

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
RODRIGO GUILHERME SILVA ARAUJO

PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO DE AREA DEGRADADA
POR UMA MINA DE GRAFITA - ESTUDO DE CASO

FORMIGA – MG
2010

RODRIGO GUILHERME SILVA ARAUJO

**PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO DE AREA DEGRADADA
POR UMA MINA DE GRAFITA – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Produção do
UNIFOR-MG, como requisito para obtenção do
título de bacharel em Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. Daniel Ebias
Coordenador: Prof. Marcelo Carvalho Ramos

FORMIGA - MG
2010

RODRIGO GUILHERME SILVA ARAUJO

**PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO DE AREA DEGRADADA
POR UMA MINA DE GRAFITA – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Produção da
UNIFOR-MG, como requisito para obtenção do
título de bacharel em Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. Daniel Ebias
Coordenador: Prof. Marcelo Carvalho Ramos

BANCA EXAMINADORA

Daniel Ebias
Orientador

Marcelo Carvalho Ramos
Avaliador

FORMIGA - MG
2010

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho contou com a colaboração e apoio a de muitos. Agradeço a todos que, de alguma maneira colaboraram para a realização deste trabalho, em especial:

Ao Professor Daniel Ebias pela orientação e dedicação incondicional, sem o que dificilmente teria concluído este trabalho.

A Professora Andrea Peçanha pelas sugestões e críticas, valiosas para o desenvolvimento deste trabalho.

À empresa de mineração, pela oportunidade de trabalho e disponibilização dos dados, suporte essencial para desenvolver os estudos.

Aos professores e colegas de graduação pela troca de conhecimentos e aprendizado.

RESUMO

A mineração é considerada, do ponto de vista econômico, como uma das modalidades de exploração de recursos naturais mais importantes. Entretanto, por outro lado, é uma das atividades que mais degradam o meio-ambiente, causando impactos, por vezes, irreversíveis. A adoção de tecnologias evoluídas de operação da mina e de medidas que restabeleçam as condições próximas às anteriores são imprescindíveis para manter o meio-ambiente sem grandes alterações negativas. Como em quase toda atividade econômica que utiliza bens “finitos” da natureza, também na mineração o processo de extração é potencialmente gerador de fenômenos indutores de impactos ambientais, os quais irão se manifestar na área onde a atividade acontece. No entanto, pode-se afirmar que o ambiente pode ser reestruturado, recuperado, minimizando o impacto ambiental negativo. A reestruturação da área explorada deve ser um dos pontos a ser considerado no processo de planejamento e durante toda a exploração da jazida, devendo estar presente até um período após o término da atividade minerária no local, quando, então, será feita a gestão da reestruturação da área.

Em Itapeçerica, Minas Gerais, durante mais de 10 anos, foi extraída grafita de uma mina com a finalidade de beneficiamento deste minério para comercialização nos mercados internos e externos. Durante o período de extração, não foram executadas, concomitantemente à operação da mina, ações que objetivassem a recuperação da área degradada por esta extração de minério. No presente trabalho será abordada uma proposta de recuperação de área da mina localizada em Itapeçerica-MG, a qual se encontra em fase final de operação, através da proposição de uma nova geometria, com base em análises de estabilidade e topografia, de drenagem superficial e de revegetação, retornando esta área a uma condição próxima a anterior, ou seja, antes da operação do empreendimento minerário.

Palavras- chave: recuperação ambiental; área degradada, revegetação, mineração.

ABSTRACT

Mining is considered, from an economic standpoint, as one kind of exploitation of natural resources major. However, on the other hand, is one of more activities that degrade the environment, causing impacts, sometimes irreversible. The adoption of advanced technologies for the mining operation and action to restore conditions near the above are essential to maintain the environment without major negative changes. As in almost all economic activity that uses goods "finite" nature, also in the mining extraction process is potentially generating phenomena that induce environmental impacts, which will manifest itself in the area where the activity takes place. However, it can be stated that the environment can be restructured, recovered by minimizing the negative environmental impact. The restructuring of the area should be explored one of the points to be considered in the planning process and throughout the exploitation of the deposit, which must be present until a period after completion of mining at the site where, then, is to be managed restructuring area.

In Itapeçerica, Minas Gerais, for over 10 years, was drawn from a graphite mine with the purpose of processing this ore for marketing in domestic and foreign markets. During the extraction, were not implemented, together to the mining operation, actions that aimed at the recovery of degraded areas by the extraction of minerals. In the present work is discussed a proposal for recovery of the mine located in Itapeçerica-MG, which is in final stage of operation, by proposing a new geometry based on stability analysis and topography, surface drainage and revegetation, returning this area to a close the previous condition, ie prior to the operation of the mining venture.

Keywords: environmental restoration, degraded areas, reforestation, mining.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Exemplo de composição utilizada no processo de hidrossemeadura.....	26
para a revegetação de áreas degradadas pela mineração	26

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Gráfico de pluviometria mensal – período 2007 a 2010.....	42
GRÁFICO 2 – Histograma de Freqüência – Permeabilidade	49
GRÁFICO 3 – Resultado da análise de estabilidade Seção 1 – Cava atual - FS = 1,1..	57
GRÁFICO 4 – Resultado da análise de estabilidade Seção 2 – Cava atual - FS = 1,4..	58
GRÁFICO 5 – Resultado da análise de estabilidade Seção 3 – Cava atual - FS = 1,7..	58
GRÁFICO 6 – Resultado da análise de estabilidade Seção 1 - FS = 2,2.....	59
GRÁFICO 7 – Resultado da análise de estabilidade Seção 2 - FS = 1,9.....	59
GRÁFICO 8 – Resultado da análise de estabilidade Seção 3 - FS = 2,2.....	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Representação gráfica dos termos conceituados por Bitar & Braga.....	20
FIGURA 2 – Área da mina Piçarrão “antes e depois” da recuperação ambiental	22
FIGURA 3 – Área degradada da mina Piçarrão após reconformação topográfica e implantação de sistemas de drenagem.....	23
FIGURA 4 – Área degradada da mina Piçarrão dois anos após a recuperação ambiental	23
FIGURA 5 – Localização mina de grafita	31
FIGURA 6 – Localização mina de grafita	32
FIGURA 7 – Vista aérea da mina	33
FIGURA 7a – Vista aérea da mina	34
FIGURA 8 – Vista aérea da mina	34
FIGURA 9 – Mina recuperada	37
FIGURA 10 – Mina recuperada.....	37
FIGURA 11 – Condição atual da mina	39
FIGURA 12 – Vista do talude SE da mina, com maior altura.	40
FIGURA 13 – Vista dos taludes da área Sul da mina, com acúmulo	40
no fundo da cava.....	40
FIGURA 14 – Talude SE da mina, mostrando rupturas nos bancos inferiores, pela saturação por água subterrânea nesta área.....	41
FIGURA 15 – Ruptura nos taludes do lado N da mina.....	41
FIGURA 16 – Mapa geológico produto do levantamento de campo da equipe da BVP Engenharia.....	45
FIGURA 17 – Aterro (AT) sobre solo residual maduro de migmatito (SRMMI)	46
FIGURA 18 – Veio de quartzo em meio a solo residual maduro de migmatito (SRMMI)	46
FIGURA 19 – Solo maduro de gnaiss sobreposto (SRMG) ao Saprolito de gnaiss (SapG).....	47
FIGURA 20 – Saprolito de granada-biotita-gnaiss (SapG).....	47
FIGURA 21 – Xisto Grafítico (XiGr) em contato com Saprolito de granada-biotita- gnaiss (SapG)	48
FIGURA 22 – Rupturas em região de surgências em meio a rochas metabásicas, as quais identificam regiões mais fragilizadas nos taludes	48

