



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



**IGOR ALVARENGA ARAÚJO**

**ALTERNATIVAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE CAVAS DE MINA: UMA  
REVISÃO DE LITERATURA**

**OURO PRETO / MG**

**2017**

IGOR ALVARENGA ARAÚJO

ALTERNATIVAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE CAVAS DE MINA: UMA  
REVISÃO DE LITERATURA

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

OURO PRETO – MG

2017

A663a Araujo, Igor Alvarenga.  
Alternativas de recuperação ambiental de cavas de mina [manuscrito]: uma  
revisão de literatura / Igor Alvarenga Araujo. - 2017.

36f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de  
Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Minas e mineração. 2. Mina a céu aberto - Cava . 3. Meio ambiente . 4. .  
I. Lima, Hernani Mota de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622:502.1



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

## ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

Aos 11 dias do mês de maio de 2017, às 14:00 horas, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa da monografia de final de curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, pelo aluno **Igor Alvarenga Araújo**, intitulado: “**ALTERNATIVAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE CAVAS DE MINA: Uma Revisão de Literatura**”, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof. Dr. Hernani Mota de Lima** (orientador), **Prof. Dr. Wilson Trigueiro de Sousa** e **Engº de Minas Elder Lucas Sant’Anna Ferreira Ribeiro**.

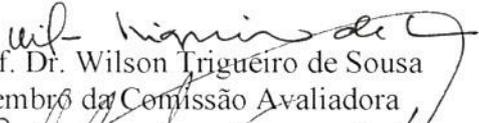
Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela *aprovação*..... do candidato, com a nota *8,0* concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

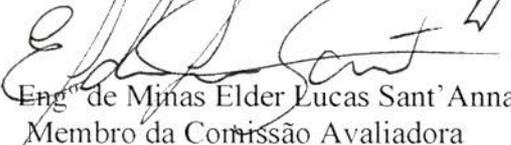
O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pela discente.

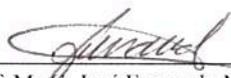
Ouro Preto, 11 de maio de 2017.

  
Prof. Dr. Hernani Mota de Lima  
Presidente da Comissão Avaliadora e Professor Orientador

  
Prof. Dr. Wilson Trigueiro de Sousa  
Membro da Comissão Avaliadora

  
Engº de Minas Elder Lucas Sant’Anna Ferreira Ribeiro  
Membro da Comissão Avaliadora

  
Igor Alvarenga Araújo

  
Prof. MsC. José Fernando Miranda  
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

*A Deus,  
e a minha família.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Escola de Minas por me proporcionar um estudo e vivência que com certeza serão de muita importância para o meu futuro no mercado de trabalho.

A todos os professores do DEMIN que tive o prazer de ser aluno, em especial ao Prof. Dr. Hernani Mota de Lima, meu orientador.

Quero também agradecer a todos meus amigos de Ouro Preto e aos irmãos e futuros colegas de profissão da República Quinta Negra onde pude aprender muito e crescer como pessoa.

“A menos que modifiquemos nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

*Albert Einstein*

## RESUMO

ARAÚJO, Igor Alvarenga. **Alternativas de recuperação ambiental de cavas de mina: uma revisão de literatura**. 2017. 36 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto.

A mineração é indispensável para o desenvolvimento de um país, porém é preciso mitigar os danos ambientais causados por essa atividade. Esse estudo teve como objetivo geral, por meio de uma revisão de literatura, investigar de que maneira as áreas degradadas por cavas de mineração podem ser recuperadas, avaliar as causas da desativação de minas e analisar os tipos de soluções usadas para recuperar as cavas. Constatou-se que diversas técnicas podem ser usadas em uma cava de mina após a mineração, podendo ser citados os depósitos de estéreis e lagos artificiais. No entanto, para se utilizar uma dessas técnicas, deve-se planejar antes mesmo de começar os trabalhos de mineração. Geralmente uma mina atinge o ponto de desativação quando já foi extraído todo o minério que a jazida poderia oferecer segundo as características econômicas no presente momento. Vale destacar que a apropriada desativação atende a legislação que rege a atividade minerária e leva em conta diversas etapas. Por fim, todas as cavas usadas na mineração devem ser monitoradas por um período de tempo, independente do tipo de solução selecionada para o local. Esse monitoramento sofre variações conforme o local e o tipo de mineral que foi minerado.

Palavras-chave: Mineração. Cava. Depósito de estéreis. Lagos artificiais. Desativação.

## ABSTRACT

ARAÚJO, Igor Alvarenga. **Alternativas de recuperação ambiental de cavas de mina: uma revisão de literatura**. 2017. 36 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto.

Mining is indispensable for the development of a country, but it is necessary to mitigate the environmental damages caused by this activity. The aim of this study was to investigate how degraded areas of mining can be reclaimed, to evaluate the causes of mine closure and to analyze the types of solutions used to recover the pit. It has been found that several techniques can be used in a mine pit after mining, and the deposits of waste rock and artificial lakes can be mentioned. However, to use one of these techniques, one must plan before even beginning the mining work. Usually a mine reaches the point of closure when all the material that the site could offer according to the economic characteristics of the present moment has been extracted. It is worth mentioning that the appropriate closure complies with the legislation that governs the mining activity and takes into account several stages. Finally, all digging used in mining should be monitored for a period of time, regardless of the type of solution selected for the site. This monitoring varies depending on the location and type of ore being mined

Keywords: Mining. Open pit. Waste rock dumps. Pit lakes. Mine closure.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das fases da mineração e desativação de mina .....	15
Figura 2 - Mina de cobre Island Cooper.....	18
Figura 3 – Extração de argila.....	24
Figura 4 - Cava final.....	25
Figura 5 - Lago de Águas Claras em formação .....	29
Figura 6 - Evolução do nível de água durante a formação do lago .....	30

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANM	Agência Nacional de Mineração
CNPM	Conselho Nacional de Política Mineral
DNPM	Departamento Nacional de Produção Ambiental
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
NR	Normas Reguladoras

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivo Geral .....	11
1.2 Objetivos Específicos .....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
2.1 A mineração e os impactos no meio ambiente .....	12
2.2 Fechamento de mina.....	13
2.3 Evolução da legislação mineraria.....	20
2.4 Soluções para cavas de minas desativadas .....	22
2.4.1 Depósitos de estéril.....	23
2.4.2 Constituição de lagos de mineração .....	26
3 IMPORTÂNCIA DA REVISÃO DE LITERATURA.....	31
4 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS .....	33

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração é considerada como um segmento essencial para a economia, já que alimenta esferas essenciais do país como a agricultura, a construção civil e as indústrias cerâmicas e cimenteira. Porém essa atividade causa significativos impactos no meio ambiente e a regeneração da vegetação natural é morosa em razão de um solo apropriado (GONZALO *et al.*, 2015).

