão, armazenamento inadequado, animais peçonhentos, falta de limpeza e ordem no ambiente de trabalho, escada sem corrimão, piso escorregadio, entre outras situações.

## 2.4.2 Atos Inseguros

Consistem em atitudes, atos, ações ou comportamento do trabalhador, contrários as normas de segurança e que colocam em risco a sua saúde e/ou integridade física, ou de outros colegas de trabalho. Trata-se de ação, consciente ou não, realizado pelo trabalhador ou empresa, capaz de provocar dano ao trabalhador, a seus companheiros ou a máquinas, materiais e equipamentos.

Exemplos de ações ou atitudes consideradas com ato inseguro: Recusa de uso ou utilização inadequada dos equipamentos de segurança e de proteção individual (EPI); emprego impróprio de ferramentas ou de equipamentos defeituosos; ajuste, lubrificação e limpeza de máquinas em movimento; permanência junto a pontos críticos das máquinas ou locais perigosos (ex: sob cargas suspensas). Operação de máquinas por pessoas inabilitadas ou em velocidades excessivas. Uso de roupas inadequadas para o tipo de trabalho. Ato de fumar em locais onde há perigo de fogo.

A falha humana, por falta de atenção, é inerente a natureza humana e classificada com o ato inseguro.

Os atos inseguros, muitas vezes podem ser causadas pela tendência natural do ser humano de adotar alternativas que exijam menor esforço. Esse caso pode ser incentivado ou potencializado por um ambiente indiferente em empresas com cultura antiquada, que raramente pune violações ou reconhece desempenhos seguros.

Dessa forma, os atos inseguros podem ocorrer por imprudência, imperícia ou negligência. São exemplos, entre outros, fazer uma tarefa de trabalho esquecendo-se de cumprir o passo anterior; abrir duas válvulas que nunca poderiam estar abertas simultaneamente; acionar tecla ou botão errado; não perceber uma mensagem ou informação; errar cálculos que são feitos de forma automática; falta de cuidado.

Podem ser fatores indutores da falha humana:

- Ausência de aptidões físicas ou cognitivas (falta de capacidade para algumas tarefas).
- A falta de treinamento, excesso e a pressão de trabalho (sobrecarga de informações ou tarefas).
- Fatores ergonômicos, tais como posição inadequada do corpo também podem contribuir para a falha humana. Instrumento de leitura inadequado para a situação; comandos confusos.
- Relativo a pessoa do indivíduo que pode vir a provocar acidentes: Fatores pessoais, como perda temporária de aptidão física ou mental devido a problemas emocionais ou financeiros; falta de motivação, valores diferentes, instabilidade emocional.
- Erros na comunicação, em situações críticas.

Também são comuns encontrar explicações ou justificativas nas investigações dos atos inseguros: pressa, teimosia, curiosidade, improvisação, autoconfiança, desmotivação.

### 2.4.3 Consequências do Acidente

As consequências e prejuízos do acidente do trabalho atingem o trabalhador, a empresa e a comunidade em geral.

**O trabalhador** (vítima), pelo sofrimento físico configurado na dor, lesão incapacitante (parcial ou total, permanente ou temporária) ou até a própria morte. Nos reflexos psicológicos negativos decorrentes de eventuais sequelas acidentárias, inclusive podendo gerar distúrbios familiares. Redução salarial decorrente da percepção de benefícios previdenciários.

**A empresa**, pelo pagamento salarial aos trabalhadores acidentados durante os 15 primeiros dias seguintes ao do acidente e outras indenizações e compensações previstas na legislação. Nos reflexos negativos no ambiente de trabalho onde ocorreu o acidente (queda de produtividade). Pelos danos ou avarias nos equipamentos, máquinas ou ferramentas utilizados pelo trabalhador vitimado. Pela paralisação ou interdição de uma máquina, equipamento ou do local de produção como um todo. Pelos reflexos negativos na imagem da empresa. Pelo processo legal, multas e indenizações que a empresa deve arcar. Pela perda de valor da empresa conforme a situação.

**A comunidade/ Governo:** Pagamento de despesas médico-hospitalares no tratamento do acidentado. Pagamento, através do INSS, de benefícios previdenciários ao trabalhador acidentado ou seus dependentes (auxílio-doença, auxílio-acidente, aposentadoria por invalidez e pensão por morte). Despesas com a reabilitação profissional do trabalhador acidentado, inclusive com o fornecimento de próteses, conforme o caso.

### 2.4.4 Comunicação de Acidentes

A comunicação de acidentes é uma obrigação legal. A vítima, ou quem possa fazer isso por ele, deve comunicar o acidente logo após a ocorrência do acidente.

A empresa deve fazer a comunicação à Previdência Social até o 1º (primeiro) dia útil seguinte ao da ocorrência. No caso, de morte, a comunicação deve ser de imediato à autoridade competente.

Se não fizer a comunicação do acidente no prazo legal, a empresa é penalizada com uma multa variável,

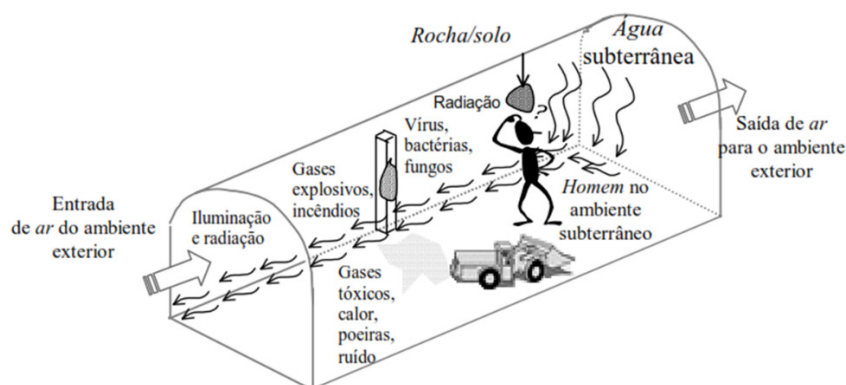


**FIGURA 2.16** Exposição a um conjunto de agentes de riscos ambientais

Fonte: Composição criada pelo autor com imagens disponíveis em: <https://medcenterr.com.br/noticia/51/silicose-pode-ser-evitada>, <https://medium.com/@silvandre97/acidentes-de-trabalho-e-agentes-agressores-a-sa%C3%BAde-bf831accfb97> e [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Geracao-de-ultralancamento-poeiras-e-gases-apos-detonacao\\_fig2\\_343377193](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Geracao-de-ultralancamento-poeiras-e-gases-apos-detonacao_fig2_343377193)

Em uma operação de lavra subterrânea o trabalho é frequentemente condicionado pelo ambiente a exposição simultânea:

- Gases tóxicos e poeiras.
- Calor e umidade.
- Iluminação inadequada.
- Ruído e vibração excessivos.
- Atmosferas deficientes em oxigênio.

**FIGURA 2.17** Ambiente de trabalho subterrâneo

Fonte: Torres e Gama, 2005

Além das condições de insalubridade ambiental existem também a situação de exposição continuada aos perigos da área de trabalho da mina:

- Desmoronamentos (queda de blocos: do teto, da face de trabalho das laterais).
- Acidentes pela circulação de equipamentos de pesados em ambientes restritos
- Eletricidade.
- Explosivos.
- Explosões de gases e poeira;
- Inundações de água e gás;
- Incêndio na mina

A exposição prolongada a esse conjunto de situações (associação de agentes) levam a situações de estresses

que excedem a tolerância humana que podem levar a uma situação denominada 'Estresse Ambiental'.

Além disso, é comum que a força de trabalho nas minas sejam uma mistura de funcionários locais e expatriados. Frequentemente a mineração está em países ou regiões com infraestrutura mal desenvolvida em áreas em afastados, que obriga o trabalhador passar longo tempo distanciado da sua família, vivendo em alojamentos.

Locais remotos, sem conforto, distanciamento familiar, somados a exposição combinada dos agentes ambientais prejudicam a saúde dos trabalhadores e trazem estresses psicológicos que podem se manifestar na forma de sentimentos de insatisfação, desconforto, redução de produtividade, frequência maior de casos (individuais) de alcoolismo e consumo de drogas, diminuição no estado de alerta e a acidentes.

Hoje, as operações de mineração são complexas e altamente sofisticadas tecnicamente. Os mineiros devem interagir com esses sistemas complexos, inclusive com equipamentos de alta tecnologia em espaços confinados.

Há também uma carga cognitiva extremamente complexa colocada sobre os mineiros no desempenho de suas funções.

Freqüentemente, é difícil manter a consciência de sequências complicadas de operação de equipamentos, bem como exercer vigilância sobre mudanças nas condições do local de trabalho. Interações entre mineradores, máquinas e requisitos para manter os locais de trabalho seguros e saudáveis.

**FIGURA 2.18** Ambiente de Mina subterrânea (Principais perigos)



Fonte: SME, 1992, tradução nossa.

### Engenharia dos fatores humanos na mineração

As organizações devem reconhecer a importância dos recursos humanos e não devem subestimar as situações de exposições combinadas de agentes de risco e de stress ambiental nos seus trabalhadores. A engenhosidade e a criatividade possibilitam a organização atingir os seus objetivos sociais e econômicos. Assim, proteger os recursos humanos dos estresses do ambiente de trabalho é importante sob o ponto de vista humanitário mas também para o sucesso da própria empresa. O ativo mais valioso de qualquer organização é os seus recursos humanos.

Embora o papel principal da engenharia seja evitar condições inseguras, ela deve reduzir a oportunidade de erros e atos inseguros por usuários por meio de projetos que reflitam as limitações e capacidades humanas. Não pode se limitar a simplesmente prevenir condições inseguras. A engenharia também desempenha um papel vital na prevenção de atos inseguros.

Os projetos e a organização do trabalho por parte dos responsáveis pelas minas deve reconhecer as capacidades e limitações das pessoas. Muitas decisões de processos ou design afetam o que as pessoas fazem e o desempenho delas.

Os trabalhadores tem capacidade diversas em função de diferentes: constituição física, idades, experiências, conhecimentos e habilidades.



As organizações mais desenvolvidas buscam enfrentar essas realidades com a aplicação sistemática de informações sobre características humanas, expectativas, habilidades e comportamentos para o projeto de máquinas, instalações, procedimentos e ambientes mineiros.

Há uma grande massa de dados desenvolvidos fora do setor da mineração, que podem ser usados para a solução de problemas encontrados nas minas.

Durante as últimas décadas, a aplicação de fatores humanos para problemas de engenharia de mineração tem possibilitado avanços na eficiência operacional e também na saúde e segurança dos mineiros.

Hoje é reconhecido, que as minas mais eficientes são também as mais seguras. Essas organizações apresentam melhorias contínuas na saúde e segurança dos mineiros, bem como ganhos em produtividade e redução de custos.

### Identificação dos Riscos ambientais

Os riscos e situações que devem ser enfrentadas para tornar as minas mais seguras e com melhores condições para os trabalhadores podem ser sintetizados e observados de forma didática e abrangente na figura 2.19 – Riscos ambientais que deve ser de observância obrigatória por todas as empresas brasileiras. O conteúdo regulamenta e fornece orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados à segurança e saúde do trabalhador.

A tabela faz parte das Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e emprego no Brasil. Na NR09 – Programa de Riscos ambientais e também está relacionada e articulada com a NR 15 - Atividades e Operações Insalubres.

Os valores dispostos na NR15 correspondem aos limites de tolerância também chamados de limites de exposição e a NR09 identifica os riscos físicos, químicos e biológicos existentes no ambiente de trabalho. A NR 15 determina ainda como se dará a caracterização da insalubridade nos casos de exposição a esses riscos, se por meio de avaliação qualitativa ou quantitativa.

As normas são citadas no Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e são periodicamente revisadas pelo Ministério do Trabalho e Previdência Social.

Qualquer avaliação de condição de área de trabalho incluindo mineração deve partir de verificação da presença dos riscos ambientais descritos na tabela

**FIGURA 2.19** Riscos Ambientais

<b>Riscos Físicos</b>	<b>Riscos Químicos</b>	<b>Riscos Biológicos</b>	<b>Riscos Ergonômicos</b>	<b>Riscos de Acidentes</b>
Ruídos Vibrações Radiações ionizantes Radiações não ionizantes Frio Calor Pressões anormais Umidade	Poeiras Fumos Névoas Nebulinas Gases Vapores Substâncias, compostos ou produtos químicos em geral	Vírus Bactérias Protozoários Fungos Parasitas Bacilos	Esforço físico intenso Levantamento e transporte manual de peso Exigência de postura inadequada Controle rígido de produtividade Imposição de ritmos excessivos Trabalho em turno noturno Jornada de trabalho	Arranjo físico inadequado Máquinas e equipamentos sem proteção Ferramentas inadequadas ou defeituosas Iluminação inadequada Eletricidade Probabilidade de incêndio ou explosão Armazenamento inadequado Animais peçonhentos Outras

Fonte: Brasil, 2022a.

## Referências:

- ALGRANTI, E. et al. **Pneumoconiose de mineiros de carvão**: dados epidemiológicos de minas da bacia carbonífera brasileira. *Jornal de Pneumologia*, v. 21, n. 1, p. 9-12, 1995.
- BRASIL. Presidência da República. **Lei 8.213 de 24 de julho de 1991**. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. Brasília, 1991. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8213cons.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8213cons.htm). Acesso em: 15 dez. 2022.
- BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora no 09 (NR 09)**. Atividades e operações insalubres. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-09-atualizada-2021-com-anexos-vibra-e-calor.pdf>. Acesso em: 27 out. 2022.
- BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora no 15 (NR 15)**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-15-atualizada-2022.pdf>. Acesso em: 28 out. 2022.
- BRASIL. **Pneumoconioses**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
- CARMO, Livia Ismália Carneiro. **Efeitos do ruído ambiental no organismo humano e suas manifestações auditivas**. Trabalho de Conclusão do Curso (Especialização em Audiologia Clínica) - Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica (CEFAC). Goiânia. 1999.
- COUTO, H. A. **Temperaturas Extremas**. Fisiologia do Trabalho Aplicada. Editora Ibérica, Minas Gerais, Belo Horizonte, 1978.
- CUNHA, Alessandro. O que é Decibel? In: **EMBARCADOS - SUA FONTE DE INFORMAÇÕES SOBRE SISTEMAS EMBARCADOS**. 27 jan. 2016. Disponível em: <https://embarcados.com.br/o-que-e-decibel/>. Acesso em: 28 out. 2022.
- FARIA, Mário Parreiras. **Fatores intervenientes na segurança do trabalho de abatimento mecanizado de rochas instáveis em uma mina subterrânea de ouro**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008
- NMV GROUP. **Tecnologia BTI Breaker**. 2021. Disponível em: <https://www.nmvgroup.se/en/produkt/breaker-technology-bti/>. Acesso em: 15 dez. 2022
- PEIXOTO, Neverton Hofstadler; FERREIRA, Leandro Silveira. **Higiene ocupacional III**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria ; Rede e-Tec Brasil, 2013.
- SME Mining Engineering Handbook**. Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1992
- TORRES, Vidal Felix Navarro; GAMA, Carlos Dinis da. **Engenharia Ambiental subterrânea e aplicações**. Rio de Janeiro: CETEM/CYTED, 2005. E-book. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/677>. Acesso em: 17 out. 2022.

# CAPÍTULO 3

## IMPACTOS AMBIENTAIS DOS PROJETOS DE MINERAÇÃO

As atividades de mineração podem causar impactos diretos nos recursos culturais como resultado de construções e instalações de mineração.

Além disso, impactos indiretos podem ser causados por erosão do solo, pela maior movimentação, facilitação de acesso. Podem afetar lugares sagrados, ativos históricos e locais de interesse cultural.

Entre os possíveis impactos estão:

- Destruição completa de um recurso se estiver em áreas sujeitas a escavações ou distúrbios na superfície terrestre.
- Degradação ou destruição de locais de valor cultural dentro ou fora do local das operações como resultado de mudanças nos padrões hidrológicos ou na topografia, devido ao movimento da terra (remoção, erosão, sedimentação).
- Remoção sem autorização de artefatos de interesse cultural ou histórico.
- Vandalismo como resultado do aumento de pessoas em lugares anteriormente inacessíveis.
- Impactos visuais causados pela limpeza da vegetação, grandes escavações, poeira e presença de máquinas e veículos pesados.
- Os problemas de saúde pública relacionados às atividades de mineração são:
- Poluição das águas superficiais e subterrâneas com metais, elementos, microrganismos provenientes de drenos e resíduos nos acampamentos e residências de trabalhadores.
- Poluição do ar devido à exposição a altas concentrações de dióxido de enxofre, material particulado, metais pesados, incluindo chumbo, mercúrio e cádmio. Poluição do solo devido a precipitação de elementos tóxicos suspensos nas emissões atmosféricas.

O ciclo de vida de um projeto mineral pode ser dividido em fases ou etapas que representam pontos de tomada de decisão quanto à aprovação do projeto para a próxima fase, retorno para melhor definição, ou cancelamento.

As fases do projeto mineiro compreendem:

- Concepção do projeto.
- Exploração mineral de jazida.
- Desenvolvimento da mina.
- Fase de operação
- Fechamento com a reabilitação ambiental da área.

A fase exploratória - projeto de mineração compreende: Limpeza de grandes áreas de vegetação para permitir a entrada de veículos pesado montagem de plataformas de perfuração etc.

Muitos países exigem avaliação de impacto ambiental específico para a fase exploratória pois podem ser profundos. As fases posteriores podem ou não continuar.

Essa fase inclui inspeções, estudos de campo, perfurações de teste e outras análises exploratórias.

## 3.1 FASE DE IMPLANTAÇÃO DA MINA

Se a fase de exploração mostrar que existe um depósito mineral de tamanho e tamanho suficientes o “Projeto” pode começar com o desenvolvimento da mina.

A implantação pode começar quando a empresa construir as estradas de acesso e preparar o local de trabalho para abrigar as equipes e os equipamentos.

Fazem parte dessa etapa a construção de vias de acesso que podem ter impactos consideráveis no meio ambiente, especialmente se atravessar áreas ecologicamente sensíveis ou comunidades indígenas.

O “Estudo de Impacto Ambiental” (EIA) do projeto mineiro deve incluir a avaliação completa impactos ambientais e sociais das estradas, caso esteja localizada em uma área remota e não desenvolvida.

O EIA deve avaliar separadamente os impactos relacionados à preparação e limpeza da terra.

As figuras 3.1 e 3.2 abaixo mostram estruturas normalmente construídas nos sites de mineração, necessárias para as atividades mineiras.

**FIGURA 3.1** Estruturas comuns construídas no site de mineração



Fonte: Adaptado de imagem disponível em <https://www.noticiasdemineracao.com/w-imagens/e92c666c-a9c9-4579-8c-71-3b102282ef03/2/CTFvale-1680x600.jpg>. Acesso em 15 dez. 2022.



Fonte: Adaptado de imagem disponível em <https://www.businessnews.com.au/article/New-mines-to-deliver-1m-ounces>. Acesso em: 15 dez. 2022

## 3.2 DESENVOLVIMENTO DA MINA

Os depósitos, em grande maioria são cobertos por camada de solo ou rochas estéril que deve ser removida para acessar o minério. O método de remover a cobertura do material (solo e rocha) acima do depósito diferem conforme a geologia, forma, tamanho, profundidade e forma do corpo de minério.

Antes de remover o estéril, é necessário derrubar as árvores e limpar ou queimar a vegetação no local com o uso de máquinas pesadas – (escavadeiras e caminhões). Geralmente envolve a remoção de áreas com vegetação nativa, fato que impacta o meio ambiente de biomas específicos como florestas tropicais, mata atlântica, entre outros.

## 3.3 EXTRAÇÃO DO MINÉRIO (LAVRA)

Depois de removido o material estéril a extração de minério começa com equipamentos especializados e máquinas pesadas, de mineração. Os caminhões transportam o minério para as instalações de processamento pelas estradas e as operações unitárias na mineração à céu aberto geram um conjunto de impactos ambientais.

Exemplo são as “Emissões fugitivas” de poeira, que devem ser avaliados separadamente no EIA.

A cava da mina à céu aberto, geralmente envolve uma escavação que excede a profundidade do aquífero e as águas subterrâneas devem ser bombeadas para permitir a mineração.

A cava geralmente forma um grande e profundo lago no final das operações de mineração, após cessar o bombeamento das águas.

## 3.4 MINERAÇÃO ALUVIAL OU DE DEPÓSITO DE PLACER

Representam a mineração de minerais valiosos depositados com sedimentos no leito de um fluxo de água ou em uma zona de inundação. Para minerar esse tipo de depósito são usadas escavadeiras, dragas ou bombas hidráulicas para remover ouro de sedimentos ou da areia aluvial de um rio e em áreas de inundação.

Como a mineração de placer geralmente ocorre no leito de uma corrente de águas superficiais, é um tipo de mineração ambientalmente potencialmente perigosa. Libera grandes quantidades de sedimentos e pode impactar as águas superficiais por muitos quilômetros do local da mina.

## 3.5 MINERAÇÃO SUBTERRÂNEA

Esse tipo de mineração remove quantidade menores de material para obter acesso ao depósito de minério.

O acesso ao depósito de minério é feito através de túnel ou poço. Galerias ou poços verticais levam a uma rede horizontal de galerias que têm acesso direto ao minério.

Dependendo do método ou estratégia de lavra usado, o minério é removido e são criadas cavidades subterrâneas (blocos) que podem permanecer ou não vazios dependendo das condições das rochas. A cavidade pode ser preenchida com um agregado de cimento e rochas residuais.

A lavra subterrânea, embora seja um meio menos destrutivo de acessar o depósito de minério, geralmente é mais cara e traz riscos **de segurança maiores para os trabalhadores do que a mineração de superfície.**

## 3.6 BENEFICIAMENTO

Diferem consideravelmente nos métodos propostos para a extração e concentração do minério. O tipo e o método de beneficiamento vai depender do minério e dos contaminantes e das especificações do mercado para o produto que vai ser concentrado e comercializado.

A maioria dos projetos de mineração gera uma enorme quantidade de material estéril.

Exemplo: Extração de algumas centenas de milhões de toneladas de minério metálico, poderá gerar mais de um bilhão de toneladas de material estéril.

Mesmo nos depósitos minerais considerados com alto teor de metais geram grandes quantidades de resíduos. Exemplos: o teor de cobre em um depósito de boa qualidade pode conter apenas 0,25% do metal; o teor de ouro em um depósito de boa qualidade pode conter apenas alguns centésimos de uma porcentagem.

Os volumes de resíduos às vezes têm níveis significativos de substâncias tóxicas e são geralmente depositados próximo a cava da mina. Podem ser empilhados na superfície ou usados como material de enchimento na mina subterrânea.

EIA de um projeto de mineração deve avaliar cuidadosamente as opções de gerenciamento e os impactos associados ao descarte de material estéril.

## 3.7 REPROCESSAMENTO EM MINAS E REJEITOS ANTIGOS

Ocorre com a extração mineral de depósitos de resíduos (geralmente rejeitos) de minas antigas paralisadas. O minério foi processado em outros tempos com técnicas defasadas, ou ainda por situações de mercado. Representam a obtenção de minério valioso através do uso de métodos mais modernos e eficientes de beneficiamento.

Pode ser vantajoso pois representa uma mineração com apenas o custo de reprocessamento de depósitos de resíduos de mineração abandonados.

## 3.8 RESÍDUOS DOS PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO

Incluem resíduos de rochas → resíduos de lixiviados (no caso de operações de ouro, prata, cobre etc.).

Os processos de lixiviação<sup>1</sup> com cianeto - geralmente usados para a recuperação de ouro, prata e cobre devem ser tratados separadamente devido aos impactos que gera no meio ambiente e na segurança pública.

Após a lixiviação, o minério finamente moído é depositado em uma pilha ou tanque de rejeitos.

## 3.9 PILHAS DE LIXIVIAÇÃO

São constituídas por minério finamente moído depositado em uma grande pilha ou reservatório (chamado pilha de lixiviação).

Deve ser depositado sobre uma membrana impermeável. Uma solução contendo cianeto é irrigada sobre o

---

<sup>1</sup> Lixiviação é a extração ou solubilização dos constituintes químicos de uma rocha, mineral, solo, depósito sedimentar entre outros, pela ação de um fluido percolante.

tanque ou a pilha de material. Solução de cianeto dissolve os metais valiosos.

A solução "drenada" com conteúdo de metal é coletada na base da célula por um sistema de tubulações.

## 3.10 BARRAGEM DE REJEITOS

Embora nem sempre seja a opção ambientalmente preferida, muitas empresas de mineração descartam rejeitos misturados com água (para formar uma espécie de lama ou pasta) e passam a descartá-la atrás de uma barragem alta em um reservatório de rejeitos úmidos. Como o mineral é geralmente extraído na forma de lama, o resíduo resultante contém grandes quantidades de água.

Algumas vezes podem ser formados por concentrações que podem ameaçar a vida selvagem, como rejeitos de cianeto – Mineração ouro. Essas lagoas secam em climas áridos ou podem liberar água em climas úmidos.

São necessários métodos de gerenciamento específicos para o fechamento desses depósitos de resíduos (reduzir as ameaças ambientais que podem surgir com o fechamento da mina).

Podem conter metais tóxicos (como cádmio, chumbo e arsênico).

Se um projeto de mineração envolver a extração de alguns milhões de toneladas de minério metálico, o projeto de mineração gerará uma quantidade semelhante de rejeitos.

Os rejeitos podem conter substâncias tóxicas em grandes quantidades em níveis perigosos tais como: Arsênico, chumbo, cádmio, cromo, níquel e cianeto (se o cianeto for usado no processo de lixiviação).

Em alguns projetos de mineração, o minério com ouro é triturado e, se necessário, é submetido ao calor e oxidado em torrefadores ou autoclaves para remover enxofre e materiais contendo carbono que afetam a recuperação do ouro.

O mercúrio presente evapora, especialmente em torrefadoras (uma das maiores fontes de emissão de mercúrio). Após a torrefação ou a autoclave - mineral é misturado com água e reage com uma solução de lixiviação com cianeto. Nesse caso, o mercúrio e o ouro se dissolvem e os sólidos são filtrados. A solução purificada é enviada para um processo de eletrólise, onde o ouro é recuperado.

No processo, o mercúrio pode ser recuperado e armazenado, entretanto, se não for retido pelo equipamento de controle de emissões atmosféricas, o mercúrio pode ser liberado na atmosfera e afetar o meio ambiente e a saúde pública.

A volatilização do mercúrio das instalações de lixiviação e rejeitos foi recentemente identificada como uma fonte substancial de liberação de mercúrio na atmosfera.

Essa situação deve ser especialmente considerada na avaliação do EIA.

Em geral, o mercúrio presente no minério de ouro pode ser liberado: No arranjo final dos filtros para o controle de poluentes atmosféricos; nos rejeitos ou pilhas de lixiviação ou ainda no ouro (como uma impureza).

A viabilidade Ambiental do processo vai depender da forma de descarte do material tóxico gerado.

## 3.11 OPÇÕES PARA DESCARTE DE REJEITOS

Disposição de rejeitos subaquáticos.

No passado essa sistemática foi usada quando a mina estava próxima do meio marinho ou, em raras ocasiões, lagos de água doce. Essas opções tiveram um resultado ambiental muito ruim nas poucas ocasiões em que foram escolhidas.

A Corporação Financeira Internacional (IFC, 2012) explica: a disposição em corpos de águas superficiais (rios, lagos e lagoas) ou em águas marinhas rasas não é considerada uma boa prática da indústria em nível internacional. Os metais são particularmente problemáticos, pois não são destruídos pelo meio ambiente. Se instalam no fundo e persistem em leitos de rios, córregos, por longos períodos, constituindo uma fonte de contaminação a longo prazo. Afetam os insetos aquáticos que ali vivem e os peixes que se alimentam deles.

## 3.12 PRÁTICA COMUM ANTES DAS NORMAS AMBIENTAIS

Muitas empresas de mineração, por conveniência, simplesmente descarregavam rejeitos nos locais mais próximos, incluindo rios e córregos próximos.

Algumas das piores consequências ambientais foram associadas à descarga aberta de rejeitos. São práticas quase universalmente abandonada hoje em atividades reguladas de mineração, mas que persiste em atividades garimpeiras.

## 3.13 IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS

Talvez seja o impacto mais significativo de um projeto de mineração o efeito na qualidade dos recursos hídricos na área do projeto.

As principais questões que devem ser consideradas:

Se as águas superficiais e subterrâneas permanecerão aptas para o consumo humano.

Se a qualidade das águas superficiais na área do projeto continuará sendo adequada para manter as espécies aquáticas nativas e a vida selvagem terrestre.

## 3.14 O POTENCIAL DE DRENAGEM ÁCIDA É UMA QUESTÃO FUNDAMENTAL?

**A resposta a essa questão vai determinar se a concepção para um projeto de mineração é ambientalmente aceitável.**

A drenagem ácida e a lixiviação de poluentes são a fonte mais importante de impactos na qualidade da água relacionados à mineração.

