

UF^B

Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia

Jorge Antônio Gonzaga Santos

Especialização em Mineração e Meio Ambiente

Recuperação e Reabilitação de Áreas Degradadas pela Mineração

SEAD

Superintendência de
Educação Aberta e a Distância

e EaD
UFRB

UAB
UNIVERSIDADE
ABERTA DO BRASIL

Jorge Antônio Gonzaga Santos

Recuperação e Reabilitação de Áreas Degradadas pela Mineração

Cruz das Almas - BA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

| | |
|-------|---|
| S237r | <p>Santos, Jorge Antônio Gonzaga. Recuperação e reabilitação de áreas degradadas pela mineração / Jorge Antônio Gonzaga Santos._ Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017. 44p.; il.</p> <p>ISBN: 978-85-5971-037-3</p> <p>1.Mineração – Impactos ambientais. 2.Mineração – Aspectos ambientais. 3.Solos – Avaliação. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Superintendência de Educação Aberta e a Distância. II.Título.</p> <p>CDD: 574.2</p> |
|-------|---|

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA - UFRB

Silvio Luiz de Oliveira Soglia

Reitor da Universidade Federal da Bahia - UFRB

Georgina Gonçalves dos Santos

Vice Reitora da Universidade Federal da Bahia - UFRB

SUPERINTENDÊNCIA DE EDUCAÇÃO ABERTA E A DISTÂNCIA-SEAD

Ariston de Lima Cardoso

ariston@ufrb.edu.br

Superintendente – Coordenador UAB

Docente/CETEC

Adilson Gomes dos Santos

adilsongomes@ufrb.edu.br

Coordenador Adjunto UAB

Docente/CETEC

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS - CCAAB

Elvis Lima Vieira

e-mail: elvieira@ufrb.edu.br

Diretor

Josival Santos Souza

e-mail: jsouza@ufrb.edu.br

Vice-Diretor

Marcela Rebouças Bomfim

reboucas.marcela@ufrb.edu.br

Coordenador do Curso Especialização
em Mineração e Meio Ambiente - Ead

Giselle Chagas Damasceno

gdamasceno@ufrb.edu.br

Vice-Coordenador do Curso Especialização
em Mineração e Meio Ambiente - Ead

EQUIPE DE PRODUÇÃO DA SEAD

Agesandro Azevedo Carvalho

agesandro@ufrb.edu.br

Técnico em Assuntos Educacionais

Dayane Sousa Alves

Assistente em Administração / Chefe do Núcleo de Mídias

Sabrina Carvalho Machado

sabrina@ufrb.edu.br

Assistente em Administração

Alberto Roque Cerqueira de Azevedo

Técnico em Audiovisual

Luiz Artur

Assistente em Administração

Carlos André Lima de Matos

Diagramador - Estagiário

Jônatas de Freitas Santos

moodle@ufrb.edu.br

Técnico em Informática

Lailson Brito dos Santos

lailsonsantos10@hotmail.com

Estagiário

Raimar Ramos de Macedo Filho

Diagramador - Estagiário

SEAD - UFRB

Casa Nº1 - Campus Universitário. Telefone: (75) 3621-6922.

Rua Rui Barbosa, 710 - Centro. Cruz das Almas-BA

Apresentação

Prezado(a) Aluno(a),

As atividades minerárias promovem alterações relevantes no ambiente, causando efeito degradativo na qualidade da água, do ar, do solo e da biota. Na maioria dos processos de extração e beneficiamento de minérios, apenas uma pequena fração tem valor comercial e a maior parte constitui rejeito. Por exemplo, na mineração do Cobre (Cu), para cada 1kg do metal extraído são produzidos cerca de 500 kg de rejeito. Estes dados indicam que os principais impactos no meio físico causados pela atividade minerária deve-se a mudança estética da paisagem e a deposição na superfície da elevada produção de resíduos nocivos.

A mineração pode impactar positivamente as comunidades locais pela criação de empregos e projetos de desenvolvimento comunitário. Entretanto, esses efeitos positivos não compensam impactos socioambientais, obrigando as pessoas a mudar de casas e terras, impedido o acesso a solo e água de boa qualidade, impactando a saúde e meios de subsistência, causando divisões nas comunidades sobre quem se beneficia da mina mudando a dinâmica social.

Diversas práticas tem sido adotadas ao longo do tempo, em busca da recuperação e reabilitação das áreas impactadas pelas atividades minerárias, as quais estão apresentadas neste livro.



Sumário

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Capítulo | 9 |
| 1.1 | Conceitos de Degradação | 9 |
| 1.2 | Degradação e Mineração | 10 |
| 1.3 | Causas da Degradação devido a mineração | 12 |
| 1.4 | Níveis de degradação por atividades mineradoras | 13 |
| 1.5 | Valores de referência | 17 |
| 2 | Capítulo | 19 |
| 2.1 | Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD | 19 |
| 2.1.1 | Identificação e caracterização da área de degradação | 23 |
| 2.1.2 | Planejamento da Recuperação | 24 |
| 3 | Capítulo | 29 |
| 3.1 | Recuperação de Áreas Degradadas | 29 |
| 3.2 | Tecnologias de Remediação | 31 |
| 4 | Capítulo | 33 |

| | |
|--|-----------|
| Capítulo 4 | 33 |
| 4.1 Monitoramento de Áreas em Processo de Recuperação | 33 |
| 4.1.1 Estratégias e ferramentas de monitoramento Para Avaliação de Recuperação Ecológica | 33 |
| Referências Bibliográficas | 37 |
| Glossário | 39 |



1. Capítulo

1.1 Conceitos de Degradação

A lei Federal Nº 6.938/81, da Política Nacional do Meio Ambiente no seu Artigo 3º, inciso I define **Meio Ambiente** como o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas. No inciso II, a mesma lei define Degradação **da Qualidade Ambiental** como sendo a alteração adversa das características do Meio Ambiente.

A *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) define degradação do solo como sendo a mudança do status de saúde do solo que resulta na redução da capacidade do ecossistema fornecer bens e serviços para os seus beneficiários.

Estes conceitos levam em consideração de que o homem é o agente principal da degradação ambiental e é, através das suas atividades que: fragmentam o habitat que resulta em impactos ambientais, a longo prazo, dos quais podem destruir ecossistemas inteiros e; reduzem o espaço de espécies de animais selvagens que exigem grandes extensões de terra para satisfazer todas necessidades de alimento. Apesar desses fatos, o ambiente está sob constante modificação causada por processos naturais, como deslizamentos de terra, terremotos, tsunamis, furacões e incêndios florestais que podem inviabilizar o funcionamento ao longo do tempo em função da dizimação de comunidades de plantas e animais.

1.2 Degradação e Mineração

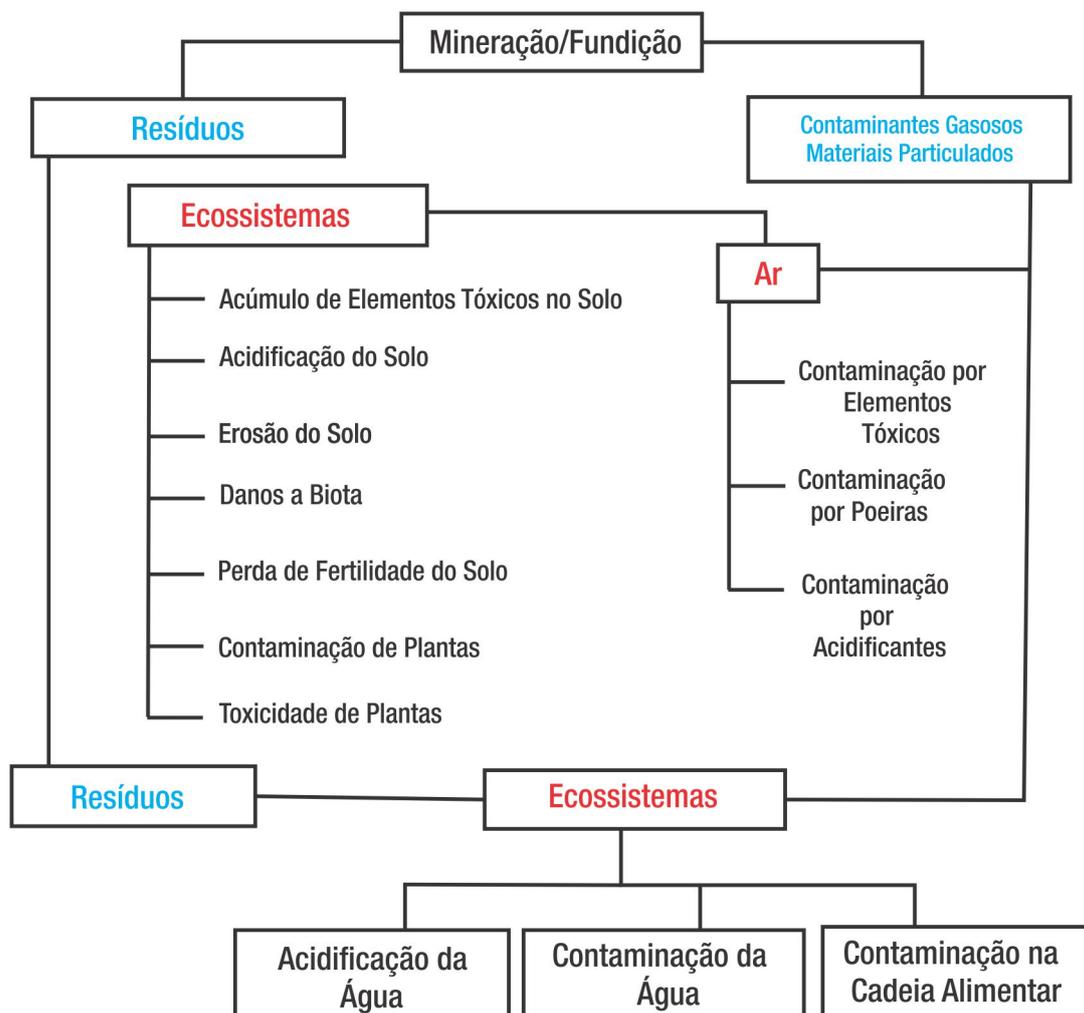
A atividade de mineração gera grandes quantidades de rejeitos inúteis para a indústria, os quais são normalmente armazenados em grandes pilhas dentro da área de arrendamento de minas ou em terrenos públicos, Tabela 1.1. A relação da sobrecarga escavada para a quantidade de mineral removido é denominado razão de decapagem. Uma relação de decapagem de 4:1 significa que para cada 4 toneladas de resíduos de rocha é extraído uma tonelada de minério. Quanto mais baixa for a razão de decapagem, mais produtiva será a mina. A taxa de decapagem varia com a área sob mineração.