Recuperar uma área degradada, pela mineração, pode ser conceituada como o “conjunto de ações necessárias para que a área volte a estar apta para algum uso produtivo em condições de equilíbrio ambiental”. A área somente poderá novamente ser usada quando revelar aspectos estáveis físicos (processos erosivos, movimentos de terrenos) e estabilidade química (a região poderá se submeter a reações químicas que venham a produzir compostos que causem danos à saúde humana e ao ecossistema, como, drenagens ácidas de pilhas de estéril ou rejeitos a base de sulfetos). Em alguns casos, depois de ser utilizada para mineração, poderão ser somadas condições de preservação ambiental ao local. Na mineração torna-se fundamental um planejamento bem elaborado que leve em conta a fauna, flora e solo, os quais devem se encontrar em perfeita harmonia e em circunstâncias de sustentabilidade (BRUM, 2000).

Dados cartográficos relativos às características geotécnicas dos terrenos permitem identificar problemas de erosão e subsidência, por exemplo, favorecendo no controle da cava e em um constante monitoramento do que pode ocorrer ao longo e após o processo de mineração.

Conforme Oliveira Jr. (2001), minerar é garantir, de forma econômica, que o ambiente sofra pequenas perturbações, bem como a devida percepção do conceito de preservação mineral a serviço do social.

Sendo assim, desde sua elaboração, a empresa mineradora deverá considerar diversos aspectos que possam provocar algum tipo de impacto conforme a realidade de seu empreendimento.

Nesta perspectiva, existem inúmeros projetos mineiros com planos de redução dos impactos ambientais, o que leva a crer que as regiões degradadas devem ser foco de recuperação, incluindo áreas lavradas, como cavas (secas e inundadas), frentes de lavras, trincheiras, entre outros. Além do mais, deve ser considerada a disposição final dos resíduos sólidos. Justificou-se esse trabalho em razão dos danos causados ao ambiente pela mineração e, muitas vezes, a falta de planejamento de recuperação das áreas que são usadas para extrair o minério.

### **1.1 Objetivo Geral**

Apresentar opções e determinar qual a mais indicada para preencher cavas de mina a céu aberto.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar as causas da desativação de minas e o destino final de estéreis e rejeitos;
- Analisar as soluções utilizadas no fechamento das minas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 A mineração e os impactos no meio ambiente**

Desde os tempos mais antigos a mineração integra a vida humana, deixando efeitos na superfície terrestre. Entretanto, esta prática ganhou força com a Revolução Industrial, mediante a exploração em grandes quantidades de carvão, ferro, chumbo, ouro, manganês, zinco e níquel. Apesar da degradação provocada no meio ambiente ser menor nesse segmento que algumas outras áreas como a agricultura ou exploração de madeira, por exemplo, novos procedimentos vêm sendo estudados procurando harmonizar mineração e ecossistema (CUNHA, 2007).

Mesmo assim, a mineração provoca danos na vegetação ou não permite o seu restabelecimento no término da atividade. Várias vezes, o solo superficial mais fértil é retirado, deixando os solos profundos expostos, podendo causar erosão. Isso pode interferir também na qualidade das águas dos rios e reservatórios da mesma bacia, na vazante do empreendimento, devido às condições do material fino suspenso que é produzido, bem como pela poluição pelas substâncias presentes nos efluentes do processo mineração, transporte e tratamento, como, por exemplo, óleos, graxa, metais pesados, sendo que estes últimos podem também alcançar até mesmo as águas subterrâneas (MECHI e SANCHES, 2010).

O direcionamento das águas e dos aquíferos pode ser mudado a partir do momento em que se utilizam esses recursos na lavra (desmonte hidráulico) e no beneficiamento, bem como pode provocar que o lençol freático seja rebaixado, trazendo falta de estabilidade para suas margens, suprimindo as matas ciliares. Constantemente, a mineração causa a poluição do ar, por transporte de partículas lançadas no processo da lavra, na etapa de beneficiamento, ou por gases derivados da queima de combustível. Ruídos, sobrepressão acústica e vibrações no solo provocadas pela atuação de equipamentos e explosões são outros danos sofridos pelo meio ambiente por causa da mineração (MECHI e SANCHES, 2010).

A cava pode ser conceituada como o efeito da exploração da mina, a qual não apresenta nenhum tipo de vegetação e, geralmente, não tem um destino definido. Trata-se de um local que requer ser reutilizado ou então devidamente monitorado para que não cause futuros problemas ambientais. Diversas são as soluções para resolver tal questão, tais como: utilizar material que não tem valor econômico (material estéril), para preencher a cava ou ainda preencher o local com água, transformando-o em um lago artificial (REIS, 2011).

## 2.2 Fechamento de mina

Autores, tais como Reis e Barreto (2001) e Oliveira Júnior (2001) adotaram o termo desativação de mina, ao invés de fechamento de mina, qualificando essa atividade como uma das etapas da mineração composta por fases como o descomissionamento, a reabilitação, a preservação e controle pós-fechamento.

Desativar uma mina requer um estudo quanto às possibilidades de funcionamento ou não. O cuidado com esse fechamento deve ter início desde o princípio das atividades de mineração. Dessa maneira, o planejamento poderá ser executado diariamente, levando em conta a preservação e recuperação do meio ambiente das áreas lavradas depois de sua desativação.

Sassoon (2000) ressalta que:

A reabilitação de uma mina deve ser progressiva para que, se possível, a proporção de recuperação seja similar à proporção do avanço dos trabalhos mineiros. Mineração é um uso temporário do solo e deve ser integrada com, ou seguida por outras formas de uso do solo, quando possível.

Nesse sentido, Reis e Barreto (2001) atentam para que:

A desativação de empreendimento mineiro deverá ser encarada como mais uma fase ou etapa de empreendimento mineral. Isto já ocorre em alguns países, particularmente os países do Norte da América e da Europa com tradição mineral. Já nos países da América Latina nem sempre existe esta concepção, que muitas vezes é confundida com uma simples recuperação ambiental da área.

Considerando essa linha de pensamento, Oliveira Júnior (2001) elaborou um fluxograma (Figura 1) englobando sinteticamente as etapas principais da mineração e desativação de

mina, esclarecendo a possibilidade de unir recuperação da área ambiental lavrada (fase I) e a desativação de mina (fase II). As fases da mineração e desativação não se separam, porém são fragmentadas em duas etapas de desativação com o objetivo de facilitar os estudos sobre essa questão.

A primeira fase é conhecida como Pré-Desativação, considerada como etapa de preparação e começo da implantação do planejamento de desativação de mina. Seu desenvolvimento ocorre ao mesmo tempo em que as demais atividades de mina (lavra e beneficiamento), nas quais aspectos ambientais como cavas, montes de estéril, bacias ou barragens, entre outros, são criados, requerendo meios para preservar e controlar o ambiente. Estes meios procuram reduzir os aspectos ambientais para que estes possam ser recuperados depois da desativação da mina. O planejamento nesta etapa é de suma importância, e acontece até que cessem as atividades de mineração (OLIVEIRA JÚNIOR, 2001).

Nesta etapa são elaborados os planos para que a mina seja desativada futuramente, levando em conta aspectos e relevâncias do projeto, possibilidades de fechamento, despesas, mais prováveis tipos de fechamento, perspectivas da utilização das terras e o cronograma.

Um cuidado especial deve ser voltado para os métodos auxiliares que integram planejamento de desativação e recuperação de locais que sofreram degradação (SÁNCHEZ, 2001).