A drenagem ácida tem o potencial de causar devastação, com impactos a longo prazo sobre rios, córregos e vida aquática.

Materiais escavados e expostos ao oxigênio e à água pode formar ácido se o ferro e os materiais sulfurosos forem abundantes (especialmente a pirita). Também se houver uma quantidade insuficiente de material que neutralize a formação de ácido.

Metais como ouro, prata e molibdênio são frequentemente encontrados na rocha na forma de metais sulfurosos. Quando os sulfetos na rocha são escavados e expostos à água e ao ar durante o processo de mineração – Formam o ácido sulfúrico.

A água ácida pode dissolver também outros metais perigosos nas rochas próximas.

Se não for controlada, a drenagem ácida pode fluir para rios, córregos ou infiltrar-se nas águas subterrâneas.

A drenagem ácida pode ser liberada potencialmente de qualquer parte da mina onde os sulfetos são expostos ao ar e à água, incluindo pilhas de material estéril, lixões ou resíduos de rochas, rejeitos, poço aberto, túneis subterrâneos e pilhas de lixiviação.

Muitos rios afetados pela drenagem ácida de minas têm um valor de pH igual ou inferior a 4 - semelhante a uma bateria ácida. É improvável que plantas, animais e peixes possam sobreviver em rios com essas condições.



A drenagem ácida dissolve metais tóxicos, como cobre, alumínio, cádmio, arsênico, chumbo e mercúrio, encontrados nas rochas circundantes. Podem formar uma camada de lama laranja-avermelhada que cobre o leito de rios ou córrego que mesmo em pequenas quantidades, podem ser tóxicos para humanos e animais.

Arrastados pela água, os metais podem percorrer longas distâncias, contaminando os córregos e as águas subterrâneas.

Os efeitos na vida aquática podem variar desde a morte imediata dos peixes até efeitos menos letais, que afetam o crescimento, comportamento ou capacidade reprodutiva.

## 3.15 IMPACTOS DOS PROJETOS DE MINERAÇÃO NA QUALIDADE DO SOLO

Áreas envolvidas em projetos de mineração podem contaminar grandes extensões de solo. As atividades agrícolas próximas aos projetos de mineração podem ser especialmente afetadas.

De acordo com um estudo encomendado pela União Europeia: "As operações diárias de mineração podem modificar a paisagem circundante, removendo materiais anteriormente não perturbados.

A erosão causada pela exposição do solo, extração mineral, rejeitos e materiais finos encontrados nas pilhas de resíduos pode resultar em aumento da carga de sedimentos nas águas superficiais e na drenagem. Além disso, disseminações de materiais tóxicos e a sedimentação de poeiras contaminadas podem causar contaminação do solo.

Os Riscos ao meio ambiente e à saúde humana relacionados aos solos podem ser organizados em duas categorias:

- Solos contaminados por partículas contaminantes transportadas pelo vento.
- Solos contaminados por deposição de compostos químicos e resíduos.

Partículas de poeira fugitivas causam sérios problemas ambientais em algumas minas.

A toxicidade inerente ao pó depende da proximidade dos receptores no ambiente e do tipo de mineral extraído.

As partículas de poeira transportadas pelo vento que geram mais riscos são aquelas com teor de arsênico, chumbo e radionuclídeos.

Os solos contaminados por derramamentos de compostos químicos e resíduos nas minas "podem ser fontes de risco" quando utilizados como enchimentos, em jardins ornamentais nas instalações da mina ou como suplementos ao solo."

## 3.16 EROÇÃO É UM GRANDE PROBLEMA

Devido à grande extensão de terra movimentada pelas operações de mineração geram grande quantidade de materiais escavados expostos nos locais de operação.

O controle da erosão deve ser considerado desde o início das operações, cumprindo as medidas de reabilitação.

A erosão pode causar grandes quantidades de sedimentos (carregados com contaminantes químicos) em corpos d'água próximos, especialmente durante tempestades severas e períodos em que a neve derrete.

## 3.17 EROÇÃO DO SOLO E RESÍDUOS DE MINE-

## RAÇÃO EM ÁGUAS SUPERFICIAIS

O escoamento superficial com sedimentos geralmente causa uma corrente laminar e é coletado em canais, valas ou sarjetas ou outros meios que os conduzam. Estes sedimentos podem estar presentes em águas superficiais ou depositados em zonas de inundação ou vales. Os processos de erosão e sedimentação causam o acúmulo de camadas espessas de partículas e sedimentos minerais finos que provocam nas regiões inundadas: Alteração do habitat aquático; perda da capacidade de armazenamento em águas superficiais (soterramento).

Os principais fatores que influenciam a erosão são:

- Volume e a velocidade do escoamento da mina.
- Capacidade de infiltração da chuva no solo.
- Quantidade de cobertura vegetal.
- Depende da extensão da encosta.
- Das estruturas operacionais para o controle da erosão.

As principais fontes de erosão/sedimentos nos locais de mineração São:

- Áreas de cavas abertas
- Pilhas de lixiviação e de depósitos de resíduos
- Detritos ou rochas de resíduos
- Depósitos de material estéril
- Depósitos e barragens de rejeitos
- Estradas de acesso e transporte de materiais
- Depósitos minerais
- Áreas de manutenção de equipamentos e veículos
- Áreas de exploração
- Áreas de reabilitação.

Como consideração importante devemos ainda considerar à severidade das mudanças climáticas globais, qualquer estudo de EIA de um projeto com potencial de alterar o orçamento de carbono deve incluir uma avaliação dos impactos do projeto nesse aspecto específico.

### Referências:

- GUÍA metodológica para evaluación de la estabilidad física de instalaciones mineras remanentes. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso – PUCV, 2018.
- NELSON, M. G. Site Environmental Considerations. *In*: SME Society of Mining Engineering. Englewood: Society of Mining Engineering, 2011.
- HODG, A. Mining and Sustainability. *In*: SME Society of Mining Engineering. Englewood: Society of Mining Engineering, 2011.
- BOTVIN, J. A. Sustainable Management of Mining Operations. Littleton, CO: SME 2009.
- IFC Performance Standards on Environmental and Social Sustainability. Washington, DC: International Finance Corporation, 2012.

## CAPÍTULO 4

# TEORIAS E CONCEITOS BÁSICOS: GESTÃO DE RISCOS

### 4.1 DEFINIÇÕES IMPORTANTES (ACIDENTE/ EVENTO INDESEJÁVEL; RISCO, PERIGO, FONTE DE RISCO)

Toda organização, grande, médio ou de pequeno porte, sofre a influência de fatores internos e externos que criam incertezas, que são responsáveis por determinar a capacidade de atingir seus objetivos.

A gestão do risco pode ser conceituada como a ciência que gera estratégias para prever, aliviar e/ou neutralizar os impactos negativos de eventos que não estão sob controle de gestores e acionistas.

A Norma britânica, aceita internacionalmente, "OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY ADMINISTRATION STANDARD 18001 (OHSAS 18001:2007)" se ocupa do assunto e fornece uma estrutura para o gerenciamento eficaz, incluindo aspectos de gerenciamento de risco, e de conformidade legal.

Para que se possa adotar um sistema efetivo de gestão de riscos é importante entender e diferenciar os conceitos definidos na norma inglesa: de acidente, incidente, perigo e risco.

**Acidente:** É um evento não desejado, inesperado que causa danos pessoais, materiais e financeiros e que acontece de modo não intencional (MASTROENI, 2005).

**Incidente:** Evento (s) relacionado (s) ao trabalho em que uma lesão ou doença (independentemente da gravidade) ou fatalidade ocorreu, ou poderia ter ocorrido.

Um acidente é um incidente que deu origem a lesões, problemas de saúde ou morte.

Um incidente onde nenhum ferimento, doença ou morte ocorre também pode ser referido como um "quase acidente" ou "ocorrência perigosa".

As expressões Perigo e Risco são freqüentemente usados como se fossem sinônimos, porém não significam a mesma coisa.

**Perigo:** Fonte ou situação com potencial para provocar danos de lesão, doença, dano à propriedade, dano ao meio ambiente do local de trabalho, ou uma combinação destes. Conforme a norma inglesa OHSAS 18001:2007, é uma questão de fundo inerente a uma situação, atividade local, circunstância e não pode ser controlado.

**Risco:** Representa a chance de alguma coisa dar errado ou causar impacto nos objetivos. Definido ou calculado em termos de consequências e probabilidades.

Se houvesse um derramamento de água em uma sala, a água representaria um perigo de uma pessoa escorregar, caso passasse pelo local. Se o acesso a essa área fosse impedido por uma barreira física, o perigo permaneceria, embora o risco fosse minimizado.

Nessa situação o risco indica uma probabilidade de danos, ou seja o potencial de ocorrência de consequên-

cias indesejáveis.

Ainda para facilitar a compreensão da diferença entre "Perigo e Risco" citamos os seguintes exemplos:

- Refinaria de petróleo tem um perigo de fundo pois opera substâncias explosivas e inflamáveis.
- Um apartamento em andar elevado, existe o perigo inerente da altura.
- Um depósito de líquidos combustíveis representa uma condição de fundo de perigo por conter líquidos inflamáveis ou explosivos.

Nos exemplos citados, podemos dizer que: para a ocorrência de um evento inesperado ou acidente, vai depender das medidas de proteção adotada em cada local ou situação.

Explicando melhor, usando o exemplo da refinaria de petróleo ou do depósito de combustíveis: O perigo de incêndio ou explosão na refinaria vai continuar sempre existindo, mas o risco do dano à pessoas ou material pode ser controlado (potencializado, prevenido ou mitigado) em função de medidas de segurança adotadas no local.

Da mesma forma, o perigo de queda por estar em um prédio alto sempre vai existir mas o dano nas pessoas pode ser evitado com barreiras de proteção, paredes e etc. O risco de queda pode ser controlado na devida proporção dos controles adotados. Uma criança pequena, no vigésimo andar, de um condomínio pode brincar na sacada, por exemplo. As paredes, janelas, grades ou redes de proteção permitem ela estar em segurança mesmo em altura elevada.

Resumindo:

- Perigo é a condição de fundo ou a essência da situação (nunca deixa de existir)
- Risco expressa o grau de exposição a esta fonte de perigo.
- O risco pode ser controlado.

Risco é o efeito de um acontecimento ou de uma série de acontecimentos. Ele é avaliado a partir da probabilidade deste efeito ocorrer e do impacto que ele poderia causar.

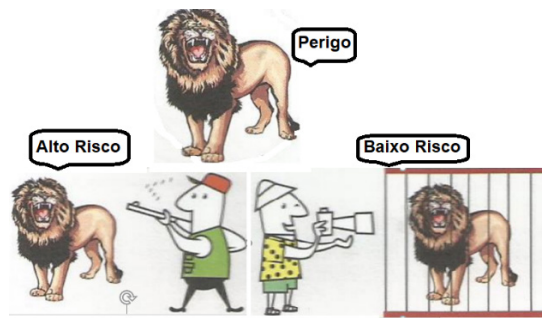
Para facilitar a compreensão do conceitos apresentamos um exemplo na figura 4.1. O perigo se configura na situação de fundo inerente a um depósito de material combustível ou inflamável. Existe o risco do evento inesperado ou acidente causado por explosão ou incêndio. A probabilidade de acontecer o acidente vai depender das proteções existentes no local, tipo: Organização, isolamento, distanciamento de outras instalações, treinamento e protocolos de uso do local entre outros.

**FIGURA 4.1** Depósito de materiais combustíveis



Fonte: Adaptado pelo autor

A figura 4.2 procura esclarecer de forma didática: O animal, no caso o leão representa o perigo. A arma e a jaula representam os elementos de controle (defesas/barreiras) para o ataque do leão (acidente) não acontecer. Na situação da figura 4.1 verifica-se também que as defesas ou barreiras podem ter eficácias diferentes e configurar alto ou baixo risco conforme a situação.

**FIGURA 4.2** Representação de Perigo e níveis de exposição (alto e baixo Risco).

Fonte: Adaptado pelo autor com imagens livres de CoolClips.com

## 4.2 EXPRESSÃO DO RISCO

Para verificar o potencial de risco existente num local, operação ou situação devem ser analisados cenários ou eventos possíveis: Uma maneira direta é fazer e tentar responder as questões abaixo:

O que poderia acontecer?

Quão ruim será se ele acontecer?

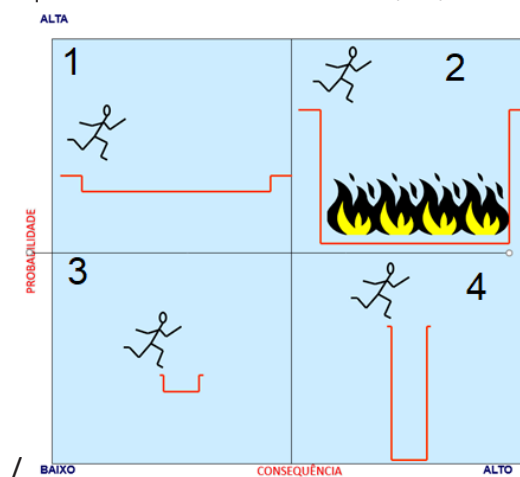
Dessa forma o risco deve ser descrito fazendo-se referência aos eventos potenciais ou às possíveis consequências, ou uma combinação destes e deve ser classificado quanto à sua importância a partir da combinação da severidade das possíveis consequências e da probabilidade ou chance de que essas consequências venham ocorrer.

**Verifica-se assim que o risco pode ser expresso com duas dimensões:**

- **Ponto de vista quantitativo** - Designa a probabilidade de ocorrência.
- **Ponto de vista qualitativo** - Indica o grau do perigo criado pela disfunção (magnitude das consequências).

A figura 5.3 mostrando as possíveis situações de uma pessoa atravessando um obstáculo (valo) ajuda a entender as dimensões de probabilidade e consequência, que devem ser consideradas na decisão sobre prosseguir ou parar uma ação, ou ainda prosseguir adotando medidas de controle.

- **Quadro 1** - (Valo muito largo mas raso); A probabilidade de queda é alta mas a consequência baixa.
- **Quadro 2** - (Valo muito largo, profundo e com fogo) a probabilidade também é alta mas a consequência de queda é muito grave.
- **Quadros 3 e 4**, a probabilidade de queda é pequena pela pequena largura do obstáculo (Valo) entretanto, no quadro 4 a consequência da queda representa um dano maior.

**FIGURA 4.3** Risco Probabilidade X consequência – Travessia de um obstáculo (valo).

Fonte: Machado, 2014

Claramente nas quatro situações apresentadas na figura 4.3, as probabilidades e consequências da queda são diferentes e portanto a decisão de prosseguir também deve ser diferenciada.

**Risco no contexto da mineração:** Pode ser definido como uma medida da probabilidade e das consequências de um perigo associado a uma atividade ou condição de mineração.

Na figura 4.4, o desmoronamento pode ser compreendido como o perigo ou condição de fundo de qualquer trabalho de escavação subterrânea. O risco, entretanto pode ser mitigado, em intensidade variável, usando medidas de controle, no caso tirantes.

**FIGURA 4.4** Contexto da mineração subterrânea controle do risco de desmoronamento com tirantes



Fonte: Machado, 2014

Outro conceito importante para a gestão de risco é a identificação da fonte de risco.

**Fonte de risco** – Local, objeto ou situação que, de forma isolada ou combinada, tem o potencial intrínseco de dar origem a riscos (BRASIL, 2018).

Uma fonte de risco pode ser:

- Uma instalação
- Equipamento
- Material
- Operação
- Aspectos do ambiente e da organização do trabalho
- Ameaças naturais

Chamamos a atenção que a fonte de risco pode ser confundida com uma consequência ou elemento potenciador do evento inesperado, e nesse caso a medida de controle pode não ser corretamente aplicada e não oferecer o controle adequado.

## 4.3 CONDIÇÕES DE SEGURANÇA DE UM PROCESSO

A segurança inerente contrasta com outros processos em que um perigo é controlado por sistemas de proteção. Como a segurança perfeita não pode ser alcançado, a prática comum é falar sobre projeto inerentemente mais seguros. Por exemplo, design inerentemente mais seguro - Sistema que evita perigos em vez dos controlar, reduzindo a quantidade de material perigoso e o número de processos perigosos.

**Segurança** pode ser definida como "o estado de relativamente livre de danos, perigo, ferimentos ou danos".

**Segurança inerente** - Um processo/Sistema tem segurança inerente se ele tem um baixo nível de perigo mesmo se as coisas dão errado.

FIGURA 4.5 Segurança de Processos



Fonte: Adaptado de Machado, 2014

A verificação do estado de risco de um processo deve ser avaliada depois dos controles implantados considerando a probabilidade e o impacto do risco residual que permaneceu.

Nesse caso, deve ser avaliado se o risco residual pode ser aceito ou não em determinado contexto. Deve comparar "o nível de risco residual encontrado no processo de análise" com o nível de riscos que a organização está disposta a aceitar como tolerável.

Existem processos e situações com diferentes complexidades e diferentes graus de segurança, que requerem atenção proporcional e intervenção diversas por parte dos responsáveis, para tanto os conceitos descritos a seguir são necessários para a compreensão:

Como critério para avaliar os riscos de um determinado projeto os conceitos seguintes devem ser entendidos:

- Risco inerente - Risco sem que os controles estejam aplicados.
- Risco corrente ou atual (ou risco residual) é o risco remanescente depois dos controles aplicados.
- Dano Máximo Provável é a perda (plausível) provocada pelo impacto, no pior cenário, por um dado evento sem que os controles estejam aplicados. Representa o pior cenário que pode ocorrer em um evento sem que os controles estejam aplicados, ou ainda por falha nos controles que deveriam mitigar o evento.

O ranqueamento dos riscos considerando o Dano Máximo Provável: Fornece uma maneira de priorizar eventos para avaliação de risco mais detalhada (identifica os eventos que são potencialmente importantes).

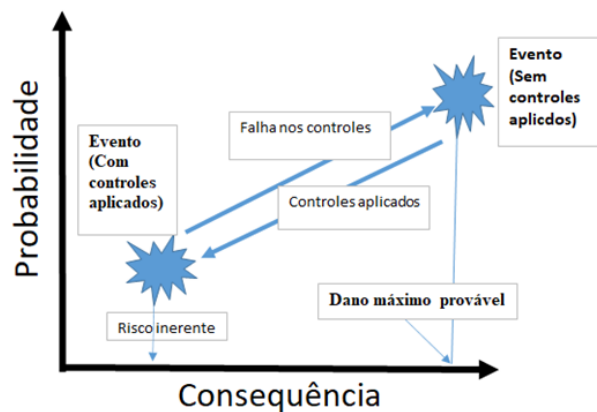
Em qualquer evento é recomendável, sempre analisar as hipóteses do risco residual e do "Dano Máximo Provável", para aferir se os controles aplicados são suficientes e adequados.

Para chegar a classificação de risco residual deve levar em consideração – os controles existentes e então verificar se é aceitável ou necessita de maiores controles.

Cabe destacar a importância da compreensão das situações de RISCO INERENTE & DANO MÁXIMO PROVÁVEL pois muitos Sistemas de gerenciamento de riscos falham não pela falha na avaliação dos riscos, mas por que os controles falharam em operar conforme previsto - Então, o risco residual move até o risco inerente. Nessa situação, o risco residual se iguala ao risco inerente.

Um modelo dessa situação está apresentado na figura 4.6

**FIGURA 4.6** Visualização de movimentação impacto de evento entre "Risco residual" e "Dano máximo provável" em função de falta ou falha nos controles.



Fonte: Autor

## 4.4 MODELAGEM CARTESIANA DE AVALIAÇÃO DO RISCO

Conforme já foi apresentado em tópicos anteriores, o risco tem duas dimensões:

Frequência - Designa a probabilidade de o evento ocorrer dentro de um período de tempo.

Impacto - Indica o grau do perigo criado pela disfunção no caso de se materializar (magnitude das consequências).

Portanto o processo de gerenciamento do risco envolve o conhecimento da periodicidade e do impacto que apresenta o risco identificado.

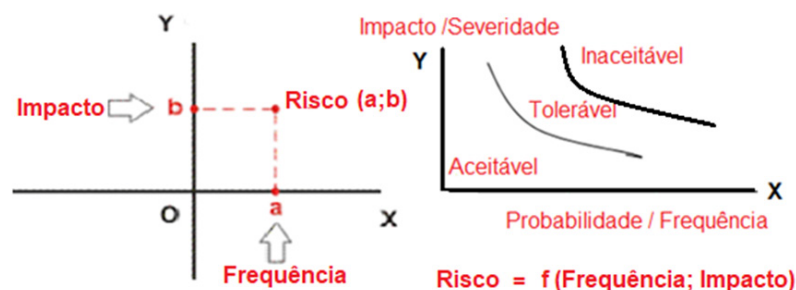
**Risco = f (probabilidade, perigo)**

- Potencial do dano
- Possibilidade matemática do evento inesperado ou acidente ocorrer (probabilidade do perigo se configurar).

Para facilitar a compreensão pode-se representar o risco num sistema de coordenadas. Cada risco pode ser avaliado pela posição que ocupa no modelo (ponto ou região) conforme a figura 4.7.

É uma forma de traduzir em um número, a combinação da probabilidade de ocorrência de cada risco com a consequências, caso se materialize.

**FIGURA 4.7** Sistema cartesiano - representação do risco (Probabilidade x Impacto)



Fonte: Autor

Como não é possível eliminar todos os riscos ou tratar todos no mesmo tempo deve haver uma classificação e priorização com base nas magnitudes percebidas nas variáveis frequência e impacto.

As medidas a serem tomadas vão depender de cada situação e da postura da organização frente aos seus



riscos.

No exemplo da figura 4.7 os riscos são classificados em:

- Riscos inaceitáveis
- Riscos toleráveis
- Riscos aceitáveis.

Para cada grupo de riscos devem ser adotadas as medidas gerenciais equivalentes conforme o exemplo seguinte:

- **Riscos inaceitáveis** – Implantar medidas corretivas imediatamente.
- **Riscos toleráveis** - Reavaliar de imediato a rotina e controles existentes. Implantar de imediato melhorias de processo; implementar um plano de emergência; pode ser realizada uma análise de riscos quantitativa. - Estudar a viabilidade de implementar melhorias.
- **Riscos aceitáveis** - Manter o processo e os controles existentes.
- **BLACK SWAN (Cisne Negro)** - Riscos com o potencial para impactos 'extremo' ou 'excepcional'. Esse tipo de risco extremo, depois de identificado deve ser sempre destacado e trabalhado de forma especial na organização

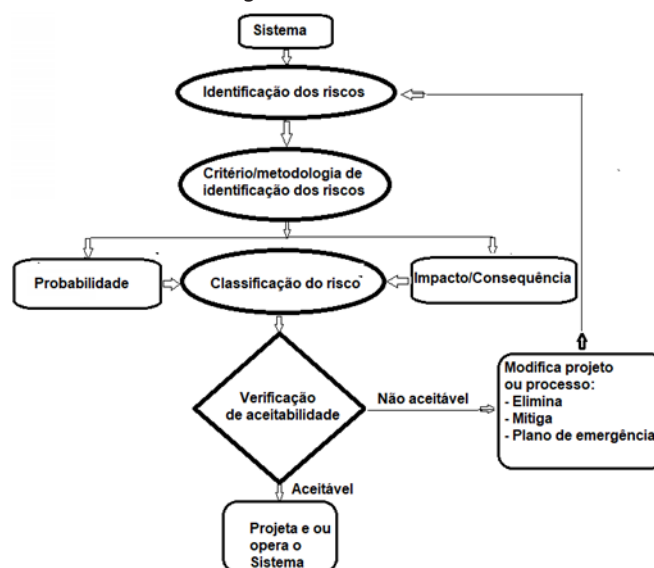
O processo de gerenciamento de riscos de forma padronizada pode ser estabelecido conforme as etapas descritas a seguir:

1. Definição do Sistema.
2. Identificação dos riscos existentes.
3. Avaliação, conforme critérios de probabilidade e impacto (Podem ser usadas diferentes metodologias).
4. Classificação dos riscos. (Conforme a posição no sistema cartesiano determinado).
5. Verificar a aceitabilidade.
6. Se não for aceitável com os controles existentes revisar o Sistema/processo.
7. Opera ou executa o sistema definido.

Depois, ao longo do tempo ou em etapas pré-definidas, monitora e controla o processo através de inspeções e auditorias, entre outros.

A figura 4.8 mostra o fluxo recomendado para gestão de riscos de um sistema genérico.

**FIGURA 4.8** Fluxo para Gestão de Riscos de um sistema genérico



Fonte: Adaptado de SME, 2011.

## 4.5 NOÇÃO DE CADEIA DE ACONTECIMENTOS (ATOS INSEGUROS E CONDIÇÕES INSEGU-RAS)

Muitas pesquisas continuam sendo feitas para estudar as causas dos acidentes.

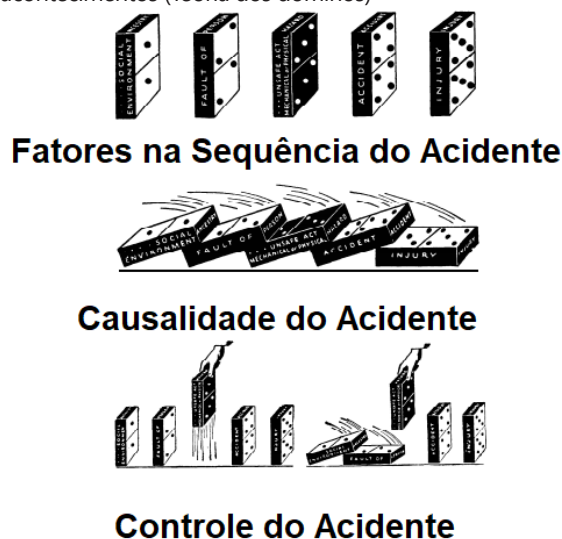
“Embora as pessoas acreditem em fatalidades “atos de Deus”, geralmente há causas controláveis para aci-dentes.

“Todo acidente tem uma causa e nenhum acidente acontece por acaso” (HEINRICH, 1931).

Os modelos sequenciais consideram os acidentes como o resultado de uma seqüência de eventos discretos ordenada no tempo. A "causa raiz", inicia uma seqüência de eventos consecutivos que levam a um acidente com relação linear e determinista. Logo, se a causa raiz, for identificada e removida impede o acidente (UNDERWOOD; WATERSON, 2013).

Nessa concepção o acidente pode se comparado à peças de dominós justapostos. As peças de dominó po-dem ser comparadas individualmente a Atos Inseguros ou Condições Inseguras que precedem a ocorrência do acidente.

**FIGURA 4.9** Teoria da Sequência dos acontecimentos (Teoria dos dominós)



Fonte: Heinrich, 1950

**Atos inseguros:** - Ações do trabalhador, alheio as normas de segurança, que colocam em risco a saúde e integridade física sua e ou de terceiros. Configura uma ação, consciente ou não, capaz de provocar dano a si próprio e ou a terceiros, a máquinas, materiais ou equipamentos.

**Condição insegura** - Consiste em irregularidades ou deficiências existentes no ambiente de trabalho que constituem riscos para a integridade física do trabalhador e para a sua saúde, bem como para os bens materiais da empresa. Essa condição levam a condição de: Processo inseguro - São deficiências, defeitos, irregularidades técnicas nas instalações físicas, máquinas ou equipamentos que podem ocasionar acidentes de trabalho.

Na visão mais tradicional o "Ato Inseguro" está sempre relacionado à falha humana e, segundo as pesquisas, são apontados como responsáveis pela grande maioria dos acidentes.

Nessa concepção, os erros representam as atividades mentais ou físicas dos indivíduos que falham em alcançar o objetivo pretendido. Esta categoria representa a causa da maior parte dos acidentes, uma vez que pela sua natureza os seres humanos cometem erros.

Os atos inseguros, muitas vezes podem ser causadas pela tendência natural do ser humano de adotar alternativas que exijam menor esforço e as violações, referem-se à desobediência de regras, regulamentos, normas que existam na organização visando a segurança ou mesmo procedimento operacional padrão da atividade.

Esse conceito foi corroborado em um estudo do Departamento de Trabalho e Indústria da Pensilvânia em 1960, no qual foram analisados 80.000 acidentes. Atos inseguros e condições inseguras e, na maioria das vezes, ambos contribuíram com mais de 98% de todos os acidentes (BRAUER, 1990).

Alguns estudiosos no assunto, discordam da importância relativa de atos inseguros sobre condições inseguras pois entendem que esta noção deriva da interpretação equivocada do aspecto não linear do conjunto de causas e efeito (OSHA, 2020). Consideram que são concepções muito focadas em fatores pessoais ou psicológicos e que responsabilizam os trabalhadores pelos acidentes do trabalho e não considera que os atos inseguros podem ser incentivado ou potencializado em empresas com cultura antiquada, que raramente pune violações ou reconhece desempenhos seguros.