FIGURA 23 – Planta esquemática com as seções utilizadas para as análises de estabilidade de taludes da mina	51
FIGURA 24 – Posição das canaletas	61
FIGURA 25 – Seção Canaleta Trapezoidal em terra e grama	62
FIGURA 26 – Seção Canaleta Trapezoidal enrocada.....	63
FIGURA 27 – Seção Canaleta de Pedra argamassada	63
FIGURA 28 – Seção Canaleta / Escada em Pedra argamassada	64
FIGURA 29 – Escada de descida d’água em concreto armado	65

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ha - hectare

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

ISRM - International Society for Rock Mechanics (Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas)

Kg - quilograma

m - metro

m² - metro quadrado

N - Norte

NBR – Norma Brasileira

NPK - adubos à base de Nitrogênio (N), Potássio (K) e Fósforo (P)

NW - Noroeste

SE - Sudeste

Ton - tonelada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problema	14
1.2	Justificativa	14
1.3	Hipótese	15
1.4	Objetivos.....	16
1.4.1	Objetivo Geral	16
1.4.2	Objetivo Específico	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1.1	Mineração	17
2.1.2	Lavra	18
2.1.3	Degradação	18
2.1.4	Recuperação, reabilitação ou restauração.....	19
2.2	Mineração e meio-ambiente	21
2.2.1	Recuperação de áreas degradadas pela mineração.....	21
2.3	Medidas de recuperação	24
2.3.1	Retaludamento.....	24
2.3.2	Sistemas de Drenagem.....	25
2.3.3	Revegetação.....	25
2.4	Avaliação de áreas degradadas	26
2.5	Planejamento da recuperação.....	27
2.6	Gestão - Monitoramento e manutenção	27
2.7	Custos da recuperação.....	28
3	METODOLOGIA	29
3.1	Objeto de pesquisa.....	30
4	ESTUDO DE CASO	31
4.1	Localização.....	31
4.2	Caracterização da mina.....	32
4.3	Método de lavra	35
4.4	Análise da situação pós-lavra.....	36
4.5	Histórico ambiental	36
4.6	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas	38
4.7	Caracterização Física	38

4.7.1	Aspectos Físicos.....	38
4.7.2	Aspectos hidrológicos.....	42
5	DESENVOLVIMENTO.....	43
5.1	Escolha da mina.....	43
5.2	Ações de Estabilidade Física.....	43
5.2.1	Levantamento dos Dados e Confecção dos Mapas.....	44
5.2.2	Ensaio Geotécnicos.....	44
5.2.2.1	Análises de Estabilidade.....	49
5.3	Recuperação – Intervenções para Recuperar/Estabilizar o Terreno.....	52
5.3.1	Conformação Final do Terreno – Retaludamento.....	52
5.3.2	Sistemas de Drenagem.....	53
5.3.3	Revegetação.....	54
5.4	Análise Econômica - Estimativa de Custo de Recuperação.....	56
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
6.1	Recuperação – Intervenções para Recuperar/Estabilizar o Terreno.....	57
6.1.1	Conformação Final do Terreno e Análise de Estabilidade.....	57
6.1.2	Sistemas de drenagem.....	60
6.1.3	Revegetação.....	66
6.2	Análise econômica.....	66
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	67
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A atividade mineradora é, essencialmente, uma atividade industrial, cuja vida útil é limitada, uma vez que sua existência é condicionada aos aspectos relacionados ao volume de material economicamente aproveitável. Assim, uma vez que pode ser considerada uma atividade que, resumidamente, compreende operações de retirada de bens e, conseqüente, beneficiamento destes, esta atividade causa profundas mudanças nas características do meio físico e no aspecto sócio-econômico da região onde atua, criando uma dependência da comunidade com a empresa em relação à geração de empregos e infra-estrutura do município.

Próximo de 1,2% das áreas degradadas no mundo são áreas de mineração e 60% são representadas pelas áreas agrícolas somadas às áreas de pastagens. Estima-se no território brasileiro a ocorrência de mais de 200 milhões de hectares de áreas degradadas (CABRAL et al., 2002).

Apesar de a mineração atingir áreas menores, seu impacto transcende a área diretamente impactada. A alteração brusca da paisagem através da movimentação de terra (cava da mina, pilha de estéril, barragem de rejeito etc), supressão da vegetação, erosão, destruição de habitat animal, degradação, exposição do solo, poeira e poluição além de, em alguns casos, modificação do curso de rios, geração de resíduos tóxicos e drenagem ácida, dentre outras conseqüências, são impactos físicos advindos da atividade mineradora, os quais provocam, embora local, um intenso nível de degradação ambiental. Desta forma, a mineração se caracteriza como uma atividade modificadora do meio-ambiente, podendo provocar uma série de impactos ambientais.

Este impacto, particularmente o visual, é grande, porque é de fácil verificação e até mesmo constatação, particularmente nas minas e atividades extrativas a céu aberto. Outro aspecto de extrema importância, além dos demais fatores negativos acima citados e que tem contribuído sobremaneira para tornar a mineração uma ameaça para as comunidades onde está instalada, é a ausência de elaboração e implementação, durante a vida útil das minas, de planos de recuperação das áreas que serão degradadas. Essa ausência de planejamento gera uma grande insegurança para a

comunidade onde a mina está situada, uma vez que não há definições das medidas a serem tomadas para minimização do passivo ambiental e sócio-econômico.

O presente trabalho tem como escopo uma proposta de recuperação ambiental de área degradada pela mineração – mina de grafita, tratando a área como um sistema dinâmico complexo, hiper-sensível às condições iniciais de preparação do terreno.

1.1 Problema

Qual a forma mais adequada de minimizar a degradação ambiental em uma área utilizada para extração a céu aberto de minério de grafita, tendo em vista as diversas condições e características da área?

1.2 Justificativa

O homem, na sua necessidade de retirar da natureza, meios para seu sustento e desenvolvimento, acaba por provocar danos ao meio-ambiente, comprometendo a continuidade das espécies. A extração de recursos minerais, como qualquer atividade econômica, gera trabalho e renda, entretanto seus processos representam riscos ao equilíbrio dos diversos sistemas ecológicos.