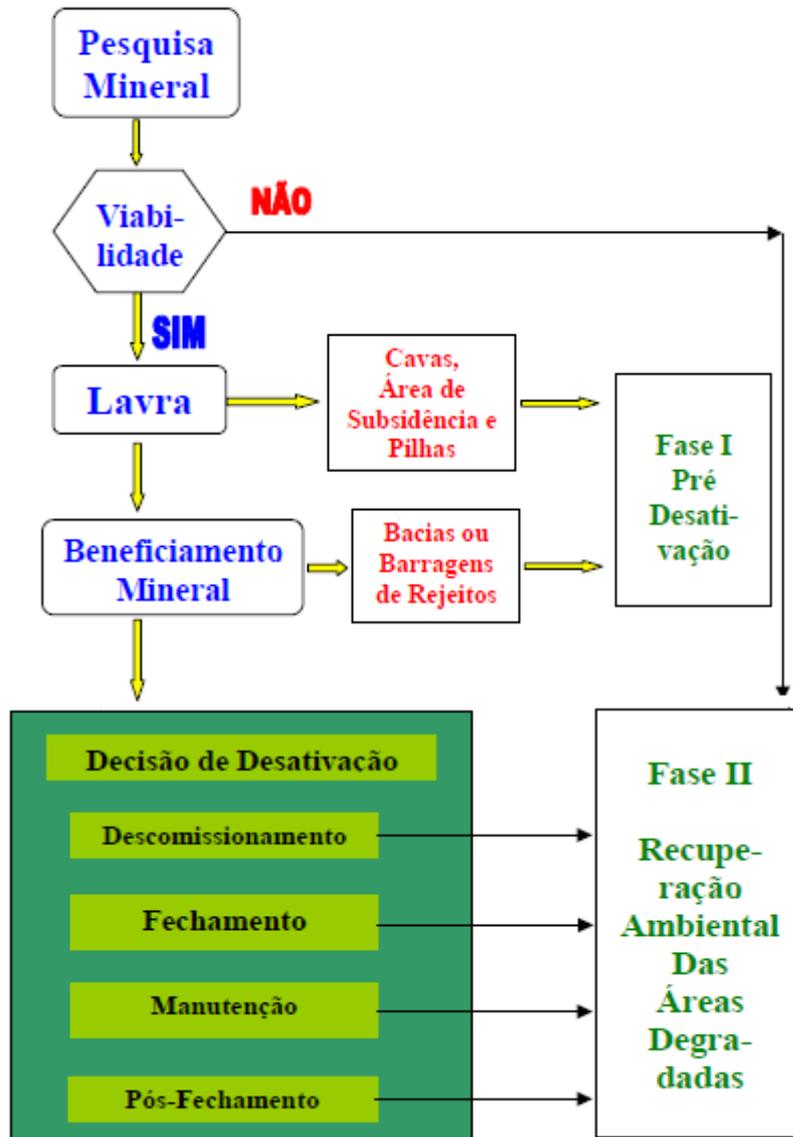


Figura 1 – Fluxograma das fases da mineração e desativação de mina (OLIVEIRA JÚNIOR, 2001)

Oliveira Júnior (2001) ressalta que o gerenciamento ambiental favorece o constante e ordenado monitoramento das unidades da mina, no qual serão avaliados:

1) Controle ambiental:

- Do ar – aferição da difusão de gases e partículas;
- Da água superficial e subterrânea – controle do pH, odor, turbidez, metais pesados, cianetos, arsênio, entre outros;

- Do solo – investigação das áreas onde se encontram o carregamento e o depósito de elementos químicos, bem como óleos combustíveis e lubrificantes;
- Do clima – visando conhecimento e monitoramento das circunstâncias meteorológicas e para favorecer positivamente as atividades na mina.

#### 2) Procedimentos de distribuição de estéreis e rejeitos:

- Seleção da área para a distribuição – pesquisas geotécnicas, entre outras;
- Impermeabilização da área usando uma base de areia com 10 a 15 cm de densidade e mantas de PVC com 0,8 a 1,2 mm para impedir a difusão de cianeto;
- Furos de sonda no refluxo das pilhas de minério eliminado e das bacias ou barragens de rejeitos, para verificar a água da sub-superfície, e associado a estes furos, poços para análise são também criados local com a finalidade de identificar prováveis vazamentos.

#### 3) Inutilização do minério eliminado lixiviado e efluentes líquidos:

“Apesar de ocorrer à degradação natural do cianeto, em períodos de três meses, através da ação de raios solares (fotodecomposição), acidificação pelo gás carbônico contido na atmosfera, oxidação, diluição e ação biológica (bactérias, algas e fungos)” (NEGRÃO, 1996). Em montes de minério lixiviado é preciso que seja empregada à neutralização por meio da junção de hipoclorito de sódio ou cálcio. A partir daí estes montes poderão ser depositados em outra área. Observa-se um padrão especial nas bacias ou barragens de rejeitos para que seus efluentes possam ser neutralizados, usando a produção de depósitos emergenciais para impedir a vazão de efluentes em épocas em que as precipitações pluviométricas excedem a média do local. Os efluentes em demasia são neutralizados dentro deste depósito devido à inclusão de hipoclorito de sódio ou cálcio.

#### 4) Tratamento de efluentes derivados da limpeza de transportes e ferramentas:

São recolhidos e depositados em tambores ou em separadores de água e óleo. Este último é comercializado para ser reciclado.

### 5) Recuperação de locais degradados:

Esta recuperação estará sujeita ao tempo de lavra e dos locais onde os estéreis e rejeitos forem depositados na mina. Normalmente nesta primeira etapa (fase I) realiza-se a recuperação dos montes de estéril, de minério lixiviado e as pequenas cavas. As outras regiões recebem tratamento na fase II, depois que a mina é desativada.

Empregar padrões para uma apropriada administração ambiental de uma mina, como descrito acima, é circunstância fundamental para assegurar o êxito da desativação. A fase II considera a recuperação ambiental das áreas mineradas que não receberam tratamento na primeira etapa, além de preparar para que a terra possa ser novamente utilizada. Essa fase é um complemento da primeira e começa logo depois de estabelecida a desativação da mina. Engloba o descomissionamento, fechamento, manutenção e pós-fechamento.

Para Tonidandel et al (2012), os empreendimentos do segmento mineral atuam por um período determinado e, depois deste tempo, inúmeras instalações são desprezadas, não havendo o descomissionamento ou a recuperação das áreas degradadas, devido aos altos custos que este processo requer, além da carência de concepções legais que regulamentem a etapa de desativação dos empreendimentos do segmento.

Oliveira Júnior (2001) define o descomissionamento como uma etapa entre a total desativação das atividades mineiras, estabelecidas antecipadamente, e a introdução de ações buscando uma adequada desativação. Entre as práticas encontram-se a retirada da infraestrutura, a produção de elementos que favoreçam a desativação e o desenvolvimento que tenha como finalidade o melhor emprego do solo. Este processo deve ser elaborado com antecedência e é composto por:

- Interrupção da aquisição de matéria-prima;
- Dispensa de mão de obra;
- Paralisação das atividades de lavra e beneficiamento;
- Seleção dos locais que serão controlados e o tempo para tanto;
- Suspensão dos montes de estéril e bacias ou barragens de rejeitos;
- Paralisação dos montes de lixiviação;

- Suspensão das infraestruturas;
- Determinação de um tempo para conseguir licenças e autorizações ambientais.