## 4.6 MODELOS SISTÊMICOS

O modelo sistêmico facilita a análise e entendimento dos diversos fatores que compõe o quadro de um acidente. São diversos componentes compostos por fatores comportamentais, estruturais e culturais que podem estar presentes, não necessariamente em tempo sequencial e que podem contribuir em diferentes intensidades para o desenlace do acidente.

A investigação é fundamental para entender as causas do evento as causas raízes devem ser buscadas e analisadas em profundidade para implementar medidas eficientes de prevenção.

A avaliação de um acidente deve incluir questões relativas aos fatores humanos. Deve verificar o preparo do trabalhador para a tarefa, se foram desenvolvidas estratégias de preparo para o trabalhador. Não se trata apenas de classificar um trabalhador como apto ou inapto. É necessário verificar as questões que afetam o desempenho do trabalhador, nas dimensões técnica, física e psicológica.

A evolução deste enfoque em relação a concepção tradicional proporciona uma visão de que os acidentes são multicausais e não simplesmente uma sucessão linear de irregularidades indesejáveis.

Muitas organizações abrigam as condições latentes, que podem estar presentes por muitos anos antes de se combinarem com as circunstâncias locais e falhas ativas para o desfecho do acidente.

As falhas latentes são aquelas relacionadas à gestão e cultura da organização, assim como falhas de tecnologia, pressões internas e psicológicas, entre outras, que são difíceis de serem observadas e que por si só não geram os acidentes. Entretanto quando se misturam com os atos inseguros dos trabalhadores, tem potencial de romper as defesas do sistema, e causar o acidente.

Os exemplos incluem projeto inadequado, falhas na supervisão, defeitos de fabricação, falhas de manutenção, treinamento inadequado e procedimentos impraticáveis.

**FIGURA 4.10** Sobreposição de Condição insegura (latente na organização) com o ato inseguro que resulta no acidente.



## 4.7 PIRÂMIDE DE BIRD

Os estudos de Herbert William Heinrich publicados em 1931 afirmavam que para cada acidente que provoca um ferimento grave, há 29 acidentes que causam ferimentos ligeiros e 300 acidentes que não causam lesões.

Com base nessa premissa, Frank Bird Jr. criou a Pirâmide de Bird que aprimorou a relação proposta por Heinrich (incidente, ferimento leve e acidente de maior gravidade): 300: 29: 1, analisando mais de 90 mil acidentes na siderúrgica Luckens Steel, entre 1959 e 1966.

A proporção descoberta por Bird depois foi atualizada depois com mais dados para 600:30:10:1 (BIRD; LOFTUS, 1976). Para cada 600 incidentes ocorrem 30 acidentes com lesão leve e um com lesão incapacitante.

Bird observou também que além dos acidentes com lesões pessoais, ocorriam também incidentes sem lesão, mas que causavam perdas e danos à propriedade ou à empresa.

O estudo de Bird foi denominado "Controle de Perdas" e afirmava que esses ferimentos leves eram precedidos por numerosas práticas e condições inseguras que, não haviam resultado em acidente.

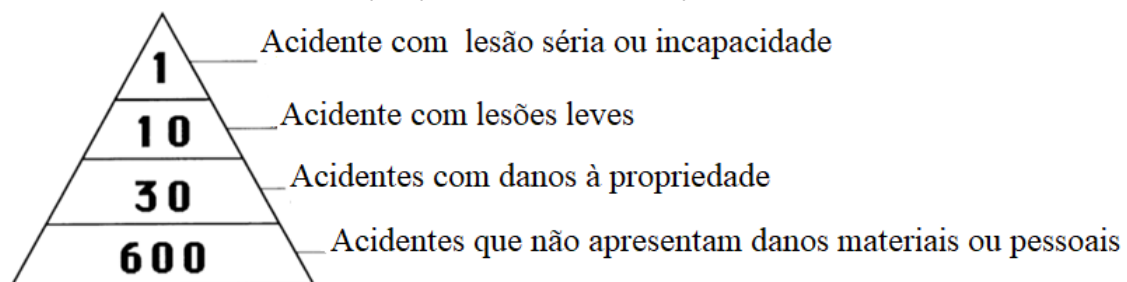
A idéia indicava que os acidentes podiam ser evitados com a prevenção de práticas e condições inseguras, que ocorriam antes do acidente ou evento de maior gravidade.

A simples coleta e análise de "incidentes" fornece informações valiosas para as estratégias de controle. São descobertas muitas situações potenciais incentivando os colaboradores em todos os níveis da organização a relatarem situações de potencial risco que poderiam passar despercebidos. As informações do exame de acidentes sem perdas, levam a "insights" sobre medidas de prevenção eficazes.

A lógica permite que as organizações podem iniciar ou implementar uma política efetiva de prevenção de acidentes detectando e estudando acidentes e ocorrências sem perdas no ambiente de trabalho com as seguintes premissas:

- Reconhecer que qualquer ocorrência não intencional é um acidente (com lesão ou não).
- Incidentes ocorrem com maior frequência.
- Fornecem uma base maior para as análises e determinação dos fatores causais de acidente e fornece informações valiosas para as estratégias de controle.
- Entre as pequenas lesões estão inúmeras práticas inseguras e condições inseguras.
- Esforço de ação deve ser dirigido para a base da pirâmide e não apenas para os eventos resultantes em lesão grave ou incapacitante.
- Ação da organização voltada para antecipação e evitar o acidente

**FIGURA 4.11** Pirâmide de Frank / Bird - Técnica para perceber a existência ou a presença do risco



Fonte: Adaptado de SME, 2011

## 4.8 APLICAÇÃO DAS TEORIA DE BIRD NA MINERAÇÃO

A atividade de mineração envolvem muitos riscos e abriga lamentável história da acidentes e desastres em minas.

A busca por novas técnicas para o controle de riscos de mineração deve andar de mãos dadas com transferência de práticas de sucesso de outras indústrias.

A investigação de um acidente deve envolver aplicação de técnicas de análise pró-ativas para entender o que ocorreu para a identificação de novos e potenciais riscos existentes no ambiente mineiro.

A identificação dos riscos, deve ser feita de forma estruturada e sistemática, com o envolvimento de pessoas com a competência necessária.

Normalmente o trabalho inicia com a confecção da lista dos riscos potenciais no ambiente (inventário dos riscos). Normalmente tem como base a experiência geral, bancos de dados, inspeções e suposições. Técnicas especiais são frequentemente utilizadas, entretanto uma característica comum em todos os métodos é sua base em um tipo de brainstorming estruturado.

A fase de identificação dos riscos é a etapa mais crucial do processo, pois é difícil evitar ou se proteger contra ameaças que não foram identificados.

A identificação é tarefa crítica da avaliação.

**A percepção de um risco é essencial pois se não for percebido, nenhuma ação é adotada para não ocorrer o acidente**

**FIGURA 4.12** Risco nunca solucionado é o risco não visto (percebido).



Fonte: Imagem disponível em: <https://www.twentytwoeight.com/single-post/2018/06/07/yay-cartoons>. Acesso em: 18 fev. 2021. Tradução nossa.

Para os profissionais que estão envolvidos na gestão de riscos, o tratamento entre a ocorrência sem perdas materiais e humanas e uma tragédia deve ser a mesma.

O primeiro requisito para controle dos riscos deve ser: reconhecer qualquer ocorrência com potencial de perdas como acidente, independentemente de tal acontecimento resultar em ferimentos e perdas materiais ou não.

Os "incidentes" ocorrem com mais frequência e podem fornecer informações valiosas para desenvolver as estratégias de controle.

Como muitos acidentes têm causas comuns, abordando os incidentes que não causam lesões pode prevenir acidentes causadores de acidentes.

Exemplos: um desmoronamento na área de mineração que não resultou em ferimentos ou danos materiais pode ser tão significativa quanto aquela resultou em ferimentos e perdas. Princípios de incêndio em uma mina de carvão são mais frequentes que explosões e fornecem uma base muito mais ampla para as análises e determinação dos fatores causais.

## Referências:

- BIRD, Frank E.; LOFTUS, Robert G. Loss control management. [S.l.]:[s.n.], 1976
- BRASIL. Tribunal de Contas da União. Referencial básico de gestão de riscos. Brasília: TCU, 2018. Disponível em: [https://portal.tcu.gov.br/data/files/21/96/61/6E/05A1F6107AD96FE6F18818A8/Referencial\\_basico\\_gestao\\_riscos.pdf](https://portal.tcu.gov.br/data/files/21/96/61/6E/05A1F6107AD96FE6F18818A8/Referencial_basico_gestao_riscos.pdf) . Acesso em 15 dez. 2022
- BRAUER, R.L. Safety and Health for Engineers. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990
- FLETCHER, J. A. The Industrial Environment: Total Loss Control. Willowdale, Ontario, Canada: National Profile Limited, 1972
- GREENE, M. R.; TRIESCHMANN, J. S. Risk and Insurance. Racine, WI: Western Publishing Company, 1981
- HEINRICH, H. W. Industrial accident prevention : a scientific approach. New York: McGraw-Hill Book Company, 1931.
- MACHADO, Hermano. Curso de segurança em Mina subterrânea. Criciúma: PPGE3M/ANM, 2014.
- MASTROENI, M.F. Biossegurança aplicada à laboratórios e serviços de saúde. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2005. OK
- OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY ADMINISTRATION STANDARD. OHSAS 18001:2007. Disponível em: [http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/103\\_ohsas\\_18001\\_2007\\_ing.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/103_ohsas_18001_2007_ing.pdf). Acesso em: 15 dez. 2022
- OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA). All about OSHA. Washington, DC: U.S. Department of Labor, 2020. Disponível em: [https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/all\\_about\\_OSHA.pdf](https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/all_about_OSHA.pdf). Acesso em: 15 dez. 2022
- REASON, J. Managing the risks of organisational accidents. Ashgate: Surrey, 1997.
- REASON, J. The human contribution, unsafe acts, accidents and heroic recoveries. Ashgate: Surrey, 2008.
- SHAPELL, S.; WIEGMANN, D. The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). Federal Aviation Administration, Office of Aviation Medicine Report N° DOT/FAA/AM-00/7. Office of Aviation Medicine. Washington, DC, 2000.
- SLAVUTZKI, L. C. Metodologia para avaliação e classificação de causas de acidentes de trabalho. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- UNDERWOOD, P.; WATERSON, P. The human factors analysis and classification system. Loughborough: Loughborough University, 2013.

## CAPÍTULO 5

# SEGURANÇA DE SISTEMAS VISÃO DE PROCESSO; HISTÓRICO; NORMAS ISO; CERTIFICAÇÃO; CICLO

Na sociedade atual as empresas e organizações estão enfrentando situações e exigências, sem precedentes quando comparado a outros períodos da história. Essa situação as expõe a uma infinidade de riscos, cuja gestão se torna um elemento-chave para a continuidade de sua existência e crescimento.

A gestão de riscos pode ser definida como a Ciência que gera estratégias para prever, aliviar e/ou neutralizar os impactos negativos de eventos que não estão sob controle de gestores e acionistas

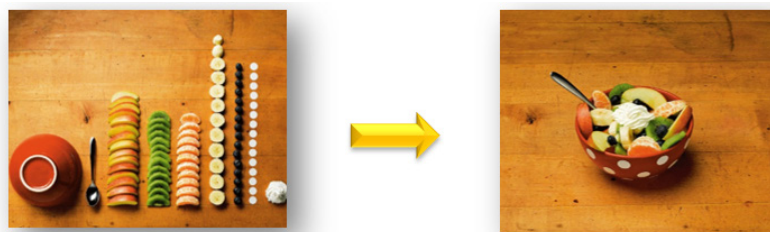
Todas as atividades, objetos e processos têm certo grau de risco e a preocupação das organizações deve ser:

- Mudar as situações com potencial de geração eventos indesejáveis
- Incorporar sistemas capazes de eliminar as oportunidades de erro.

Uma concepção importante e moderna para esse objetivo é a implementação de processos ou de "Sistemas" que podem reduzir a exposição das empresas aos riscos do seu ambiente de atuação.

**Sistema** – É um arranjo de componentes ordenados, interrelacionados e que podem interagir com outros sistemas, para cumprir uma função num determinado ambiente. Pode também ser definido como um grupo de componentes que atuam com uma meta comum a partir do recebimento demandas produzindo resultados em um processo organizado de transformação (O'BRIEN, 2009).

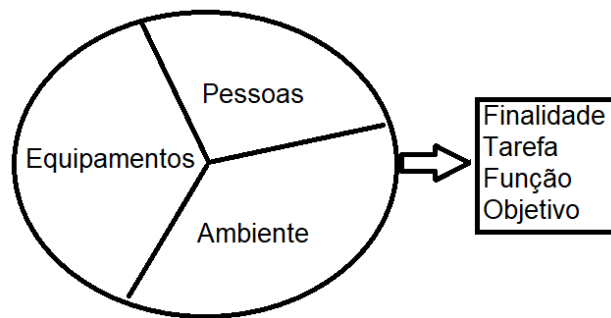
**FIGURA 5.1** Sistema : um conjunto de elementos interligados e interdependentes que interagem com objetivos comuns, formando um todo



Fonte: Adaptado de Gré, 2014.

**Sistemas de gerenciamento da segurança** (SGS, do inglês safety management systems - SMS) é uma terminologia usada para se referir a Sistemas abrangentes para gerenciar riscos de segurança de uma organização.

É uma metodologia, que analisa o sistema de forma abrangente e não em partes autônomas. Considera o processo como um todo – Considera à interação de pessoas, máquinas e ambiente.

**FIGURA 5.2** Sistema interação entre pessoas, equipamentos e ambiente para uma finalidade (tarefa/objetivo)

Fonte: Autor

A visão de processo e Sistemas possibilita identificar as partes e as relações existentes num processo e por decorrência os riscos e gargalos presentes. Facilita a análise de qualquer processo e a sua gestão. Fornece um método de priorizar eventos que são potencialmente importantes e que necessitam de uma avaliação mais detalhada sobre os seus riscos.

## 5.1 HISTÓRICO DA APLICAÇÃO DE CONFIABILIDADE EM SISTEMAS

Os conceitos de confiabilidade em "Sistemas" adquiriram significado tecnológico após o término da primeira guerra mundial (estudos para comparar a segurança entre aviões de dois ou quatro motores). No contexto da época a confiabilidade era medida como: acidentes por hora de voo.

Durante a II Guerra Mundial – Um grupo de engenheiros da equipe de von Braun, na Alemanha trabalhando no desenvolvimento dos mísseis V-1 e V-2 usava a metodologia (BORGES, 2013).

Robert Lusser (19/04/1899 a 19/01/1969) - Engenheiro Alemão (designer e aviador) é lembrado por projetos de aviões durante a segunda guerra, os famosos Messerschmitt e Heinkel. Lusser continuou depois do final da guerra os estudos teóricos da confiabilidade de sistemas complexos quando propôs a lei da probabilidade de falha de um produto com componentes em série (MAGALHÃES, 2013).

Conceitos de probabilidade proposto por Lusser:

- A confiabilidade de um sistema em série é igual ao produto das séries compostos por muitos componentes que tendem a apresentar baixa confiabilidade.
- O efeito da melhoria de confiabilidade dos componentes individualmente sobre o sistema tende a ser pequeno.

Durante a guerra fria anos 50 e 60 o interesse por confiabilidade de sistemas esteve centrado no desenvolvimento de mísseis intercontinentais.

A partir da década de 70 os estudos de confiabilidade estiveram centrados na análise dos riscos associados à construção e operação de usinas nucleares.

Também, os princípios de confiabilidade de Sistemas, tiveram grande aplicação no programa espacial dos Estados Unidos/NASA.

Devido aos riscos envolvidos, os programas espaciais necessitam, até os dias de hoje, produtos de insuperável qualidade e confiabilidade.

Precisam:

- Identificar a falha característica de cada unidade e o impacto da falha da unidade no sistema total.
- Aumentar a confiabilidade do sistema.



- Fornecer alternativas para permitir funcionamento seguro em face de falhas de unidades individuais.
- Desenvolver procedimentos de emergência para contingências.

Para exemplificar, imagine-se a complexidade e probabilidade de algo dar errado no histórico momento épico da humanidade, viagem à lua nos anos sessenta e setenta do século XX, conforme apresentado na figura 5.3.

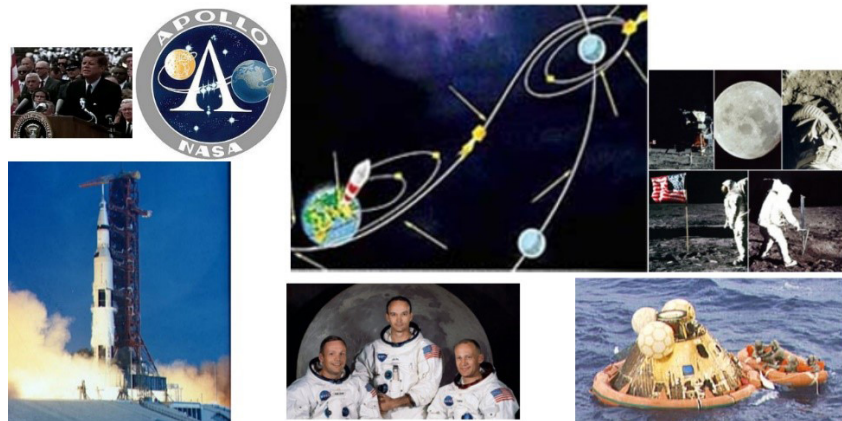
Deve-se considerar que um simples celular nos dias de hoje (2022), tem muito mais tecnologia agregada computacional, que a nave espacial da NASA construída nos anos 1960.

### Descrição do processo:

- Um grupo de três astronautas lançados através de um foguete na Terra.
- Entrar em órbita da terra.
- Escapar da gravidade da terra e ser atraído e conduzido até a lua pela força da gravidade lunar.
- Entrar em órbita da lua.
- Parte da nave permanece orbitando a lua, com um astronauta a bordo.
- Uma segunda nave desce até o solo lunar e dois astronautas realizam missões na superfície e recolhem amostras de rocha na superfície da lua.
- Depois o módulo luna decola no solo lunar.
- Entra em órbita da lua.
- Encontra e acopla a nave que havia permanecido em órbita.
- Escapam da gravidade da lua e retomam a viagem para a terra movidos pela gravidade.
- Entram na órbita da Terra.
- Realizam a reentrada na atmosfera da terra.
- Descem com paraquedas, em local pré estabelecido, no oceano Pacífico.
- Por fim os astronautas e as amostras de rocha lunar foram recolhidas, com segurança, por um navio da esquadra dos Estados Unidos (porta aviões).

Qualquer falha nessa série de eventos colocaria tudo a perder....!! A vida dos astronautas, com repercussões na opinião pública e descrédito para as organizações e governos envolvidos.

**FIGURA 5.3** Complexidade do programa espacial

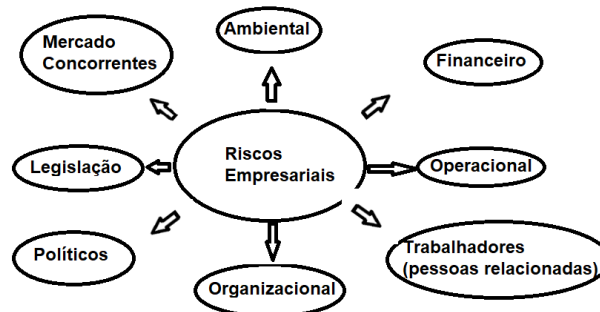


Fonte: Composição do autor com imagens divulgadas na imprensa.

## 5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS METODOLOGIAS DE SEGURANÇA DESENVOLVIDAS A PARTIR DA TEORIA DE SISTEMAS E APLICAÇÃO NA MINERAÇÃO

A aplicação das metodologias com base na teoria de Sistemas deve ser parte central da estratégia de Gestão de uma empresa. As metodologias são aplicáveis para indústrias em geral e de forma particular aplicável também à mineração.

**FIGURA 5.4** Riscos empresariais de uma organização industrial



Fonte: Autor

A operação de mineração deve ser entendida como um Sistema que requer, acima de tudo, novas abordagens que sejam capazes de resolver continuamente os problemas encontrados.

Os projetos de mineração envolvem muitos riscos e incertezas. As minas são ambientes dinâmicos e as empresas de mineração estão expostas a uma série de riscos durante todo o ciclo de vida de seus projetos.

Pesquisadores consideram o setor de mineração uma das indústrias mais incertas e perigosas do mundo. Embora o setor utilize ferramentas de gestão de risco de maneira adequada, vários projetos de mineração em grande escala falharam como resultado da negligência ou subestimação dos perigos.

A aplicação dos conceitos de segurança de Sistemas na mineração é importante e indispensável para aprimorar a qualidade das decisões. O objetivo deve ser: Empresas de mineração mais previsível em resultados financeiros, segura para seus trabalhadores e menos impactante para o meio ambiente.

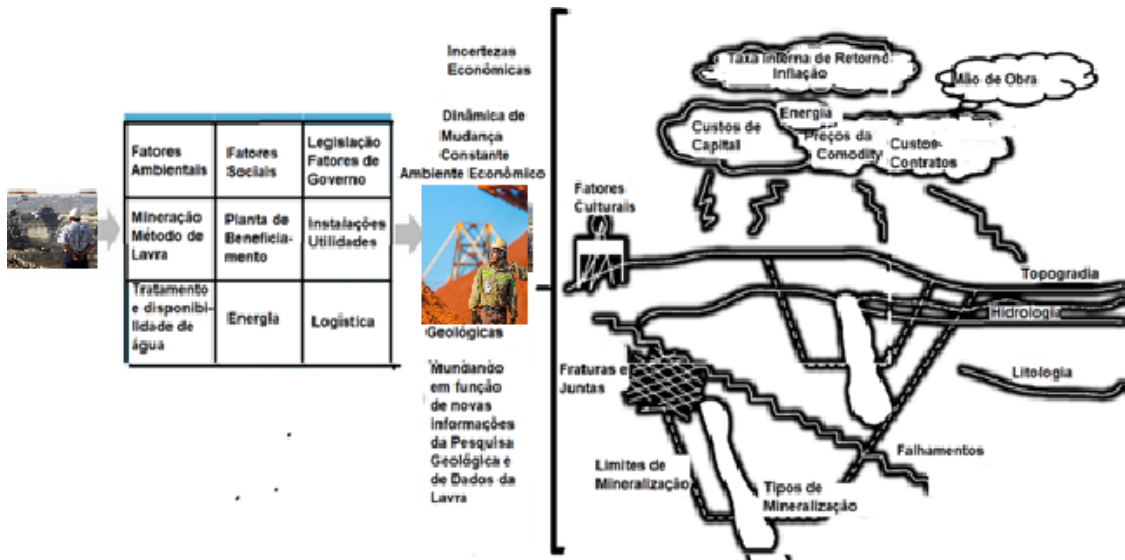
Uma empresa de mineração é um sistema com interações complexas entre humanos e vários processos técnicos e meio ambiente.

O projeto de mineração tem longa duração e é constantemente ameaçado por uma série de riscos e incertezas de diferentes natureza: Saúde e segurança ocupacional, meio ambiente, operações unitárias de mineração, novas legislações, mercado, política, finanças e economia.

A figura 5.5 mostra o ambiente da mineração e os principais riscos associados. Chamamos a atenção, que além das incertezas econômicas e de mercado comuns no ambiente industrial, estão presentes outras incertezas peculiares da mineração que são os "riscos geológicos".

As mudanças no ambiente regulatório dos países, na legislação ambiental e de segurança do trabalho, tendem a impactar de forma crescente os projetos e os empreendimentos mineiros especialmente nas suas etapas de licenciamento, operação e também no fechamento ou finalização das operações.

**FIGURA 5.5** Riscos e incertezas presentes nos projetos de mineração.



Fonte: Autor

## 5.3 SISTEMA DE NORMATIZAÇÃO ISO

### Foco na gestão de riscos do Sistema. O que pode ser melhorado?

A Globalização mudou a forma como os negócios são feitos. As empresas tem cadeias de abastecimento cada vez mais complexas. O mercado global tende a valorizar ou distinguir, cada vez mais, produtos ou serviços produzidos com padrões, mundialmente considerados, como éticos e sustentáveis.

A tendência é um aumento na expectativa do cliente e de outras partes envolvidas sobre o produto contratado.

A sociedade tem hoje mais informações e voz mais forte do que nunca e está exigindo serviços ou produtos realizados com segurança, regimes de trabalho aceitáveis e regulados num ótica de direitos humanos e ainda produzidos de forma ambientalmente sustentável.

A empresa irá atuar de maneira eficaz, quando identificar e gerenciar suas diversas atividades interligadas.

### Mapa do processo.

Apresenta o processo produtivo em etapas distintas pode revelar oportunidades de melhorias ao longo do tempo. Ao documentar um mapa de processos corporativos, uma organização obtém vários benefícios imediatos como melhorar a compreensão ampla de como a organização opera em um ambiente normal de negócios e entender as oportunidades e os desafios estratégicos.

A construção de um mapa de processos força os líderes a mergulhar nos limites operacionais frequentemente confusos de uma organização. Pode ser uma tarefa árdua, mas informa como a empresa pode criar valor, e gerenciar os seus riscos.

Para potencializar o processo de qualidade da gestão e certificação, surgiu em 1987 a normatização ISO.

As Normas ISO denominam um conjunto de códigos que compõem um sistema de gestão e que tem um papel de grande importância no mundo globalizado. As normas ISO manifestam um consenso mundial e, juntamente a outras normas, formam o chamado Sistema de Gestão Integradas, que influenciam no cotidiano as organizações.

O sistema internacional criado pela International Organization for Standardization, foi fundada em 1946 na Suíça em Genebra, tem o propósito de desenvolver normas para utilização em qualquer país. As normas ISO, podem ser adotadas por empresas, de diferentes áreas e qualquer porte. São as mais conhecidas e adotadas pelas organizações de sucesso.

Outras normas e padrões de reconhecimento internacional se sucederam:

- ISO 45001: 2018. Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional
- ISO 9001: 2015. É reconhecida como norma de Gestão que defini parâmetros e conceitos de como produzir e como gerenciar a produção de uma organização.
- ISO 27001: 2013. São requisitos para sistemas de gerenciamento de segurança da informação (ISMS)
- ISO 31000: 2009. São princípios e diretrizes para gerenciamento de riscos (RM).
- OHSAS 1800: 2007. Norma inglesa direcionada para sistema de gestão de segurança e saúde ocupacional (SSO). (Occupational Health and Safety Assessment Series). Da Organização Internacional do Trabalho (OIT).

Todas as normas tem sido objeto de atualizações periódicas, nos próximos tópicos vamos descrever as principais características das mais conhecidas.

### 5.3.1 OHSAS 18001

Occupational Health and Safety Assessment Series (OHSAS): Norma inglesa, para sistema de gestão de segurança e saúde ocupacional que fornece orientações para implantar e avaliar a situação em relação aos procedimentos de segurança e saúde ocupacional (SSO). A norma OHSAS propõe requisitos mínimos, para analisar os perigos e riscos da organização.

### 5.3.2 Normas ISO

O Sistema ISO é um instrumento que propõe uma ampla análise da situação do processo produtivo para ajudar o gestor a descobrir e corrigir processos ineficientes dentro da organização.

As ISO 9000 (descreve os conceitos fundamentais, princípios e vocabulário de gestão da qualidade) e a ISO 9001 foram atualizadas em 2015 e são basicamente complementares e igualmente importantes.

A ISO 9001, trata o risco como atividade rotineira da organização. Reconhece que as consequências do risco são diferentes e as consequências de apresentar um produto, não conforme, não é a mesma. Para algumas situações podem ser menores; para outras, a consequência pode ser fatal, dependendo do contexto.

Os princípios da qualidade nas normas ISO 9000 e ISO 9001 são basicamente:

- **Foco no cliente:** Atender às necessidades e buscar superar as expectativas para atrair os clientes e fidelizá-los.
- **Ênfase na liderança:** Envolvimento da equipe de liderança no Sistema de Gestão para criar condições para que as pessoas possam alcançar os objetivos da organização.
- **Engajamento das pessoas:** Os colaboradores, em todos os níveis da organização, devem ser competentes (em educação, treinamento ou experiência), e estar envolvidas e engajadas, para elevar a capacidade da organização em criar e entregar produtos que atendem e superem as expectativas dos clientes.
- **Abordagem de processo:** Quando a empresa organiza os seus principais processos de negócio com visão de conjunto se torna mais eficiente facilita a entrega produtos e serviços com a qualidade esperada pelos clientes.
- **Melhoria:** As organizações com foco contínuo na melhoria, podem se adequar com mais facilidade às mudanças do ambiente interno e externo, mantendo ou melhorando os seus níveis de desempenho.
- **Decisão com base em evidências:** As organizações que tomam decisões com base em dados e in-

formações tendem a ser mais eficazes para alcançar os seus objetivos.