A recuperação de áreas degradadas pela mineração é obrigatória, estando expressa em lei, devendo ser feita para atender, além da própria legislação, também os anseios das comunidades locais, que a cada dia ficam mais conscientes da necessidade de um meio-ambiente saudável para a sobrevivência humana

Uma empresa de mineração lava e beneficia grafita natural cristalina em três fábricas, localizadas em municípios distintos no Estado de Minas Gerais. Em uma de suas unidades, localizada em Itapeçerica - MG, a empresa explora uma mina de grafita de alto teor, localizada em comunidade rural. Esta mina é explorada a céu aberto e a

sua recuperação é de fundamental importância, tanto no sentido ambiental quanto social.

Apesar de a empresa exercer a atividade de extração da grafita dentro dos parâmetros legais exigidos pelos órgãos governamentais, a degradação da área é inerente à atividade, ou seja, não é possível explorar este tipo de minério sem impactar o meio-ambiente.

Esse trabalho pretende analisar as condições atuais da mina, objetivando uma recuperação da área com vistas a minimizar o impacto ambiental causado pela extração de minério.

1.3 Hipótese

As áreas degradadas, em regra, estarão sensíveis às condições iniciais de recuperação, em razão de apresentarem instabilidade e desequilíbrio. As atividades com vistas à recuperação ambiental destas áreas devem contemplar, principalmente, o controle de processos erosivos, as medidas de drenagem e o revestimento vegetal, objetivando que a recuperação se aproxime da situação original e considerando características topográficas da área, a fauna, a flora e o clima.

Neste projeto verifica-se a hipótese de que a reformação topográfica com drenagem e posterior revegetação poderá tornar estável a área degradada pela extração de minério, melhorando as condições do solo para que as espécies possam exercer as funções de produção biológica, com conseqüente resgate e manutenção da biodiversidade e qualidade do ambiente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa é propor um plano de recuperação de área degradada para uma mina de grafita natural, a céu aberto, localizada no Estado de Minas Gerais, com vistas a uma recuperação do local onde foi extraído o minério e a um atendimento satisfatório da comunidade onde o empreendimento se localiza, observando as normas ambientais que tratam do assunto e, ainda, considerando que não houve qualquer planejamento de recuperação durante a operacionalização da atividade minerária.

1.4.2 Objetivo Específico

- a) Analisar a estabilidade dos taludes na condição atual da mina;
- b) Propor medidas de recuperação: drenagem superficial e revegetação da área minerada;
- c) Efetuar previsão de custos para a recuperação da área.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1.1 Mineração

A mineração está presente no dia a dia da humanidade de forma relevante e praticamente indispensável, se tornando mais expressiva e intensa a partir da Revolução Industrial quando a exploração de carvão, ferro, manganês, cobre e ouro, principalmente, bem como de chumbo, zinco e níquel, passou a ser praticada em larga escala, removendo enormes toneladas de minério (CLARK & CLARK, 2002).

Segundo James McDivitt, citado por ALVES (2006), o ser humano depende, por ano, de 400 a 500 kg de insumos do reino animal e, de acordo com o nível de desenvolvimento do país onde vive, consome entre 2.000 e 20.000kg de insumos de origem mineral (Global Mineral Resource Assessment - US Geological Survey 2003).

A mineração é uma atividade responsável por alterações substanciais na comunidade e no meio ambiente onde atua. Tendo em vista o desenvolvimento de novas tecnologias para a exploração, tratamento de minério e de novos produtos, as minas passaram a ter um maior tempo de vida útil, culminando num crescimento das empresas, no aumento da geração de empregos e na diversificação dos empreendimentos minerários.

Assim, esta expansão, juntamente com a globalização e aumento de informações que chegam, a cada dia, mais rapidamente e de maneira eficiente, as empresas acabaram se sujeitando a determinadas pressões, da sociedade e do Estado, em diversos setores. Temas como segurança e saúde do trabalho, direitos trabalhistas, responsabilidade social e, principalmente, com relação ao meio-ambiente que hoje é um patrimônio mundial, havendo uma forte cobrança aos responsáveis pela sua degradação e a responsabilidade de recuperá-lo.

2.1.2 Lavra

Entende-se por lavra, o conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração de substâncias minerais úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas (CÓDIGO DE MINERAÇÃO, BRASIL, 1967)

Existem três tipos de lavras mais freqüentes: céu a aberto, subterrânea e por dissolução. A produção atual, no Brasil, de minério, provém da lavra a céu aberto, a qual tem sua maior vantagem no maior aproveitamento do corpo de minério. Em contrapartida, há uma maior produção de estéril, poeira e ruídos, além de poluição das águas.

2.1.3 Degradação

BITAR (1997) define degradação como “impactos ambientais negativos ou adversos e que decorrem principalmente de atividades humanas. É pouco comum o termo ser aplicado às alterações decorrentes de fenômenos ou processos naturais”.

Também para JOHNSON et al (1997), o uso deste termo na moderna literatura ambiental científica e de divulgação, é quase sempre ligado a uma mudança artificial ou perturbação de causa humana, é, geralmente, uma redução percebida das condições naturais ou do estado de um ambiente. Segundo este autor, o causador desta degradação é sempre o ser humano, pois “processos naturais não degradam, apenas causam mudanças.”

A degradação de um objeto ou de um sistema, para SÁNCHEZ (2005), é muitas vezes, associada à idéia de perda de qualidade. Degradação pode, então, ser definida como uma perda de deterioração da qualidade ambiental e, na prática, o termo degradação ambiental não costuma ser empregado de modo rigoroso, o que não surpreende, pois tem diferentes acepções e significados.

O trabalho de WILLIANS et al. (1990), divulgado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis- IBAMA e especialmente dedicado à

mineração, considera que a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna foram destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo foi perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico foi alterado, afirmando que degradação ambiental “ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento socioeconômico”.

JOHNSON et. al (1997) conclui que a percepção é o elemento central do conceito de degradação ambiental, ou seja, degradação ambiental não tem uma definição única e inequívoca, mas é aprendida segundo a maneira como as pessoas e grupos sociais entendem, ou percebem, as alterações ambientais. Cumpre ressaltar que o grau de perturbação ambiental tolerado hoje não é o mesmo que era aceito há vinte ou trinta anos, como comprova a evolução da legislação ambiental.

2.1.4 Recuperação, reabilitação ou restauração

De acordo com o artigo 2º do Decreto nº 97.632/89, que regulamenta a Lei de Política Nacional do Meio Ambiente, o termo recuperação é definido como o “retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente” (COLETANEA DE LEGISLAÇÃO MINERAL, 2005, p.281).