Tabela 1.1: Produção Mineral, geração de resíduos e terra afetada.

| Nº | Mineral | Produção (TM) | Sobrecarga/ Resíduo(TM) | Estimativa da Terra afetada (ha) | Terra em ha/TM de carvão/minério |
|----|---------------|---------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Carvão | 407 | 1493 | 10175 | 25 |
| 2 | Calcário | 170.38 | 178.3 | 1704 | 10 |
| 3 | Bauxita | 12.34 | 7.5 | 123 | 10 |
| 4 | Mina de Ferro | 154.4 | 143.9 | 1544 | 10 |
| 5 | Outros | 9.44 | 18.61 | | - |

O impacto das atividades da mineração é uma questão de preocupação ambiental que desafia o desenvolvimento sustentável em diversas partes do mundo. Os danos causados ao ambiente terrestre se reflete na: diminuição da cobertura verde; contaminação do solo; perda parcial ou total da fauna e flora, incluindo ecossistemas florestais; redução da quantidade e qualidade dos recursos hídricos; poluição do ar e na saúde e habitação humana ou ambos (Figura 1.1). Por estas razões, a cobertura vegetal exerce um papel fundamental no equilíbrio dos sistemas e é considerado um indicador desejável da qualidade ambiental.

Figura 1.1: Impactos ambientais da mineração.



Fonte: Dudka & Adriano, 1997.

A redução da cobertura vegetal resulta em erosão do solo. Por esse processo, ocorre a mobilização e transporte de partículas do solo, causando principalmente perdas das frações de partículas finas e menos densas, incluindo partículas de húmus e argila, ambas importantes transportadoras de nutrientes do solo e agentes estabilizadores para propriedades físicas dos solos. A maior exposição do solo a erosão facilita o arrasto de sedimentos até atingirem os corpos d'água através de canais laterais, afetando a qualidade dos recursos hídricos; os solos são contaminados; parte ou total da flora e fauna se perde; e o ar fica poluído. Por estas razões, a cobertura vegetal tem um papel fundamental e é considerado como um indicador desejável da qualidade ambiental.

A magnitude e o grau de importância do impacto ambiental devido à mineração varia de mineral para mineral e também com o potencial do ambiente circundante em absorver os efeitos negativos da mineração (disposição geográfica dos depósitos minerais e tamanho das operações de mineração).

O material oriundo das indústrias minerais podem impactar de forma duradoura a paisagem, os ecossistemas e as condições sócio-cultura-econômicas da comunidade, onde a mina esta inserida.

1.3 Causas da Degradação devido a mineração

Existem diversos fatores que podem levar a degradação ambiental devido a mineração, as mais importantes são:

Distúrbio do solo: dano ao solo ou ciclo contínuo de práticas que resultam na degradação da qualidade do solo ou assoreamento de corpos d'água e em última instância leva à degradação. O planejamento do uso da terra permite o uso sustentável dos recursos naturais. O uso do solo fora destes padrões pode levar à degradação e poluição do ambiente;

Poluição: a poluição, sob qualquer forma, seja do ar, da água, da terra ou ruído, é nociva para o ambiente e para a saúde humana. A poluição sonora pode causar danos irreparáveis aos ouvidos quando expostos a sons contínuos de grandes dimensões, como buzina de veículos em uma estrada movimentada ou máquinas que produzem grande ruído em uma fábrica ou um moinho. A poluição da água degrada sua qualidade inclusive para fins de consumo. Como resultado das atividades humanas, a poluição do solo resulta na degradação da superfície;

Superpopulação: o rápido crescimento populacional causa pressão sobre os recursos naturais, na produção de alimentos, no abrigo de residências e deposição de resíduos, o que resulta na degradação do meio ambiente. Nos locais onde as pessoas estão melhor instaladas, há melhoria da vida útil. Quanto maior o número de pessoas desprovidas, maior a demanda por comida, roupas e abrigo, exigindo de maior espaço para cultivar alimentos e fornecer casas para milhões de pessoas. Isso resulta no desmatamento, que é outro fator de degradação ambiental;

Aterros: formados a partir de grande quantidade de resíduos que é gerado por famílias, indústrias, fábricas e hospitais, representam um grande risco para a saúde do meio ambiente e para as pessoas que vivem lá. Os aterros sanitários produzem cheiro desagradável quando são queimados e causam grande degradação ambiental;

Desmatamento: o rápido crescimento da população e a expansão urbana são duas das principais causas do desmatamento. O uso de terras florestais para a agricultura, pastoreio de animais, colheita de lenha e exploração madeireira são algumas das outras causas de desmatamento. O

desmatamento contribui para o aquecimento global, uma vez que a diminuição do tamanho da floresta coloca o carbono de volta ao meio ambiente.

1.4 Níveis de degradação por atividades mineradoras

Os processos de degradação causados pela mineração afetam solo, sedimento, água de superfície e subterrânea e planta. A geoquímica ambiental é uma das ferramentas utilizadas para avaliar o efeito da mineração e do processamento de minerais no meio ambiente.

Geoquímica é o ramo da ciência geológica que estuda a química do planeta que utiliza as leis da química para entender os processos que governam a abundância e distribuição dos elementos nas diversas partes da Terra e nos corpos celestes (cosmoquímica), assim como nos diversos materiais que compõem o interior e a superfície da Terra: magmas, rochas, minerais, minérios, água, ar, etc. (CMPM).

O nível de degradação causado pela atividade de mineração pode ser mensurado nos diversos compartimentos do ecossistema como descrito a seguir:

a) Avaliação de solos baseado na distribuição de metais na superfície e subsuperfície

A comparação de dados de teor de metais na camada superficial e subsuperficial do solo fornece informações sobre os processos de enriquecimento ou de esgotamento entre as camadas do solo. A concentração mais elevada de elemento químico na camada subsuperficial do solo comparado com a sua concentração na camada superficial pode ser usado como um bom indicador da origem geogênica da contaminação, exemplos típicos para **Cr**, **Ni** e **V**. Em contraste, a concentração mais elevada de elemento químico na camada superficial comparado com a sua concentração da camada sub-superficial, indica contaminação de origem antrópica, exemplos típicos do **As**, **Co**, **Pb**, **Zn**, **Hg** e **S**.

Para avaliação da área contaminada, amostras compostas do solo, resultantes de 3-5 amostras simples devem ser coletadas de 10 – 20 m uma da outra utilizando trado ou coletando amostras em trincheiras. Alguns procedimentos a serem observados durante a amostragem:

- Antes da amostragem superficial (0 a 0,25 m), deverá ser removida a camada rica em resíduos orgânicos;

- A amostragem subsuperficial do solo devem ser coletadas em uma seção de 25 cm de espessura na profundidade entre 50 – 100 cm;
- A densidade de amostragem para levantamento local deve ser de 1 – 10 amostras por km²;
- A densidade de amostragem para a fase detalhada do levantamento deve ser de 10 - 100 amostras para km². As amostras coletadas devem ser secas ao ar, em papel ou plástico e peneiradas em malhas de nylon de 2 mm e recomenda-se homogeneizar a fração < 2mm(50 – 100g) em moinho de bolas de ágata até finura analítica (< 0,063mm).

Baseado nas concentrações de metais encontrados na área avaliada, determina-se o Coeficiente de Poluição Industrial (CIP), ou seja, soma das concentrações de metais selecionados na camada superficial do solo, dividido pela mediana da concentração dos metais na camada superficial do região.

$$CIP = \frac{\left(\frac{A_s}{m} + \frac{C_d}{m} + \frac{C_u}{m} + \frac{H_g}{m} + \frac{P_b}{m} + \frac{Z_n}{m} \right)}{6} \quad (1.1)$$

onde **m** é o valor da mediana da concentração do metal.

b) Avaliação de mostra sedimentos

A amostra composta de sedimento deve ser obtida a partir de subamostras retiradas de 5 pontos, coletados na profundidade de 0 – 25 cm, ao longo de 250 – 500 m. Alguns procedimentos a serem observados durante a amostragem:

- As amostras simples devem ser combinadas em uma amostra composta e tomado 1 kg de material;
- As amostras compostas podem ser peneiradas no local (peneiramento húmido) ou após secagem das amostras (peneiramento a seco) em laboratório;
- As peneiras devem ser de malha de nylon (0,15 mm) para evitar contaminação;
- Recomenda-se a utilização de 50 – 100 g de solo com granulometria < 0,15;

- A homogeneização da amostra pode ser obtida utilizando moinho de bolas de ágata até finura analítica.