- **Gestão de relacionamentos:** As organizações que percebem as influências dos interesses no seu entorno, são mais preparadas para enfrentar as ameaças e aproveitar as oportunidades.

A ISO 9001 é uma forma de formalizar a cultura da organização, sobre a qualidade dos bens e serviços prestados. É muito improvável que isso aconteça se os sistemas forem desenvolvidos separadamente para finanças, TI, saúde e segurança, meio ambiente e comunidade e assim por diante. Os processos precisam estar num sistema integrado. Essa estrutura é chamada de gerenciamento de risco corporativo.

A certificação ISO não se trata de um processo de certificação somente dos bens ou serviços produzidos, mas sim da qualidade do processo praticado pela organização na direção de uma produção mais eficiente. Funciona como um instrumento de demonstração de garantia da qualidade de um produto ou serviço que está sendo contratado.

Observação: A ISO 9001 e a ISO 27001 têm conteúdo idêntico em seus capítulos, enquanto a ISO 31000 possui uma estrutura diferente de recomendações gerais.

### 5.3.3 Norma de Saúde e Segurança Ocupacional ISO 45001

A ISO 45001 publicada em 2018 é uma norma muito conhecida, adotada em todo o mundo para ajudar organizações de todos os tamanhos. Constitue em um conjunto de procedimentos para melhorar a segurança do trabalho nas cadeias de suprimentos globais. Um comitê de especialistas em saúde e segurança ocupacional trabalhou para desenvolver um Padrão Internacional a partir da base de dados coletados pela Organização Internacional do Trabalho (OIT).

Trata-se de uma ferramenta que visa a melhoria do desempenho de empresas em termos de Saúde e Segurança do Trabalho (SST) e facilita a integração e a certificação das Normas de Sistemas de Gestão, como por exemplo:

- Sistema de Gestão Integrado (SGI).
- ISO 14001 (Sistema de Gestão do Meio Ambiente).
- ISO 9001 (Sistema de Gestão da Qualidade).

## 5.4 PROCESSO DE MELHORIA CONTÍNUA – CICLO PDCA

A implementação do ciclo PDCA, tem foco no planejamento estratégico e na gestão de riscos das organizações. Visa preservar a integridade física de funcionários e comunidades próximas, e pode evitar grandes prejuízos financeiros à organização.

A ferramenta de gestão "Ciclo PDCA para a 'melhoria contínua'" está incluído nos princípios de gestão da Norma ISO 9001 que define esse conceito como um objetivo permanente da organização.

No setor de mineração existem perigos de acidentes graves, exposição a elementos tóxicos e impactos ambientais. Ou seja, além do homem, o ecossistema pode sofrer consequências negativas.

Logo é imprescindível utilizar ferramentas de gestão para mitigar esses riscos.

A implementação de um sistema de gestão integrada de saúde, segurança e meio ambiente, tem se mostrado a melhor forma de prevenção. Considera como premissa que o "problema deve ser solucionado, focando na causa e não nas consequências".

Expressar ou responder de forma clara: Qual o problema?... Faz parte da solução.

A idéia não é nova, foi expressa pelo filósofo francês René Descartes, que descreveu a importância da utilização "do método" na condução do pensamento humano.

Segundo Descartes, o melhor caminho para a solução de um problema é a ordem e a clareza com que fazemos as nossas reflexões. O problema será mais bem compreendido se for dividido em partes menores.

A base do PDCA é justamente o processo cartesiano de solução de problemas.

No anos 20 do século passado (XX), um físico norte-americano chamado Walter Andrew Shewhart, conhecido na área de controle estatístico de qualidade criou o Ciclo PDCA. Mas, somente nos anos 50 ele foi popularizado pelo, professor William Edwards Deming, reconhecido pelas melhorias dos processos produtivos nos EUA durante a Segunda Guerra Mundial e depois no Japão.

A metodologia propõe a implementação das melhorias dos processos através de quatro ações básicas: planejar (plan), fazer (do), checar (check) e agir (act).

### **Fases do Ciclo PDCA**

Embora a concepção teórica determine quatro fases para o Ciclo PDCA, elas não precisam acontecer linearmente. A divisão serve para facilitar a compreensão do processo de melhoria contínua.

#### **Planejar:**

Na etapa do planejamento são determinados os objetivos e as metas. Que problema será resolvido? e Porque é preciso resolver essa questão?

Devem ser identificados e definidos os indicadores, que mostrarão se o objetivo final está sendo alcançado. Os indicadores são um meio de avaliar os resultados. Pode ser uma informação quantitativa ou qualitativa, que representa a evolução do projeto.

A etapa do planejamento é sempre mais complexa e normalmente exige mais esforços. No entanto, quanto maior for o número de dados, maior será a necessidade de ferramentas apropriadas para coletar, processar e interpretar as informações.

#### **Fazer:**

Após identificar o problema e traçar as metas, o plano de ação é colocado em prática conforme foi planejado, cuidando para que não haja desvios.

Se não for possível executar o plano, deve voltar à fase anterior e verificar os motivos da falha.

Antes do início, é necessário treinar todos os envolvidos no processo para garantir o comprometimento. Somente quando a equipe está capacitada ela age de maneira alinhada com foco nos objetivos corretos.

#### **Checar:**

A checagem inicia junto com a fase de implementação do plano de ação. Quanto mais cedo os resultados forem acompanhados, mais rapidamente é possível ver se o planejamento está correto e se os resultados serão atingidos.

Nessa etapa deve ser feito o monitoramento sistemático de cada atividade para comparar o previsto com o realizado. Avaliação da metodologia fornece subsídios para ver se a equipe está no caminho certo ou se é preciso modificar algum processo.

Nessa etapa, é importante o suporte de uma metodologia estatística para evitar erros, poupar tempo e recursos.

#### **Agir**

Quando as metas são atingidas, o plano aplicado deve ser consolidado como padrão.

Se algum objetivo não for alcançado, agir corretivamente sobre as causas do problema. Depois da análise dos dados providenciar as adequações necessárias, ajustando falhas, inserindo melhorias e fazendo com que o Ciclo PDCA seja reiniciado.

#### **O Ciclo PDCA não têm um fim.**

Quando um ciclo é concluído inicia outro, sucessivamente, até encontrar um padrão de qualidade que atenda às expectativas do cliente e a empresa seja mais eficiente em seus processos.

O ciclo PDCA evita erros e padroniza o controle de qualidade. Cada vez que o ciclo é repetido, o próximo tende a ser mais complexo. O plano e as metas passam a ser mais elevadas e ousadas.

É a base fundamental do "Princípio da melhoria contínua". **Padronização e a busca contínua pela melhoria**

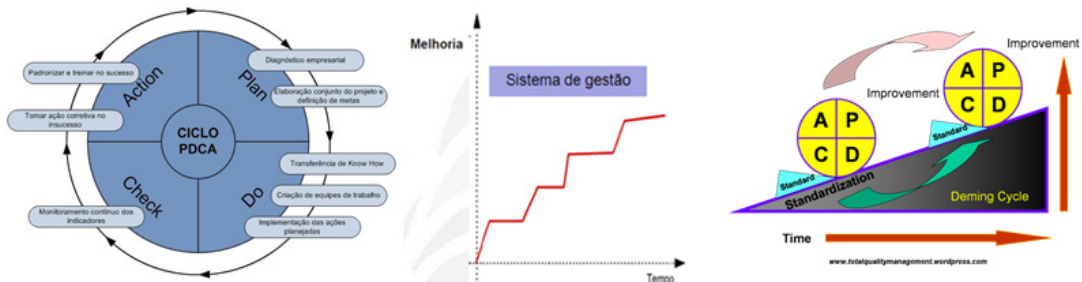
Pela facilidade de entendimento e eficácia prática, o Ciclo PDCA historicamente tem demonstrado ótimos resultados.

A experiência tem demonstrado ainda, que sempre que se melhora um processo, fazendo ele mais eficaz, o tornamos mais seguro também.

A metodologia PDCA é aplicável a qualquer processo, em diferentes áreas: processos industriais e também na mineração.

As figura 5.6 representa uma empresa em processo contínuo de melhoria. Desejável e necessário para a continuidade e desenvolvimento da organização.

**FIGURA 5.6** Sistema de Gestão - Melhoria contínua ao longo do tempo definida com princípio da Norma ISO 9001.



Fonte: Adaptada de imagens disponíveis em: <https://pt.slideshare.net/fabiofm/aula-sga-sgq-sgi>. Acesso em: 15 dez. 2022.

Fatores fundamentais para a implantação do PDCA

Três fatores no Ciclo PDCA são fundamentais para que as metas sejam alcançadas:

- Conhecimento técnico.
- Liderança atuante.
- Continuidade.

Conhecimento técnico.

O foco nos objetivos da organização é fundamental para a escolha das ferramentas e organização do procedimento. Necessita conhecimento dos processos e das restrições existentes, fatores especialmente relevantes numa empresa de mineração onde os processos são muito específicos, com elevados riscos de acidentes e de impactos ambientais.

Há necessidade de uma liderança atuante e envolvimento corporativo

A organização precisa de um profissional com liderança atuante capaz de direcionar a organização rumo ao projeto da melhoria contínua.

O processo necessita especialmente envolvimento e comprometimento dos trabalhadores e dos diferentes níveis gerenciais da organização.

A própria norma ISO 9001:2015 na sua cláusula 5 explicita: "A alta administração deve demonstrar a liderança e comprometer-se para garantir que os riscos e as oportunidades que podem afetar a conformidade de um produto ou serviço sejam determinados e tratados".

Necessidade de continuidade.

A implantação do PDCA para melhorar a cultura da organização, revisão e a padronização de todos os seus processos, necessita tempo, muito trabalho, firmeza e continuidade.

A metodologia envolve muitas reuniões, um processo democrático que procura envolver todos os empregados na discussão e análise dos processos.

Necessita continuidade, com o envolvimento e comprometimento da alta gestão.

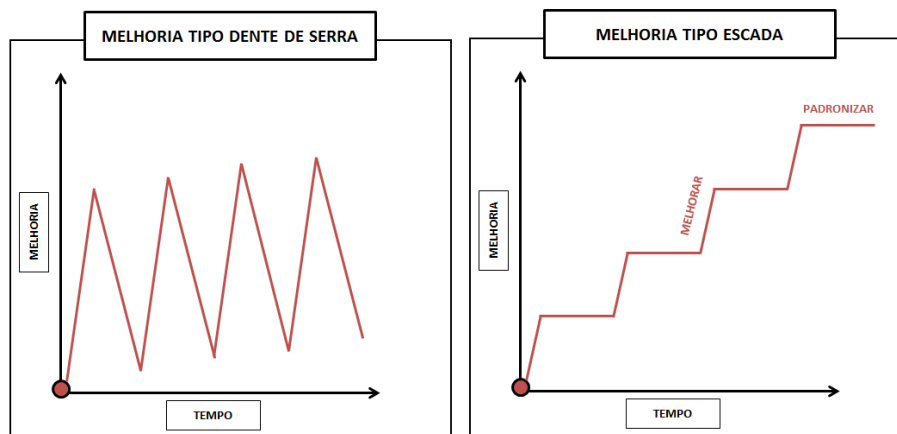
Tem sido comum encontrar exemplos, também na mineração, que depois de um tempo de trabalho e gasto de recursos, as organizações retornaram ao estágio inicial do processo pela falta de continuidade e falta do apoio dos gestores.

Os processos de mudança para melhoria contínua costumam sofrer muita resistência de lideranças e de chefias tradicionais da organização. As pessoas se sentem ameaçadas quando a sua forma de atuar é discutida e eventualmente modificada. Nessa situação, as resistências das chefias mais tradicionais que se sentem ameaçadas pelo processo de mudança tendem a refluir aos métodos antigos se houver mudanças gerenciais na empresa e os novos dirigentes (alta direção), por desconhecimento ou falta de capacidade não disponibilizam tempo e comprometimento para suportar o processo de melhoria.

Situação muito comum que é mencionada na literatura.

Esse tipo de organização, resistente a inovações, são denominadas como empresa: 'Dente de Serra'. Os processos de melhoria não são sustentados no tempo. As empresas que evoluem seus processos no tempo de forma sustentada são denominadas: Empresas tipo Escada. A figura 5.7 esquematizada por Deming, facilita a compreensão

**FIGURA 5.7** Evolução da qualidade dos processos da organização ao longo do tempo – Melhoria "Tipo Dente de Serra" quando a melhoria não é sustentada ao longo do tempo e Melhoria "Tipo Escada" quando há evolução nos processos da organização – as melhorias são sustentadas no tempo .



Fonte: Imagem disponível em <http://oaprendizdaqualidade.blogspot.com/search/label/Gr%C3%A1ficos>. Acesso em: 15 dez. 2022.

## 5.5 COMPLIANCE

O conceito "compliance" tem origem no verbo em inglês to comply, significa conformidade com leis e regulamentos e envolve todas as políticas, regras, controles internos e externos da organização.

Um dos objetivos do "compliance" é corrigir e prevenir os desvios que possam trazer conflitos judiciais, sendo comumente atrelado à luta anticorrupção. Porém, também se direciona à questões relacionadas à ética, sustentabilidade, cultura corporativa e outros riscos que possam afetar o desempenho e a reputação da empresa.

Em termos gerais busca reduzir os riscos para os acionista.

Cada vez mais, deve ser ressaltado o perigo que representa para as empresas participar de atos imorais ou ilegais, ou manter processos operacionais sem os devidos controles que prejudiquem o meio ambiente, causadores de acidentes e doenças nos trabalhadores e nas comunidades no seu entorno.

Tanto a empresa como todas as pessoas que nela trabalham, inclusive os fornecedores, precisam observar rigorosamente a legislação e condicionar todas as ações à princípios éticos de aceitabilidade global, por vezes mais restritivo que a própria legislação do país onde a empresa atua.

Uma cultura ética da organização influencia a integridade dos colaboradores e reduz a incidência de compor-



tamentos sem desvios. Previne fraudes e desconformidades, que geram perdas de recursos. Evita riscos de sanções legais, perdas financeiras, perda de reputação e desinteresse de investidores.

Dessa forma, a empresa para reduzir os riscos corporativos deve buscar estar em “compliance” ambiental, trabalhista, financeiro, de segurança do trabalho, operacional, contábil etc. visando alcançar nível de excelência independentemente do segmento de atuação e do tamanho da empresa.

O programa de “compliance” deve ser iniciado por um código de conduta que deve ser disseminado pela organização, que alinha a missão da empresa, e os seus objetivos globais.

O “compliance” vem aumentando cada vez mais a sua relevância nas empresas, principalmente, aquelas que possuem relações com a administração pública. A tradição de integridade, ética e cumpridora dos compromissos da organização reflete diretamente, na aceitação pela sociedade e nas ações de fiscalização e licenciamento de novos negócios pelo poder público. Além disso, ao prevenir riscos das condutas não conformes, diminui o grau de exposição e responsabilização da Alta Administração em relação a potenciais comportamentos irregulares ou ilegais de seus colaboradores.

O “compliance” é uma importante maneira melhorar a competitividade, já que a sociedade vai exigir cada vez mais mais das organizações comportamentos sustentáveis e éticos.

No contexto da mineração, atividade classificada como periculosa de grande impacto ambiental e social nas comunidades do seu entorno, a aceitação pela sociedade é particularmente importante. Envolve procedimentos comunitários e trabalhistas aceitos internacionalmente, ambientalmente sustentáveis e com padrões adequados de segurança e higiene no trabalho.

Considerando o caso de uma mineradora que pode operar em vários países com pessoas de diferentes culturas e legislações, assegurar que todos os procedimentos estejam de acordo como padrões da “compliance” é um grande desafio de gestão.

Não é possível definir de forma estática e centralizada normas e procedimentos, para garantir que a empresa esteja operando de forma padronizada em conformidade com os padrões aceitos pela sociedade. Para alcançar excelência nas áreas operacionais sob os aspectos ambientais, sociais, segurança e higiene do trabalho as organizações necessitam implantar metodologias de gestão de riscos que padronizem e disseminem a cultura dos controladores em todas as áreas da organização.

Correr ou não um determinado risco? O comportamento e a qualidade das decisões, em diferentes níveis da hierarquia, vão depender da cultura institucionalizada na organização.

Uma importante diretriz no sentido de uma política de “compliance” é implementar uma gestão de riscos dinâmica de acordo com as alterações que acontecem nos processos internos ou no ambiente do entorno da empresa. Nesse contexto deve-se lembrar que a mineração, por suas características, é mais dinâmica quando comparada a outros segmentos da indústria.

Uma organização com minas operando em diferentes países sob o abrigo de diferentes legislações e culturas deve buscar, de forma continuada, padrões que sejam aceitos internacionalmente, de forma a assegurar valor e redução dos riscos para os seus acionistas.

## Referências:

BORGES, F. M. Na Busca da Cultura Espacial. 2013. Tese (Doutorado Psicologia Clínica) - Pontifícia Universidade Católica São Paulo, São Paulo, 2013.

GRÉ, L. I. Curso de segurança em Mina subterrânea. Criciúma: PPGE3M/ANM, 2014.

MAGALHÃES, E. R. P. V. Uso da Abordagem Seis Sigma para a Melhoria da Confiabilidade em Locomotivas. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Métodos Estatísticos Computacionais) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

O'BRIEN, J. A. Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da internet. 3. ed. Porto Alegre: Saraiva, 2009.

DEMING, W. Edwards. Out of the Crisis, reissue. MIT press, 2018.

BADRI, A.; NADEAU, S.; GBODOSSOU, A. A mining project is a field of risks: A systematic and preliminary portrait of mining risks. International journal of safety and security engineering, v. 2, n. 2, p. 145-166, 2012.

RUPPENTHAL, Janis Elisa. Gerenciamento de riscos. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2013.

DESCARTES, René. Discurso do metodo: Meditações: Objeções e respostas: As paixões da alma; Cartas. Abril Cultural, 1973.

## CAPÍTULO 6

# VISÃO INTERNACIONAL DA GESTÃO DE RISCOS, ESPECIALMENTE NAS EMPRESAS DE MINERAÇÃO

Todos fazemos “gestão de risco” constantemente, no cotidiano, quando tomamos as decisões.

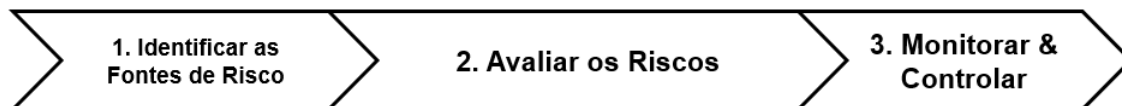
Qual a melhor escolha ou decisão? Trata-se de uma questão controversa. Frequentemente importantes tópicos são compreendidos carregados de emoção.

Em uma organização é comum a existência de grupos com diferentes visões ou interesses, que intencionalmente ou não, induzem situações em uma tentativa de prevalecer sobre o outro grupo.

Para que a compreensão da realidade seja mais correta evitando concepções distorcidas é necessário estabelecer uma metodologia sistêmica que possa alcançar todas as etapas do processo de uma organização. A gestão de riscos deve ser concebida como vantagem competitiva para gerenciar as questões mais diretas de segurança, meio ambiente, e também as questões relacionadas a governo, comunidades, legislações e mercados.

Em termos simplificados, a estratégia da organização deve seguir o roteiro apresentado na figura 6.1:

**FIGURA 6.1** Estratégia da gestão de riscos nas organizações



Fonte: Adaptado de ISO, 2009

Os processos são essencialmente análogos, porém na prática há uma constante iteração entre as etapas e entre os dados sempre aplicados de comunicação, consulta, monitoramento e revisão.

## 6.1 PROCESSO DE GESTÃO DOS RISCOS NA VISÃO DA ABNT NBR ISO 31.000

Apesar da ISO 31000 “Gestão de riscos - Princípios e diretrizes” não ser uma norma para certificação, é a referência mundial, recomendada, para auxiliar as organizações acolherem os novos regramentos do mundo globalizado.

A Norma **ISO 31.000** representa um marco significativo para entender, controlar a ameaça de forma padronizada. Ela foi elaborada para gerenciar riscos, de forma transparente e sistemática. Através da sua implementação,

as organizações podem comparar as suas práticas com um valor de referência reconhecido internacionalmente.

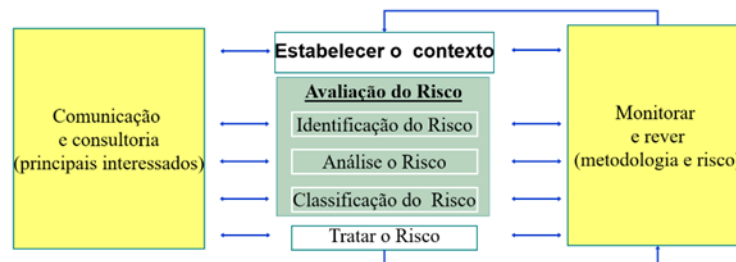
A norma precisa ser formalizada e divulgada na organização para que os seus efeitos ocorram e todos trabalhem da mesma forma, para o mesmo objetivo. Em geral, é necessária uma forte base técnica para garantir que todos os problemas significativos sejam identificados, avaliados e gerenciados.

As normas ISO podem ter uma abordagem quantitativa, qualitativa ou semiquantitativa e podem ser implementadas com diferentes níveis de detalhe, dependendo do risco, das informações e dos recursos disponíveis.

As normas ISO de sistemas de gestão (ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018, etc.) possibilitam, respectivamente, que os riscos nas áreas específicas da qualidade do processo, Meio Ambiente, Segurança e Saúde no Trabalho sejam convenientemente tratados.

A Figura 6.2, mostra a formalização em padrão ISO 31000.

**FIGURA 6.2** Processo de Gestão do Risco conforme a ISO 31000



Fonte: Adaptado de ISO, 2009

O processo da ISO 31000 para gestão de risco observa as seguintes etapas:

### Estabelecimento do contexto

Faz uma análise geral com base nas experiências do setor. Avalia os perigos de forma geral apresentado pelas atividade. Exemplo do setor de mineração – Descreve os perigos existentes nas minas sem examinar uma instalação em particular.

Estabelece o contexto em que os riscos serão gerenciados, explicita os objetivos da organização e o horizonte de tempo. Verifica o histórico e a natureza das atividades e o potencial de impactos. Identifica as principais partes interessadas.

Deve entender a atividade que está sendo analisada e considerar a sua importância para o negócio.

A descrição do contexto ajuda a determinar qual a estrutura necessária para identificar e descrever os principais eventos de risco.

### Identificação do risco

Identificar os riscos de forma sistemática e abrangente.

Uma vez compreendidos os perigos, deve ser identificado os riscos particulares ao local, analisando quando e por que os eventos podem impactar os objetivos da organização.

A maioria das informações é obtida de operadores experientes e especialistas que, em conjunto devem considerar as atividades que serão realizadas e seus potenciais impactos sobre o empreendimento, na organização, nos trabalhadores, comunidades e no ambiente mais amplo.

As partes interessadas externas devem ser consultadas quando as situações de risco tiver potencial de consequências para a comunidade. Os pontos de vista das partes interessadas são necessários para definir melhor o risco.

O objetivo dessa etapa é compreender todos os principais eventos que são relevantes para um projeto, ou atividade. Definir as relações de causa e efeito e identificar as consequências potenciais (financeiras, ambientais,

sociais, econômicas, segurança); e entender a probabilidade de ocorrer. Todas as informações obtidas durante a identificação de risco é usado na análise de risco subsequente.

### Análise do risco:

Analisar o risco para quantificar sua magnitude (ou seja, sua probabilidade de ocorrência e o impacto esperado).

Os riscos são quantificados de acordo com a pré-disposição daquele que está exposto e pode ser definido em referência às expectativas de cada organização. Portanto um risco pode ser aceitável ou não dependendo do tipo de investidor, da organização, do mercado onde atua, localização geográfica, legislação entre outros.

O risco que pode ser aceito ou não, depende do contexto definido no início da avaliação. Um mesmo evento pode ser recusado a uma organização mais avessa a danos, do que a outra que pode ser mais destemida numa determinada condição. Uma organização, por exemplo, torna-se mais sensível a perdas, conforme o percentual do seu patrimônio que esteja vulnerável.

O Risco é aceitável ou não? Trata-se de matéria controversa que pode variar segundo cada organização. Como estabelecer limites, padronizar julgamentos?

### Avaliação do Risco

Avaliar (classificar) os riscos é uma tarefa que apresenta dificuldades e dúvidas, até mesmo para os especialistas.

Há uma série de critérios que podem ser utilizados para auxiliar. O processo deve iniciar com o envolvimento da alta direção para selecionar e implementar uma metodologia adequada.

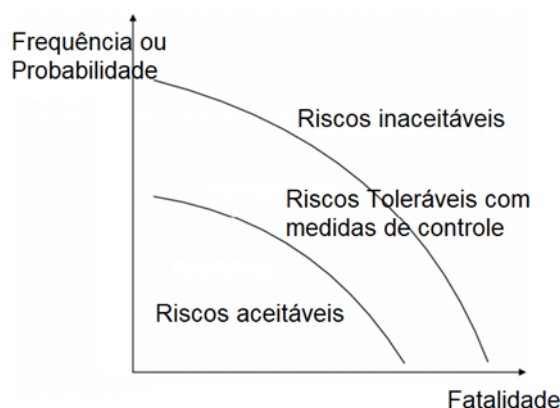
O procedimento deve comparar "o nível de risco encontrado com o nível de riscos que a organização está disposta a aceitar como tolerável. Compara as magnitudes e incertezas dos riscos identificados com os critérios previamente estabelecidos.

Normalmente não é possível dar atenção e remediar todos os riscos, portanto deve haver uma classificação para avaliação das medidas de contenção.

Considerando critérios de possibilidade e frequência de ocorrer e a magnitude do impacto é possível estabelecer uma classificação matricial, como apresentado na figura 6.3: Riscos aceitáveis, toleráveis com medidas de controle e inaceitáveis.

Cabe ainda destacar que as técnicas matriciais, são as mais frequentemente usadas.

**FIGURA 6.3** Componentes do Risco – Probabilidade e Fatalidade



A classificação e a organização dos riscos identificados fornece as orientações para programas de melhorias, de auditoria das ações de controle. Fornece também orientação para avaliar se há necessidade de ações adicionais.

### Tratamento do risco:

Os riscos que precisam de atenção devem ser objeto de tratamento (ações/procedimentos) para evitar ou reduzir os seus impactos para níveis aceitáveis, conforme o padrão definido na organização.

Na situação de considerar o risco tolerável deve-se estudar a viabilidade de implementar melhorias. Quando os riscos são considerados aceitáveis pode-se manter a rotina e os controles existentes.

Se o risco identificado não for aceitável – devem ser implantadas medidas corretivas.

A rotina e os controles existentes devem ser alterados e devem ser implementadas, de imediato correções de processo e ou implementar um plano de emergência.

As alternativas para tratamento ou mitigação do risco são:

- Remoção da fonte risco.
- Alteração da probabilidade de ocorrência (para menor).
- Alteração da consequência (para menos grave).
- Ou combinação entre essas alternativas.
- Melhorar o entendimento da causa e efeito ou da relação dose – resposta.
- Boas práticas e bom senso profissional.

No tópico 7 será apresentada a teoria das barreiras relativa a tratamento ou mitigação do risco.

## 6.2 ALARP

O termo ALARP é a abreviação para “As Low As Reasonably Practicable”. Decorre da legislação Inglesa, Lei de Saúde e Segurança no Trabalho de 1974, que exige “Fornecimento e manutenção de instalações e sistemas de trabalho que sejam, na medida do possível, seguros e sem riscos à saúde”. Deve levar a condição que os riscos sejam reduzidos a um nível tão baixo quanto razoavelmente praticável (ALARP).

O conceito reconhece que nenhuma atividade industrial pode estar totalmente isenta de riscos e tem como princípio alcançar um equilíbrio entre custos, dificuldade, e o tempo da aplicação das medidas de redução de risco e os seus benefícios reais.

O conceito de ALARP é adotado de forma global como uma boa prática para setores potencialmente de alto risco que é o caso de indústrias da área nuclear, química, petróleo e da mineração em geral.

O conceito é frequentemente usado em gerenciamento como uma “ferramenta” para limitar os riscos, conforme o objetivo de segurança da organização ou da legislação que a regula.

### Classificação dos riscos - ALARP

No processo ALARP, as situações de riscos podem ser classificadas de forma sistemática através de avaliações qualitativas, quantitativas e/ou em uma das três regiões.