Segundo BITAR & BRAGA (1995):

- Restauração é a reprodução das condições exatas do local, tais como eram antes de serem alteradas pela intervenção;
- Recuperação é quando o local alterado é trabalhado de tal modo que as condições ambientais se aproximem das condições anteriores à intervenção; ou seja, trata-se de devolver ao local o equilíbrio e a estabilidade existente antes do empreendimento;
- Reabilitação é quando o local alterado é 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.

O termo recuperação, segundo BITAR (1997), incorpora o conceito de reabilitação ao de recuperação, ambos contidos na NBR 10703, a qual trata da terminologia no assunto degradação do solo (ABNT, 1989). Recuperação é mais abrangente e, talvez por isso, mais usualmente empregado, tendo em vista o seu objetivo primordial, ou seja, a perspectiva de atingir a estabilidade do ambiente. Na FIG. 1 estão representados, graficamente, os conceitos de cada termo.

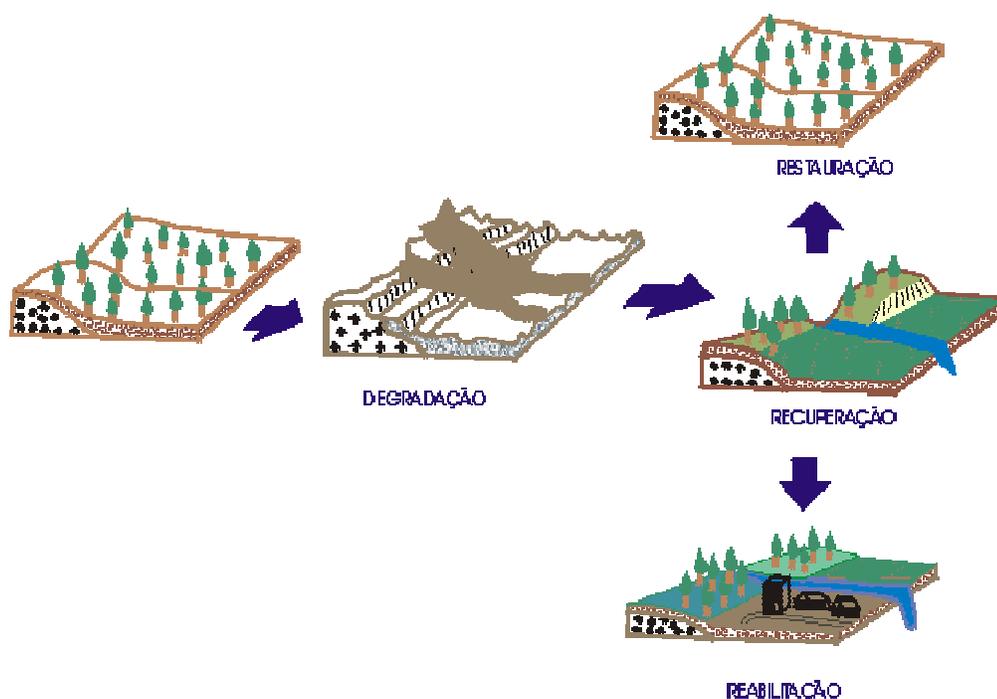


FIGURA 1 – Representação gráfica dos termos conceituados por Bitar & Braga
Fonte: Bitar & Braga 1995 modificado

Apesar de estes termos serem, usualmente, utilizados no sentido de caracterizar projetos ou ações que visam estabelecer algum tipo de uso do solo nas áreas degradadas, seja preexistente ou novo, é predominante a utilização do termo recuperação, englobando os demais conceitos. Há, no Brasil, um entendimento de que recuperar uma área significa encontrar outro uso produtivo para ela, que pode ser igual ou diferente do uso pré-mineração, devendo apresentar um equilíbrio dinâmico com a circunvizinhança (SÁNCHEZ, 2005).

2.2 Mineração e meio-ambiente

A mineração provoca um conjunto de efeitos não desejados, tais como alterações ambientais, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano. Esses efeitos geram conflitos com a comunidade, os quais, em regra, têm origem quando da implantação do empreendimento, já que o empreendedor não se informa sobre as expectativas, anseios e preocupações da comunidade que vive nas proximidades da empresa de mineração (BITAR, 1997).

2.2.1 Recuperação de áreas degradadas pela mineração

As principais fontes de degradação, nas atividades de mineração, são as escavações para extração do minério, deposição do material estéril, não aproveitável, proveniente do decapeamento superficial e a deposição de rejeitos decorrente do processo de beneficiamento (IBRAM, 1987).

De acordo com BITAR & BRAGA (1995), existem três alternativas aplicadas à recuperação de áreas degradadas: revegetação, geotecnologias e remediação, as quais visam, principalmente, a estabilidade biológica, física e química do ambiente, respectivamente. De acordo com estes autores, tais medidas são empregadas de modo combinado e, em geral, é notável o domínio de medidas que expressam a conjugação de técnicas de revegetação com procedimentos de natureza geotécnica. As medidas de remediação são raras.

Como um bom exemplo de recuperação de áreas degradadas pode ser citada a mina de ferro Piçarrão, de propriedade da Vale do Rio Doce, localizada no município de Nova Era, em Minas Gerais e que operou entre abril de 1976 a setembro de 1985. Esta recuperação é tida como modelo, sendo encontrada vasta literatura sobre o tema. Após a paralisação de suas atividades, a mina foi afetada por contínuos processos erosivos (ÁVILA & UMBELINO, 2006). Para a recuperação destas áreas foi implementado um

programa de recuperação de áreas degradadas que foi executado nos períodos de 2000 a 2003 (LOTT et al., 2005).

A solução de recuperação proposta para esta mina foi dividida em duas componentes principais, segundo ÁVILA & UMBELINO (2006):

- Recuperação vegetal, recuperação das áreas degradadas e estabilidade de taludes;
- Condução adequada da drenagem superficial e contenção de sedimentos.

As soluções para a recuperação vegetal foram: plantio de árvores, semeio direto, telas e mantas vegetais e bioretentores. Os locais que apresentavam sulcamentos também foram revegetados, após as operações de reconformação manual das superfícies erodidas. Foram também, executados anteparos estruturais, do tipo paliçada de madeira, para a retenção de sedimentos. A condução adequada da drenagem superficial foi realizada através de um sistema integrado de canaletas periféricas, descidas d'água e caixas de passagem, em concreto (ÁVILA & UMBELINO, 2006).

As FIG. 2, 3 e 4 mostram o antes e o depois dos processos de recuperação ambiental de parte da área degradada da mina Piçarrão.



FIGURA 2 – Área da mina Piçarrão “antes e depois” da recuperação ambiental
Fonte: Lott et al., 2005



FIGURA 3 – Área degradada da mina Piçarrão após reconformação topográfica e implantação de sistemas de drenagem
Fonte: Jordy Filho, 2008



FIGURA 4 – Área degradada da mina Piçarrão dois anos após a recuperação ambiental
Fonte: Jordy Filho, 2008

2.3 Medidas de recuperação

Os procedimentos que envolvem a recuperação de áreas degradadas, de um modo geral, compreendem basicamente o planejamento da recuperação, execução do plano de recuperação elaborado e a realização do monitoramento e manutenção das medidas implementadas.