Recomenda-se coletar amostras de água (para detalhes de amostragem, ver acima).

De acordo com a *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME), o grau de contaminação química dos sedimentos para arsênio (As) e metais pesados, com vistas à proteção da vida aquática, é classificado segundo os valores guias apresentados na Tabela 1.2 (CCME, 2001).

Tabela 1.2: Valores-guias estabelecidos pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment*.

| Variáveis | TEL | PEL |
|-----------|---------------------------|-------|
| | <i>mg kg⁻¹</i> | |
| Arsênio | 5,9 | 17 |
| Cádmio | 0,6 | 3,5 |
| Chumbo | 35 | 91,3 |
| Cobre | 35,7 | 197 |
| Cromo | 37,3 | 90 |
| Mercúrio | 0,17 | 0,486 |
| Níquel | 18 | 35,9* |
| Zinco | 123 | 315 |

*Critério do Environmet Canada (1995)

Os resultados obtidos de sedimentos e água devem ser comparados com a probabilidade de ocorrência de efeito deletério sobre a biota. O menor limite de presença de metais - TEL (*Threshold Effect Level*) – representa a concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos para os organismos. O maior limite – PEL (*Probable Effect Level*) representa o citado efeito biológicos adverso. Na faixa entre TEL e PEL, situam-se os valores onde ocasionalmente esperam-se tais efeitos.

c) Avaliação de água de córrego A amostragem de água de rio deve seguir os procedimentos abaixo:

- Para cada local, duas subamostras de água devem ser coletadas;
- Utilizar frascos de polietileno sem elementos de traço para armazenar a água coletada;
- Uma amostra controle, coletada a cada 20^a amostra, deve ser filtrada e preservada da mesma maneira que as amostras reais;

- As garrafas têm que estar cheias com água destilada e acidificada com 1,0 ml de HNO₃ concentrado superpuro utilizando um frasco contas gotas. A acidificação permite que o material seja avaliado até uma semana depois da campanha de amostragem;
- Para análise de aniões, deve-se utilizar água não filtrada enquanto para análise de catiões a amostra de água deve ser filtradas, utilizando filtros descartáveis de 0,45 mm acoplados em seringas.

Para análise de mercúrio (Hg), as subamostras podem ser completadas com água não filtrada, enquanto que para análise de carbono orgânico dissolvido (DOC) pode ser utilizado amostras de água filtrada.

As amostras de água devem ser analisadas para temperatura, condutividade elétrica (EC) e pH em campo, enquanto a alcalinidade deve ser determinada por titulação em laboratório.

d) Avaliação de águas subterrâneas

Antes da amostragem da água subterrânea, é importante remover a água estagnada do poço, seguindo dos procedimentos abaixo:

- A amostragem deve acontecer após estabilização da condutividade elétrica (EC) da água subterrânea;
- Recomenda-se a utilização de amostradores portáteis. Estes são de uso simples e relativamente fáceis de limpar;
- Recomenda-se enxaguar várias vezes o recipiente de coleta antes de recolher a amostra.

As amostras de águas subterrâneas devem ser processadas da mesma forma que as amostras de água de superfície (amostras de água não filtrado e amostras de água filtrada e acidificada). Os parâmetros: coordenadas geográficas, profundidade do poço (*m*), profundidade de amostragem (nível de água da superfície em metros), volume do poço cisterna (*m*³), pH, temperatura, condutividade elétrica, potencial de oxidação-redução (ou redox) e oxigênio dissolvido do poço amostrado devem ser registrados. A alcalinidade, total de sólidos dissolvidos, concentração de metais dissolvidos tem que ser determinada em laboratório. As amostras a serem transportadas para laboratório analítico devem ser mantida em caixa térmica em temperatura inferior a que foram amostradas.

e) Avaliação de plantas

Para avaliar o conteúdo de elementos químicos em plantas, recomenda-se amostrar especialmente produtos como alface (folhas), colza gigante (folhas), mandioca (folhas e tubérculos), batata doce (folhas e tubérculos), milho (grãos), arroz (grãos) e forragem (capim). As amostras devem ser colhidas de várias plantas da mesma espécie e do mesmo local.

Amostra foliar de arbustos e árvores devem ser colhidas no entorno de toda a circunferência da coroa. A quantidade de material vegetal a ser amostrado depende do tipo de análise química a ser feito. Para a digestão úmida, isto é, a decomposição de amostras de plantas numa mistura de ácidos, é necessário 1 – 5 g de amostra seca. Para a análises que é necessário queimar a amostra para produção de cinza de vegetação, é necessário de 15 – 30 g de tecidos seco.

As amostras de tecido de planta colhidas no campo devem ser espalhadas em peneira de nylon e lavadas várias vezes com água da torneira. As amostras de tubérculos ou bolbos devem ser descascadas antes da lavagem. O material em seguida deve ser seco em estufas de circulação, forçado a uma temperatura entre 55 e 65°C. O material deve ser triturado em moinho tipo willey. Recomenda-se homogeneizar amostras de plantas em moinho de bolas de ágata até granulometria analítica ($< 0,063 \text{ mm}$) antes de enviá-las para laboratórios analíticos.

1.5 Valores de referência

Os resultados dos níveis de contaminação de solos e águas subterrâneas são validados como prevenção ou investigação de acordo com a Resolução nº 420/2009 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) que “dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas”. Os valores orientadores podem ser observados no Quadro 1.1 e a Resolução na sua íntegra no site: (link externo)¹.

¹<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>

Quadro 1.1: Lista de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas.

| Substâncias | Solo (mg.kg-1 de peso seco) ^(a) | | | | | Água Subterrânea |
|--|--|-----------|----------------------------|-------------|------------|--------------------------|
| | Referência qualidade | Prevenção | Investigação | | | ($\mu\text{g.L}^{-1}$) |
| | | | Agrícola APM _{ax} | Residencial | Industrial | Investigação |
| Inorgânicos | | | | | | |
| Alumínio | E | - | - | - | - | 3500** |
| Antimônio | E | 2 | 5 | 10 | 25 | 5* |
| Arsênio | E | 15 | 35 | 55 | 150 | 10* |
| Bário | E | 150 | 300 | 500 | 750 | 700* |
| Boro | E | - | - | - | - | - |
| Cádmio | E | 1,3 | 3 | 8 | 20 | 5* |
| Chumbo | E | 72 | 180 | 300 | 900 | 10* |
| Cobalto | E | 25 | 35 | 65 | 90 | 70 |
| Cobre | E | 60 | 200 | 400 | 600 | 2.000* |
| Cromo | E | 75 | 150 | 300 | 400 | 50* |
| Ferro | E | - | - | - | - | 2.450** |
| Manganês | E | - | - | - | - | 400** |
| Merúrio | E | 0,5 | 12 | 36 | 70 | 1* |
| Molibdênio | E | 30 | 50 | 100 | 120 | 70 |
| Níquel | E | 30 | 70 | 100 | 130 | 20 |
| Nitrato (como N) | E | - | - | - | - | 10.000* |
| Prata | E | 2 | 25 | 50 | 100 | 50 |
| Selênio | E | 5 | - | - | - | 10* |
| Vanádio | E | - | - | - | 1000 | - |
| Zinco | E | 300 | 450 | 1.000 | 2.000 | 1.050** |
| Hidrocarbonetos aromáticos voláteis | | | | | | |
| Benzeno | na | 0,03 | 0,06 | 0,08 | 0,15 | 5* |
| Estireno | na | 0,2 | 15 | 35 | 80 | 20* |
| Etilbenzeno | na | 6,2 | 35 | 40 | 95 | 300** |
| Tolueno | na | 0,14 | 30 | 30 | 75 | 700** |
| Xilenos | na | 0,13 | 25 | 30 | 70 | 500** |
| Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos | | | | | | |
| Antraceno | na | 0,039 | - | - | - | - |
| Benzo(a) antraceno | na | 0,025 | 9 | 20 | 65 | 1,75 |
| Benzo(k) fluoranteno | na | 0,38 | - | - | - | - |
| Benzo(g,h,i)perileno | na | 0,57 | - | - | - | - |
| Benzo(a)pireno | na | 0,052 | 0,4 | 1,5 | 3,5 | 0,7* |
| Críseno | na | 8,1 | - | - | - | - |
| Dibenzo(a,h) antraceno | na | 0,08 | 0,15 | 0,6 | 1,3 | 0,18 |

^(a) Para comparação com valores orientadores, utilizar as recomendações dos métodos 3050b (exceto para o elemento mercúrio) ou 3051 da USEPA-SW-846 ou outro procedimento equivalente, para digestão ácida de amostras de solos na determinação das substâncias inorgânicas por técnicas espectrométricas.

E - a ser definido pelo Estado.

na - não se aplica para substâncias orgânicas.

(a) somatória para triclorobenzenos = $20\mu\text{g.L}^{-1}$.

(b) somatória para 1,2 dicloroetenos; = $50\mu\text{g.L}^{-1}$.

(c) somatória para DDT-DDD-DDE = $2\mu\text{g.L}^{-1}$.

(d) somatória para Aldrin e Dieldrin = $0,03\mu\text{g.L}^{-1}$.

* Padrões de potabilidade de substâncias químicas que representam risco à saúde definidos na Portaria no 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 2.1).

** Valores calculados com base em risco à saúde humana, de acordo com o escopo desta Resolução. Diferem dos padrões de aceitação para consumo humano definidos na Portaria no 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 5) e dos valores máximos permitidos para consumo humano definidos no Anexo I da Resolução CONAMA no 396/2008.