- Riscos inaceitáveis
- Riscos toleráveis
- Riscos aceitáveis

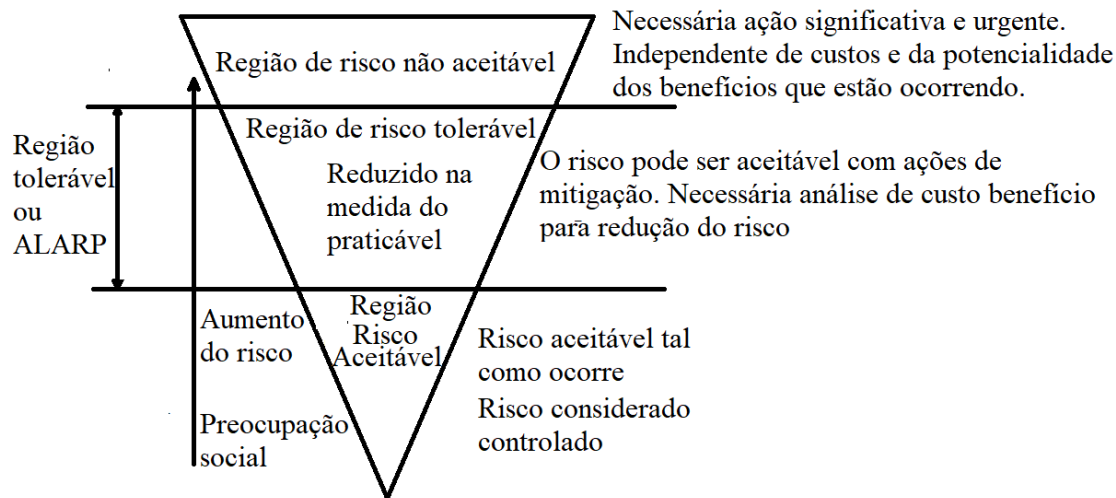
**Os riscos avaliados como inaceitáveis** precisam receber atenção imediata. Se for necessário a suspensão da atividade ou do projeto até que sejam aplicados novos controles possa ser configurado na região “Tolerável”.

A operação na região Inaceitável tempo só pode ser considerada por um curto período de se não houver alternativas, ainda assim com aprovação de quem de direito (alta direção ou entidade reguladora externa a empresa, conforme a situação).

O nível de risco toleráveis devem ser analisados e reduzidos a níveis tão baixo quanto razoavelmente praticável, considerando todas as medidas de redução de risco possíveis.

A demonstração ALARP é um processo contínuo e complexo.

**FIGURA 6.4** Níveis de tolerabilidade de risco no princípio ALARP



Fonte: Adaptado de Clothier, 2013

## 6.3 MÉTODOS QUALITATIVOS X MÉTODOS QUANTITATIVOS OU SEMIQUANTITATIVOS

Os métodos de avaliação dos riscos podem ser qualitativos, quantitativos ou semiquantitativos.

A figura 6.5 informa as características básicas das metodologias para avaliação do risco qualitativas ou quantitativas. A semiquantitativa considera uma mescla das características das duas primeiras. Nas empresas de mineração – É mais usual uso de métodos qualitativos e semiquantitativos.

**FIGURA 6.5** Características dos métodos qualitativos e quantitativos de avaliação dos riscos.

	Métodos qualitativos	Métodos quantitativos
Características	Eu acho que Sentimento Subjetividade Experiência profissional	Falsa sensação de precisão Estatística Manutenção Dados numéricos Condições operacionais Base histórica

Fonte: Autor

As fronteiras que definem avaliações qualitativas, quantitativas e semiquantitativas não são bem definidas.

As ferramentas de classificação ou avaliação de riscos qualitativas, quantitativas e semiquantitativas mais utilizadas serão abordadas nos capítulos 8, 9 e 10.

## 6.4 CERTIFICAÇÃO PELO SISTEMA ISO NO CONTEXTO MINEIRO

Pela larga aplicação e disseminação pelo ambiente industrial, especialmente nas empresas de mineração cabe o destaque para o "Sistema de Gestão - ISO 9001".

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT abriga essa metodologia através da NBR ISO 9001 "Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ)".

A ABNT é o Foro Nacional de Normalização por reconhecimento da sociedade brasileira e membro fundador da International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização - ISO).

Durante a exploração, desenvolvimento, produção e fechamento de uma mina, os perigos precisam ser contidos e controlados. Os processos de gerenciamento de risco devem abranger todo o ciclo de vida de uma mina.

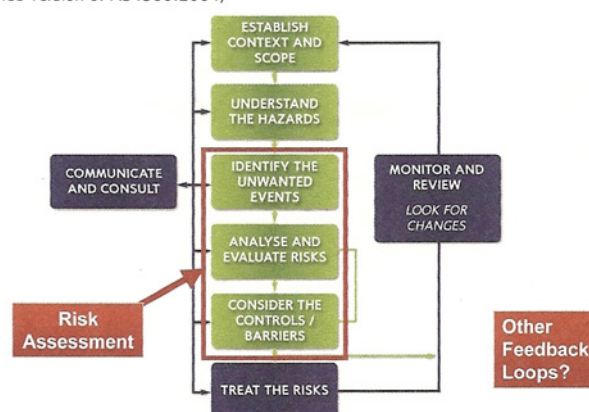
As organizações, precisam tomar decisões seguras e equilibradas sobre todos os riscos com os quais têm de lidar, de forma consistente e confiável.

As operações de mineração e processamento mineral afrontam muitos tipos de riscos, e a organização tem necessidade, cada vez maior, de demonstrar para a sociedade que está fazendo a coisa certa.

**FIGURA 6.6** Processo de Gestão do Risco na mineração conforme a ISO 31000.

### Minerals Industry Risk Management Process

(modified version of AS4360:2004)



Fonte: Adaptado de ISO, 2009

As mineradoras buscam de forma crescente a certificação para permitir o acesso da sua produção aos mercados internacionais. Também as empresas de menor porte que prestam serviços empreiteiras e outras "terceirizadas", necessitam das certificações para poder participar dos processos de contratação, cada vez mais exigentes e detalhados realizados pelas grandes mineradoras.

Para alcançar a certificação, precisa se submeter a uma auditoria de certificação que deve ser realizada por organizações certificadoras, reconhecidas pelo IAF (International Accreditation Forum). No Brasil, Instituto Nacional de Metrologia (Inmetro) representa do IAF.

### Referências:

CLOTHIER, R. et al. ALARP and the risk management of civil unmanned aircraft systems. In: **Proceedings of 2013 Australian System Safety Conference**. Australian Computer Society, 2013. p. 3-13.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **IEC/ISO 31010**: risk management-risk assessment techniques. 2009.



INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 31000**: risk management – principles and guidelines. Switzerland: ISO, 2009a

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO Guide 73**: risk management: vocabulary. Switzerland: ISO, 2009b.

MUNIZ, R. C. **A análise de risco aplicada na gestão da qualidade em processos produtivos de uma indústria de blocos de concreto**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MUTTRAM, R. I. Railway safety's safety risk model. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. **Journal of Rail and Rapid Transit**, v. 216, n. 2, p. 71-79, 2002.

ROSA, A. C. **Risco tecnológico em contextos de vulnerabilidade social e ambiental elevados: experiências na região da refinaria Gabriel Passos/Petrobras, região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais (1998-2007)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2008. Disponível em: <http://bit.ly/2kWuSUW>. Acesso em: 16 dez. 2022

# CAPÍTULO 7

## TEORIA DAS BARREIRAS

Conforme publicações do The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) o controle das exposições a riscos ocupacionais é o método fundamental de proteção dos trabalhadores através da implementação de barreiras de segurança. Logo, uma solução eficiente é estabelecer barreiras para diversas causas de um risco identificado que reduzam a probabilidade que venha ocorrer e ou que reduzam os danos causados se ele se materializar.

As barreiras devem ser entendidas como obstáculos ou dificuldades que evitam que um evento ocorra ou, caso a ocorrência seja inevitável, eliminem ou minimizem o impacto de suas consequências.

Conforme a metodologia da ISO 31000, o risco deve ser tratado através Sistemas representados por barreiras que não abrangem apenas as medidas físicas de proteção mas também as medidas comportamentais, e ainda as ações administrativas, como procedimentos, regras de trabalho, etc..

Existem diversas abordagens sobre o tipo ou natureza das barreiras, que em linhas gerais, podem ser classificadas em quatro categorias:

**Barreiras físicas ou materiais:** Obstruem o transporte de massa, energia ou informação de um ponto a outro, não requerendo que sejam percebidas ou interpretadas pelos indivíduos. São exemplos, os muros, cercas e portas contra-fogo.

**Barreiras funcionais:** A barreira funcional pode ser uma condição ativa (ligado ou desligado). Um exemplo é uma porta com fechadura. Pode estar bloqueada (ativa) ou aberta em uma condição de barreira inativa.

**Barreiras simbólicas:** A eficácia requer que o usuário entenda a situação ou o risco e aja do modo previsto. Exemplos são os semáforos, sinais de trânsito, alarmes, rótulos em embalagens, entre outros.

**Barreiras imateriais:** Requerem interpretação. A eficácia depende do conhecimento do usuário e das regras de convivência e trabalho em grupo. São exemplos, legislações, normas, procedimentos de tarefas.

**FIGURA 7.1** Metodologia proposta pela ISO 31000 e ABNT para a Gestão de Riscos



Fonte: Adaptado de ABNT, 2018.

*Teoria das barreiras – Análise de Camadas de Proteção*  
*LOPA - Layers of Protection Analysis*  
*Conhecida também como - Modelo do Queijo Suisso.*

Situações que levam a acidentes normalmente não resultam somente de uma causa particular, mas sim devido a sucessivas falhas que evidenciam a importância da identificação e tratamento do riscos.

Muitas abordagens tem sido propostas para a avaliação de erros no trabalho e para a causa de acidentes. Na teoria mais aceita (proposta por James Reason - O Modelo do Queijo Suisso), os erros são vistos mais como consequências do que como causas. As origens são em fatores sistêmicos da organização. Quando ocorre um evento adverso o importante é entender por que as defesas falharam. Nessa concepção, as barreiras, defesas e salvaguardas ocupam uma posição chave para análise do sistema.

Trata-se de uma Metodologia para o exame de risco de um processo, identificação de vulnerabilidades e planejamento das metas de melhorias.

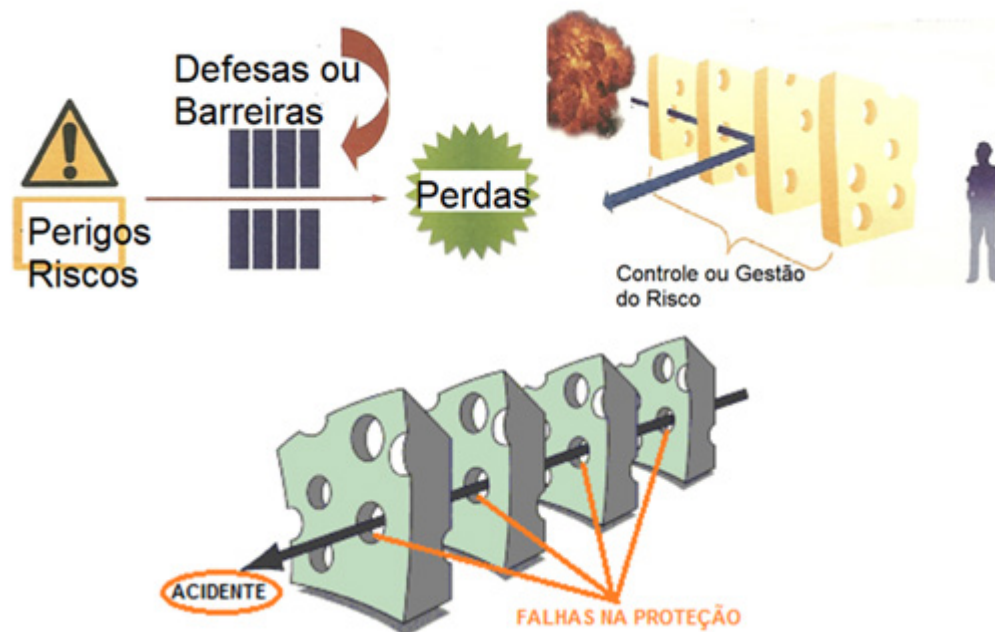
A abordagem concebe o acidente como resultado de uma cadeia de acontecimentos e busca interromper a sucessão de eventos pela intervenção de uma barreira. O objetivo é estabelecer bloqueios na cadeia de acontecimentos para que não chegue até a última barreira. A última barreira representa as perdas de recursos humanos e ou de propriedade.

Para fins de compreensão, podemos imaginar o modelo do "Queijo Suisso" como uma série de paredes formando camadas, posicionadas entre a fonte de risco e o objeto ou elementos a ser protegido.

No modelo, cada barreira, individualmente, está em movimento com se fosse um pano de palco abrindo e fechando constantemente. Na condição ideal, cada barreira seria intacta e sem falhas. No mundo real, individualmente, elas contém falhas ou buracos como num queijo suíço. Os buracos estão continuamente mudando de localização. A presença do buraco em qualquer "fatia" normalmente não gera um evento indesejável, porém em algum momento (em função da probabilidade) os buracos podem se alinhar, e o evento indesejado ocorrer.

A teoria das barreiras pode ser visualizado nas figuras 7.2.

**FIGURA 7.2** Barreiras de proteção



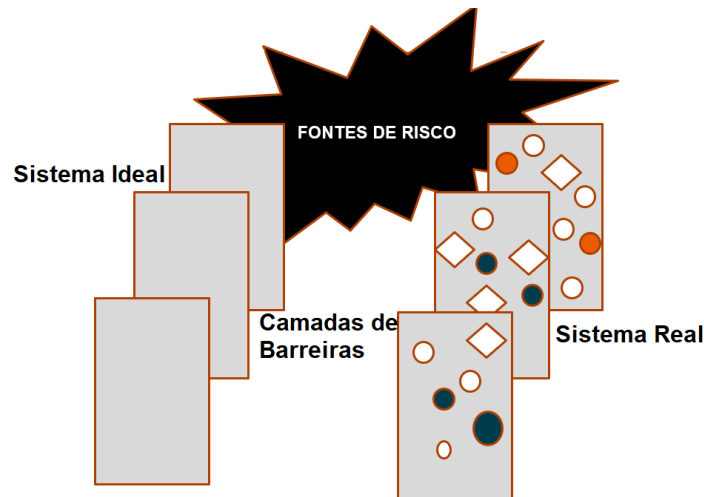
Fonte: Adaptado de Reason, 1997.

### Razões das Falhas nas Barreiras

Os buracos nas barreiras ocorrem por falhas ativas e condições latentes.

A figura 7.3 compara um sistema ideal protegidos por várias camadas de barreiras compactas no bloqueio da materialização dos eventos indesejados com um Sistema real, com falhas em cada barreira, que isoladamente e no conjunto reduzem, mas não bloqueiam totalmente a possibilidade do evento indesejado.

**FIGURA 7.3** Sistemas ideal e real protegidos por camadas de barreiras



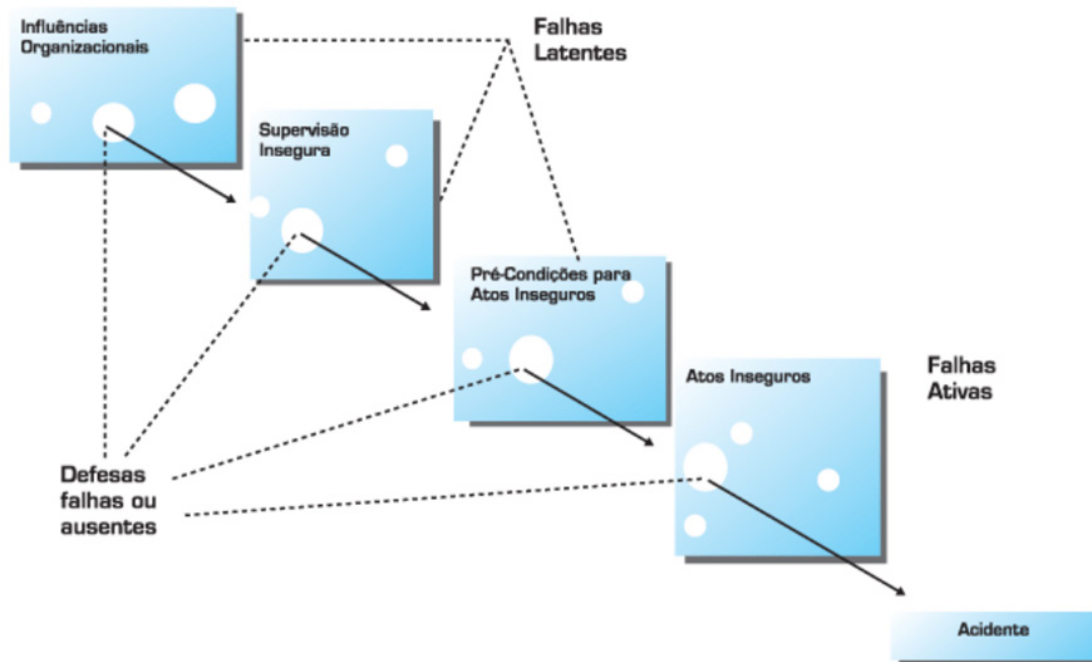
Fonte: Adaptado de Reason, 2007.

As falhas ativas são representadas pelos atos inseguros cometidos pelas pessoas que estão em contato direto com o sistema: deslizos, lapsos, perdas, erros e violações de procedimentos. Falhas ativas geralmente têm um impacto de curta duração sobre as defesas.

As falhas nas barreiras podem estar presentes muito tempo antes do acidente ocorrer e essa condição é denominada como condições latentes para o sinistro. Estão mais ligadas a cultura da organização, decisões estratégicas de mais longo prazo que criam condições para buracos e fraquezas que podem contribuir para o erro no local de trabalho como, pressão de tempo, sobrecarga de trabalho, equipamentos inadequados ou , escolha do método de lavra entre outros.

As condições latentes podem permanecer ocultas no sistema por anos antes que se combinem com as falhas ativas provocando acidentes.

A soma das influências organizacionais, de supervisão ou da própria sociedade se constituem em condições latentes que podem induzir a situação gatilho, caracterizada pela falha da última barreira ou o ato falho. Essa situação pode ser representada pelo modelo publicado por Shappell e Wiegmann da figura 7.4 que seria uma forma de apresentar o Modelo do queijo Suíço.

**FIGURA 7.4** Combinação de falhas latentes e ativas induzindo o acidente

Fonte: Imagem disponível em <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/danielafischer.pdf>. Acesso em 15 dez. 2022.

A abordagem eficiente para a investigação de um acidente ou para entender a condição de segurança de uma situação é analisando de maneira sistêmica as Falhas latentes e ativas da situação. As falhas ativas não podem ser previstas facilmente, mas as condições latentes podem ser identificadas e corrigidas antes de um evento adverso. A compreensão deste fato leva ao gerenciamento proativo ao invés do reativo.

## 7.1 HIERARQUIA DAS MEDIDAS DE CONTROLE (HMC)

A ação das barreiras deve ser para remover ou isolar uma fonte risco. As barreiras podem ainda reduzir a probabilidade de ocorrência, ou consequência para menos grave do evento indesejado ou agir na combinação dessas alternativas.

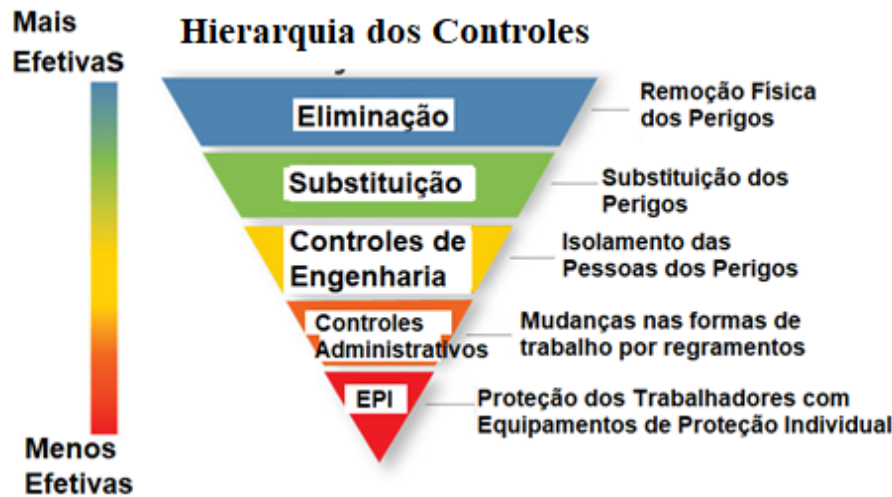
As barreiras podem ser de diversas naturezas. A viabilidade do uso e a eficácia para prevenir ou proteger é diferente, conforme cada situação se apresenta. As barreiras físicas e funcionais são normalmente mais eficazes do que as barreiras simbólicas e, essas, por sua vez, são normalmente mais eficazes do que as barreiras imateriais (HOLLNAGEL, 2004).

Nas situações reais, se busca a eliminação ou redução dos riscos com uma série de barreiras combinadas. Cabe aos técnicos fazerem as escolhas seguindo algumas diretrizes básicas.

A quantidade e melhor combinação vai depender da situação e do evento indesejável que se quer evitar, entretanto dadas as variadas zonas onde há riscos e perigos em uma linha de produção, mina ou qualquer outro ambiente laboral, seguir uma hierarquia de controles normalmente leva à implementação de sistemas inerentemente mais seguros, onde o risco de doença ou lesão podem ser substancialmente reduzidos. Além disso, a partir da publicação da ISO 45001, para criar segurança no ambiente de trabalho a Hierarquia das Medidas de Controle (HMC) se tornou obrigatória para certificações ISO.

Para facilitar a compreensão, apresentamos o modelo “Hierarquia de Controle de Riscos”, proposto pelo “The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 2022). A natureza das medidas de controle são apresentadas, de acordo com a capacidade esperada de mitigação dos riscos, na forma de uma pirâmide invertida. A pirâmide estrutura cinco níveis de medidas de mitigação de risco variando de mais eficaz ao menos eficaz conforme a figura 7.5.

**FIGURA 7.5** Hierarquia das barreiras de proteção



Fonte: NIOSH, 2022, tradução nossa.

Considerações sobre a hierarquia de efetividade ranqueadas pela pirâmide do NIOSH para serem consideradas nos controles dos riscos são detalhados a seguir:

### **Eliminação e Substituição**

Normalmente são considerados os mais eficazes, por isso indicados no topo da hierarquia de controle. No entanto, é a tarefa mais difícil de ser realizada por envolver estudo de viabilidade técnica, eficácia e custo.

As “Medidas de Eliminação”, tem como objetivo eliminar a condição de risco a partir da troca de substâncias ou equipamentos do processo. A eliminação e a substituição, embora sejam métodos mais eficazes na redução de riscos, também tendem a ser mais difíceis de implementar em um processo existente. Se o processo ainda estiver em fase de projeto a eliminação e substituição de riscos pode ser barata e mais simples de implementar. Para um processo existente podem ser necessárias, grandes mudanças em equipamentos e procedimentos para eliminar ou substituir um risco.

A substituição envolve a remoção de um risco substituindo-o por outro, menos grave em seus danos potenciais. Em processos já estabelecidos ou em ambientes antigos não é fácil realizar a substituição. Por vezes, são muito caras e ou podem causar também problemas de segurança.

### **Controles de Engenharia**

O objetivo é remover o risco na fonte, antes que ele entre em contato com o trabalhador. Se referem a implementação de mudanças na estrutura do ambiente de trabalho introduzindo barreiras entre a condição de risco (e a energia envolvida no processo) e o trabalhador. Por exemplo, um sistema de ventilação que remove vapores, e gases do ambiente de trabalho. Enclausuramento da fonte, dispositivos de proteção, modificação na planta, faixas de controle de tráfego, cobrir partes perigosas em máquinas, entre outros exemplos.

Normalmente, os controles de engenharia são mais eficazes em relação aos administrativos e de proteção individual (EPI) para proteger os trabalhadores no local de trabalho. A afirmação é verdadeira, porque são projetados para isolar o risco na fonte, antes que ele entre em contato com o trabalhador.

Controles de engenharia bem projetados podem ser altamente eficazes e normalmente a sua ação indepen-

de das influências pessoais dos trabalhadores para fornecer alto nível de proteção. O custo inicial dos controles de engenharia pode ser maior do que o custo dos controles administrativos ou EPI, mas a longo prazo, os custos operacionais são frequentemente menores e, em alguns casos, podem proporcionar uma economia de custos em outras áreas do processo (NIOSH, 2022).

### **Controles Administrativos**

Os controles administrativos são normalmente usados em conjunto com processos existentes. Eles visam mudar o comportamento dos trabalhadores e alterar a forma como o trabalho é realizado através de “Medidas de Administração”.

Se refere a gestão de riscos através de alertas sobre as condições de trabalho a partir de treinamentos, conscientização, campanhas preventivas e sinalização adequada, elevando o nível de alerta dos colaboradores sobre os riscos ambientais.

Os controles administrativos visam também limitar a exposição aos risco ajustando as tarefas ou programações de trabalho de acordo com as normas e legislações.

### **Controles com EPIs**

Equipamento de Proteção Individual (EPI): Grupo de equipamentos, de uso individual, com característica típica de medida de proteção. A ação de proteção age preferencialmente na consequência do evento indesejado. O EPI é considerado pouco eficaz para bloquear um risco e costuma ser classificado no último nível na hierarquia de proteção pois a proteção, vai depender apenas do comportamento do trabalhador. O EPI não deve ser usados isoladamente para prevenir riscos e proteger os funcionários.

Controles administrativos e programas de EPI devem ser utilizado em complemento a outras medidas de controle de risco adotados pela organização.

## **Referências**

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 31000**: gestão de riscos – diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- FISCHER, D. **Um modelo sistêmico de segurança do trabalho**. 2005. Tese (Doutorado em em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- HOLLANGEL, E. Barriers analysis and accident prevention. **Barrier Analysis and Hollangel’s Function Resonance Accident Model**. Ashgate: Aldershot, 2004.
- LIU, Yiliu. Safety barriers: Research advances and new thoughts on theory, engineering and management. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 67, p. 104260, 2020.
- REASON, J. **Managing the risks of organisational accidents**. Ashgate: Surrey, 1997
- THE NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). Center for Diseases Control and Prevention. **Hierarchy of Controls**. 2022. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html>. Acesso em: 15 dez. 2022
- VACCARO, G. L. R. **Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

## CAPÍTULO 8

# METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DO RISCO E AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS RISCOS

O processo de gerenciamento de riscos nas organizações normalmente é realizado de forma gradual envolvendo três níveis:

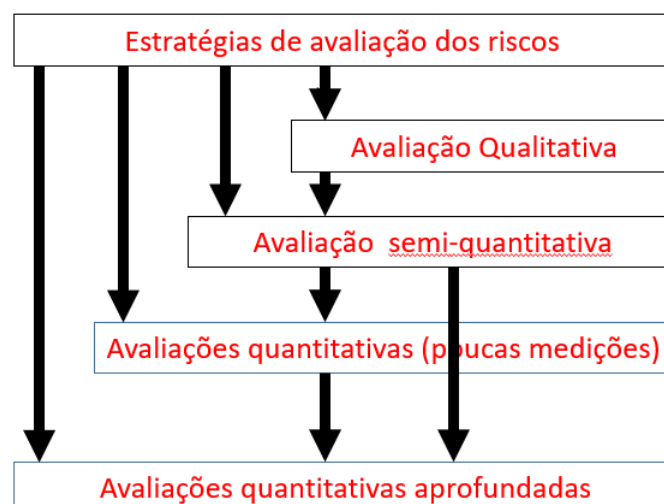
**Avaliação nível 1** – Análise informal de perigos e riscos. Envolve a adoção de medidas imediatas e diretas de prevenção.

**Avaliação nível 2** – Envolve um enfoque qualitativo dos problemas não resolvidos no nível 1. Pode incluir algumas técnicas qualitativas e semiquantitativas de gestão de riscos.

**Avaliação nível 3** – Envolve uma avaliação aprofundada dos riscos. Adota metodologias semiquantitativas e quantitativas com apoio de especialistas.

A figura 8.1 apresenta uma sugestão de estratégia de avaliação dos riscos para uso nas organizações que lidam com muitos riscos como no caso de processos industriais, indústria do petróleo, mineração etc.

**FIGURA 8.1** Estratégia de avaliação dos riscos.



Fonte: Autor

Existem muitas metodologias que contribuem para a gestão de riscos nas organizações, a tabela 8.2 lista as técnicas mais encontradas.