Especificamente no que diz respeito às áreas lavradas, OLIVEIRA JUNIOR (2001) sustenta que as medidas para a sua recuperação baseiam-se em retaludamento, revegetação e instalação de sistemas de drenagens.

2.3.1 Retaludamento

Retaludamento são intervenções para a estabilização de taludes, através da mudança na sua geometria, visando regularizar a superfície e, sempre que possível, recompor artificialmente condições topográficas de maior estabilidade (ALHEIROS et al., 2003).

De acordo com BITAR (1997), o retaludamento compreende basicamente a realização de terraplanagem simples de corte e aterro, gerando uma sucessão de bermas (acostamentos) e taludes, redesenhando superfícies topográficas irregulares existentes na área da mineração, com o auxílio de máquinas e equipamentos, tais como, tratores de esteira, retro-escavadeiras e caminhões. O retaludamento tem como finalidade reduzir a possibilidade de surgimento de processos erosivos e movimentos de massa, que são acelerados se combinados com a inclinação, o ângulo, o comprimento e forma dos taludes (ENVIRONMENT AUSTRALIA, 1998).

Segundo ENVIRONMENT AUSTRALIA (1998), para a obtenção de melhores resultados devem ser construídas bermas a cada 7 - 10 metros de desnível entre taludes, com uma inclinação transversal máxima de 5% e longitudinal de 0,5%.

2.3.2 Sistemas de Drenagem

Objetivando atenuar o potencial erosivo das águas, é importante que sejam instalados sistemas de drenagem para a captação e desvio de águas pluviais na área do empreendimento (BITAR, 1997).

A execução desta medida envolve a construção e interligação de canaletas longitudinais e transversais às bermas, de caixas intermediárias de sedimentação e dissipação de energia cinética, confeccionadas em alvenaria e estruturas de concreto (BITAR, 1997). A liberação da água deve prever que o escoamento superficial será lançado de maneira segura nos cursos de água existentes. (ENVIRONMENT AUSTRALIA, 1998).

2.3.3 Revegetação

No Brasil, técnicas de revegetação vêm sendo aplicadas há muitos anos em minerações de grande porte (BITAR, 1997), sobretudo a partir do final da década de 70. Para CARCEDO et al. (1989) apud BITAR (1997), a revegetação sempre desempenha papel importante, pois possibilita a restauração da produção biológica do solo, a redução e controle da erosão, a estabilização dos terrenos instáveis, a proteção dos recursos hídricos e a integração paisagística.

É imprescindível que a revegetação do local seja efetuada após a execução das medidas de retaludamento e implantação de sistemas de drenagem. As técnicas empregadas para a revegetação de áreas degradadas são aplicação de telas vegetais, semeio manual, hidrossemeadura, plantio de grama em placas, entre outras. A escolha da técnica a ser empregada dependerá das características da área a ser recuperada.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2009), áreas com declividade superior a 30% são consideradas áreas íngremes ou de difícil acesso não permitindo, portanto, a sua mecanização. Para estas áreas, quando

sujeitas aos processos erosivos, sejam elas de conformação natural ou induzidas, indica-se a aplicação da hidrossemeadura para promover a cobertura vegetal e minimizar as perdas de solo por erosão.

A TAB. 1, a seguir, mostra um exemplo de composição utilizado no processo de hidrossemeadura para a recuperação de áreas degradadas na mineração. O ideal seria a utilização de espécies nativas para a recuperação das áreas degradadas, porém, nem sempre estas se encontram disponíveis comercialmente ou em quantidade necessária.

TABELA 1 – Exemplo de composição utilizada no processo de hidrossemeadura para a revegetação de áreas degradadas pela mineração

Insumos		Quantidade	
		*por carga	Por ha
Gramíneas	Capim meloso	24,0 Kg	160,0 Kg
	Capim braquiária	3,0 Kg	20,0 Kg
	Aveia Preta	6,0 Kg	40,0 Kg
Leguminosas	Gandu	2,0 Kg	40,0 Kg
	Labe-labe		
	Mucuna preta		
	Unha-de-gato		
Fertilizantes	NPK	35,0 Kg	250,0 Kg

*Carga de 5.000 litros para aplicação numa área média de 1.500m²
 Fonte: Brandt, 2001.

2.4 Avaliação de áreas degradadas

A avaliação das áreas degradadas é essencial em um plano de recuperação, pois objetiva caracterizar a situação em que se encontra o empreendimento mineiro, definindo o melhor caminho para a desativação deste, considerando sempre a

necessidade de medidas de recuperação ambiental e monitoramento.

Alguns indicadores e parâmetros freqüentes na avaliação de áreas degradadas por mineração são listados por BITAR (1997): feições erosivas de pequeno porte, feições erosivas de grande porte, feições de massas movimentadas, feições de massas em movimentação, posicionamento dos níveis freáticos, dimensão do assoreamento, alcance da poluição do solo, grau de compactação do solo, grau de umidade do solo. Outros indicadores ambientais podem ser utilizados, dependendo de cada situação e do tipo de área degradada.

Pode-se considerar que a avaliação inicial deve identificar, essencialmente, os processos de degradação instalados e os impactos ambientais decorrentes.

2.5 Planejamento da recuperação

A definição sobre o uso futuro da área deve considerar a relevância técnica, social e legal das alternativas propostas, bem como os custos e prazos envolvidos na sua implementação (CAIRNS JR., 1986). O planejamento da recuperação deve considerar, ainda, os planos de desenvolvimento da região ou município em que a atividade mineral se localiza.

2.6 Gestão - Monitoramento e manutenção

Um plano de monitoramento e manutenção deve estabelecer quais dados devem ser coletados, quais os pontos de amostragem, quais análises devem ser procedidas, etc. À medida que se obtém os dados, deve-se compará-los com os resultados anteriores, montando um histórico de evolução da recuperação. O tempo de monitoramento é um ponto polêmico, mas deve durar o necessário para avaliar o sucesso da recuperação, variando de acordo com cada situação.

É essencial que vistorias e inspeções periódicas sejam feitas, visando manter as condições necessárias ao cumprimento dos objetivos preestabelecidos no plano de recuperação, além de verificar se os parâmetros estão sendo ajustados e se a recuperação está sendo ou não bem sucedida. Resultados insatisfatórios podem exigir reavaliação da área degradada ou a reformulação das medidas executadas ou, até mesmo sua complementação ou substituição.