O fechamento de mina, conforme Camelo (2006) apenas ganhou ênfase nos anos 80, devido aos danos ambientais causados pela falta de realização de descomissionamento. Quase no mundo todo, a atribuição dos Códigos de Minas até esse período se restringia a regulamentar os diversos processos de exploração de recursos minerais, determinar os métodos administrativos, impor direitos e deveres dos mineradores.

A manutenção é a etapa na qual é desenvolvido o controle da recuperação, águas superficiais e subterrâneas, equilíbrio químico e físico, qualidade do ar, manutenção ambiental e biológica. Os efeitos do controle revelarão se os objetivos desejados foram alcançados (MCHAINA, 2000).

O tempo que o monitoramento irá durar dependerá do empreendimento. Exemplos a serem citados são as minas de urânio da Rio *Algom Limited*, situadas no Canadá, com previsão para serem monitoradas por 20 a 100 anos (PAYNE, 2000) e a mina de cobre de *Island Copper* (Figura 2), também no Canadá teve sua estimativa menor, apenas cinco anos (WELCHMAN e ASPINALL, 2000).



Figura 2 - Mina de cobre Island Copper (<https://pt.dreamstime.com/>)

Conforme Oliveira Júnior (2001), essa fase constitui-se de:

- Fiscalização das águas superficiais e subterrâneas, do solo, da qualidade do ar e circunstâncias geotécnicas;
- Preservação passiva: controles aleatórios, manutenções esporádicas de estrutura, entre outros;
- Preservação ativa: realização e manutenção do plano de tratamento de água, esquemas de controle para as bases físicas, químicas, biológicas e qualidade do meio ambiente, criação de planejamento constante de administração das bases, e reavaliação das divisas de preservação por um tempo mais extenso.

De acordo com o IBRAM (BRASIL, 2013), no pós-fechamento são realizadas atividades como monitoramento, preservação do local, investigação e programas sociais, com a finalidade de alcançar os propósitos de desativação. São dois os contextos do pós-fechamento:

- Atenção constante: quando se deseja que a empresa realize práticas necessárias para alcançar os objetivos de fechamento que podem durar por um longo período de tempo, sendo a circunstância mais comum os processos de tratamento de águas ácidas derivadas de pilhas, barragens e lagos de cavas. Esta situação é denominada como “cuidado ativo”.
- Atenção temporária ou provisória: quando é preciso apenas investigação, controle ambiental e geotécnico, reparos nos processos de drenagem, de preservação do local revegetado e outros. Esses procedimentos podem ser realizados no decorrer da fase pós-fechamento, demanda um pequeno número de visitas ao local ou constante avaliação. Os processos denominados como “tratamento passivo” também são conhecidos como “cuidado passivo”, assim como no monitoramento de drenagem ácida e outros meios que visem reparar áreas contaminadas.

Nessa fase deve-se atentar para as estruturas que ficarão na área, tais como barragens de água usadas nas atividades da mina e as bacias de rejeitos. Torna-se necessário avaliar o tempo de ocorrência das chuvas, principalmente quando estas são em grande volume. (OLIVEIRA JÚNIOR, 2001).

### 2.3 Evolução da legislação minerária

Conforme Tavares (2013), o direito a mineração brasileira iniciou em 1532 com a divisão da colônia em capitânicas por D. João III, que estabeleceu como dever dos donatários, entre outras coisas, a de avaliar a nova terra à procura de minerais e pedras preciosas. Nesta época, as Ordenações Manuelinas legislavam Portugal, que determinava no livro II, Título 25, § 15, “os veeiros de ouro ou prata ou qualquer outro metal” como direitos da coroa.

Entre 1581 a 1640 com a ocupação do trono português por soberanos espanhóis, após a descoberta de minas de ouro e prata, foram decretadas as primeiras normas para que a atividade minerária pudesse ser executada no Brasil. As regras foram denominadas como 1º Regimento de Terras Minerais do Brasil, e datam de 15 de agosto de 1603.

O término do ordenamento e a volta para do comando português em 1640, por D João IV levou, em 29 de janeiro de 1649, a reconhecer o 1º Regimento de Terras Minerais do Brasil. Expedida em 24 de fevereiro de 1891, a Constituição de República transformou de maneira significativa o regime que vigorava ao impor que as minas competiam aos proprietários do solo, exceto as minas que se encontravam em terras desabitadas (TONIDANDEL *et al*, 2012).

O Decreto n. 23.979, de 08 de abril de 1934, fundou o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), que a princípio se associou ao Ministério da Agricultura, com a finalidade de controlar a prática mineral brasileira (BRASIL, 1934). Desde então, as leis minerais passaram por inúmeras mudanças, podendo ser citadas a Constituição de 1937, o Código de Minas de 1940, a Constituição de 1946 (TONIDANDEL *et al*, 2012).

O Código de Mineração foi outro acontecimento relevante na doutrina da mineração, sendo que este foi prescrito pelo Decreto-Lei n. 227, de 28 de fevereiro de 1967, e redigido baseado em uma política voltada para o progresso, avaliando a inter-relação entre a atividade mineraria e o uso contínuo do meio ambiente. Destaca-se seu § 2º que diz que “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei” (BRASIL, 1967).

O Código de Mineração regulamentou a atividade estabelecendo a forma como deve ser executado o estudo e a lavra de bens minerais. Porém, esse código foi alterado no decorrer dos anos buscando se adaptar, realizado acréscimos e levando em consideração o que já encontrava imposto no referido código. A política nacional de meio ambiente também foi uma considerável característica da legislação mineral, já que desde sua instauração, temas ambientais foram fixados como leis na prática mineral. Desse período em diante começou um extenso processo de discussões relativas ao ponto de vista das vertentes ambientais na atividade mineraria.

Outra referência que merece destaque no direito mineral é a Constituição Federal de 1988, que segundo a redação dos artigos 24, 176, 177 e 225 regulou não apenas os direitos tributários e as autorizações para estipular quanto aos recursos minerais, mas também determinou os direitos e os deveres dos empreendimentos minerarios relativos à preservação do meio ambiente (BRASIL, 1988).

A primeira vez que o fechamento de mina mereceu destaque foi na Portaria n. 237, publicada pelo Diretor Geral do DNPM, no ano de 2001, em 18 de outubro (BRASIL, 2001) e editada pela Portaria n. 12, de 22 de janeiro de 2002, que prescreveu Normas Reguladoras de Mineração (NRM) (BRASIL, 2002).

O Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) dispõe de Normas Reguladoras – NRM 19 - para a Disposição de Estéril, Rejeitos e Produtos, são elas:

#### **19.1 Generalidades**

19.1.1 O estéril, rejeitos e produtos devem ser definidos de acordo com a composição mineralógica da jazida, as condições de mercado, a economicidade do empreendimento e sob a ótica das tecnologias disponíveis de beneficiamento.