**TABELA 8.1** Técnicas comuns de identificação dos riscos.

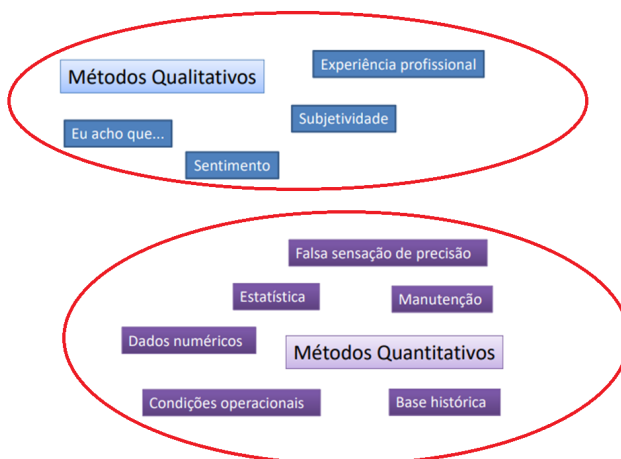
Common hazard identification techniques.	
Informal Approach	Formal Approach
Check-Lists	Failure Mode and Effects Analysis
What-If Analysis	Event Tree Analysis
Historical Accident and Incident Records	Fault Tree Analysis
Personal Observation, Interviews	Workplace Risk Assessment and Control (WRAC)
Safety Committee Meetings, Informal Meetings	Job Hazard Analysis
Personal Experience	Bow-Tie Analysis
Brainstorming	Management Oversight Risk Tree
Consultation with Workers	Preliminary Hazard Analysis
Safety Audits	Hierarchical Task Analysis
	Hazard Identification and Ranking (HIRA)
	Hazard and Operability Study
	Hazard Identification (HAZID)

Fonte: Ericson, 2015; Glossop, Loannides, Gould, 2000; Lees, 2012.

As metodologias guardam algumas características, relativa à base de dados, conforme sintetizado na figura 8.3 que devem ser observadas para fins de compreensão e entender as limitações.

As metodologias usadas podem ser:

- Quantitativa – Objetiva. Define o risco por um valor numérico (num espaço de tempo). Exemplo: 0.0001 ou 1 por 100.000 mortes por ano.
- Qualitativa – Subjetiva (Alto, médio ou baixo risco).
- Semiquantitativa – Combina estimativas objetivas com subjetivas

**FIGURA 8.2** Comparação de características entre as Metodologias qualitativas e quantitativas de avaliação de riscos.

Fonte: Autor

Normalmente o processo de gerenciamento de riscos inicia com um inventário.

Os riscos são listados a partir de relatos, inspeções auditorias análise de histórico de situações passadas.

A priorização da mitigação se dá de acordo com o efeito potencial dos danos nos objetivos da organização ou no trabalhador.

Um exemplo é através da avaliação sobre as possíveis consequências, caso venha a se materializar:

- O que este agente de risco pode causar no ambiente da organização ou no trabalhador? Na organização: Interrupção permanente ou temporário da operação; penalidades legais, redução de prejuízos financeiros etc.
- No trabalhador ou nas pessoas: Desconforto, doença ocupacional ou do trabalho? Incapacidade, Morte?

Os métodos qualitativos de gestão, são geralmente os mais usados, descrevem ou esquematizam os fatores de risco e as medidas mitigadoras, mas não atribuem um valor quantitativo a ameaça.

São adequados para avaliações simples e podem ser completados posteriormente com outros métodos.

Na avaliação qualitativa é comum adotar níveis de prioridade para as ações, exemplo:

- 1 – Medidas não urgentes, que podem esperar.
- 2 – Medidas com urgência moderada.
- 3 – Medidas urgentes, que devem ser feitas o quanto antes.

A avaliação qualitativa de riscos tem por base o histórico e dados estatísticos de acidentes. Tem como base a experiência de colaboradores da própria empresa, de consultores e exemplos de outras organizações.

Como a maioria das técnicas de identificação de riscos são genéricas, elas podem ser usadas para identificar perigos em qualquer local ou tipo de organização. No entanto, os riscos podem variar de um local de trabalho para outro, e a experiência é essencial para identificá-los com precisão.

Na bibliografia e em sites da internet podem ser encontradas vários modelos para o inventário dos riscos todos, entretanto observam uma certa organização.

Normalmente, cada linha deve ser preenchida com um risco identificado e as colunas podem variar conforme o caso. Normalmente as colunas indicam o risco, a fonte de risco, as legislações afetadas, o grau do risco percebido, o tipo de avaliação que foi realizada, consequências, medidas de prevenção, responsabilidade pela ação e orçamento para a mitigação etc.

A figura 8.3 é um exemplo de planilha usada para listar os riscos identificados e estabelecer uma avaliação inicial e que depois com maiores dados pode ser complementada.

**FIGURA 8.3** Planilha de inventário de riscos

ANÁLISE DE RISCO DO LOCAL DE TRABALHO																
Local:				Setor			Data									
Risco Identificado	Fonte Geradora	Item Legislação	Grau de Risco	Tipo de Avaliação		Possíveis Consequências	Medidas de Prevenção			Orçamentos R\$						
				Quantitativa	Qualitativa		1ª Medida de Prevenção	2ª Medida de Prevenção	3ª Medida de Prevenção	1º	2º	3º				
Total de investimento em medidas de prevenção R\$							0	0	0							

Fonte: Autor.

Nos próximos tópicos vamos apresentar algumas metodologias qualitativas que são muito populares e usadas nas organizações para resolver problemas e gestão dos riscos.

## 8.1 ANÁLISE QUALITATIVA – DIAGRAMA DE ISHIKAWA

Uma metodologia quantitativa muito popular nas organizações que buscam aprimoramento através dos programas de qualidade é o Diagrama de causa e consequência. Também chamada - Diagrama de Ishikawa ou Espinha de peixe.

Os diagramas de Ishikawa são úteis como ferramentas sistemáticas para encontrar, as causas de problemas nos processos de produção. Pode ser usado para encontrar as causas de um acidente por exemplo.

O método facilita não só visualizar o problema, mas também a interpretar as causas que o originaram. Foi concebido pelo engenheiro japonês Kaoru Ishikawa, um dos desenvolvedores das metodologias da Qualidade.

Em 1943, apresentou o Diagrama de "Causa-e-Efeito", considerada a sua maior contribuição, uma ferramenta poderosa que pode facilmente ser usada por não-especialistas para analisar e resolver problemas.

O diagrama de Ishikawa parte da hipótese de que para cada problema há um número limitado de causas primárias, secundárias, terciárias, e assim sucessivamente.

Metodologia para a aplicação do diagrama de ISHIKAWA envolve as seguintes etapas:

### 1 – Definir qual o problema

A chave para um bom encaminhamento é definir bem o problema que precisa ser resolvido. Há a necessidade de garantir que se lidando com o problema real – e não com os seus efeitos. Um problema mal definido não é fácil de compreender e encaminhar a solução. Por exemplo se o disjuntor de uma instalação está frequentemente desligando. O disjuntor é o efeito e não o problema.

Nesse caso, o encaminhamento deve buscar a causa que provoca o desligamento

Uma técnica é resumir e escrever o problema em sua forma mais simples possível antes de apresentar para o grupo:

"O problema que estou tentando resolver é: \_\_\_\_\_."

### 2 – Criar o diagrama e escrever no retângulo à direita o problema que será resolvido.

O diagrama deve ser desenvolvido com uma seta no meio, que apresenta o problema no final, dentro de um retângulo. Acima e abaixo formando uma estrutura de espinha de peixe onde são elencados os possíveis itens que podem ter relação com a situação a ser analisada conforme apresentado na figura 8.4.

**FIGURA 8.4** Diagrama de causa e efeito ou diagrama de Ishikawa



Fonte: Autor

Dividir as causas identificadas em categorias, da forma que for mais coerente com o problema analisado e o contexto da empresa. Nos processos industriais, as causas são normalmente agrupadas em 6 categorias, conhecidas como 6 Ms: máquina, materiais, mão de obra, meio ambiente, método e medidas.

- **Máquina** – Considera todas as causas devido a problemas nos equipamentos usados no processo, como funcionamento incorreto, falha mecânica etc.
- **Materiais** - Problemas causados devido a matéria-prima ou o material utilizado no processo. Não conformidade com as exigências e especificações necessárias para ser usado, como tamanho incorreto, vencido, fora da temperatura etc.
- **Mão de obra** - Problemas relacionados a atitudes e dificuldades com pessoas na execução do processo. Pode ser: pressa, imprudência, falta de qualificação, falta de treinamento, competência etc.
- **Meio-ambiente** - Analisa o ambiente interno e ambiente externo da organização. Analisa os fatores que favorecem a ocorrência dos problemas, como poluição, calor, falta de espaço, layout, barulho, reuniões, etc.
- **Método** – Analisa se a forma de trabalhar influenciou o problema. Se o planejamento e a execução foram executados de forma adequada e se as ferramentas certas foram utilizadas.
- **Medidas** – Verifica causas que envolvem as métricas usadas para medir, monitorar e controlar o trabalho, como efetividade dos instrumentos de calibração, indicadores, metas e cobranças.

### 3 – Reúna um grupo de pessoas

Reunir um grupo de trabalhadores que participam e conhecem o problema escolhido.

É conveniente que sejam de diferentes níveis hierárquicos (desde o nível mais operacional até as gerências superiores).

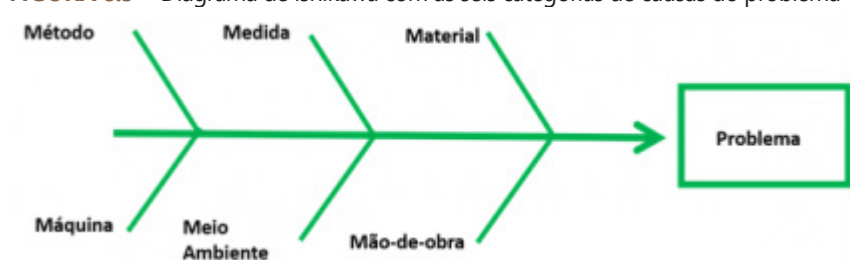
### 4 – Discussão do problema através de um brainstorming.

O coordenador deve iniciar apresentando o problema que será resolvido.

Deve incentivar ao grupo de forma livre e sem censuras responder a seguinte pergunta:

“Por que isto está acontecendo?”

**FIGURA 8.5** Diagrama de Ishikawa com as seis categorias de causas do problema



Fonte: Autor.

Todos esses fatores não estão presentes em todos os processos ou problemas e é preciso avaliar quais estão presentes na situação que foi apresentada.

As informações, impressões dados e evidências das causas vão sendo discutidas e incorporadas metodicamente na construção do diagrama, para chegar à causa-raiz.

Quanto maior o número de ramificações no diagrama, mais profundo é o entendimento e detalhamento do problema.

A partir do conhecimento das causas imediatas incorporadas ao diagrama, ou seja, dos sintomas que deram causa ao problema em questão, torna-se necessário um maior aprofundamento, na busca das origens das falhas.

A metodologia prossegue buscando a resposta para os dados incorporados no diagrama através das perguntas básicas conhecidas mais amplamente pela sigla: 5W-1H, por decorrer das iniciais de palavras inglesas iniciadas pelas letras W e H, quais sejam:

- What? (o que?)
- When? (quando?)
- Where? (onde?)
- Why? (por que?)
- Who? (quem?)
- How? (como?)

Depois de identificadas as causas são criados planos de ação para eliminar a ocorrência ou mitigar os efeitos da causa-raiz.

### 5 – Consolidar e registrar os dados identificados na reunião

As opiniões e contribuições dos participantes devem ser registrados em ata e os dados analisados depois analisados pelos técnicos responsáveis ou envolvidos com o problema discutido.

Desse exercício simples de discussão organizada do problema costumam aparecer muitas boas e novas ideias. As vezes as hipóteses propostas devem ser mais bem analisadas e comprovadas por encaminhamentos posteriores.

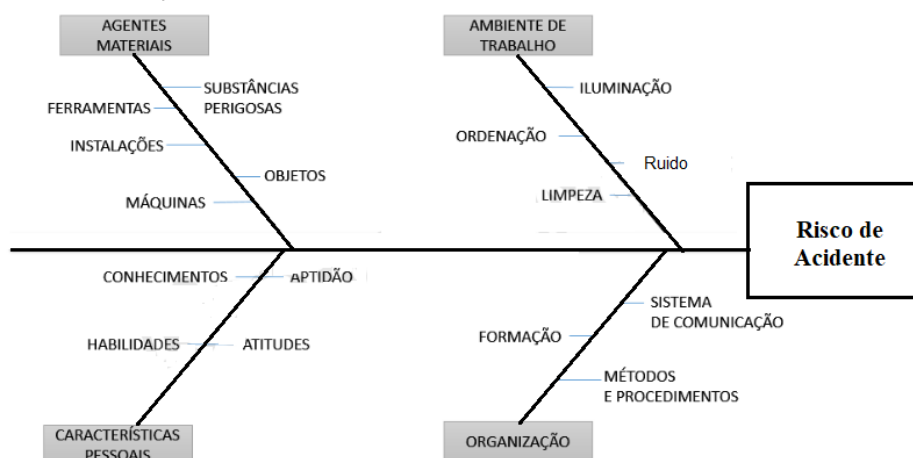
O diagrama de causa e efeito serve para diferentes tipos de problemas.

Trata-se de um sistema muito usado nos ambientes de mineração na gestão de projetos e gestão de riscos.

A metodologia pode ser usada para investigação das causas de um acidente ocorrido ou incidente com potencial de dano maior e para a sua prevenção

É possível também adaptar o Diagrama de Ishikawa para que ele contenha tópicos mais diretamente ligados à segurança no trabalho, o Instituto Nacional de Seguridad y Higiene en el Trabajo fez uma adaptação no Diagrama de Ishikawa mostrado na figura 8.6.

**FIGURA 8.6** Diagrama de Ishikawa para o caso de um risco de acidente



Fonte: Autor, inspirado em imagem disponível em: [https://segurancadotrabalhonwn.com/diagrama-de-ishikawa-analise-de-acidente-de-trabalho/#google\\_vignette](https://segurancadotrabalhonwn.com/diagrama-de-ishikawa-analise-de-acidente-de-trabalho/#google_vignette). Acesso em 15 dez. 2022.

## Referências:

- AUSTRALIA. **Risk management**: leading practice sustainable development program for the mining industry. Canberra: Australian Government, 2016. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/54273539/LPSDP-RiskHandbook.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022
- ERICSON, C. A. et al. **Hazard analysis techniques for system safety**. John Wiley & Sons, 2015.
- GLOSSOP, M.; LOANNIDES, A.; GOULD, J. Review of hazard identification techniques. **Health & Safety Laboratory**, 2000.
- LEES, Frank. **Lees' Loss prevention in the process industries**: Hazard identification, assessment and control. Butterworth-Heinemann, 2012.
- MUNIZ, R. C. **A análise de risco aplicada na gestão da qualidade em processos produtivos de uma indústria de blocos de concreto**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SURYAWANSHI, Veerendra. **Major Accident Assessment by Incident Data Analysis in Coal Mines**. Indore: IPS Academy, 2018
- TRIPATHY, D. P.; ALA, C. K.. Identification of safety hazards in Indian underground coal mines. **Journal of Sustainable Mining**, v. 17, n. 4, p. 175-183, 2018.

## CAPÍTULO 9

# MÉTODOS QUANTITATIVOS DE AVALIAÇÃO DOS RISCOS

As avaliações quantitativas de risco são usadas para calcular riscos operacionais, financeiros, ambientais e sociais. São usadas também na indústria de mineração para apoiar decisões e demonstrar a consistência e lógica da avaliação.

As abordagens quantitativas de risco muitas vezes não são intuitivas e requerem algum investimento inicial na aprendizagem dos tomadores de decisão. São também conhecidos, como avaliação probabilística, usam técnicas de cálculo, para quantificar a gravidade com modelos matemáticos de frequência e consequências.

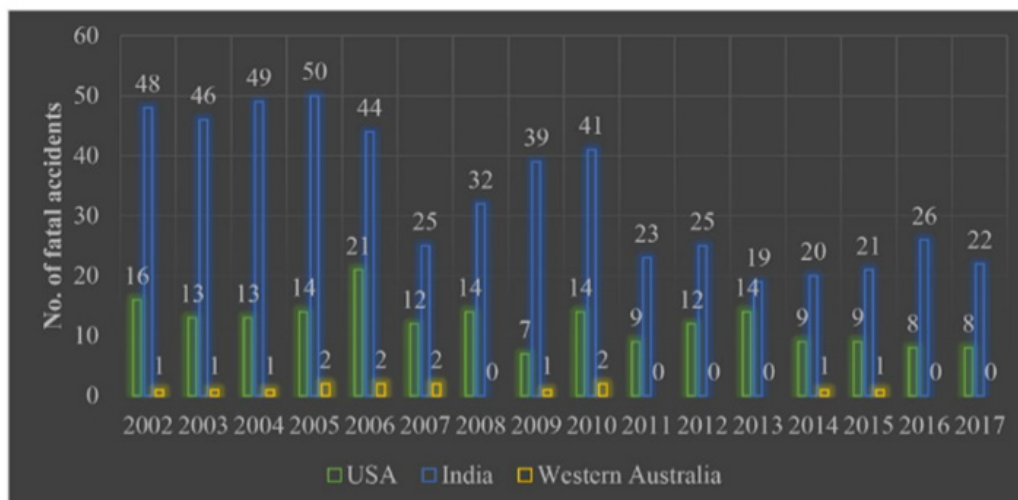
Os métodos quantitativos têm como objetivo obter um valor numérico que represente a magnitude do risco. Possibilitam que os valores esperados para diferentes variáveis de riscos possam ser comparados diretamente. Permitem também usar técnicas sofisticadas para quantificar o comportamento das variáveis em análise.

Essas técnicas quantitativas são usadas para avaliar áreas e processos com potencial de extremo risco tais como: Nuclear; aviação; petróleo e gás; indústria química; energia elétrica; transporte e em áreas críticas de diferentes setores da indústria incluindo mineração.

Um exemplo de utilização é comparação entre indicadores que representam um risco ou variável de controle. Nesse caso, a definição de um valor que represente o risco em um determinado espaço de tempo pode ser útil para estabelecer comparações e permitir conclusões sobre a situação e evolução sobre uma realidade.

Na figura 9.1 o número de acidentes fatais das minas dos USA, Índia e Austrália agrupados por ano permitem comparar a situação de risco nas minas subterrâneas de carvão dos três países.

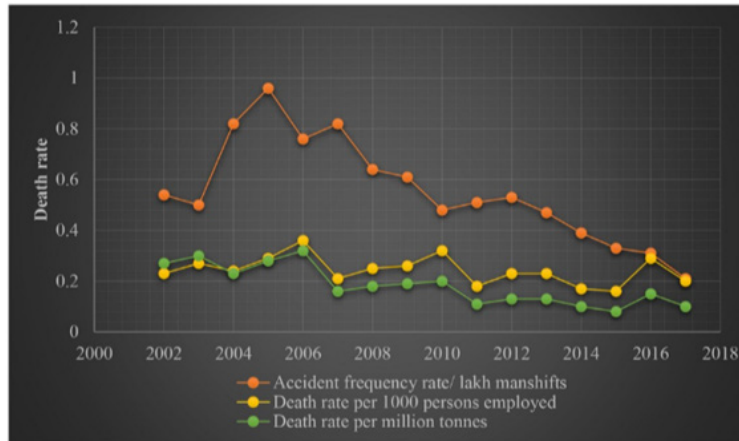
**FIGURA 9.1** Comparação dos acidentes fatais nas minas subterrâneas de carvão (Índia, USA, Western Austrália).



Fonte: Tripathy e Ala, 2018.

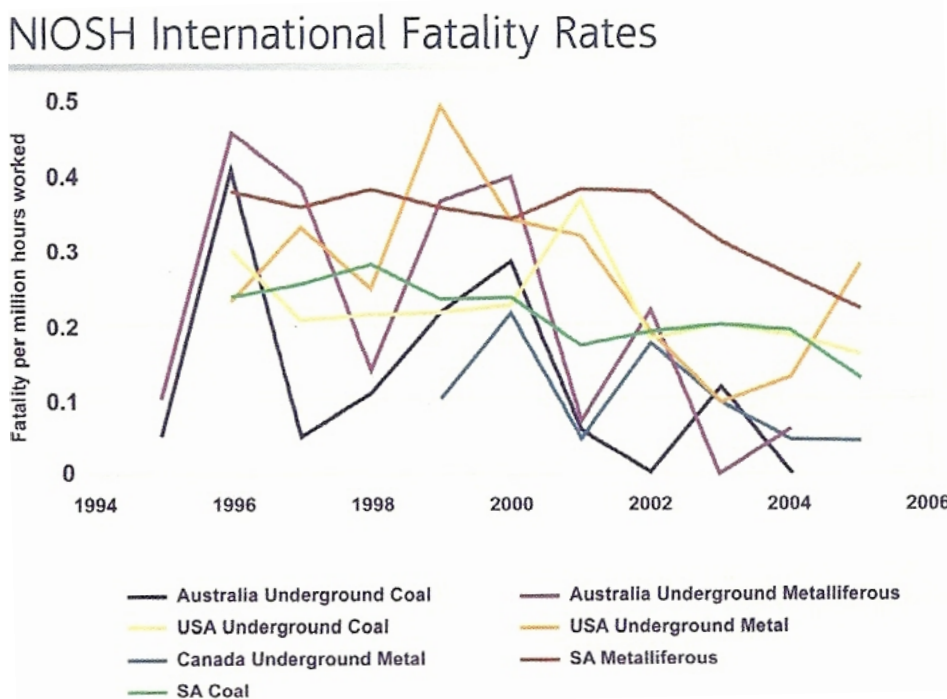
Os dados podem ser organizados para acompanhar indicadores ao longo do tempo ou verificar as tendências, de melhoria ou agravamento da situação em análise. As figuras 9.3 e 9.4 são exemplos que comparam a evolução e a segurança de minas em diferentes países.

**FIGURA 9.2** Evolução dos acidentes fatais nas minas da Índia



Fonte: Tripathy e Ala, 2018

**FIGURA 9.3** Comparação de índices de fatalidades entre minas subterrâneas: Austrália, USA, Canadá,



Fonte: NIOSH, [20--]

O uso dessa metodologia normalmente é trabalhosa e pode ser dispendiosa. Necessita tempo, exige uma base de dados prévios, cuja falta limita a utilização. A base de dados quando existentes podem não estar disponíveis, não serem confiáveis ou representativas.

## 9.1 CONFIABILIDADE

O principal objetivo das metodologias de segurança é melhorar a confiabilidade do sistema, permitindo analisar características de conjuntos sistêmicos que incluem garantias de vida útil, segurança e eficiência de equipa-



mentos, além de calcular previsões de falha e atuar quando houver desvios de processo.

A confiabilidade é uma estratégia em organizações que precisam de sistemas confiáveis, em áreas onde falhas pode significar perda de vidas humanas e prejuízos materiais.

Avanços em confiabilidade, podem representar ganhos expressivos em diversas indústrias, como a naval, aeronáutica e mesmo mineração

O conceito de confiabilidade é importante para avaliar comportamentos de sistemas automatizados e de controle em unidades críticas. Metodologias com base no conceito de confiabilidade de sistemas são usadas desde os anos 80 para ações de manutenção e substituição de componentes do processo antes de falhar.

A segurança é uma estimativa subjetiva sobre o estado de um sistema. Ela não pode ser medida diretamente e precisa informações adicionais para avaliar a assertiva do julgamento.

Os sistemas podem ser avaliados através dos seus atributos de confiabilidade geral usando medidas qualitativas ou quantitativas.

Disponibilidade e Confiabilidade são ditos atributos de confiabilidade que podem ser considerados para avaliação das situações abaixo:

- Disponibilidade - disponibilidade para o serviço correto
- Confiabilidade - continuidade do serviço correto
- Segurança - ausência de consequências catastróficas para o (s) usuário (s) e o meio ambiente
- Integridade - ausência de alteração inadequada do sistema
- Manutenibilidade - capacidade de fácil manutenção e reparo.

A disponibilidade pode ser quantificável por medição direta enquanto a confiabilidade pode ser medida com indicadores, como falhas em um intervalo de tempo.

A Confiabilidade é uma abordagem estatística pode ser avaliada com um conjunto de ferramentas probabilísticas que permitem a descrição do comportamento do sistema. Permite também analisar o impacto de melhorias nos processos, relativas à performance de segurança.

O Sistema falha quando ele deixa de desempenhar a função para o qual foi projetado.

As ideias: Confiança, durável, pronto para operar e sem falhas. Significam a capacidade de um item desempenhar uma função requerida em um intervalo de tempo e sob um conjunto específico de condições.

A performance de segurança pode ser avaliada através de funções que expressam a probabilidade de um sistema, sobreviver sem falha no decorrer de um intervalo de tempo  $t \geq 0$ .

Como os tempos podem ser estimados através de registros históricos ou por observação em campo ou laboratório é possível estimar a probabilidade de sobrevivência para qualquer tempo  $t$ , bem como estimar os demais indicadores de confiabilidade do sistema.

## 9.2 APLICAÇÃO DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA PARA DETERMINAR A SOBREVIVÊNCIA DO SISTEMA.

A confiabilidade (Reliability) pode ser expressa pela função  $R(t)$ .

$R(t)$  - Probabilidade de que um evento  $T$  ocorra no intervalo de tempo  $[0; t]$

- A probabilidade de um evento se situa entre 0 e 1.
- A função confiabilidade será sempre decrescente com o tempo.
- A totalidade da população (100%) = 1

A relação entre a confiabilidade ( $R$ ) e a probabilidade de falha ( $P$ ), pode ser expressa pela equação matemá-

tica:

$$P = 1 - R$$

P – Representa a probabilidade de falha do sistema.

Observação: - Expressa a probabilidades de falha de um componente que diminuem de acordo com a taxa de utilização - desgaste e fadiga.

As expressões matemáticas que definem a função confiabilidade dependem diretamente do tipo de distribuição estatística a que os tempos para falha estejam associados.

## 9.3 EQUAÇÕES DE WEIBULL

Quando não se sabe qual a distribuição mais apropriada, pode-se optar pelas equações propostas pelo engenheiro Sueco Weibull, publicadas em 1951.

Essas funções empíricas são usadas para determinar as características e tendências de confiabilidade de uma população usando um tamanho de amostra relativamente pequeno.

O campo de aplicações da distribuição de Weibull abrange praticamente todas as áreas da ciência. O sucesso da distribuição se justifica não só pelo bom ajuste estatístico para a determinação do tempo de vida médio e da taxa de falhas, mas também por existirem recursos gráficos que facilitam sua interpretação.

Definição segundo Weibull:

Uma variável aleatória "x" segue a distribuição de Weibull se sua função densidade de probabilidade é dada por:

**Confiabilidade** (R = Reliability)

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad t \geq 0$$

**Probabilidade de falha**

$$P(t) = 1 - R(t)$$

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

**Taxa de falha** = P (falhas/tempo)

Função sobrevivência

Sobrevivência (não falha) – R

$$R(t; k; \lambda) = e^{-(t/\lambda)^k}$$

Falha:

$$P(t; k; \lambda) = 1 - e^{-(t/\lambda)^k}$$

x - Tempo para ocorrer a falha (unidade de tempo definida conforme a situação)

O parâmetro  $\lambda$  está definido de 0 a  $+\infty$  e é medido na mesma unidade que x.

Na função de distribuição acumulada de qualquer distribuição de Weibull

$$P = 0.6321 \text{ - quando } x = \lambda.$$

Isso significa que a chance de sobrevivência no tempo x quando  $\lambda = x$  é aproximadamente 63.21% independentemente do valor de k.

### Dedução da função confiabilidade conforme Weibull

Considerando - População homogênea de componentes

Taxa de falhas constante (num intervalo de tempo –  $\lambda$ )

Número de componentes falhados –  $dR(t) = -R(t)\lambda dt$

Considerando:  $R(t)$  = População no momento  $t$

Pode-se calcular a população sobrevivente em função do tempo ( $t$ ).

$$\frac{dR(t)}{R(t)} = -\lambda dt$$

$$\int_{R_0}^{R(t)} \frac{1}{R(t)} dR(t) = -\lambda dt$$

$$\ln [R(t)] - \ln [R_0] = -\lambda t$$

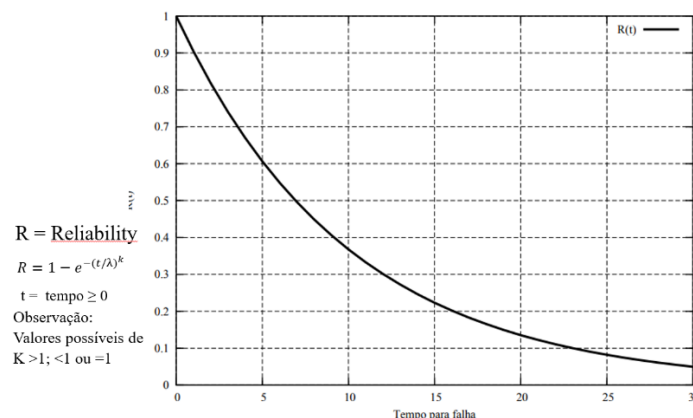
$$\ln \frac{R(t)}{R_0} = -\lambda t$$

$$\frac{R(t)}{R_0} = e^{-\lambda t}$$

Logo

$$R(t) = R_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

FIGURA 9.4 Confiabilidade do Sistema conforme Weibull



Fonte: Adaptado de Vaccaro, 1997.