2.7 Custos da recuperação

É imprescindível prever os custos de todas as ações propostas, para que o processo de recuperação aconteça como planejado. A execução de um projeto de recuperação ambiental depois de exaurida a mina é muito mais dispendiosa do que se fosse executada gradativamente, desde o início de sua operação. Torna-se necessário recuperar terrenos alterados, incluindo desmontes, movimento de rochas e solos, instalação de drenagens, preparo do terreno e revegetação, sinalização e manutenção. Estes custos compreendem mão-de-obra, explosivos, equipamentos de perfuração, carregamento e transporte, matérias-primas de drenagens e agrícolas (sementes, mudas, viveiros, corretivos de solos e adubos, etc.), séries de fotografias aéreas e análises químicas na etapa de monitoramento.

3 METODOLOGIA

A pesquisa científica é produto de uma investigação. O objetivo é resolver problemas e esclarecer dúvidas, tendo como ferramenta procedimentos científicos. Na investigação são estudados, observados e experimentados os fenômenos, destacando-se compreendê-los como resultantes de apreensões superficiais, subjetivas e imediatas (BARROS, 1990).

De acordo com LAZZARINI (1995) a pesquisa por meio de estudos de casos tem sido enquadrada no grupo dos métodos qualitativos, que se caracterizam por um maior foco na compreensão dos fatos do que propriamente na sua mensuração. O método qualitativo é aplicável para situações nas quais o problema de pesquisa é abrangente, complexo e não pode ser analisado fora do seu contexto e se assemelha a procedimentos de interpretação do nosso dia a dia os quais tem a mesma natureza dos dados que o pesquisador qualitativo emprega em sua pesquisa. Para não atravessar uma rua, basta que vejamos se aproximar um caminhão: não é necessário saber o seu peso exato, a que velocidade ele corre, de onde vem etc. Nesta situação, o caminhão é um símbolo de velocidade e força, não sendo necessárias mais informações para se atravessar a rua. Há problemas e situações que podem ser analisadas sem quantificação de certos detalhes (delimitação precisa do tempo de quando aconteceram, lugar, causas etc).

No caso deste trabalho, a recuperação de áreas degradadas na mineração é adequada a esta situação, com a pesquisa sendo feita no local de origem dos dados, com uma análise do estudo do caso.

Para a seleção do estudo de caso, considerou-se a premissa de tratar-se de empresa de grande porte. O apoio solicitado foi o acesso à mina, o acompanhamento das vistorias por técnico qualificado e conhecedor do local, o fornecimento de dados de monitoramento, e de mapas, plantas, fotografias aéreas e outros documentos disponíveis. Também foram feitas entrevistas e contatos com técnicos e profissionais experientes, os quais atuam na empresa e estão envolvidos, direta ou indiretamente, com a recuperação de áreas.

Não é a intenção de esta pesquisa avaliar se as medidas serão eficientes ou se os mesmos resultados poderiam ser alcançados com o uso de técnicas e procedimentos de menor custo.

3.1 Objeto de pesquisa

A área objeto do estudo está localizada no município de Itapeçerica (MG), onde ocorre mineração de grafita há mais de 70 anos.

As coordenadas geográficas são as seguintes:

Latitude sul: 20° 26' 11,79";

Longitude oeste: 45° 09' 21,24".

A área pertence à Zona Campo das Vertentes de Minas Gerais, situando-se numa altitude aproximada de 1.000 metros.

Embora exista mais de uma mina em operação na empresa de mineração estudada, escolheu-se uma determinada mina em razão desta estar no estágio final de lavra, uma vez que não é mais economicamente viável a extração e beneficiamento do minério, estando localizada dentro de uma comunidade rural e próxima a outra.

Apesar do objeto da pesquisa ser direcionada a uma mina específica, a metodologia usada poderá ser aplicada na recuperação das demais minas, caso seja do interesse da empresa.

4 ESTUDO DE CASO

Neste ponto o meio físico e biótico da região da pesquisa são caracterizados, com vistas a identificar a área objeto da recuperação. São descritos os materiais e métodos aplicados na pesquisa e o modo de preparação terreno. É apresentada a forma de estruturação do modelo ecológico para a recuperação de áreas degradadas bem como as propostas para acompanhamento dos trabalhos – medidas das variáveis, o tratamento analítico dos dados e a forma de integrar essas informações

4.1 Localização

As FIG 5 e 6, a seguir, indicam a localização da mina estudada. Ela está localizada próxima a MG 164, km 04, Estado de Minas Gerais e está inserida no município de Itapeçerica. A linha em vermelho, na FIG 6, representa a MG 164.

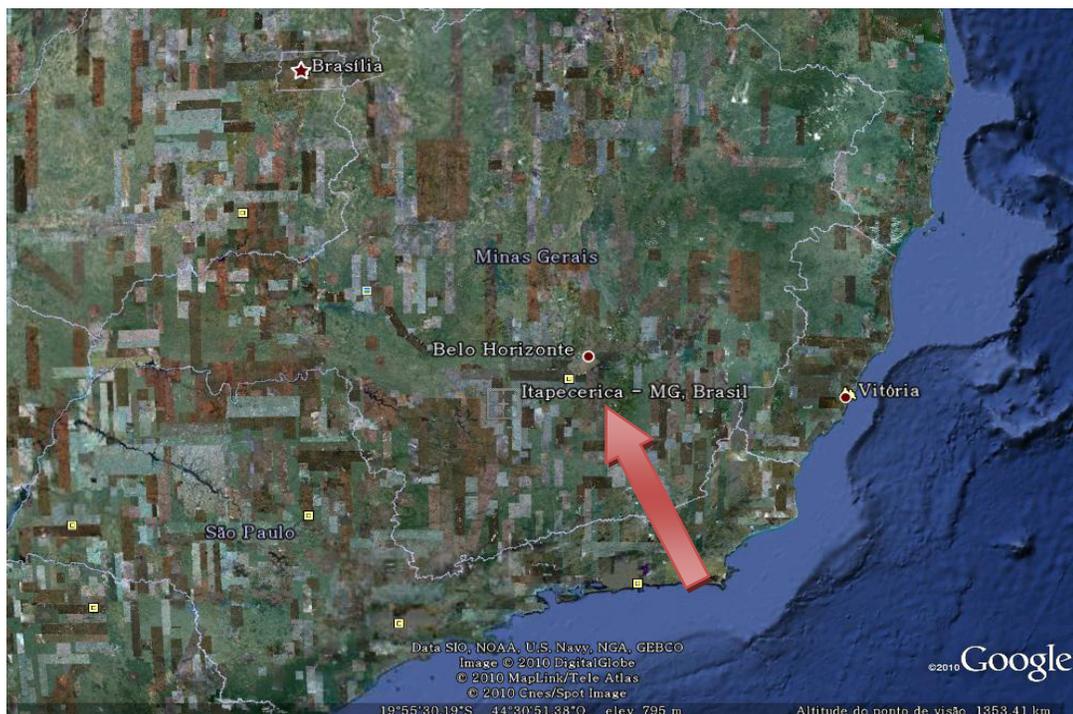


FIGURA 5 – Localização mina de grafita
Fonte: Google Earth



FIGURA 6 – Localização mina de grafita
Fonte: Google Earth

4.2 Caracterização da mina

A mina em estudo esta localizada em vilarejo rural que pertence ao município de Itapeçerica. Seu início de exploração data do ano de 2003. A mina é do tipo mina a céu aberto, formada por bancadas descendentes onde são realizadas as extrações do minério de grafita, sendo este um material friável e sua extração realizada com auxilio de máquinas (escavadeira).