2. Capítulo

2.1 Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD

A avaliação inicial da área contaminada deve objetivar identificar os processos de degradação instaladas e os impactos ambientais decorrentes. Dependendo do grau ou estágio atingido pela degradação e da magnitude dos impactos, medidas imediatas e urgentes podem ser necessárias, tais como o isolamento da área degradada, a remoção das comunidades eventualmente ameaçadas, instalação de um sistema de sinalização e alerta na área, entre outros.

A Norma ABNT – NBR 13030 tem como objetivo de fixar diretrizes para elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pelas atividades de mineração, visando a obtenção de subsídios técnicos que possibilitem a manutenção e/ou melhoria da qualidade ambiental, independente da fase de instalação do projeto (ABNT, 1999). De acordo com a NBR 13030, na elaboração e apresentação do projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração, deve constar informações sobre os seguintes itens:

- Conformação topográfica e paisagística;
- Estabilidade, controle de erosão e drenagem;
- Adequação paisagística;
- Revegetação;
- Monitoramento;

- Cronograma Físico;
- Cronograma Financeiro.

Os titulares de concessões de lavra no Brasil são responsáveis pela realização da recuperação das áreas impactadas pelas atividades da mineração, de acordo com o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), previamente elaborado e aprovado pelo órgão governamental competente. Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) é o conjunto de medidas que visam garantir a segurança e a saúde pública, através do restabelecimento de equilíbrio dinâmico de áreas degradadas pelas ações humanas, de modo a retorná-las às condições desejáveis e necessárias à implantação de um uso pós-degradação previamente eleito e socialmente aceitável.

O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas é um requerimento do Decreto-Lei nº 7.632 de 10/04/1989, quando da apresentação do estudo de impacto ambiental - EIA e do Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. O PRAD também engloba a confecção do cronograma físico-financeiro da recuperação ambiental proposta, assim como a indicação do uso futuro pretendido. A legislação brasileira que protege o meio ambiente é extensa, Tabela (2.1).

Tabela 2.1: Legislação brasileira relacionados com a proteção ambiental.

| Período | Competência |
|-----------------------------|--|
| 10/04/1989 | Lei Nº 7.632: Projeto de Recuperação de áreas Degradadas, decreto |
| Constituição de 1988 | Todos tem o direito e dever de proteger o meio ambiente, pressupõe que deve sempre haver um compromisso recíproco entre o poder público, o empreendedor e o cidadão na busca pelo agora desenvolvimento sustentável; artigo 23: é competência comum dos Estados, Distrito Federal e Municípios para cuidar da saúde, proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas; artigo 129: é função do Ministério Público promover o inquérito civil e a ação pública, para a proteção do patrimônio público e social, do meio ambiente e de outros interesses difusos e coletivos. |
| 14/08/1975 | Lei Nº 1.413 dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. |

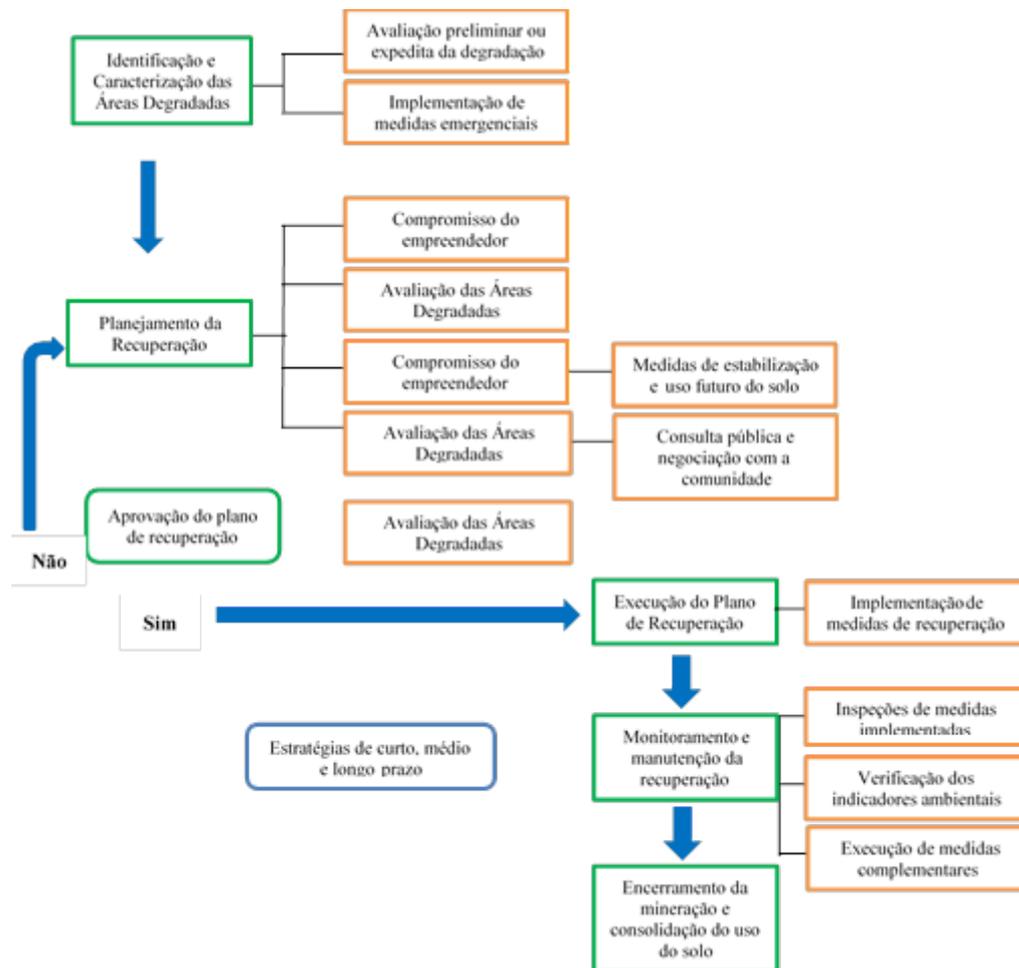
| | |
|-------------------|---|
| 15/10/1980 | Lei Nº 5.793 dispõe sobre a proteção e melhoria da qualidade ambiental e dá outras providências |
| 31/08/1981 | Lei Nº 6.938 dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação |
| 06/07/1982 | Portaria interministerial Nº 917 MME/MIC/MT/MINTER determina que todas as empresas de mineração devem apresentar á SEMA e ao DNPM projetos de tratamento de efluentes líquidos, transporte e disposição de rejeitos sólidos e de recuperação da área minerada, no prazo de 180 dias |
| 24/07/1985 | Lei Nº 7.347: disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, histórico, turístico e paisagístico. |
| 10/04/1989 | Decreto Nº 97.632: dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, Inciso VIII, da lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981, e dá outras providências, Art. 1º - Os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e do Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente um Plano de Recuperação de Área Degradada. |
| 14/04/1989 | Lei Nº 7.754: estabelece medidas para proteção das florestas estabelecidas nas nascentes dos rios e dá outras providências. Art. 1º, 2º. |
| 12/02/1998 | Lei No. 9.605: decreto regulamentador 3.179, de 12/09/1999 estabelece medidas penais em proteção ao meio ambiente. É a lei de crimes ambientais. |
| 18/07/2000 | Lei Nº 9.985: estabelece o sistema nacional de unidades de conservação, definindo os diversos tipos de áreas protegidas. |

Em princípio, as áreas ou recursos afetados pela mineração devem ser devolvidos a uma condição segura e produtiva por meio da reabilitação, o que pode ou não envolver o retorno às condições pré-mineração. A recuperação deve ser uma atividade contínua ao longo da vida da operação bem como após o fechamento da mina. O processo de recuperação de áreas degradadas requer um planejamento adequado, deve ser realizado paralelo ao processo de exploração da mina e consiste de diversas fases:

1. Avaliação quantitativa ou qualitativa do grau da degradação;
2. Avaliação da extensão da área na qual a alteração está ocorrendo;
3. Significado ecológico da degradação;
4. Esforços técnicos e econômicos necessários para recuperação;
5. Análise dos riscos à saúde e segurança das comunidades afetadas;
6. Uso do solo circunvizinhos.

As principais atividades que consolidam um plano de reabilitação ou recuperação de área degradada são sumarizados na Figura 2.1.

Figura 2.1: Atividades para o PRAD.



Fonte: Modificado de Praín/CAPES & UNESP/IGCE, 1999.

2.1.1 Identificação e caracterização da área de degradação

A identificação e caracterização da área degradada pela atividade de mineração envolve a mensuração de diversos parâmetros, os indicados a seguir:

1. **Mapeamento** – permite delinear a extensão das áreas sob degradação ambiental direta e indireta, utilizando técnicas como produção de mapas dimensionados, sensoriamento remoto e fotografias aéreas etc;
2. **Investigações geológicas e geotécnicas** - devem ser realizadas em campo e laboratório, buscando obter informações sobre os parâmetros essenciais para a restauração sustentável para os estratos susceptíveis que influenciam na restauração. Por exemplo, a toxicidade

do solo e a estabilidade dos despejos de resíduos que precisam ser investigados antes da recuperação ser realizada;

3. **Investigação meteorológica e climatológica** – permite avaliar a influência na poluição atmosférica e da água a partir de dados normalizados de temperatura, quantidade de chuva, humidade e padrões de vento, etc;
4. **Condições hidrológicas** - em um local incluem a quantidade, qualidade, movimento e armazenamento de água acima e abaixo da superfície. A hidrologia é determinada pelas características do clima, geologia, topografia, solo e vegetação. O clima fornece a entrada de água para o sistema hidrológico enquanto que os outros parâmetros determinam o movimento da água para dentro e através da superfície;
5. **Condições topográficas** - referem-se à configuração superficial de uma área descrita como rugosa, ondulada, suave ou lisa. A topografia em torno dos locais perturbados também influencia os planos e práticas de recuperação. A superfície reconstruída deve misturar-se com a paisagem não perturbada, de modo que os fluxos de matéria e energia atravessassem suavemente a superfície recuperada;
6. **Condições do solo** - incluem a capacidade de retenção de água do solo controlada pelos fatores combinados de textura, agregação, densidade aparente e sobre toda a profundidade. Influencia diretamente na produtividade da planta, potencial de lixiviação e reabastecimento de água subterrânea;
7. **Condição da vegetação** - particularmente a qualidade, quantidade e diversidade de vegetação em um local reflete toda a ambientação, além das atividades humanas passadas e presentes. A comunidade de plantas em uma área pode ser nativa e introduzida, espécies sensíveis e tolerantes, comuns e ameaçadas de extinção.