## 9.4 TIPOS DE FALHAS ESPERADAS EM UM SISTEMA OU PRODUTO

As falhas que afetam os Sistemas, podem ser classificadas em 3 tipos, quais sejam:

**Falhas prematuras** Ocorrem durante o período inicial, devido a deficiências nas origens: falta de familiaridade, compreensão, treinamento, montagens ou devido componentes abaixo do padrão. Falham logo após colocados em funcionamento.

As falhas prematuras não são consideradas na análise de confiabilidade porque se admite que o equipamento foi depurado e as peças iniciais defeituosas foram substituídas. Para a maioria dos equipamentos, 200 horas é um período considerado seguro para que haja depuração.

A metodologia proposta também aplica uma abordagem quantitativa ao cálculo da criticidade ou à atribuição de uma probabilidade de ocorrência.

As falhas prematuras tendem a decrescer, e chega um momento em que eles se estabilizam em um valor de-

terminado, que pode ter tido como um risco aceitável (ou desprezível), pelo Sistema.

**Falhas casuais** São falhas que resultam de causas complexas, incontroláveis e, algumas vezes, desconhecidas. Ocorrem durante a vida útil do componente ou sistema.

Este nível constante de falhas, é entendido como aquele onde as falhas, escapam aos elementos de controle e que ocorrem por causas irregulares, geralmente complexas, incontroláveis ou, por vezes, pouco conhecidas. Esse período é conhecido como período de vida útil dos componentes do Sistema

**Falhas por desgaste** ou por envelhecimento - São falhas que ocorrem após o período de vida útil dos componentes. A taxa de falha aumenta rapidamente, nesse período, devido ao tempo e a algumas falhas casuais.

Ocorrem quando os componentes de um sistema ultrapassaram a vida útil. A taxa de falhas aumenta notoriamente, devido à idade ou ao tempo de uso e à incidência de algumas falhas casuais, que se mantém ao longo do tempo. Nesse estágio, foi atingido o período de desgaste dos componentes do Sistema.

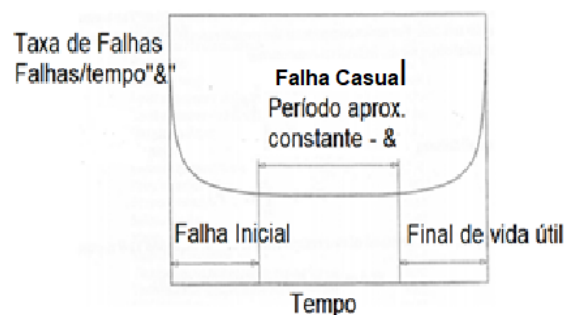
No contexto em que  $x$  é interpretado como o "tempo transcorrido até falha" a distribuição de Weibull fornece a distribuição de probabilidades de um dispositivo ou material falhar em um dado intervalo de tempo. Como pode ser visto na definição da função hazard  $h$ , existe uma dependência exponencial com o parâmetro  $k$  o que determina 3 comportamentos bem diferentes para:

$k < 1$ : alta taxa de falha no início. Esse é um comportamento típico de processos industriais em que a maioria das falhas ocorre no processo de produção dos itens ou quando a taxa de falha diminui com a eliminação da população defeituosa de dispositivos.

$k = 1$ : chance de falha independente do tempo e comportamento exponencialmente decrescente da distribuição. Processos "sem memória" em que as falhas ocorrem devido a razões aleatórias.

$k > 1$ : chance de falha crescente com o tempo. Casos em que há um processo de envelhecimento.

**FIGURA 9.5** Exemplo da vida útil de um equipamento de informática



Fonte: Adaptado de Birolini, 2013.

## 9.5 MODELOS

**Simulação é um dos métodos mais utilizados na análise quantitativa de uma decisão sob condições de risco.**

"Modelos podem ser definidos como uma representação simplificada de uma realidade, ideia em uma determinada situação". O propósito de qualquer modelo é permitir que se façam deduções sobre a situação ou o objeto analisado. Quanto mais próximo for da realidade, maior a exatidão das previsões.

Os modelos matemáticos são afetados por fatores ou variáveis que condicionam seu comportamento e resultados.

Nos modelos determinísticos, as informações são conhecidas ou se assumem como conhecidas, ou seja, não existe incerteza. Nos modelos probabilísticos, alguns dados ou informações são descritos como tendo um compor-

tamento dentro de uma curva de distribuição probabilística.

Os modelos são denominados Estocástico ou Probabilístico, quando uma das entradas é incerta e sujeita a variações. A saída do modelo geralmente é uma curva de distribuição.

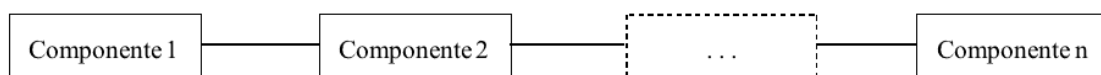
## 9.6 CONFIABILIDADES DE SISTEMAS

Considerando que o sistema (produto ou processo) é um conjunto de componentes organizados para realizar determinadas funções. Os atributos do sistema estão vinculados aos atributos individuais dos componentes que o compõe e do arranjo que for estabelecido entre eles que resultarão na sua confiabilidade final.

A configuração do sistema, quanto à disposição dos componentes e suas conexões, pode ser em **série, ou em paralelo**.

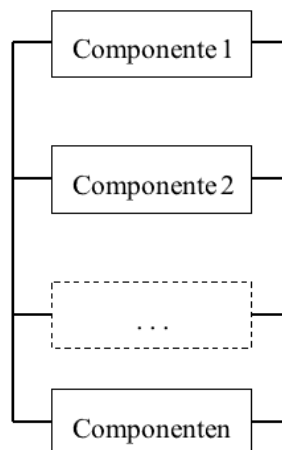
Em configurações em série figura 9.6, a falha do sistema ocorre se ao menos um componente falhar.

**FIGURA 9.6** Sistema em série



Em configurações em paralelo figura 9.7, a falha do sistema ocorre quando todos os componentes falharem

**FIGURA 9.7** Sistema em paralelo



O aumento da confiabilidade pode ser pela elevação da confiabilidade individual dos componentes que o constituem e/ou pelo acréscimo de componentes redundantes no arranjo do sistema.

A elevação da confiabilidade de componentes pode ser pelo uso de melhores materiais, processos mais controlados, tecnologias, design, fornecedores entre outros.

## 9.7 REDUNDÂNCIA

A redundância de um sistema é definida como a adição de componentes acima da quantidade mínima exigida para o seu funcionamento satisfatório com o propósito de aumentar sua confiabilidade.

Deve ser destacado que princípio da redundância para aumentar da confiabilidade geral não é sempre válido.

Os casos de redundância podem ser classificados:

**Redundância pura** - Quando todos os elementos em paralelo estão ativados, mesmo sendo somente necessário um para exercer a função.

**Redundância com carga compartilhada (load share)** – Quando a atividade é dividida entre todos os elementos redundantes.

**Redundância em espera (standby)** - Quando o elemento em redundância apenas será ativado quando houver notificação de falha do componente principal.

Para um dado conjunto de componentes que compõem um sistema, sempre haverá uma determinada configuração que proporciona confiabilidade máxima possível

Os conceitos de arranjos série e paralelo e de redundância são importantes para dar suporte a decisões gerenciais e estratégicas, pois necessita-se analisar conjuntamente o papel dos componentes e do arranjo formado entre eles com vistas a cumprir as exigências funcionais do sistema.

## 9.8 PROCESSO DA DECISÃO EM SITUAÇÃO DE RISCO

Quando um Gerente está diante de uma situação de risco, a primeira preocupação deve ser tentar medir a exatidão da sua decisão. Na maioria das vezes isso não é possível na totalidade.

Então o principal objetivo não deve ser buscar a exatidão, mas o erro, ou o nível de confiança da decisão que irá ser tomada.

São as chamadas decisões sob condições de incertezas.

As áreas do conhecimento que trata situações de incerteza: São a Estatística, regressão a média ou o Valor esperado.

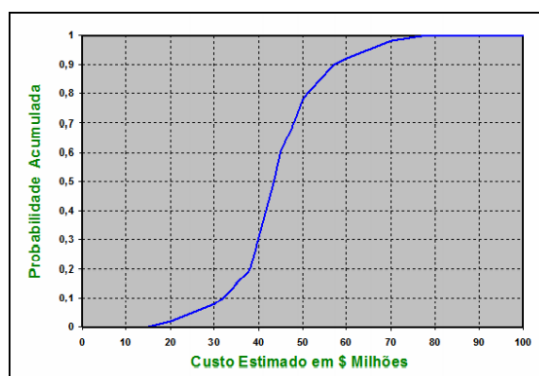
EV (Valor esperado ou Expected Value) - Média de todos os possíveis valores da distribuição amostral da variável de decisão.

Se a distribuição puder ser expressa por modelos matemáticos, a solução pode ser expressa por uma equação integral do tipo:

$EV = \int xp(x)dx$  onde  $p(x)$  é um valor de uma função densidade de probabilidade de uma variável  $x$ .

A figura 9.8 mostra um exemplo de probabilidades acumuladas de sucesso relativas aos custos aplicados num determinado projeto.

**FIGURA 9.8** Distribuição Acumulada de Probabilidades



Fonte: Schuyler, 1996.

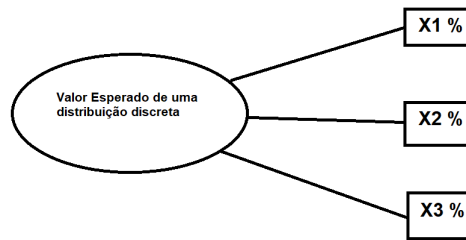
Quando é utilizada uma distribuição discreta o valor esperado EV é calculado como a soma ponderada das probabilidades pelas possíveis saídas da decisão.

Lembramos que uma distribuição discreta de probabilidade enumera cada valor possível da variável aleatória, bem como sua probabilidade.

A figura 9.9 mostra um exemplo de situação que o valor esperado (EV) de uma determinada opção pode ser

três resultados percentuais diferentes:  $X_1$ ,  $X_2$  ou  $X_3$ .

**FIGURA 9.9** Valor Esperado (EV) de uma distribuição discreta de probabilidades.



Fonte: Autor

## 9.9 REGRAS E DEFINIÇÕES DA ÁLGEBRA BOOLEANA

A Álgebra Booleana, também conhecida como Álgebra de Boole, é a matemática dos sistemas digitais, criada pelo matemático inglês George Boole (1815-1864).

Boole construiu sua lógica a partir de símbolos, representando as expressões por letras e ligando-as através de conexões - símbolos algébricos.

A Álgebra de Booleana trabalha apenas com duas grandezas: Falso e Verdadeiro.

Pode-se definir:

Variável Booleana, Lógica ou Binária como a variável que apenas pode assumir dois valores: sim ou não, verdade ou falso, 1 ou 0.

Proposição, como sendo todo o enunciado do qual se pode afirmar que é verdadeiro ou falso (sim ou não).

Os conceitos expressos pela álgebra Booleana são importantes para considerar nos processos de decisão que descrevem o comportamento de funções lineares ou variáveis binárias de modo "on/off", aberto/fechado e verdadeiro/falso.

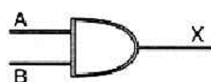
### 9.9.1 Operação lógica - E (AND)

Conceito: Produz um resultado verdade - Se e somente se todas a entradas forem verdade.

Exemplos

Se  $A = 1$  e  $B = 0$ , então:  $A \cdot B = 0$ .

Se  $A = 0110$  e  $B = 1101$ , então:  $A \cdot B = 0100$ .



$$X = A \cdot B \text{ ou } X = AB$$

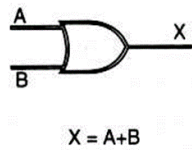
Entrada		Saída
A	B	$X = AB$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

### 9.9.2 Operação lógica – Ou (OR)

Conceito: Produz um resultado verdade se pelo menos umas das entradas for verdade.

Exemplos

Se A = 1 e B = 0, então: A + B = 1.  
 Se A = 0110 e B = 1101, então: A + B = 1111.



Entrada		Saída
A	B	X = A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Um exemplo de aplicação com operadores de álgebra Booleana (E e Ou) é a metodologia de análise para calcular as probabilidades de falha em cada componente e a influência do conjunto para a confiabilidade final de um sistema.

E – Eventos que ocorrem simultaneamente

Ou – Eventos isolados; simples lista de eventos (Tempos diferentes). Qualquer um que ocorra - provoca o efeito analisado.

**E** Multiplica a probabilidade

**Ou** Soma a probabilidade

Probabilidade 100% = 1

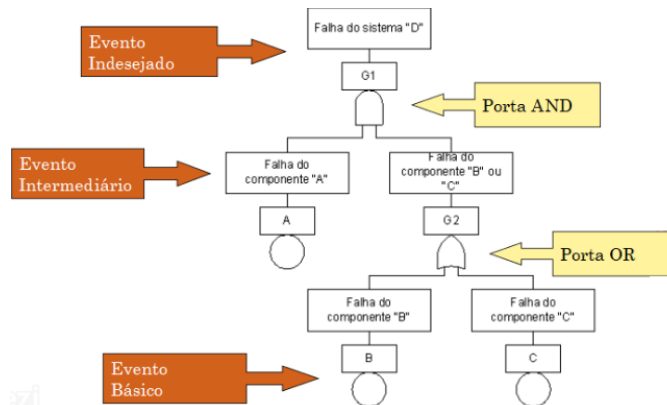
Probabilidade ≤ 1 logo:

Soma aumenta a probabilidade do evento. Ex: 1/2 + 1/2 = 1

Multiplicação diminui a probabilidade do evento. Ex: 1/2 x 1/2 = 1/4

A figura 9.10 demonstra um exemplo de um circuito elétrico que apresente falha:

FIGURA 9.10 Exemplo de Circuito elétrico



Fonte: Autor

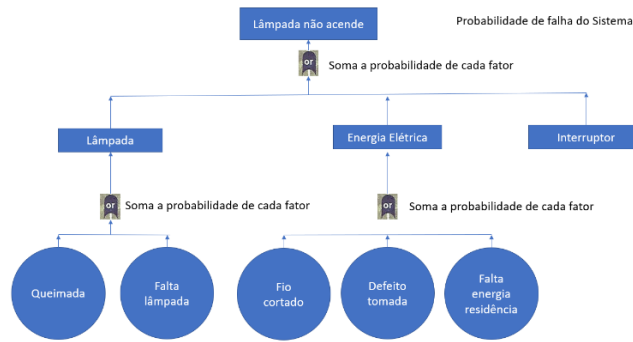
### 9.9.3 Exemplos de aplicação:

#### Exemplo 1 – Probabilidade de falha em um circuito elétrico simples

A figura 9.11 mostra a situação do circuito em falha e as probabilidades da falha.



**FIGURA 9.11** Circuito em falha

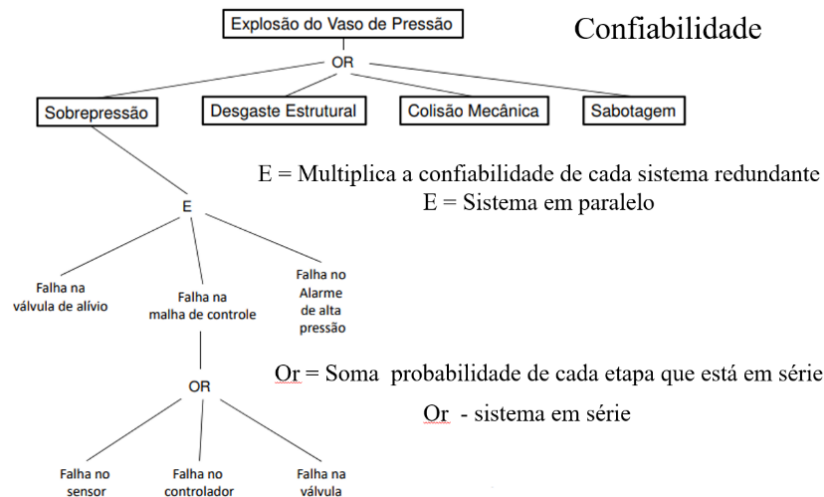


Fonte: Adaptado de Anglo American, 2008

**Exemplo 2 – Probabilidade de falha explosão de caldeira**

Figura 9.12 mostra um exemplo de um sistema onde ocorreu a explosão de uma caldeira

**FIGURA 9.12** Exemplo de um sistema onde ocorreu a explosão de uma caldeira



Fonte: Adapado de UFRGS, 2022, p. [199].

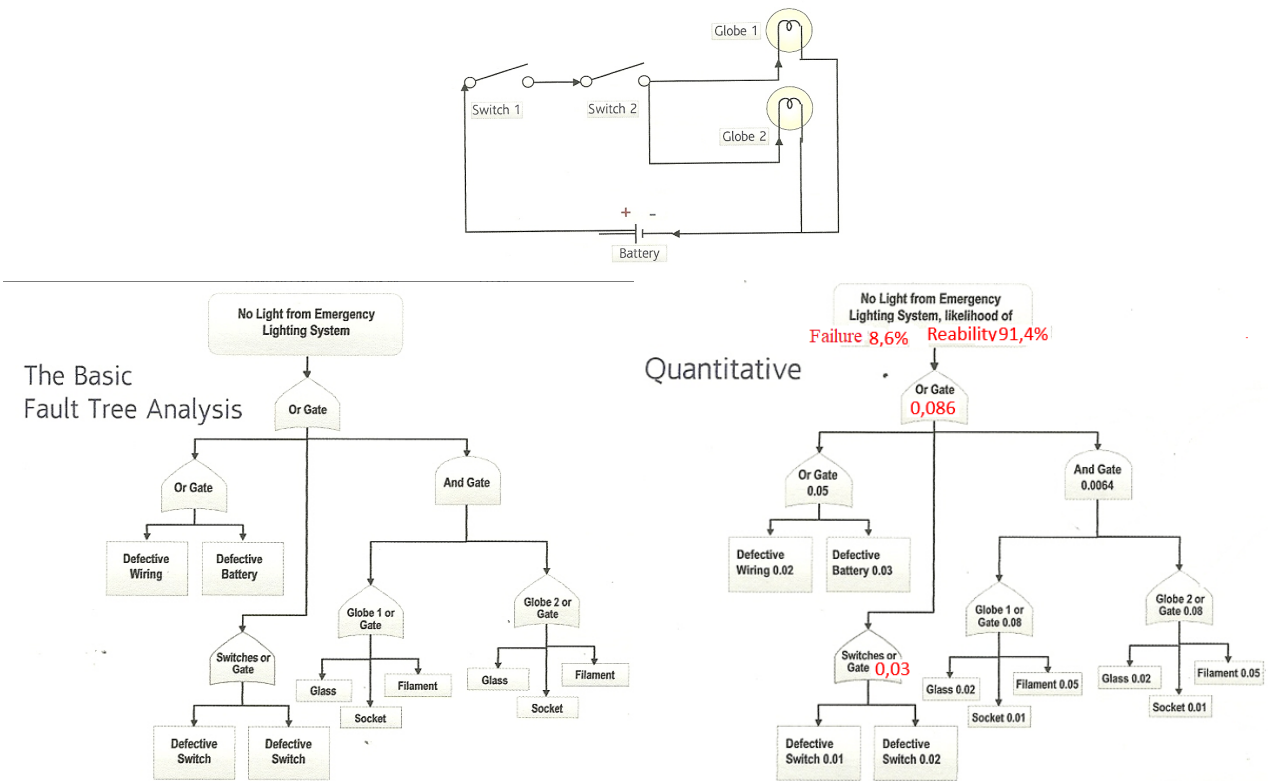
**Exemplo 3 – Probabilidade de falha num sistema de segurança de luz de emergência**

Probabilidade de falha em cada componente

- Switch – 0.01
- Defective – 0.02
- Battery - 0.03
- Glass - 0.02
- Socket - 0.01
- Filament - 0.05

A figura 9.13 apresenta a probabilidade de falha num sistema de segurança de luz de emergência. Procura mostrar que a possibilidade de falha de cada componente, depende do arranjo vai contribuir para a probabilidade de falha do sistema como um todo.

FIGURA 9.13 Probabilidade de falha num sistema de segurança de luz de emergência.



Fonte: Anglo American, 2008.

## 9.10 ÁRVORE DE DECISÕES

Árvores de decisões são diagramas que permitem representar e avaliar problemas que envolvem decisões sequenciais, colocando em destaque os riscos e os resultados esperados nas diversas etapas do processo ou ação. Trata-se de uma excelente ferramenta de análise em projetos que envolvem incertezas e grande variedade de eventos probabilísticos.

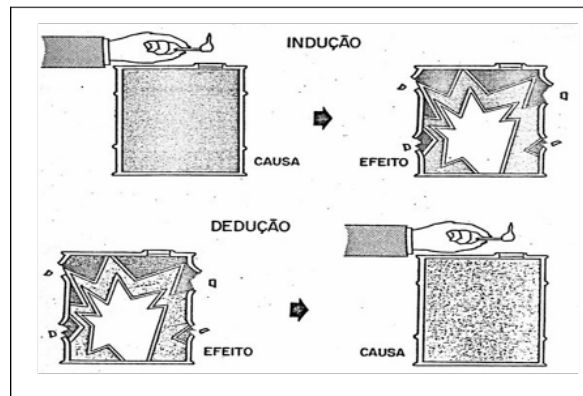
Uma árvore de decisão é um mapa dos possíveis resultados de uma série de escolhas relacionadas que permite que um indivíduo ou organização compare ações com base em seus custos, probabilidades e benefícios.

Baseia-se em estimativas e probabilidades associadas aos resultados de cursos de ação que competem ou que se mostram alternativas entre si. O resultado de cada alternativa é ponderado pela probabilidade associada a ele. São muito utilizadas para avaliar a gestão de processos e, com especial destaque para a criação de algoritmos informáticos.

Pode ser usada tanto para conduzir diálogos informais quanto para modelar algoritmos matemáticos para avaliar resultados e encontrar a melhor escolha

A árvore de decisões, como processo dedutível, pode ser chamada também de "Árvore de Falhas" - FTA (Fault Tree Analysis). Uma boa ferramenta para usar no gerenciamento de risco. Principalmente por ser de fácil aprendizado, que facilita a compreensão do processo e a interação entre áreas diferentes que interagem num sistema.

FIGURA 9.14 Relações de causa e efeito podem ser avaliadas depende da situação induzindo um efeito ou deduzir o efeito de uma causa.



Serve para investigar como pequenos acontecimentos podem se propagar, sozinhos ou em conjunto, até ocasionar grandes acidentes.” Foi desenvolvida para uso na indústria aeroespacial.

Atualmente é muito empregado em usinas nucleares, em plantas químicas e Sistemas críticos de organizações particularmente quando houver múltiplas decisões sequenciais e eventos incertos.

Método para identificar as várias e possíveis consequências resultantes de um certo evento inicial. Nas aplicações de análise de risco, o evento inicial da árvore de eventos é, em geral a falha de um componente ou subsistema. Os eventos subsequentes são determinados pelas características do sistema.

### 9.10.1 Etapas para o traçado da árvore de decisão

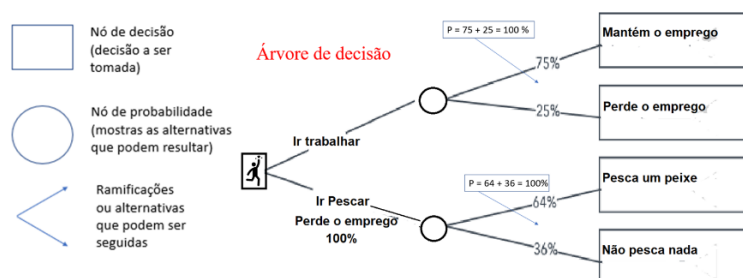
Começa com um único nó, que se divide em possíveis alternativas.

Cada alternativa leva a nós adicionais, que podem se ramificar em outras possibilidades. O nó de probabilidade, representado por um círculo, mostra as probabilidades de certos resultados. Um nó de decisão, representado por um quadrado, mostra uma decisão a ser tomada. Linhas significam as alternativas.

Para analisar as opções numericamente deve ser incluída a probabilidade de cada resultado e o custo de cada ação.

A figura 9.15 mostra, de forma simplificada, os símbolos e a seqüência de do processo de decisão.

**FIGURA 9.15** Árvore de decisão – Símbolo e seqüência lógica



Fonte: Autor

A figura 9.16, conforme o exemplo de Schuyler (1996) apresenta um caso de avaliação de decisão:

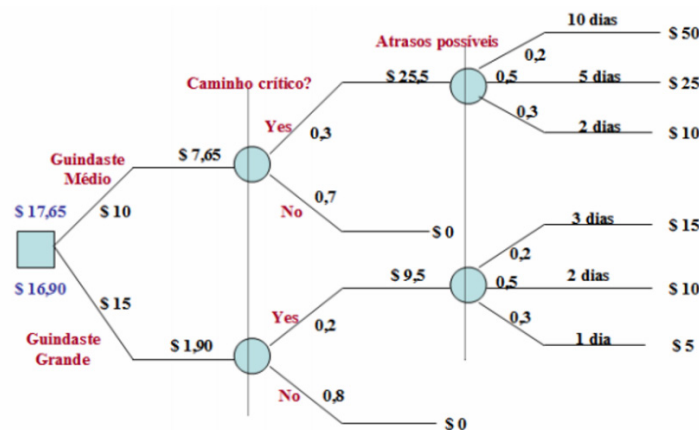
Decisão entre aluguel de equipamento de porte médio ou grande para realizar uma tarefa: respectivamente US\$ 5 e 10 por hora. Os equipamentos podem depois de contratado realizar ou não a tarefa por motivo de indisponibilidade.

Os tempos para a realização da tarefa são diferentes para cada equipamento.

Os dados para avaliar a decisão são apresentados na tabela seguinte:

	Guindaste médio	Guindaste grande
Custo Locação (US\$/dia)	10	15
Realiza ou não a tarefa por problemas de disponibilidade do equipamento) - Probabilidade (%)	0,3; 0,7	0,2; 0,8
Tempo execução tarefa (dias)	10; 5; 2	3; 2;1
Probabilidade (%)	0,2; 0,5; 0,3	0,2; 0,5; 0,3
Custo final em função do número de dias US\$	50; 25; 10	15; 10; 5
Expectativa probabilística de valor Final (EV) (US\$)	17,65	16,90

FIGURA 9.16 Árvore de decisão (locação equipamento médio ou grande e cálculo do EV das alternativas)



Fonte: Schuyler, 1996.

### 9.10.2 Árvores de decisão – Vantagens e desvantagens

- Facilidade de compreensão
- Podem ser úteis com ou sem dados concretos.
- Requerem o mínimo de preparação.
- Novas opções podem ser adicionadas às árvores existentes.
- Facilmente podem ser usadas com outras ferramentas de tomada de decisão.
- No entanto, árvores de decisão podem se tornar excessivamente complexas em determinadas situações.
- A maior dificuldade está em determinar a probabilidade do evento

Observações: Para identificar qual resultado é o mais desejável - Importante considerar as preferências de

utilidade do responsável pela tomada de decisões. Alguns podem preferir opções de baixo risco, enquanto outros estão dispostos a assumir riscos para ter um benefício maior.

## Referências:

- ANGLO AMERICAN. Safety risk management process. London: Anglo American, 2008
- AVEN, T. Quantitative risk assessment: the scientific platform. Cambridge: Cambridge university press, 2011.
- AS/NZS. AS/NZS 4360 : Risk Management. Australia: Australian Standard; New Zealand: New Zealand Standard, 2004.
- AUSTRALIA. Risk management: leading practice sustainable development program for the mining industry. Canberra: Australian Government, 2016. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/54273539/LPSDP-RiskHandbook.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022
- BIROLINI, A. Reliability engineering: theory and practice. Berlin: Springer, 2013.
- CARDOSO, R. A. M. Análise econômica de projetos de exploração e produção de óleo e gás através de estudo de casos. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro
- COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. R. Análise de sobrevivência aplicada. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2006.
- COOPER, D. F. et al. Project risk management guidelines: managing risk in large projects and complex procurements. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2005.
- ELSAIED, E. System reliability engineering, Massachusetts: Addison-Wesley, 1996.
- LAPRIE, J.C. Confiabilidade: Conceitos Básicos e Terminologia. Berlin: Springer, 1992.
- LEEMIS, Lawrence M. Reliability: probabilistic models and statistical methods. Hoboken: Prentice-Hall, Inc., 1995.
- MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais. São Paulo: Atlas, 2002.
- MUNIZ, R. C. A Análise de risco aplicada na gestão da qualidade em processos produtivos de uma indústria de blocos de concreto. 2017. Tese. (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SCHUYLER, J. R. Decision analysis in projects. Upper Darby, PA: PMI, 1996.
- SPINGARN, R. Tutorial - Reliability data. Reliability Review, v. 6, p. 10-12, 1986.
- THE NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). Center for Diseases Control and Prevention. NIOSH Mining. [20--]. Disponível em: <https://wwwn.cdc.gov/NIOSH-Mining/MMWC/MineDisasters/Count..> Acesso em: 15 dez. 2022.
- TRIPATHY, D. P.; ALA, C. K. Identification of safety hazards in Indian underground coal mines. Journal of Sustainable Mining, v. 17, n. 4, p. 175-183, 2018.
- UFRGS. Análise de Gerenciamento de Riscos. 2022. Disponível em: <http://www.eq.ufrj.br/docentes/cavazju->

nior/AGR.pdf. Acesso em: 23 dez. 2022.