Dentro do plano de lavra, todo o estéril retirado da mina em estudo é direcionado para um DCE – Depósito Controlado de Estéril, que hoje está localizado ao lado da mina.

A área da mina encontra-se no chamado Complexo Barbacena, de idade arqueada e é composto por rochas metamórficas do tipo gnaisses migmatitos, granito-gnaisses, gnaisses de médio a alto grau metamórfico, quartzitos, xistos grafitosos e diques intrusivos de rochas básicas.

Na jazida ocorre xisto grafitoso (grafita) com o teor médio 20%. A reserva desta mina foi de 160.000 ton de Grafite e 193.600,3 ton de estéril, com uma relação estéril/minério de 12:1 (toneladas estéril/por tonelada de minério).

A seqüência de lavra é descendente, com o avanço em bancadas condicionado às necessidades do mercado. Na FIG. 7 pode-se ver a situação da mina antes de iniciada a extração do minério e, nas FIG. 7a e 8 é possível visualizar a situação atual das minas, bem como sua localização na comunidade rural.



FIGURA 7 – Vista aérea da mina
Fonte: Arquivo da empresa



FIGURA 7a – Vista aérea da mina
Fonte: Arquivo da empresa

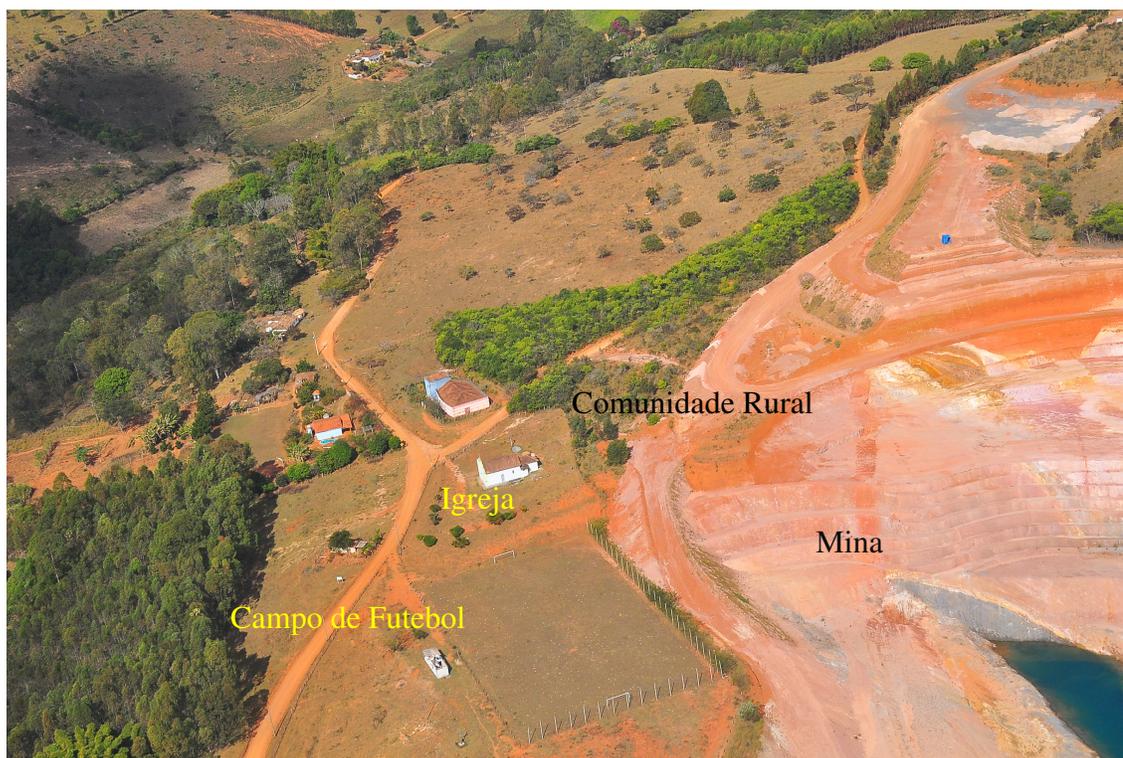


FIGURA 8 – Vista aérea da mina
Fonte: Arquivo da empresa

O plano de lavra previu uma cava de 80 metros de profundidade máxima, cerca de 1.400 m de comprimento e 320 m de largura máxima. O piso projetado situa-se na cota 995, e existe uma infiltração de água no lençol freático à cota 1045.

Isto significa que, uma vez desativada a mina, deve-se formar um lago de pelo menos 60 m de profundidade, ficando parte da Mina submersa. O projeto de cava final prevê bancadas finais de 10 m de altura com bermas de 9 e 7 m de largura.

4.3 Metodo de lavra

O método de lavra utilizado pela empresa é extração a céu aberto, sendo concebido pela empresa um plano de lavra, cujos taludes mostravam inclinações variando entre 35 e 43°. Os taludes deste plano foram avaliados e a conclusão foi que os coeficientes de segurança não estavam adequados, muito próximos de 1, tendo sido recomendados ângulos mais brandos, de 34° a 38°. As seguintes operações são efetuadas durante a operação de lavra:

- a. Desmatamento – remoção da cobertura vegetal das áreas a serem lavradas. De forma geral, a vegetação da região é composta de espécies de pequeno porte. Nesta etapa, o plano de lavra buscou a remoção apenas na área necessária para o desenvolvimento dos trabalhos de extração e circulação de veículos.
- b. Decapeamento – retirada do material estéril e do solo orgânico. O solo orgânico, basicamente areia com resíduos vegetais, é armazenado em separado para posterior utilização na fase de revegetação.
- c. Extração – a extração da grafita é realizada em processo de meia encosta, com a utilização de escavadeira.
- d. Carregamento – realizado pelas mesmas escavadeiras.
- e. Transporte – realizados por caminhões que transportam o minério da frente de lavra até unidade industrial onde será processado e beneficiado.

4.4 Análise da situação pós-lavra

Depois de encerrados os trabalhos de lavra, deverão ser avaliadas as condições da área. Nesse sentido, devem ser analisadas mudanças na cobertura vegetal (reco da flora), afastamento da fauna da região, alterações significativas na topografia da região, formação de taludes acima de uma altura estável, alteração e/ou assoreamento das drenagens naturais, possíveis pontos de poluição pelos equipamentos utilizados na fase de extração e seu impacto no meio ambiente, situação das construções que possam estar localizadas na área. Com relação a estes últimos deve ser considerada a remoção dos mesmos, uma vez que na área apenas existem construções de pequeno porte, ou mesmo a manutenção dos mesmos pelo tempo que possam ser úteis.