19.1.2 A disposição de estéril, rejeitos e produtos deve ser prevista no Plano de Lavra – PL.

19.1.3 A construção de depósitos de estéril, rejeitos e produtos deve ser precedida de estudos geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos.

19.1.3.1 Os depósitos de rejeitos devem ser construídos com dispositivos de drenagem interna de forma que não permitam a saturação do maciço.

19.1.3.2 Em caso de colapso dessas estruturas, os fatores de segurança devem ser suficientes para que se possa intervir e corrigir o problema.

19.1.3.3 O plano de controle específico para cada caso deve estar à disposição na mina para a fiscalização.

19.1.4 Os depósitos de estéril, rejeitos, produtos, barragens e áreas de armazenamento, assim como as bacias de decantação devem ser planejados e implementados por profissional legalmente habilitado e atender às normas em vigor.

19.1.5 Os depósitos de estéril, rejeitos ou produtos e as barragens devem ser mantidos sob supervisão de profissional habilitado e dispor de monitoramento da

percolação de água, da movimentação, da estabilidade e do comprometimento do lençol freático.

19.1.5.1 Em situações de risco grave e iminente de ruptura de barragens e taludes as áreas de risco devem ser evacuadas, isoladas e a evolução do processo monitorada e todo o pessoal potencialmente afetado deve ser informado imediatamente.

19.1.5.1.1 Deve ser elaborado plano de contingência para fazer face a essa possibilidade.

19.1.5.2 Os acessos aos depósitos de estéril, rejeitos e produtos devem ser sinalizados e restritos ao pessoal necessário aos trabalhos ali realizados.

19.1.6 A estocagem definitiva ou temporária de produtos tóxicos ou perigosos deve ser realizada com segurança por pessoal qualificado e de acordo com a regulamentação vigente.

19.1.7 A estocagem definitiva ou temporária de estéril e materiais diversos provenientes da mineração deve ser realizada com o máximo de segurança e o mínimo de impacto no ambiente.

19.1.8 Não devem ser promovidas modificações dos locais e nas metodologias de estocagem sem prévia comunicação, devidamente documentada, ao DNPM.

19.1.9 A disposição de estéril, rejeitos e produtos deve observar os seguintes critérios:

a) devem ser adotadas medidas para se evitar o arraste de sólidos para o interior de rios, lagos ou outros cursos de água conforme normas vigentes;

b) a construção de depósitos próximos às áreas urbanas deve atender aos critérios estabelecidos pela legislação vigente garantindo a mitigação dos impactos ambientais eventualmente causados;

c) dentro dos limites de segurança das pilhas não é permitido o estabelecimento de quaisquer edificações, exceto edificações operacionais, enquanto as áreas não forem recuperadas, a menos que as pilhas tenham estabilidade comprovada;

d) em áreas de deposição de rejeitos e estéril tóxicos ou perigosos, mesmo depois de recuperadas, ficam proibidas edificações de qualquer natureza sem prévia e expressa autorização da autoridade competente;

e) no caso de disposição de estéril ou rejeitos sobre drenagens, cursos d'água e nascentes, deve ser realizado estudo técnico que avalie o impacto sobre os recursos hídricos, tanto em quantidade quanto na qualidade da água;

f) quando localizada em áreas a montante de captação de água sua construção deve garantir a preservação da citada captação;

g) deve estar dentro dos limites autorizados do empreendimento e h) devem ser tomadas medidas técnicas e de segurança que permitam prever situações de risco.

19.1.10 No caso de disposição de estéril, rejeitos e produtos em terrenos inclinados devem ser adotadas medidas de segurança para assegurar sua estabilidade.

19.1.10.1 Deve ser observado o ângulo de inclinação máximo em relação à horizontal para o plano de deposição do material, levando em consideração as condições de estabilidade.

19.1.11 Durante o alteamento e construção dos sistemas de disposição deve ser feito o monitoramento da estabilidade dos mesmos e dos impactos ao meio ambiente.

19.1.12 Devem ser controlados regularmente todos os depósitos e bacias de decantação bem como suas instalações.

19.1.13 Deve ser feito o monitoramento constante dos sistemas de disposição de forma que permita prever o nível de qualidade dos efluentes e as situações de riscos (BRASIL, 2002).

## **2.4 Soluções para cavas de minas desativadas**

A principal característica da mineração é a pesquisa de recursos minerais que possam ser úteis e se encontrem no solo ou no subsolo, demandando um conjunto de ações para extrair e tratar/beneficiar o minério. A introdução do processo ocorre na lavra, na qual diversas atividades são realizadas para a extração do mineral. Ao longo do decapeamento da mina são obtidos os resíduos conhecidos como estéreis e, ao abrir a cava, é retirado o material que será aproveitado, sendo que este é direcionado para um local onde receberá tratamento, a fim de se extrair o máximo possível de material economicamente viável.

A lavra do minério e estéril modifica a profundidade e formato da cava, e, vale a pena destacar que as cavas contêm características físicas, geoquímicas e ecológicas que se transformam a medida que a ação mineraria segue (GONÇALVES, 2013).

Depois de extraído todo o minério, inúmeras alternativas podem ser empregadas para o preenchimento da cava, como disposição de estéril; disposição de resíduos urbanos; disposição de resíduos industriais; disposição de estéreis; formação dos lagos de mineração, dentre outros.

### **2.4.1 Depósitos de estéril**

As técnicas de recomposição da topografia de áreas mineradas estão bem difundidas, mas implicam em custos adicionais. Assim, o que normalmente acontece é o preenchimento das cavas com estéril e adição de uma mistura da camada superficial do solo, quando os diferentes materiais deveriam ser cuidadosamente separados (REGENSBURGER, 2004).

A remoção de material estéril objetiva conseguir material para recompor a topografia do terreno, reduzindo o volume de minério a ser extraído, e elevando a vida útil das bacias de rejeito. Em minas de areia, por exemplo, retiram-se camadas argilosas (Figura 3); em mineração de argilas aluvionares, o material estéril extraído é usado para preencher cavas

inutilizadas. Dessa maneira, duas questões são solucionadas: o preenchimento da cava e o depósito de resíduos de material da construção civil (Figura 4) (BITAR, 1997).



Figura 3 – Extração de argila (BITAR, 1997)



Figura 4 - Cava final de extração de argila (BITAR, 1997)

Como conseqüências intrínsecas ao processo de mineração estão à queda da atividade biológica, a compactação dos solos, os problemas de drenagem e a perda da fertilidade natural. A retirada do horizonte superficial conduz à exposição de horizontes com elevada acidez e conseqüentemente grande capacidade de adsorção de fosfatos. Por sua vez, essas

características interferem no processo de revegetação de áreas degradadas, por ação direta sobre a planta ou pela menor eficiência de adubos fosfatados (REGENSBURGER, 2004).

Os rejeitos da mineração produzem impactos ambientais pela disposição inadequada, pelo risco de contaminação de lençóis freáticos e pela perda de água de processo por falta do seu tratamento e do seu reuso.