VACCARO, G. L. R. Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WIDEMAN, R. M. Project and program risk management: a guide to managing projects risk and opportunities. Newton Square: PMI, 1992.

# CAPÍTULO 10

## METODOLOGIA

### SEMIQUANTITATIVA PARA

### GESTÃO DO RISCO -

### MATRIZ DE RISCO

A matriz de risco, também denominada de Matriz de Probabilidade e Impacto é conhecida internacionalmente como Worktask Risk Assessment & Control (WRAC).

A ferramenta foi desenvolvida, primeiro no meio militar nos Estados Unidos – na última década do século passado -1990, e tem como objetivo estabelecer e unificar padrões de decisão para controle e gestão dos riscos.

O WRAC foi desenvolvido depois para a indústria mineral no intuito de analisar riscos, mapeando e classificando os riscos potenciais da atividade.

Entre todas as ferramentas, a matriz de risco é uma das mais efetivas. A sua utilização pode identificar e prevenir possíveis falhas que causariam grandes prejuízos para a organização.

Os resultados são considerados notáveis e produzem grande melhora na produtividade, tanto dentro da linha de produção quando na administração. A ferramenta é muito usada nas grandes organizações e nas empresas de mineração.

Cada organização pode construir sua própria matriz de risco, adaptada de acordo com a sua percepção e seu apetite a risco.

Pode especificar os critérios de acordo como considera as suas ameaças. Pode ser conforme a sua cultura interna, critérios de “compliance” éticos internacionais, legislação e ambiente onde atua.

A vantagem de ferramenta ou metodologia é que as ameaças percebidas e o nível de resposta da organização podem ser definidos na matriz e todos os gestores ficam obrigados a seguir o regramento estabelecido. Os riscos podem ser relativos: acidentes ou doenças com pessoas, impactos ambientais, legais e regulatórios, interrupção de produção, impactos na reputação e nas comunidades, perdas financeiras e outras diversas. Trata-se de uma forma de sistematizar e envolver os diferentes níveis gerenciais, desde os mais operacionais, os administrativos, financeiros e da alta gestão estratégica da organização.

O procedimento é uma forma eficiente de proteger a organização, seus acionistas e principais gestores de responsabilização por atos ou procedimentos indevidos ou disconforme de alguma chefia local, fator muito importante em minerações de atuação global.

Há empresas que buscam estratégias mesmo para riscos que estão com criticidade moderada, mas isso vai depender do contexto de cada organização, e do que faz sentido tratar ou não (nível ou padrão do “compliance”).

O processo de gestão promove a compreensão do risco de forma padronizada e as ações necessárias podem ser compreendidas e planejadas antecipadamente.

## 10.1 COMO CRIAR UMA MATRIZ DE RISCO

A configuração é uma tabela bidimensional formada por linhas horizontais e verticais onde cada evento indesejado é confrontado e classificado, conforme a expectativa de probabilidade de acontecer e do impacto provável.

A probabilidade aborda a frequência que o evento indesejado pode ocorrer numa escala de tempo. O impacto considera o tamanho do problema que aquele evento indesejado representa para a organização se vier a se materializar. O número de grupos de risco e a escalas para classificação podem ser diversas. O mais comum é a divisão em cinco categorias de impacto e cinco de probabilidade, que levam a construção de uma matriz de 5 x 5.

Conforme a classificação são implementadas medidas mitigadoras para eliminar ou deslocar o risco para uma posição menos danosa ou mais aceitável (figura 10.1)

**FIGURA 10.1** Processo de mitigação do risco com apoio da Matriz de risco (Impacto x Consequência).

		Impacto /Consequência da condição perigosa				
		1	2	3	4	5
Probabilidade do evento ocorrer	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

Redução do Risco (Impacto x Probabilidade)

Fonte: Autor.

## 10.2 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DO RISCO (RISK RATING)

O produto da multiplicação da probabilidade pelo impacto de um determinado evento indesejado, indica a intensidade do risco que pode, ser representado por um número.

Cada região (conjunto de células que podem ser diferenciadas por cores distintas) da matriz representa um nível ou grupo de gravidade do risco, que pode variar conforme apresentado no exemplo da figura 10.2. Os níveis de risco considerados são:

- Risco insignificante – branco.
- Baixo risco – amarelo.
- Médio risco – marrom.
- alto risco – vermelho.
- Extremo risco - preto.

Com esse procedimento, é possível estabelecer regiões de riscos (intervalos), que deverão receber ações de controle com magnitude proporcional e uniforme e todos os gestores deverão agir sobre a ameaça conforme padrões estabelecidos pela alta direção.

Para compreensão didática apresentamos um exemplo simplificado, de uma matriz de risco (5 x 5) na figura 10.2.

A diferença/incremento, entre linhas e colunas sequenciais, é de dez unidades e cada valor representa respectivamente uma probabilidade de ocorrer ou impacto na organização que foi pré-definido pela alta gestão.



Na intersecção de cada linha e coluna foi adotado como valor o produto da respectiva multiplicação. O valor representa a gravidade do risco do evento classificado naquela coordenada, e que deve ser mitigado por ações padronizada e pré-determinadas para a respectiva faixa ou grupo de risco.

**FIGURA 10.2** Matriz de risco (5 x 5)

		Impacto				
		Muito baixo	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Probabilidade		1	10	20	30	40
Muito alto	40	40	400	800	1200	1600
Alto	30	30	300	600	900	1200
Médio	20	20	200	400	600	800
Baixo	10	10	100	200	300	400
Muito baixo	1	1	10	20	30	40
Extremo risco		Maior que 900				
Alto Risco		Entre 401 e 900				
Médio risco		Entre 41 e 400				
Baixo risco		Entre 11 e 40				
Risco insignificante		Entre 1 e 10				

Fonte: Autor.

**FIGURA 10.3** Definições da organização: Valores de probabilidade e de impacto do evento.

Impacto			Probabilidade		
Definições da organização	Caracterização	Avaliação	Definições da organização	Caracterização	Avaliação
<b>Muito Alto</b>	Destruição de equipamentos	40	<b>Muito alto</b>	Provável que ocorra muitas vezes (ocorrido com frequência)	40
	Mortes (mais de 1)				
<b>Alto</b>	Graves danos ao equipamento	30	<b>Alto</b>	Provável que ocorra algumas vezes (ocorrido com pouca frequência)	30
	Lesões sérias				
<b>Médio</b>	Redução significativa na segurança da operação	20	<b>Médio</b>	Improvável, mas é possível de ocorrer (ocorre raramente)	20
	Lesões as pessoas				
	Incidente grave				
<b>Baixo</b>	Limitação operacional	10	<b>Baixo</b>	Muito improvável (não há notícia de ocorrência)	10
	Uso de procedimentos de emergências				
	Incidente menor				
<b>Muito Baixo</b>	Consequências sem importância	1	<b>Muito baixo</b>	Quase impossível do evento ocorrer	1

Fonte: Autor.

**FIGURA 10.4** Diretrizes definidas pela organização de ações para a gestão do risco

Definido pela organização	Valor	Diretrizes para a Matriz de risco
Extremo risco ou catastrófico	Maior que 900	Eliminar; evitar; implementar planos e ações
Alto Risco	Entre 401 e 900	Gerenciar proativamente
Médio Risco	Entre 41 e 400	Gerenciar ativamente
Baixo Risco	Entre 11 e 40	Monitorar e gerenciar conforme aprovado
Risco Insignificante	Entre 1 e 10	Não há necessidade de ação

Fonte: Autor.

## 10.3 IMPLANTAÇÃO E UTILIZAÇÃO DA MATRIZ DE RISCO NA ORGANIZAÇÃO

São necessárias reuniões com os colaboradores e consultores experientes, para o levantamento dos eventos indesejáveis que podem ocorrer. Os riscos potenciais podem ser identificados com base em experiências anteriores, processos de "brain storming", estatísticas de dados na organização e outras que atuam no mesmo setor etc., antes da definição final de implantação da alta direção.

Definida a matriz de risco, ela deve ser difundida pela empresa inteira. Obviamente, toda a equipe de gestão deve tomar frente do processo, explicando cada etapa a seus subordinados. As opiniões devem ser analisadas e consideradas, principalmente daqueles que participam das etapas executivas e da linha de produção.

Cada risco deve ser registrado numa planilha similar à apresentada na figura 10.5.

**FIGURA 10.5** Planilha de registro e classificação dos riscos

Avaliação Semiquantitativa de Valoração de Risco							
Etapa Atividades	Evento Indesejado	Controles existentes	Probabilidade	Consequências	Grau de Risco	Controles Recomendados	Responsabilidade

Fonte: Autor.

Os líderes da equipe organizadora da matriz de risco devem filtrar cada um dos problemas apontados na planilha da figura 10.5, verificando quais fazem sentido. Depois de listados, cada risco deve ser examinado considerando os controles já existentes e classificá-los conforme o regimento expresso na matriz de risco adotada pela organização.

Para facilitar a compreensão apresentamos o exemplo (adaptado) de uma matriz de risco (5x5) com parâmetros de classificação e diretrizes de procedimentos de uma grande empresa mineradora que opera em muitos países.

No caso, os riscos que a empresa considera são nas áreas:

- Riscos de acidentes ou de doenças às pessoas (Segurança e higiene do trabalho)
- Impactos ambientais
- Paralisações de operação e outras perdas
- Riscos legais
- Riscos na reputação e aceitação social.

No caso, os riscos são configurados numa planilha conforme apresentado na figura 10.6

**FIGURA 10.6** Planilha modelo de matriz de risco (Adaptada de uma empresa de mineração de operação global).

Tipo de perda	Impacto				
	1 - Insignificante	2 - Pequeno	3 - Moderado	4 - Maior	5 - Catastrófico
Lesão às pessoas (segurança/saúde)	Caso de primeiros socorros/Exposição - pequeno risco à saúde.	Caso de trat. médico/ Exp. maior - risco à saúde	Ferimento com perda de tempo/impacto reversível a saúde.	fatalidade ou perda qualidade de vida/Impacto irreversível à saúde	Múltiplas fatalidades/Impacto fatal à saúde.
Impacto Ambiental	Dano ambiental mínimo - Incidente L1.	Dano ambiental material - remediável no curto prazo -	Dano ambiental grave. Incidente L2 remediável no âmbito da LOM.	Dano ambiental maior - incidente L2 remediável pós LOM.	Dano ambiental extremo - Incidente irreversível L3.
Interrupção dos negócios/Dano material e outros/Perdas Importantes	Sem interrupção operação - US\$ 20 mil a US\$ 100 mil.	Breve interrupção operação - US\$ 100 mil a US\$ 1 milhão.	Fechamento parcial - US\$ 1 milhão a US\$ 10 milhões.	Perda parcial operação - US\$ 10 milhões a US\$ 75 milhões.	Perda significativa ou total operação > US\$ 75 milhões.
Legal & Regulatório	Questão jurídica - nível baixo.	Pequena questão jurídica - violação da lei.	Violação grave da lei. Processo ou possível penalidade moderada.	Violação maior da lei. Processos e penalidades consideráveis.	Penalidades e processos consideráveis. Várias ações legais e sentença de prisão.
Impacto sobre a reputação/Social/Comunidade	Pode ter Impacto pequeno comunidade, mas não há preocupação pública.	Impacto limitado preocupação pública local.	Impacto considerável - público regional.	Impacto Nacional. - Atenção pública Nacional.	Impacto internacional - atenção pública internacional
<b>Probabilidade</b> (Base quase acidentes e eventos reais).	<b>Classificação do Risco</b>				
5 (Quase certo) - Evento frequente. Ocorre uma ou mais vezes por ano.	5	10	15	20	25
4 (Provável) - Evento ocorre com pouca frequência (menos de uma vez por ano); provável que volte acontecer em cinco anos.	4	8	12	16	20
3 (Possível) - Evento aconteceu em algum momento; poderia acontecer até 10 anos.	3	6	9	12	15
2 (Improvisável) - Evento aconteceu ou poderia acontecer em 20 anos.	2	4	6	8	10
1 (Raro) - Nunca se soube da ocorrência; altamente improvável ocorrer até 20 anos.	1	2	3	4	5
Classificação do risco	Nível do Risco		Diretrizes para a Matriz de risco		
15 a 25	Extremo		Eliminar; evitar; implementar planos específicos/procedimentos para gerenciar e		
8 a 12	Alto		Gerenciar proativamente		
4 a 6	Médio		Gerenciar ativamente		
1 a 3	Baixo		Monitorar e gerenciar conforme aprovado		

Fonte: Traduzida e adaptada Matriz 5x5 de Riscos WRAC da Anglo American (Números e escala foi adaptada para efeitos didáticos)

O processo de implementação da matriz de risco é prático, e rápido.

A ferramenta permite: Boa comunicação visual e fácil compreensão e permite disseminar os procedimentos, de forma uniforme de acordo com os padrões aceitos e determinados por seus controladores e pela sociedade.

## Referências:

AUSTRALIA. Comcover. Better practice guide : risk management. [Canberra] : Dept. of Finance and Deregulation, 2008.

AS/NZS. AS/NZS 4360 : Risk Management. Australia: Australian Standard; New Zealand: New Zealand Standard, 2004.

AUSTRALIA. Risk management: leading practice sustainable development program for the mining industry. Canberra: Australian Government, 2016. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/54273539/LPSDP-RiskHandbook.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022

BIROLINI, A. Reliability engineering: theory and practice. Berlin: Springer, 2013.

CARDOSO, R. A. M. Análise econômica de projetos de exploração e produção de óleo e gás através de estudo de casos. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. R. Análise de sobrevivência aplicada. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2006.

COOPER, D. F. et al. Project risk management guidelines: managing risk in large projects and complex pro-

- curements. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2005.
- ELSAIED, E. System reliability engineering, Massachusetts: Addison-Wesley, 1996.
- LAPRIE, J.C. Confiabilidade: Conceitos Básicos e Terminologia. Berlin: Springer, 1992.
- LEEMIS, Lawrence M. Reliability: probabilistic models and statistical methods. Hoboken: Prentice-Hall, Inc., 1995.
- MACHADO, Hermano. Curso de segurança em Mina subterrânea. Criciúma: PPGE3M/ANM, 2014.
- MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais. São Paulo: Atlas, 2002.
- MUNIZ, R. C. A Análise de risco aplicada na gestão da qualidade em processos produtivos de uma indústria de blocos de concreto. 2017. Tese. (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- REASON, J. Managing the risks of organisational accidents. Ashgate: Surrey, 1997.
- SAFETY AND AIRSPACE REGULATION GROUP. Safety Management Systems (SMS) guidance for organisations. London: Civil Aviation Authority, 2014
- SCHUYLER, J. R. Decision analysis in projects. Upper Darby, PA: PMI, 1996.
- SME Society of Mining Engineering. Englewood: Society of Mining Engineering, 2011.
- SPINGARN, R. Tutorial - Reliability data. Reliability Review, v. 6, p. 10-12, 1986
- TRIPATHY, D. P.; ALA, C. K. Identification of safety hazards in Indian underground coal mines. Journal of Sustainable Mining, v. 17, n. 4, p. 175-183, 2018.
- VACCARO, G. L. R. Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- WIDEMAN, R. M. Project and program risk management: a guide to managing projects risk and opportunities. Newton Square: PMI, 1992

# CAPÍTULO 11

## METODOLOGIA BOWTIE

Bowtie é uma das metodologias disponíveis para auxiliar na identificação e gerenciamento de risco. A metodologia fornece uma estrutura lógica comprovada para avaliação qualitativa do risco. Pode ser vista como uma extensão das análises de risco, dos diagramas causa-consequência dos anos 70 e evolução da concepção de Barreiras dos anos 80.

A abordagem é muito utilizada para lidar com desastres ambientais, segurança de processo nas indústrias nuclear, química, mineração, petróleo, óleo e gás.

A metodologia configura a situação de risco, em um diagrama, que lembra a forma de uma gravata-borboleta ("Bowtie" = gravata-borboleta em inglês). O foco é uma representação gráfica de simples compreensão que não necessita de alto nível de especialização para implementar.

**FIGURA 11.1** Diagrama Bowtie, forma de gravata borboleta.



Fonte: Autor.

A metodologia ajuda a comunicar e estruturar o pensamento para análise e tomada de decisão no sentido de conter um risco identificado.

O diagrama facilita a comunicação em reuniões, relatórios formais, relatos e apresentações tanto para os níveis hierárquicos superiores como para treinamento de subordinados. Facilita a comunicação, internamente na organização e externamente, por exemplo, com as instituições reguladoras e de controle.

### Modelo de contenção de um evento de risco com base na metodologia bowtie

O processo envolve, a descrição esquemática de um risco, desde as causas até as consequências. Envolve também a descrição das medidas de proteção (existentes ou propostas) para evitar que o risco ocorra ou, no caso de ocorrer, que as consequências tenham menor impacto.

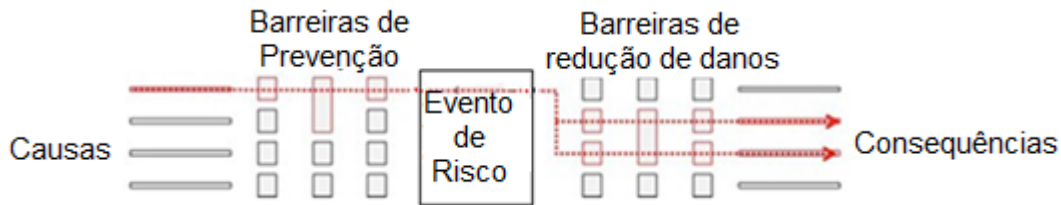
Cabe salientar que as medidas de proteção denominadas "barreiras" são uma parte essencial da metodologia bowtie, uma vez que é por meio delas que é possível mitigar os riscos na forma de prevenir ou de reduzir os danos.

Um evento de risco, potencialmente, pode ocorrer por uma ou mais causas e pode ser evitado ou ter a sua probabilidade reduzida por uma ou mais barreiras (Sistema de prevenção). Se o sistema de barreiras de prevenção falhar, e o evento ocorrer, as consequências podem ser evitadas ou reduzidas por uma ou mais barreiras de redução das consequências (sistema de redução do dano).

Essa estrutura de pensamento para a contenção de um risco pode ser representada conforme o modelo ge-

nérico da figura 11.1. A estrutura ajuda compreender a relação entre riscos causas e consequências. Ajuda também verificar se as medidas de contenção e de redução de danos (barreiras) são adequadas e suficientes, ou se o sistema necessita de proteções adicionais.

**FIGURA 11.2** Modelo estruturado de gerenciamento de um risco



Fonte: Autor.

O modelo vai permitir analisar o sistema se já existem defesas e verificar se as barreiras existentes são suficientes ou se o sistema necessita de mais proteção em termos de quantidade ou de qualidade.

O diagrama pode ser construído com o apoio de um programa específico, facilmente encontrado na internet ou com aplicativo excel.

Depois que for definida quais barreiras devem ser implementadas e mantidas ao longo do tempo. Deve ser criado um plano de ação para a implementação de cada uma das barreiras.

### Construção do diagrama Bowtie

#### Centro do diagrama ou nó da gravata

O primeiro passo para a implementação da metodologia bowtie consiste em definir o risco que vai ser considerado para análise.

A metodologia bowtie, inicia com a escolha do Evento de topo, que vai estar na posição central (nó da gravata).

Na metodologia bowtie, o "Evento de Topo" (Top Event) é a materialização de um perigo identificado no sistema.

Para facilitar a compreensão citamos o exemplo de uma mina que usa explosivos no processo de produção.

O perigo é representado pelo potencial intrínseco de explosão devido a presença do explosivo.

O evento de topo (materialização do perigo/acidente) seria - Explosão não programada, em tempo não esperado com a presença de pessoas e equipamentos nas proximidades.

#### Lado Esquerdo do diagrama

No lado esquerdo, devem ser explicitadas no diagrama todas as possíveis ameaças, ou causas potenciais que podem provocar o acidente. Ou seja, devem ser identificadas as causas ou as "Fontes de Riscos" que podem provocar o evento de topo, listado no centro do diagrama.

Existem situações que podem existir de longo tempo para ocorrência do evento de topo, que funcionam como gatilhos, que devem ser considerados e junto de todas as causas potenciais

Depois de listadas todas as causas, devem ser colocadas no diagrama as barreiras de prevenção. No diagrama, para cada ameaça, devem ser posicionadas uma ou mais barreiras de prevenção, dependendo da situação, para impedir que o Evento Principal venha ocorrer.

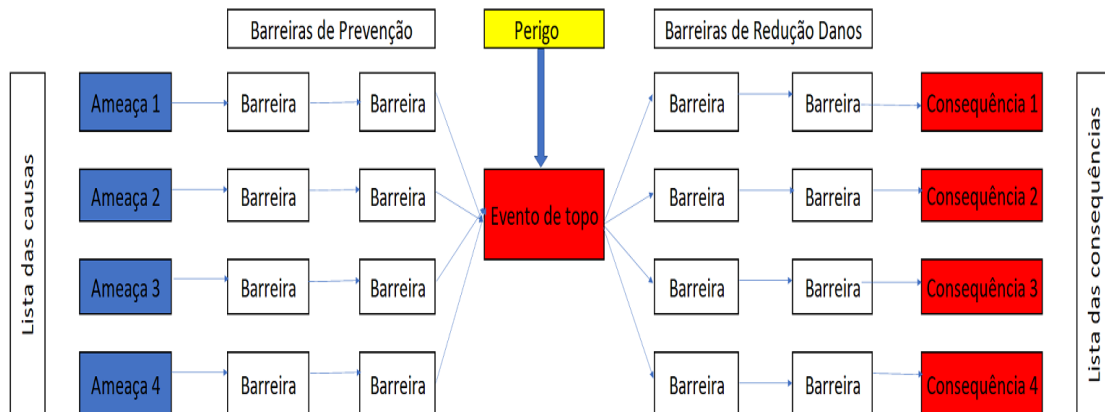
#### Lado direito do diagrama

Considerando que não é sempre possível prevenir e eliminar o risco por completo, mesmo com barreiras de prevenção, há a possibilidade que o evento de topo ocorra.

Então, no lado direito do diagrama são listadas as consequências caso o evento de topo venha ocorrer.

Para cada consequência deve ser colocada uma ou mais barreira para reduzir o dano, que são as medidas para reduzir as consequências, se o evento de topo ocorrer.  
Essas medidas são denominadas de Barreiras de redução de danos.

**FIGURA 11.3** Modelo de um diagrama Bowtie (construído com aplicativo Excel)



Fonte: Autor.

Observação:

No Bowtie as "ameaças" são definidas como "Mecanismos que liberam o Evento de Topo". A definição no Bowtie difere do entendimento corriqueiro de Fonte de Risco de "elemento do trabalho que, de forma isolada ou combinada, tem o potencial intrínseco de dar origem a riscos".

Depois que o diagrama estiver completo deve ser identificado o papel da gestão no controle desses riscos. Deve ser criado um plano de ação para a implementação de cada uma das barreiras.

### Exemplo de utilização da metodologia bowtie em empresa de mineração.

Considerar como evento de topo um acidente com o operador de uma correia transportadora (empregado que trabalha no posto junto da correia transportadora realizando limpezas, manutenção de roletes e outros serviços correlatos relativo ao equipamento).

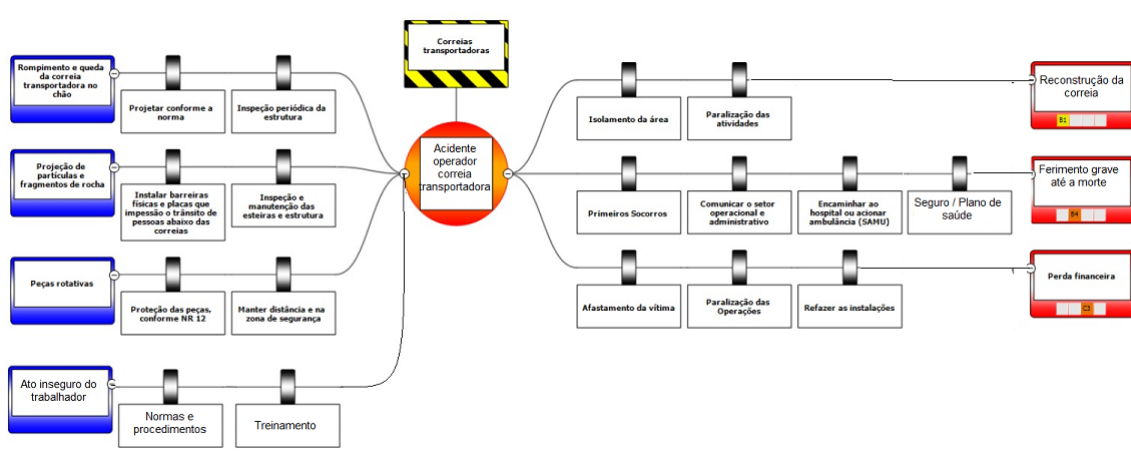
As causas de acidente do operador poderiam ser: Rompimento da estrutura ou da própria correia, projeção de fragmentos e as partes móveis do equipamento entre outras.

Poderia ser também atos inseguros relativos ao comportamento do trabalhador. É difícil controlar a forma como os trabalhadores se comportam todo o tempo, porém, treinamentos e normas de procedimentos poderiam ser barreiras de controle explicitado no diagrama bowtie.

As consequências do acidente na correia transportadora podem ir de perda financeira para o negócio, ferimentos do trabalhador, entre outros. Dessa forma, algumas barreiras de defesa que poderiam ser implementadas seriam o incentivo ao uso de EPI, a contratação de um seguro e para o trabalhador, um plano de saúde.

A figura 11.4 mostra um diagrama bowtie relativo ao risco de acidente com um trabalhador que exerce atividades junto a uma correia transportadora. Trata-se de um exemplo de aplicação da metodologia bowtie numa instalação de mineração. A metodologia pode ser utilizada para qualquer tipo de risco, seja ele advindo do ambiente interno ou externo à empresa.

**FIGURA 11.4** Diagrama bowtie – Risco de acidente com o operador de correia transportadora.



Fonte: Autor.

### *Limitações da metodologia bowtie*

Embora a metodologia Bowtie apresente muitos benefícios, existem limitações.

Não é recomendado estabelecer um diagrama Bowtie de forma macro para toda a organização. Por exemplo, para analisar todos os riscos existentes em uma mina. Ficaria um diagrama muito extenso. Seriam centenas de situações para representar a realidade da organização. Situações importantes poderiam passar despercebidas ou serem erroneamente consideradas. O diagrama ficaria muito extenso e genérico comprometendo a sua concisão e o objetivo da visualização. Além disso, o bowtie não fornece uma avaliação quantitativa ou avaliação da aceitabilidade dos riscos

### *Recomendações para o uso da metodologia Bowtie*

Normalmente o indicado nos processos de gestão de risco é relacionar os riscos presentes numa planilha. Avalia-los por diferentes metodologias, sendo normalmente mais usado a matriz de risco.

Na sequência, os cenários de alto risco deve ser identificados para análise detalhada com a metodologia bowtie.

A metodologia bowtie é especialmente indicada quando as ameaças, controles e consequências já foram identificados e registradas em uma avaliação anterior.

Cabe destacar também que é importante criar um diagrama separado para cada risco que represente potencialmente grande ameaça identificado na organização.

## Referências:

CGE RISK. Civil aviation authority on "bowtie models" for balanced risk overviews. Leidschendam: CGE Risk, [20--]. Disponível em: <https://assets.contenthub.wolterskluwer.com/api/public/content/0f28e14cb-c404634a2c929d3380c3480?v=795c38b7>. Acesso em 15 dez. 2022.

SAFETY AND AIRSPACE REGULATION GROUP. Safety Management Systems (SMS) guidance for organisations. London: Civil Aviation Authority, 2014

UNITED STATES OF AMERICA. Federal Aviation Authority. Order 8040.4B. Safety Management System, and



establishes requirements for how to conduct Safety Risk Management (SRM) in the FAA. 2017. Disponível em: [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/FAA\\_Order\\_8040.4B.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/FAA_Order_8040.4B.pdf). Acesso em 15 dez. 2022.

UK CIVIL AVIATION AUTHORITY. Introduction to bowtie. [20--]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/safety-initiatives-and-resources/working-with-industry/bowtie/about-bowtie/introduction-to-bowtie/> . Acesso em: 15 dez. 2022.