2.1.2 Planejamento da Recuperação

As atividades básicas no planejamento da recuperação geralmente incluem a definição dos objetivos, o estabelecimento do uso futuro da área e a elaboração de um plano de recuperação. Os objetivos para a recuperação podem ser vistos a partir de perspectivas teóricas e práticas.

Simplificando, um projeto de recuperação deve ter por objetivo produzir condições ambientalmente estáveis que, em última instância, integrem a área perturbada ao ecossistema geral. O plano de recuperação deve abordar a **reconstrução topográfica, projeto topográfico, substituição do substrato, revegetação e monitoramento e manutenção do local**.

Reconstrução topográfica: a maioria das paisagens naturais são compostas de bacias de drenagem que, por sua vez, consistem em declives de colinas e canais de riachos em um arranjo ordenado para transportar efetivamente água e sedimentos. Estes são perturbados durante a mineração. O caráter do equilíbrio pós-regeneração difere do equilíbrio pré-perturbação porque as propriedades geológicas e do solo não podem ser replicadas.

A importância da reconstrução topográfica não pode ser negligenciada porque as formações terrestres resultantes são a base sobre a qual outras práticas de recuperação são executadas e eventuais usos da terra ocorrem.

Projeto topográfico: deve ser baseado nas propriedades esperadas após a recuperação em vez de propriedades pré-perturbação. Cuidado também deve ser tomado para minimizar a erosão e escoamento onde a cobertura do solo é temporariamente removida. Medidas especiais de controle de inundação e de controle de sedimentos são necessárias para evitar danos. A importância da reconstrução topográfica não pode ser negligenciada porque as formações terrestres resultantes são a base sobre a qual outras práticas de recuperação são executadas e eventuais usos da terra ocorrem.

Substituição do solo superficial e reconstrução do solo: a revegetação das superfícies recuperadas requer um meio de crescimento adequado, ou seja apresente propriedades físicas, químicas e biológicas adequadas para sustentar o desenvolvimento da planta, embora o uso de materiais geológicos é muitas vezes inevitável.

Em geral, as camadas superficiais do solo apresentam teores mais elevados de matéria orgânica, atividade microbiana, nutrientes e banco de sementes que podem ser utilizados com grande vantagem na revegetação. A Estocagem e reutilização dessas camadas superficiais do solo facilitam o processo de recuperação da área degradada.

Quando rejeito ou material texturizado são revegetados sem o uso da camada superior do solo, o crescimento das plantas é limitado por estresse de umidade induzido pela presença de material

de textura grossa, o que limita a retenção de água e facilita a saída de água por evaporação, pela presença de sais, o que limita a capacidade das plantas absorverem água do solo (osmose-reversa) e elevado calor.

Dada a importância da camada superficial do solo, as seguintes técnicas de manejo devem ser observadas para que o material possa ser posteriormente utilizado no processo de recuperação:

- Remoção da camada superior solo antes de perfurar;
- O material removido deve ser plantado imediatamente, caso contrário, deve ser empilhado em uma determinada área;
- A camada da superfície do solo deve ser distribuído como em aterros para evitar a erosão;
- A área onde o solo superficial for distribuído deve ser estabilizado com gramas e arbusto para proteger do vento.

As definições e implementações de medidas de recuperação: revegetação (estabilização biológica), geotécnica (estabilização física) e remediação ou tratamento (estabilização química). Medidas especiais de controle de inundação e de controle de sedimentos são necessárias para evitar danos.

Revegetação: o objetivo da revegetação varia desde o simples controle da erosão até a restauração das comunidades nativas. As abordagens e protocolos utilizados, portanto, são específicos para cada região, local e uso da terra. O mais comum é que a revegetação vise o desenvolvimento de uma comunidade de plantas que se mantenha indefinidamente sem atenção ou ajuda artificial e favoreça a fauna nativa. Os melhores resultados da revegetação ocorre quando variáveis ecológicas, tais como: capacidade de estabilizar o solo; a matéria orgânica do solo: os nutrientes disponíveis no solo: e a capacidade de explorar água e nutrientes do subsolo são consideradas ao selecionar as espécies vegetais.

Nas fases iniciais de revegetação, são recomendadas gramíneas de crescimento rápido com ciclo de vida curto, leguminosas e forrageiras, além de buscar melhorar a nutrição e o índice de matéria orgânica no solo. A plantação de espécies mistas de importância econômica devem ser feitas após 2-3 anos de gramíneas em crescimento.

Estes parâmetros foram aplicados em uma área degradada pela mineração de cassiterita na Floresta Nacional do Jamari, RO (Tabela 2.2) em estudo realizado por Yada et al., (2015).

Tabela 2.2: Parâmetros aplicados de acordo com os níveis de recuperação de área degradada pela atividade da extração da cassiterita no Estado de Rondônia

| Nível de Recuperação ^(b) | Ação Aplicada | | | | | | |
|-------------------------------------|---|--|--|-------------------------------------|---|---|--------------------------------|
| | Recomposição topográfica; Preparo superficial; Calagem; | Preparo superficial; Adubação química; | Preparo superficial; Adubação química; | Plantio de mudas; Adubação química; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Enriquecimento e Monitoramento |
| 1 | Recomposição topográfica; Preparo superficial; Calagem; | Preparo superficial; Adubação química; | Preparo superficial; Adubação química; | Plantio de mudas; Adubação química; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Enriquecimento e Monitoramento |
| 2 | | Preparo superficial; Adubação química; | Preparo superficial; Adubação química; | Plantio de mudas; Adubação química; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Enriquecimento e Monitoramento |
| 3 | | Preparo superficial; Adubação química; | Preparo superficial; Adubação química; | Plantio de mudas; Adubação química; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Enriquecimento e Monitoramento |
| 4 | | Preparo superficial; Adubação química; | Preparo superficial; Adubação química; | Plantio de mudas; Adubação química; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Enriquecimento e Monitoramento |
| 5 | | Preparo superficial; Adubação química; | Preparo superficial; Adubação química; | Plantio de mudas; Adubação química; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Enriquecimento e Monitoramento |
| 6 | | Preparo superficial; Adubação química; | Preparo superficial; Adubação química; | Plantio de mudas; Adubação química; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Enriquecimento e Monitoramento |
| 7 | | Preparo superficial; Adubação química; | Preparo superficial; Adubação química; | Plantio de mudas; Adubação química; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Adubação química; Manutenção das mudas; | Enriquecimento e Monitoramento |

Fonte: Yada et al., 2015.

^(b) 1 = recomposição topográfica, preparo superficial, calagem, adubação química e adubação verde (um ano); 2 = preparo superficial, adubação química e adubação verde (dois anos); 3 = preparo superficial, adubação química e adubação verde (três anos); 4 = plantio de mudas, adubação química e adubação orgânica; 5 = adubação química, manutenção das mudas e replantio de mudas; 6 = adubação química, manutenção das mudas, replantio de mudas e enriquecimento; 7 = enriquecimento e monitoramento.

A Geotecnia Ambiental é hoje entendida como o ramo da Engenharia Geotécnica que trata da proteção ao meio ambiente contra impactos antrópicos (BOSCOV, 2008). Entre as aplicações da Geotecnia Ambiental, destaca-se neste trabalho o geoconfinamento, contenções hidráulicas, solidificação/estabilização, aplicação de oxidantes e barreiras reativas.

A solidificação/estabilização in situ é uma tecnologia que não decompõe os contaminantes, mas constitui um tratamento permanente que promove sua imobilização e encapsulamento. A solidificação caracteriza-se pela adição de agentes ligantes ao solo contaminado, promovendo sua imobilização e retenção em uma matriz sólida. A estabilização é caracterizada pela alteração do contaminante para um estado quimicamente imóvel (não lixiviável) (USEPA, 2009).

A remediação por oxidação química visa à destruição dos contaminantes por reações de oxidação avançada, promovendo sua mineralização a compostos estáveis e inócuos como gás carbônico e água. O sucesso do projeto está relacionado à forma de aplicação do oxidante, visto que para que aconteça a reação, o oxidante deve entrar em contato com o contaminante.