Em depósitos de resíduos, o que engloba rejeitos de mineração, existe uma inclinação geral em optar por tecnologias de tratamento no próprio local. Este procedimento favorece resolver o problema na área contaminada, sem requerer o transporte de materiais infectados para serem tratados em outro lugar, diminuindo gastos com despesas operacionais, entre outras questões e perigos. Isto confere conhecer as condições do solo e subsolo infectados, tanto da área saturada como da não saturada. A falta de conhecimento destas condições pode causar desvios da área que precisa ser tratada, restringindo a recomposição do local danificado (BITAR, 1997).

Inda et al. (2010) em seu estudo que objetivou avaliar a evolução temporal de solos construídos após mineração em duas áreas mineradas e reconstruídas, foi visto que ao longo da construção dos solos analisados, os materiais geológicos foram recolocados em camadas, por tratores de esteira, para preencher as cavas mineradas. A cobertura final recebeu material do solo natural que foi retirado e separado no começo da mineração. Recomposta a topografia foi implantada cobertura vegetal, usando diversos tipos de gramíneas como a *Bracchiariahumidícola*, *Bracchiaribrizanta*, *Bracchiaridictomeura*, *Panicummaximum*, entre outras. Depois de determinada a vegetação de cobertura, foram plantadas espécies vegetais de reflorestamento *Eucaliptus* ssp. e *Pinus* ssp.

#### **2.4.2 Constituição de lagos de mineração**

Os lagos de mineração são compostos tomando como ponto de partida as minas abandonadas ou exauridas. Os procedimentos para a constituição dos lagos são de natureza artificial, usando água retirada da superfície e natural, quando utilizam água subterrânea.

Depois de avaliados, é selecionada a metodologia que será empregada, apesar de que essa metodologia é simultânea à análise (VILLAIN et al, 2011).

O processo hidrológico natural da mina sofre interferências do local explorado, assim como da profundidade da cava. É comum que essas cavas sejam bem profundas e assumam a forma de um cone. Geralmente, a água extraída da cava é usada na mina ao longo do processo de beneficiamento/tratamento. A remoção do minério interfere no lençol freático e, depois que as atividades terminam a área lavrada é inundada por ele (CASTENDYK e EARY, 2009).

Outra maneira de formar um lago artificial é através da drenagem em cava submersa, na qual uma draga retira a areia e a água submersa e envia para uma peneira, que separa o material útil, comercializável, do que não será usado, denominado como resíduo. Esse ciclo se repete tendo como produto final um lago artificial.

Usar as águas superficiais para preencher a cava objetiva reduzir o período de enchimento. A água superficial deverá ter altas características de qualidade já que interfere quimicamente na qualidade da água do lago que será formado posteriormente. Para que o lago alcance esse estado de equilíbrio químico e biológico, pode requerer muitos anos (GONÇALVES, 2013).

A água usada para preencher o lago pode ser doce ou salgada, apesar de ser incomum lagos artificiais com água salgada. Um exemplo é o lago *Island Copper*, situado no Canadá, com uma profundidade de 380 metros e tempo para preenchimento de oito dias (CASTENDYK e EARY, 2009).

Hidrologicamente, os lagos de mineração podem ser divididos de duas maneiras: lago em situação de fluxo e lago terminal. O primeiro é aquele no qual a água superficial, aliada à subterrânea ou não, transcorre para o interior e exterior do lago. Esses lagos, geralmente, situam-se em áreas nas quais a precipitação pluviométrica é superior a evaporação (GAMMONS *et al*, 2009).

O lago em estado terminal é alcançado quando a água subterrânea preenche o lago e apenas é extraída por meio da evaporação (CASTENDYK e EARY, 2009). Frequentemente, esses lagos se situam em locais áridos (GAMMONS *et al*, 2009). Em áreas sujeitas a

mudanças climáticas por um período duradouro, o lago pode oscilar entre os dois estados hidrológico citados anteriormente (GONÇALVES, 2013).

Destaca-se que as alterações meteorológicas manifestadas na região investigada interferem nos elementos e nos sistemas hidrológicos dos lagos de mineração por meio das variações de temperatura, de precipitação, de vento, de evaporação, da contribuição de água superficial e do balanço hídrico (CASTENDYK e EARY, 2009).

Os lagos de mineração gerados acomodam um elevado volume de água e se esta água for de qualidade eficaz, será relevante principalmente em áreas com carência de água (CASTRO e MOORE, 2000). Segundo Castendyk e Eary (2009), o estado de Nevada (Estados Unidos) é uma área árida com 35 lagos de mineração, com capacidade de armazenamento de 1,9 bilhões de m<sup>3</sup> em comparação aos 740 milhões de m<sup>3</sup> estocados nos reservatórios estaduais.

Segundo Gammons et al. (2009), as cavas derivadas de materiais quimicamente estáticos (areia, minério de ferro, bauxita, cascalho, calcário, argila, etc.) se inclinam a refletir a geoquímica do ambiente e é comum que os lagos gerados nestas cavas não revelem problemas ambientais.

Os lagos de mineração podem ser classificados em quatro tipos: os lagos ácidos, os salinos, os neutros e os de água com rica qualidade físico-química e bacteriológica. O pH dos lagos ácidos é baixo, e possui toxicidade elevada, bem como a concentração de metais; regularmente derivam da extração de minerais sulfetados (ZHAO et al, 2009).

A localização dos lagos salinos em áreas áridas se deve ao fato de a evaporação ser mais alta que a precipitação e quase não existir contribuição subterrânea, o que faz com que a salinidade seja mais alta, o que pode influenciar no lençol freático (ZHAO et al, 2009).

A água dos lagos neutros é de boa qualidade, mas manifestam alguns contaminantes, como o zinco, o cobre, o arsênio e urânio. O lago neutro normalmente está bem adaptado aos contaminantes, e dependendo do uso da água, eles são facilmente neutralizados (ZHAO et al, 2009).

O lago com excelente qualidade é derivado da retirada de materiais inativos e pequena influência do processo de exploração da mina e dos atributos geológicos da região explorada (ZHAO et al, 2009).

Destaca-se que as águas de todos os lagos devem receber monitoramento.

No Brasil, um caso a ser citado é o lago de Águas Claras, situado na divisa entre Belo Horizonte e Nova Lima, MG. A exploração de minério de ferro teve início em 1973 pela Minerações Brasileiras Reunidas S/A (MBR) e terminou somente 28 anos depois. Ao longo desse tempo foram extraídas aproximadamente 300 milhões de toneladas de minério de ferro (SPERLING *ET AL.*, 2004).

A mineradora Vale S/A adquiriu a empresa MBR em 2006, e atualmente usa o local como área administrativa da companhia em Minas Gerais.

A extração do minério de ferro ocorreu por meio da hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), com quantidade próxima de 68% de ferro. Outras rochas, tais como, itabiritos silicosos e dolomíticos, quartzitos, dentre outras, também foram encontradas, mas em volumes menores. Além do alto teor de ferro encontrado na mina, foram verificados teores de outros elementos em concentrações inferiores, como o fósforo com 0,04%. E também outros minerais como a Alumina 1,0% e a Sílica 0,7% (GONÇALVES, 2013).