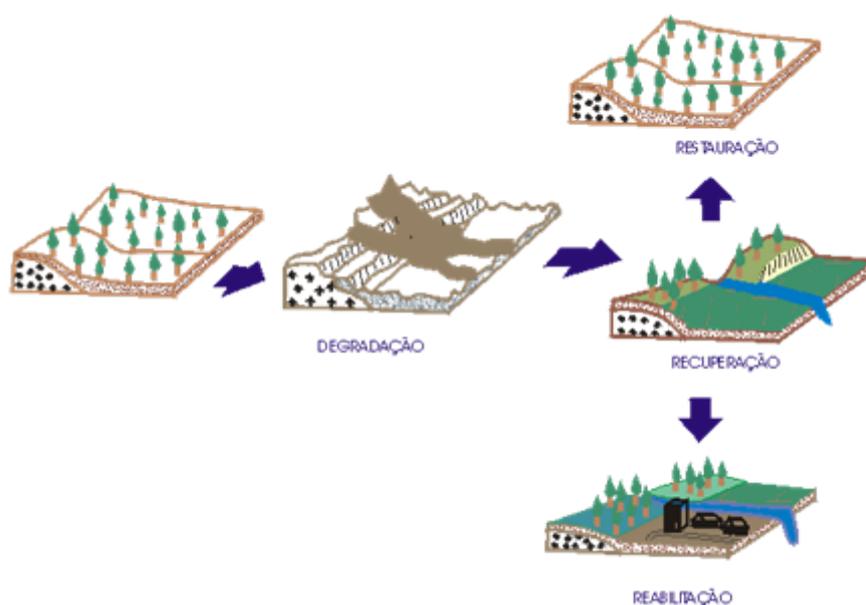
Em suma, a avaliação inicial deve identificar, os processos de degradação instalados e os impactos ambientais decorrentes. Dependendo do grau ou estágio atingido pela degradação e da magnitude dos impactos, medidas imediatas e urgentes podem ser necessárias, tais como o isolamento da área degradada, a remoção das comunidades eventualmente ameaçadas, a instalação de um sistema de sinalização e alerta na área, entre outros.

3. Capítulo

3.1 Recuperação de Áreas Degradadas

A degradação é um processo induzido pelo homem ou por acidente natural que diminui a capacidade produtiva atual e futura dos ecossistemas. Já a recuperação é a restituição de um ecossistema ou de um sítio degradado a uma forma de utilizável, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo. Pouco se tem feito para quantificar os impactos da mineração em ecossistemas em nível global. A falta de dados dificulta a compreensão da ameaça representada pela mineração.

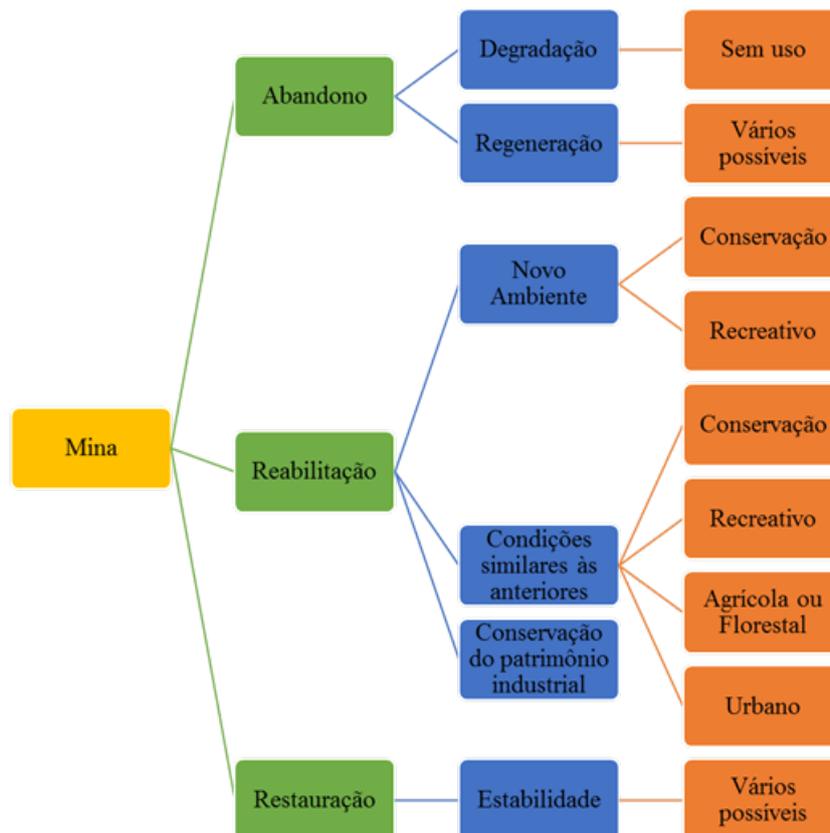
Figura 3.1: Relação entre os conceitos de degradação, restauração, recuperação e reabilitação.



Fonte: (Fornasari Filho & Amarantes, 1989).

Área ou ecossistema degradado apresenta como características a perda: da camada fértil a fauna e a flora nativa do solo; de órgãos ou partes que possibilitam a rebrota das espécies vegetais; e da qualidade e regime de vazão do sistema hídrico alterado. Estas condições de baixa resiliência resultam na perda de adaptação das plantas as características físicas, químicas e biológica dos solos degradados. Existem três formas distintas de recuperação de ambientes degradados, como indicado na Figura 3.1 e 3.2:

Figura 3.2: Estágios de recuperação das áreas degradadas e seus potenciais usos.



Fonte: Sánchez, 2005.

Restauração - Reprodução das condições exatas do local, tais como eram antes de serem alteradas pela intervenção.

Reabilitação - local alterado destinado a uma dada forma de uso de solo, de acordo com projeto prévio e em condições compatíveis com a ocupação circunvizinha, ou seja, trata-se de reaproveitar a área para outra finalidade.

Recuperação - o termo recuperação tem sido utilizado de forma genérico para se referir a restauração e reabilitação.

3.2 Tecnologias de Remediação

Remediação são tecnologias e ações que visam neutralizar, eliminar ou transformar substâncias que estão contaminando o ambiente (terra e água). Estas técnicas quando em prática podem minimizar os efeitos da contaminação, ou seja, dificilmente poderá recuperar a área (Bartenfelder, 1992). Os impactos ambientais das atividades de mineração têm refletido no incentivo das pesquisas na busca das melhores técnicas de remediação para recuperar tais áreas degradadas.

Estas tecnologias podem ser aplicadas *ex situ e in situ*. Na *ex situ*, são utilizadas técnicas que removem o solo do local para ser descontaminado. Após a descontaminação do solo, o mesmo reposto no local de origem; enquanto as tecnologias *in situ* são aplicadas na área contaminada.

As técnicas disponíveis para a remediação podem ser onerosas em alguns casos e demoradas. As principais técnicas são:

- A) **Escavação** - técnica *ex-situ* que envolve a remoção e disposição física de um solo contaminado em um aterro designado. Produz resultados rápidos de remediação. Muitas vezes cara devido a operação de transporte e da existência de aterro sanitário especiais (USEPA, 2002);
- B) **Lavagem do solo / Extração de ácido** – técnica *ex-situ*, baseada na suspensão ou dissolução do metal numa solução de lavagem à base de água;
- C) **Encapsulamento** – técnica *in-situ*, em que uma capa dura é colocada na superfície do solo contaminado. Este método é bastante simples, o que reduz a exposição do contaminante, no entanto, não remove contaminantes do solo (USEPA, 2002);
- D) **Solidificação** - técnica *in-situ*, em que o solo contaminado é misturado com estabilizantes, reduzindo a mobilidade. Como desvantagens, são relativamente caras;
- E) **Vitrificação** - técnica *in-situ*, em que o metal é quimicamente ligado dentro de uma matriz de silício-arsenatos;
- F) **Limpeza do solo** – técnica *in-situ*, onde utiliza água ou compostos orgânicos para mobilizar o metal no solo;
- G) **Fitorremediação / fitoextração**: técnica *in-situ*, que parte do princípio de que as plantas podem extrair metais pesados do solo e acumulá-los na biomassa acima do solo (McGrath et al. Al.,

2002). Tem atraído a atenção como um ambiente amigável.

A **fitorremediação** inclui qualquer método que utilize plantas para remover poluentes ou torná-los inofensivos, a níveis seguros para a saúde humana e qualidade ambiental (Andrade *et al.*, 2007), podendo ser aplicada em áreas com poluentes orgânicos ou inorgânicos. O sucesso da fitorremediação é dependente da seleção natural ou artificial das espécies em resposta ao estresse de alguns poluentes (Pires *et al.*, 2003). Dentro da fitorremediação, existem outras técnicas com o mesmo princípio do uso de plantas como a fitoextração, fitoestabilização, fitoimobilização, fitovolatização.

A fitoextração utiliza plantas capazes de extrair os poluentes para parte aérea, denominadas de hiperacumuladoras. São consideradas hiperacumuladoras plantas capazes de acumular mais de 100 mgkg^{-1} de Cd, 1000 mgkg^{-1} de Ni, 26 Pb e Cu, ou 10000 mgkg^{-1} de Zn e Mn por matéria seca (RASKIN *et al.*, 1994; MARQUES *et al.*, 2000). O sucesso da técnica depende de fatores como adequação do solo para crescimento de plantas, profundidade do sistema radicular da planta, nível de contaminação e urgência na recuperação da área.

Esta técnica necessita do conhecimento completo da fisiologia, bioquímica, captação das plantas empregadas. Após acúmulo do contaminante pela planta, as mesmas devem ser colhidas para evitar passivos ambientais ou eventual contato das partes contaminadas com o homem e a biota (MEJÍA *et al.*, 2014).

A **fitoestabilização** refere-se a utilização de plantas tolerantes para estabilização de solos poluídos, através da absorção e acumulação pelas raízes, e no uso de plantas e suas raízes para prevenir a migração do contaminante. Esta técnica pode evitar a erosão, reduzindo transportes aéreos e a lixiviação. Utilizados em áreas moderadamente a fortemente contaminadas e fornecem boa cobertura do solo. Espécies de plantas como *Haumaniastrum*, *Eragrostis*, *Ascolepis*, *Gladiolus* e *Alyssum* são utilizadas nesta técnica.

A **fitoimobilização** utiliza plantas para reduzir a mobilidade e biodisponibilidade de poluentes.

A **fitovolatização** ocorre por meio da ascensão e transpiração de poluentes como mercúrio (Hg), arsênio (As) e selênio (Se). As espécies são absorvidas pelas raízes, convertidas em formas não tóxicas e liberadas para a atmosfera.



4. Capítulo

4.1 Monitoramento de Áreas em Processo de Recuperação

4.1.1 Estratégias e ferramentas de monitoramento Para Avaliação de Recuperação Ecológica

Monitoramento ambiental é o processo de observação e de coleta de dados e, o acompanhamento contínuo e sistemático de variáveis ambientais, sociais, econômicas e institucionais em que se objetiva identificar qualitativa e quantitativamente as condições dos recursos naturais pontualmente. Assim como também a variação destes recursos ao longo do tempo resultante da implementação dos processos de remediação ou restauração (variações temporais).

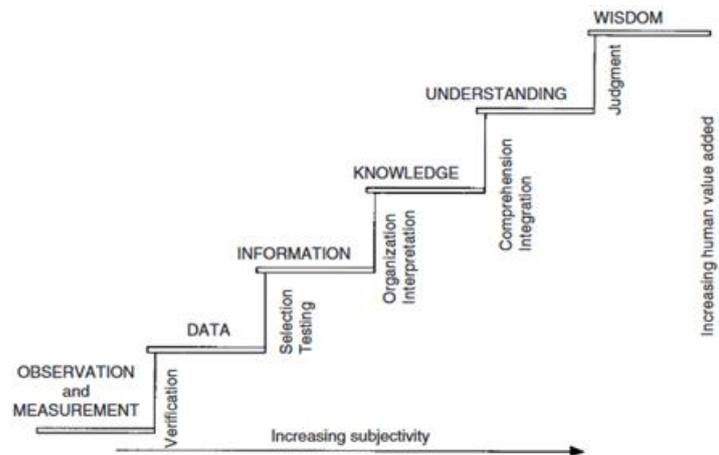
Os indicadores físicos e químicos são muito importantes no monitoramento avaliação do meio aquático. Entre os indicadores físico-químico de qualidade da água, estão temperatura, transparência (*cm*), turbidez (*mg/l*), pH, oxigênio dissolvido OD (*mg/l*), demanda bioquímica de oxigênio- DBO (*mg/l*), alcalinidade/acidez, dureza, nutrientes entre outros. Na água, os indicadores e parâmetros do meio bióticos da água inclui a densidade relativa das comunidades zooplânctônica e bentônica existentes no lago, determinada pelo número de indivíduos/*l* e pelo número de indivíduos/*m*, respectivamente (SHIMIZU *et al.*, 1995).

As variáveis de monitoramento, indicadores devem ser sensíveis o suficiente para detectar pequenas variações no sistema como resultado das práticas de remediação ou restauração e os dados devem ser colhidos baseados nos princípios estatísticos. Os dados obtidos através do processo de monitoramento possibilitam avaliar grau de sucesso dos esforços de remediação e restauração na recuperação ecológica do sistema. Como ferramenta, o monitoramento fornece informações sobre:

a **eficácia ecológica** da implementação do projeto de remediação e restauração; possibilita através de amostragem **identificar mudanças especiais e temporais da área contaminada**; identificar fontes de risco para os recursos naturais existente na área degradada; e caracterizar a linha base ou seja as características físico-químicas da ordem de solo, não contaminado, representativo da região e de ordem igual à do solo contaminado o qual serve como referência de comparação com o sítio degradado.

O papel do monitoramento ambiental é baseado no método científico, como representado nos primeiros três degraus da escada da Figura 4.1, de Artiola, et al., (1997). A observação produz dados de qualidade, os quais geram informações valiosas. As informações derivadas do conhecimento, leva ao aprimoramento do conhecimento do problema/situação, o que melhora a precisão do processo de tomada de decisão. Os dados obtidos do monitoramento devem ser registrados para possibilitar o acompanhamento da situação pela empresa, pelo Poder Público e para auditoria.

Figura 4.1: Escada do conhecimento baseado na observação, medida da compreensão do ambiente e a processo inteligente de tomada de decisão.



Fonte: Root, E.F, 1997.

As informações geradas pelo monitoramento ambiental podem ser usadas para definir a estratégia de manejo e preservação em longo prazo dos recursos naturais; proteger e preservar a vida humana, animal e vegetal; proteger os mananciais; a qualidade do ar urbana; – acompanhar as espécies ameaçadas e a biodiversidade.

Como ferramenta, o monitoramento fornece informações sobre: **a eficácia ecológica** da implementação do projeto de remediação e restauração; possibilita através de amostragem **identificar mudanças espaciais e temporais da área contaminada**; identificar fontes de risco para os recur-

solos naturais existente na área degradada; e caracterizar a linha base ou seja as características físico-químicas da ordem de solo, não contaminado, representativo da região e de ordem igual a do solo contaminado o qual serve como referência de comparação com o sítio degradado, Figura 2.

- **Monitoramento da implementação:** os dados coletados durante essa fase permitem responder a seguinte pergunta: “as medidas de remediação e restauração foram executadas de forma correta?”;
- **Monitoramento de eficiência:** os dados obtidos nessa fase permitem responder a pergunta: “as medidas implantadas alcançaram os objetivos desejados?”. As variáveis de monitoramento devem ser sensíveis o suficiente para detectar as variações no ambiente resultante das medidas de remediação ou restauração e devem ser coletadas dentro do princípio de validade estatística;
- **Monitoramento de validação:** este é nível de monitoramento é o mais demorado e mais caro, é realizado quando os resultados da remediação ou restauração não alcançaram os resultados desejados e precisam ser corrigidos. Um programa de monitoramento ideal inclui o uso de indicadores químicos, físicos e biológicos. Os indicadores biológicos têm sido vistos como indicado os mais sensíveis para produzir respostas integrada das condições ambientais, e, portanto, a compreensão do efeito de atividades de remediação e restauração na biota. Por isso, é um dos indicadores mais importante do monitoramento.

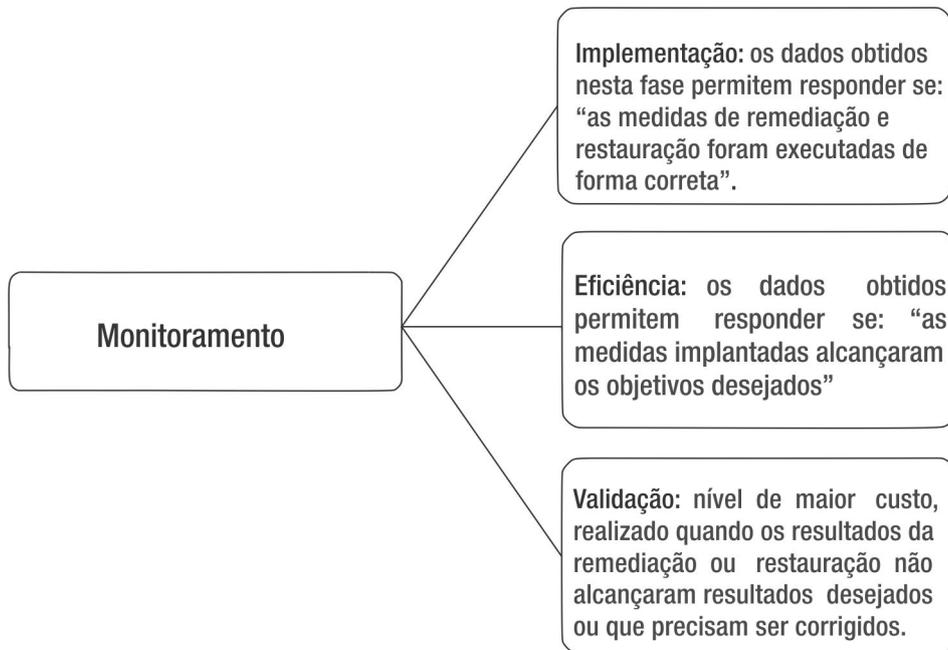
A avaliação preliminar de campo (“field screening”) de áreas contaminadas por resíduos ou rejeitos perigosos tem sido proposto o uso de técnicas de execução rápida e de baixo custo, suficientes para determinar apenas se certos contaminantes presentes ou ausentes e se estão dentro ou fora dos padrões preestabelecidos (COMPTON, 1992).

Durante o monitoramento devem ser observados:

1. A ocorrência de erosão durante e após a reabilitação da área, indicando medidas corretivas;
2. Observar a efetividade das ações propostas;
3. Manter um banco de dados para subsidiar a proposição de medidas corretivas.

Durante o monitoramento, as técnicas de remediação podem ser avaliadas objetivando verificar se a proposta foi atendida. Os efeitos das técnicas de recuperação de áreas degradadas devem ser monitorados das formas apresentadas na Figura 4.2.

Figura 4.2: Formas de monitoramento da recuperação ou reabilitação de áreas degradadas.





Referências Bibliográficas

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. Oficina de Textos, São Paulo, 176 p, 2007.

ANJOS, J. A. S. A.; SÁNCHEZ, L. E.; BERTOLINO, L. C. Remediação de áreas contaminadas: proposições para o sítio da Plumbum em Santo Amaro da Purificação - BA. In: **Projeto Santo Amaro - BA, aglutinando ideias, construindo soluções: diagnósticos**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. Cap.10, p.103-130.