A exaustão iniciou o processo de enchimento da cava em 2001 utilizando águas subterrâneas, superficial (Ribeirão do Prata) e por precipitação pluviométrica, formando, dessa maneira o lago de mineração, como mostra a Figura 5. Foi replantada a vegetação em volta do lago pela empresa (GONÇALVES, 2013).



Figura 5 – Lago de Águas Clara em formação (GONÇALVES, 2013)

A Figura 6 mostra a evolução de enchimento da cava da mina no período de 01/08/2001 a 31/08/2003, o eixo vertical do gráfico é referente à variação de cotas. Mesmo se encontrando próxima à cidade de Belo Horizonte, tem entre as duas a Serra do Curral, o que impediu interferências antrópicas em sua bacia de drenagem.

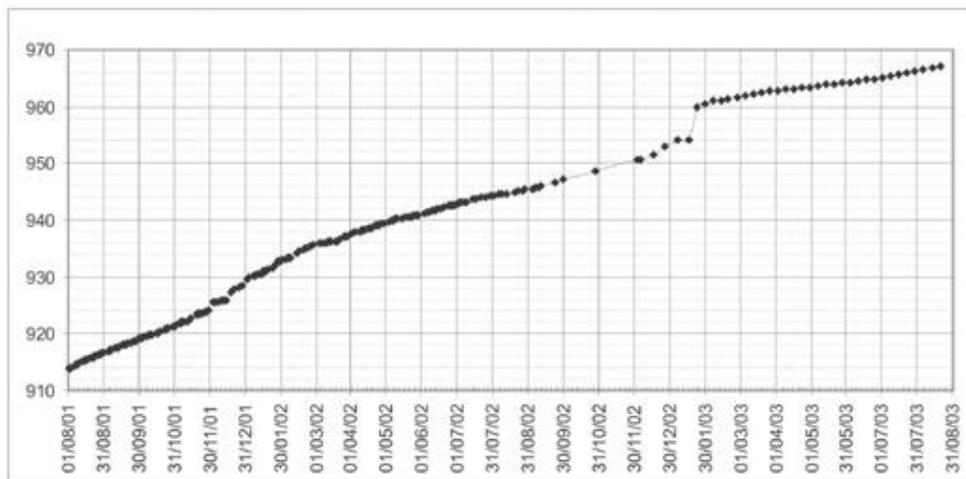


Figura 6 – Evolução do nível de água durante a formação do lago (SPERLING *ET AL.*, 2004)

A estrutura final do lago de Águas Claras deve abranger uma área de  $0,67 \text{ km}^2$ , com um volume total de 58 milhões de  $\text{m}^3$ , profundidade máxima de 234 m. Essa configuração atribuiria a este lago como aquele com maior profundidade no Brasil. A profundidade relativa, entendida como a relação entre profundidade máxima e diâmetro médio do lago, atingirá 25%, índice muito elevado, revelando que futuramente poderá haver meromixia (a circulação não atinge a extensão de água em sua totalidade, causando a estratificação de horizontes químicos) (SPERLING *et al*, 2004). A formação total do lago de Águas Claras deve levar de

15 a 22 anos contados desde 2002, sendo que esta estará submissa a fatores externos (GRANDCHAMP, 2003).

Houve variação no pH do lago de Águas Claras, com valores, entre 6,9 (janeiro/03, superfície e fundo) a 9,2 (novembro/02 e abril/03, superfície), constatando que as águas são predominantemente alcalinas, algo comum em lagos naturais (SPERLING *et al*, 2004).

Temos também como exemplo no Brasil, o estudo de Scalco e Ferreira (2013), que objetivou caracterizar os impactos decorridos da mineração de argila para cerâmica vermelha por dez produtores localizados na Sub-bacia do Ribeirão Jacutinga. Entre outras conclusões, as autoras observaram que a paisagem foi alterada e das 24 áreas lavradas doze se tornaram lagos, tendo o nível freático atingido, originando diversos reservatórios artificiais. A maior consequência dessa mudança foi à geração de novas áreas de preservação contínua no interior da sub-bacia.

### 3 IMPORTÂNCIA DA REVISÃO DE LITERATURA

Pesquisar, além de ser fundamental é algo natural para o homem, pois por meio da pesquisa ele adquire novos conhecimentos. Porém, a maior preocupação de um pesquisador não deve estar voltada para o reconhecimento de seu trabalho e sim para o desejo e a certeza de que o conhecimento produzido por ele seja transmitido às pessoas de forma correta. A pesquisa é uma troca de experiências entre pesquisador e comunidade acadêmica, visto que ao longo do processo todos aprendem. Na pesquisa, o pesquisador tem “uma atitude e uma prática teórica de constante busca que define um processo intrinsecamente inacabado e permanente”, pois realiza uma atividade de aproximações sucessivas da realidade, sendo que esta apresenta “uma carga histórica” e reflete posições frente à realidade (MINAYO, 2000, p.23).

Sendo assim, a revisão da literatura é uma parte essencial do processo de investigação, visto que, por meio dela é possível localizar, analisar, sintetizar e interpretar a investigação prévia (revistas científicas, livros, atas de congressos, resumos, etc.) referente ao segmento da pesquisa. Trata-se, então, de uma análise bibliográfica pormenorizada sobre os trabalhos já publicados em relação ao tema. Esse tipo de pesquisa é indispensável não apenas para determinar bem o problema, como também para alcançar uma real idéia quanto às condições atuais dos conhecimentos relativos a certo assunto, bem como as falhas e a contribuição da investigação para o desenvolvimento do conhecimento. Conforme Cardoso *et al.* (2010, p. 7) “cada investigador analisa minuciosamente os trabalhos dos investigadores que o precederam e, só então, compreendido o testemunho que lhe foi confiado, parte equipado para a sua própria aventura”. Frente à contínua transformação dos conhecimentos é necessário começar por rever os trabalhos mais recentes primeiro e recuar no tempo.

A amostra foi composta por artigos, livros, revistas, nos quais pode ser percebida a literatura pertinente sobre o tema.

## 4 CONCLUSÃO

A mineração é uma relevante prática para a economia brasileira, porém as áreas lavradas podem causar danos ao meio ambiente quando não são devidamente recuperadas quando cessadas as atividades minerais.

Diversas técnicas podem ser usadas para preencher a cava da mina, podendo ser citados os depósitos de material estéril e criação de lagos artificiais, sendo que no Brasil a quantidade de lagos artificiais é pequena quando comparado com países como o Canadá, por exemplo. No entanto, esse preenchimento deve ser planejado antes mesmo de começarem os trabalhos de mineração, já que devem ser considerados diversos aspectos, tais como custos e características geotécnicas do local.

Geralmente uma mina atinge o ponto de desativação quando já foi extraído todo o material que o local poderia oferecer sob a situação econômica atual. Vale destacar que a apropriada desativação atende a legislação que rege a atividade mineraria e leva em conta etapas até atingir a fase de descomissionamento. Sendo essa uma etapa que não deve deixar de ser realizada, pois por meio dela o local poderá voltar a ser novamente utilizado.

E vale ressaltar que, não existe um tipo de preenchimento de cava melhor ou pior que o outro, já que, cada região confere um tipo de material à disposição.