BARTENFELDER, D. Stabilization: a strategy for RCRA corrective action. In: RCRA CORRECTIVE ACTION STABILIZATION TECHNOLOGIES. Proceedings. Washington: USEPA, 1992. p.1-9.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 248p.

FORNASARI FILHO, N.; AMARANTES, A. Relação entre os conceitos de degradação, restauração, recuperação e reabilitação com base em ABNT, 1989. In: BITAR, O. Y. et al. (1995). **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. Publicação ABGE/ IPT, série Meio Ambiente, Figura 1, p. 167.

MEJÍA, P. V. L.; ANDREOLI, F. N.; ANDREOLI, C. V.; SERRAT, B. M. Metodologia para Seleção de Técnica de Fitorremediação em Áreas Contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 31, p. 97-104, 2014.

PIRES, F. R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

USEPA, 2009. U.S. Environmental Protection Agency EPA/600/R-09/148 November 2009. Technology Performance Review: Selecting and Using Solidification/Stabilization Treatment for Site Remediation National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, OH 45268. Disponível em: <http://www.epa.gov/nrmrl>. Acesso em 29 maio 2017.

Yada, M. M.; Mingotte, F. L. C.; Melo, W. J.; Melo, G. P.; Longo, R. M.; Ribeiro, A. Í. Atributos Químicos e bioquímicos em solos Degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:714-724, 2015.

Dudka S.; Adriano, D.C. Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review. *Journal of Environmental Quality* 26: 590-602. 1997.

CCME. 1995. Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. CCME EPC-98E. Prepared by Environment Canada, Guidelines Division, Technical Secretariat of the CCME Task Group on Water Quality Guidelines, Ottawa. (Reprinted in Chapter 6 of the Canadian Environmental Quality Guidelines).

Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, DF: 2009.

ABNT (1999). Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. NBR 13030, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 5p.



Glossário

Afloramento: é a exposição de rocha ou minério na superfície do terreno.

Beneficiamento ou tratamento: processamento da substância mineral extraída, preparando-a com vistas à sua utilização industrial posterior.

Bens minerais abundantes: são os que, a julgar pelas reservas conhecidas, poderão, além de suprir as necessidades internas, ser exportados sem riscos para o abastecimento nacional a longo prazo.

Bens minerais carentes: são os que ainda não são conhecidos no território nacional, criando assim a necessidade de importação.

Bens minerais deficientes: são aqueles que ocorrem em quantidades insuficientes para satisfazer ao consumo interno previsível sendo, portanto, necessária sua importação.

Bens minerais suficientes: são os que possuem reservas que poderão suprir as necessidades do país a longo prazo, podendo até ser exportados em determinadas circunstâncias.

Biocomplexidade – interdependência dos elementos dentro de um sistema ambiental específico e a interação entre diferentes tipos de sistemas.

Bota-fora: local para deposição do estéril da mina e, às vezes, para o rejeito da usina de beneficiamento.

Caapeamento: Camada estéril que recobre a jazida mineral e que deve ser retirada para efeito de

extração do minério na lavra a céu aberto.

Concentrado ou minério concentrado: é o produto obtido após submeter o minério a um processo de beneficiamento.

Cristal: é a forma externa, geometricamente definida, da substância mineral.

Decapagem: remoção de uma camada mineral que recobre o minério.

Desmante hidráulico: desmante e desagregação do corpo mineral realizados pelo impacto de um jato d'água lançado por um monitor.

Diluição do minério: representada pelo fator de diluição, que caracteriza o percentual do estéril contido no material extraído.

Estéril: termo usado em geologia econômica para as substâncias minerais que não têm aproveitamento econômico.

Jazidas aluvionares: depósitos formados por sedimentos transportados pelas águas dos rios que os acumulam em bancos formando jazidas.

Jazidas minerais: Considera-se jazida toda massa individualizada de substância mineral ou fóssil, aflorando à superfície ou existente no interior da terra, em quantidades e teores que possibilitem seu aproveitamento em condições econômicas favoráveis.

Lavra ambiciosa: é aquela exercida de modo a dificultar ou impossibilitar o aproveitamento ulterior da mina.

Lavra clandestina: é aquela praticada sem título hábil (de concessão ou licenciamento/registro), que a autorize ou justifique.

Mediana: valor que separa a metade maior e a metade menor de uma amostra, uma população ou uma distribuição de probabilidade. Em termos mais simples, mediana pode ser o valor do meio de um conjunto de dados. No conjunto de dados 1, 3, 3, 6, 7, 8, 9, por exemplo, a mediana é 6. Se houver um número par de observações, não há um único valor do meio. Então, a mediana é definida como a média dos dois valores do meio. No conjunto de dados 3, 5, 7, 9, a mediana é $(5+7)/2 = 6$.

Mina concedida: é aquela cujo direito de lavra está consubstanciado em ato emanado do Governo Federal.

Mina manifestada: em lavra, ainda que transitoriamente suspensa a 16 de julho de 1934 e que tenha sido manifestada na conformidade do artigo 10 do Decreto 24.642 de 10 de julho de 1934 e da Lei nº 94 de 10 de setembro de 1935.

Mina: é a jazida mineral em fase da lavra, abrangendo a própria jazida e as instalações de extração, beneficiamento e apoio.

Mineração é um termo que abrange os processos, atividades e indústrias cujo objetivo é a extração de substâncias minerais a partir de depósitos ou massas minerais. inclui-se aqui a exploração de petróleo e gás natural e até mesmo água.

Minerais combustíveis: minerais que são utilizados como matérias-primas para a produção de metais.

Minerais metálicos: são aqueles que podem ser utilizados como matérias-primas para a produção de metais.

Minerais não-metálicos: são aqueles não utilizados para a obtenção dos metais, mas sim como matérias-primas para diversos setores da indústria.

Mineral: é toda substância natural formada por processos inorgânicos e que possui composição química definida. O mineral não significa somente matéria sólida, pois água e mercúrio em temperatura ambiente são líquidos.

Minério: mineral ou associação de minerais que pode, sob condições econômicas favoráveis ser utilizado como matéria prima para a extração de um ou mais metais.

Monitorar: olhar, observar ou verificar, tendo em vista um propósito determinado. Acompanhar, regular ou controlar a operação de um processo, máquina ou sistema.

Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD): documento que contém o planejamento e os procedimentos para a recuperação da área degradada.

Potencial efetivo: áreas e regiões onde existem reservas minerais em volume e qualidade que justifiquem economicamente a extração.

Potencial mineral: áreas e regiões nas quais ocorrem reservas minerais que indicam a possibilidade de sua exploração.

Potencial restrito: áreas e regiões nas quais os depósitos minerais ocorrem em pequenas quanti-

dades e/ou baixos teores não se justificando, economicamente, o seu aproveitamento.

Plano de Recuperação de Áreas Degradadas: documento que contém o planejamento e os procedimentos para a recuperação da área degradada.

Reabilitação do solo: forma de recuperação do solo em que uma área perturbada é adequada a um uso determinado e novo ou àquele de antes da perturbação.

Recuperação: retornar o local degradado a condições ambientais próximas às que eram vistas antes da degradação.

Remediação: tecnologia e ações que visam a neutralizar, eliminar ou transformar substâncias que estão contaminando o ambiente (terra e água).

Reabilitação: tornar a área reocupada, ou seja, depois de remediada a área é utilizada para nova atividade. Recuperação da reserva: relação entre a reserva de minério que pode ser extraída e a sua reserva total conhecida.

Recuperação do solo: processo de manejo do solo no qual são criadas condições para que uma área perturbada ou mesmo natural, seja adequada a novos usos.

Rejeito: rochas ou minerais inaproveitáveis presentes no minério e que são separadas deste, total ou parcialmente, durante o beneficiamento.

Reservas indicadas: é a tonelagem e o teor do minério computados parcialmente, a partir de medidas e amostras específicas ou de dados de produção, e, parcialmente, por extrapolação até distância razoável com base em evidências geológicas.

Reservas inferidas: corresponde à estimativa feita com base no conhecimento dos caracteres geológicos do depósito mineral, havendo pouco ou nenhum trabalho de pesquisa.

Reservas medidas: tonelagem de minério computada pelas dimensões reveladas em afloramentos, trincheiras, galerias, trabalhos subterrâneos e sondagens na qual o teor é determinado pelos resultados de amostragem pormenorizada. A tonelagem e o teor não devem apresentar uma variação superior ou inferior a 20% da quantidade verdadeira.

Restauração: “Restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original.” (Lei nº 9.985/2000, SNUC).

Risco atuarial: é a probabilidade de um risco que ocorra multiplicado pelas suas conseqüências.

Como os dados são limitados é difícil avaliar riscos atuariais em relação à mineração em nível global.

Risco: é a probabilidade de ocorrência de um risco. Ex. probabilidade de que um terremoto de uma dada magnitude ocorra em um determinado período de tempo.

Riscos naturais: são eventos, como terremotos ou inundações que podem causar ou exacerbar problemas relacionados a minas.

Rocha fresca: é aquela em que os elementos originais ou primitivos não sofreram transformações motivadas pelo intemperismo.

Rocha: é um agregado de uma ou mais espécies de minerais constituindo unidades definidas da crosta terrestre. Rocha simples é aquela constituída de um único mineral; rocha composta é a constituída de vários minerais como granito, composto basicamente de quartzo, feldspato e mica e outros minerais secundários.

Superficial: é o proprietário do terreno, excluído o bem mineral que porventura nele exista.

Vulnerabilidade: é a probabilidade de destruição ou degradação decorrentes de um perigo natural ou ambiental, como destruição de um ecossistema intacto ou poluição do Sistema aquático

MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO



ISBN 978-855971037-3



9

788559

710373