Por fim, todas as cavas usadas na mineração devem ser monitoradas por um período de tempo, independente do tipo de solução selecionado para o local. E esse monitoramento sofre variações conforme o local, condições climáticas e o tipo de mineral que foi extraído.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997. 185 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBRAM). **Guia para planejamento do fechamento de mina**. Mar., 2013. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002727.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2017.
- \_\_\_\_\_. **Portaria n. 12**, de 22 janeiro de 2002. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=184542>> Acesso em: 04 mar. 2017.
- \_\_\_\_\_. **Portaria n. 237**, de 18 de outubro de 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/aceso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-237-em-18-10-2001-do-diretor-geral-do-dnpm>> Acesso em: 03 mar. 2017.
- \_\_\_\_\_. **Decreto-Lei n° 227**, de 28 de fevereiro de 1967. 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: 02 mar. 2017.
- \_\_\_\_\_. **Decreto n. 23.979**, de 08 de abril de 1934. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-23979-8-marco-1934-499088-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso em: 5 mar. 2017.
- BRUM, I. A. S. de. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração**. 2000. 22 f. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) – Escola Politécnica. Salvador, 2000.
- CAMELO, M.S.M. **Fechamento de Mina: análise de casos selecionados sob os focos ambiental, econômico e social**. 2006. 127f. Dissertação (Mestrado Núcleo de Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2006.
- CARDOSO, T.; ALARCÃO, I.; CELORICO, J. **Revisão da literatura e sistematização do conhecimento**. Porto: Porto Editora, 2010.
- CASTENDYK, D. N.; EARY, L. E. **Mine pit lakes: characteristics, predictive modeling and sustainability**. Littleton, Colorado, USA: SME, 2009.
- CASTRO, J. M; MOORE, J. N. Pit lakes: their characteristics and the potential for their remediation. **Environmental Geology**, v.39, n. 11, p. 1254-1260, 2000.
- CUNHA, M. F. da. **Análise do estado da arte do fechamento de mina em Minas Gerais**. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Minas da Universidade de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007.
- FLORES, J. C. do C.; LIMA, H. M. de. **Fechamento de mina: aspectos técnicos, jurídicos e socioambientais**. Ouro Preto: UFOP, 2012.

GAMMONS, C. H., HARRIS, L.N., CASTRO J.M., COTT, P.A., and HANNA, B.W. 2009. Creating lakes from open pit mines: processes and considerations - with emphasis on northern environments. **Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.** 2826: ix + 106 p.

GONÇALVES, L. V. **Qualidade da água em lagos de mineração – estudos de caso: Águas Claras e Riacho dos Machados.** 2013. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2013.

GONZALO, D. A. D.; GARCIA, R. J. F.; GOMES, E. P. C. Avaliação de área recuperada sobre cava de areia em São Paulo, SP, Brasil. **Hoehnea**, v. 42, n. 4, p. 695-701, 2 tab., 3 fig., 2015.

GRANDCHAMP, C. A. P. **Estudo da recuperação do aquífero Cauê e do enchimento da cava na mina de Águas Claras, Serra do Curral, município de Nova Lima, MG.** 2003. 148f. Dissertação (Mestrado em Geologia Econômica e Aplicada) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

INDA, A. V.; QUIÑONES, O. R.; GIASSON, E.; BISSANI, C. A.; DICK, D. P.; NASCIMENTO, P. C. do. Atributos químicos relacionados ao processo de sulfurização em solos construídos após mineração de carvão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1060-1067, mai, 2010.

MCHAINA, D. M. Environmental planning considerations for decommissioning, closure and reclamation of a mine. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ISSUES AND MANAGEMENT OF WASTE IN ENERGY AND MINERAL

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

MINAYO, M. C. de S. **O desafio do conhecimento.** 6. Ed. São Paulo: HUCITEC, 2000

NEGRÃO, R.C.A. **Mineração e o desenvolvimento sustentável: casos da Companhia Vale do Rio Doce.** 1996. 432 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1996

OLIVEIRA JÚNIOR, J. B. de. **Desativação de empreendimentos mineiros: estratégias para diminuir o passivo ambiental.** 2001. 179 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 179.

PAYNE, R. Elliot Lake: a case study in mine closure. In: WORKSHOP OF MINE CLOSURE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT, London, 2000. **Mine closure and sustainable development.** London: Mining Journal Books, 2000.

REIS, D. W. dos. **Análise da dinâmica processual dos estudos de impacto ambiental na mineração e outros pareceres técnicos no Estado de Minas Gerais.** 2011. 154 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas da Universidade de Ouro Preto. Ouro Preto, 2011.

REIS, N. L.; BARRETO, M. L. **Desativação de empreendimento mineiro no Brasil.** São Paulo: Signus, 2001.

SÁNCHEZ, L. E. **Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais**. São Paulo: EDUSP, 2001.

SASSOON, M. **Environmental aspects of mine closure**. Mine closure and Sustainable Development, Washington, DC, Mining Journal Books Ltd. 2000.

SCALCO, J. P.; FERREIRA, G. C. Impactos ambientais da mineração de argila para cerâmica vermelha na sub-bacia do Ribeirão Jacutinga – Rio Claro e Corumbataí (SP). **Geociências**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 760-769, 2013.

SPERLING, E. von; JARDIM, F. A.; GRANDCHAMP, C. A. P. Qualidade da água durante a formação de lagos profundos em cavas de mineração: estudo de caso do lago de Águas Claras – MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 250-259, 2004.

TAVARES, W. da C. **As Implicações da Recuperação das Áreas Degradadas no Processo de Fechamento de Mina á Céu Aberto no Estado do Tocantins**. 2013. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Minas) - Centro Acadêmico Luterano de Palmas. Palmas, 2013.

TAVEIRA, A. L. S. **Provisão de recursos financeiros para o fechamento de empreendimentos mineiros**. 2003. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

TONIDANDEL, R. de P.; PARIZZI, M. G.; LIMA, H. M. de. Aspectos legais e ambientais sobre fechamento de mina, com ênfase no Estado de Minas Gerais. **Geonomos**, v. 20, n. 1, p. 32-40, 2012.

VILLAIN, L.; SUNDSTRÖM, N.; PERTTU, N.; ALAKANGAS, L.; ÖHLANDER, B. Geophysical investigations to identify groundwater pathways at a small open-pit copper mine reclaimed by backfilling and sealing. **Mine Water – Managing the Challenges**, Aachen-Germany, p. 71-76, IMWA, 2011.

WELCHAN, B.; ASPINALL, C. Island Cooper Mine: a case history. In: WORKSHOP OF MINE CLOSURE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT, London, 2000. **Mine closure and sustainable development**. London: Mining Journal Books, 2000.

ZHAO, L. Y. L.; MCCULLOUGH, C. D.; LUND, M. A. **Mine Voids Management Strategy (I): Pit Lake Resources of the Collie Basin**. In MINE WATER AND ENVIRONMENT RESEARCH/CENTRE FOR ECOSYSTEM MANAGEMEN. Report No. 2009-10. Edith Cowan University, Perth-Australia, 227f., 2009.