4.5 Histórico ambiental

Na última década, a empresa tem dedicado esforços no sentido de cumprir a legislação ambiental vigente. Cumpre as exigências legais, no intuito de manter seu empreendimento regularizado no sentido de controle e recuperação ambiental. Com relação a esse aspecto, a atual política da empresa tem colaborado para melhorar sua imagem junto à comunidade e demonstrar que é viável a exploração responsável e consciente do meio ambiente.

Acreditando que a melhor herança a ser deixada às gerações futuras é a preservação do meio ambiente, a empresa criou um departamento exclusivamente dedicado ao gerenciamento de questões ambientais. A recuperação de reservas exauridas com espécies nativas, o monitoramento do solo, a reciclagem da água e o tratamento de efluentes dos processos de concentração são algumas das ações rotineiras que fazem com que a empresa seja reconhecida como uma referência a ser seguida por outras empresas do setor de mineração. Nas FIG. 9 e 10 podem-se observar recuperações, executadas pela empresa, de minas já exauridas.



FIGURA 9 – Mina recuperada
Fonte: Arquivo da empresa



FIGURA 10 – Mina recuperada
Fonte: Arquivo da empresa

4.6 Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

A empresa, como titular de concessão de lavra, deve, obrigatoriamente, realizar a recuperação das áreas da mina, objeto de estudo desta pesquisa, de acordo com um plano, previamente elaborado e aprovado pelo órgão governamental competente.

As diretrizes para elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pelas atividades de mineração, são determinadas pela NBR 13030, visando à obtenção de subsídios técnicos que possibilitem a manutenção e/ou melhoria da qualidade ambiental, independente da fase de instalação do projeto (ABNT, 1999).

4.7 Caracterização Física

4.7.1 Aspectos Físicos

A mina atual está representada na FIG. 11, a seguir:

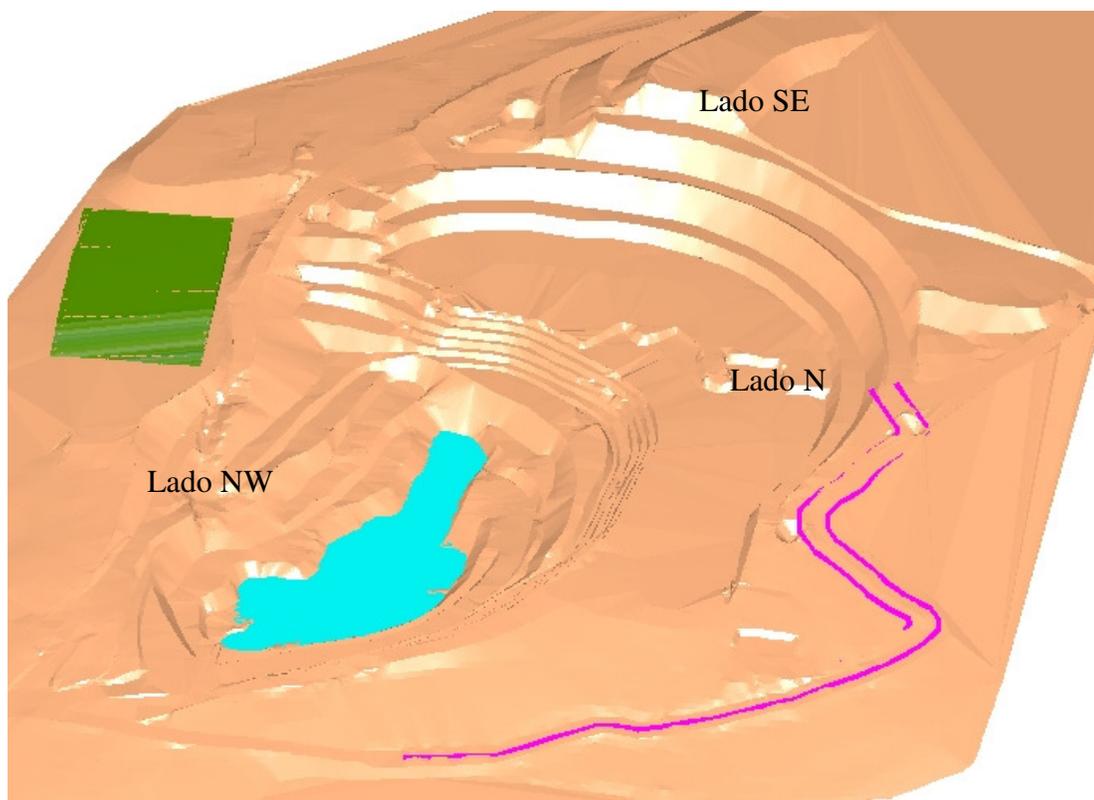


FIGURA 11 – Condição atual da mina
Fonte: Arquivo da empresa

A maior altura da mina está no lado SE. Os bancos são escavados com alturas médias de 10 m. Neste lado da mina, a inclinação média do talude global varia entre 34 e 38°.

A cota mais elevada da mina pode ser considerada 1075 m, enquanto que a cota mais baixa será de 995 m, com altura total de 80 m. Aproximadamente abaixo da cota 1045 a mina tem circulação fechada, ou seja, é operada em cava. Desta elevação para cima, as drenagens dos bancos têm saída para o terreno natural. Abaixo desta elevação as águas de chuva ou de surgências são drenadas para o fundo da mina, de onde são bombeadas para fora da área.

No 1º semestre do ano de 2009 ocorreu uma ruptura da mina, no seu lado N, com cerca de 15 a 20 m de altura, tendo sido afetada uma estrada de acesso. Segundo a equipe da empresa, a causa do escorregamento foi o avanço da escavação no pé do mesmo, levando-o à condição de instabilidade.

As FIG 12 a 15 ilustram os aspectos atuais da mina



FIGURA 12 – Vista do talude SE da mina, com maior altura.
Fonte: Arquivo da empresa



FIGURA 13 – Vista dos taludes da área Sul da mina, com acúmulo no fundo da cava.
Fonte: Arquivo da empresa



FIGURA 14 – Talude SE da mina, mostrando rupturas nos bancos inferiores, pela saturação por água subterrânea nesta área
Fonte: Arquivo da empresa



FIGURA 15 – Ruptura nos taludes do lado N da mina
Fonte: Arquivo da empresa

4.7.2 Aspectos hidrológicos

A região caracteriza-se por apresentar sua maior concentração de chuvas no período de outubro a abril. Neste período é comum a ocorrência de altos valores de precipitação pluviométrica. No final de fevereiro e em março são comuns as ocorrências de chuvas de curto período de duração, mas de alta intensidade pluviométrica.

De acordo com os dados de 2007 a 2010, fornecidos pela empresa, a pluviometria média total anual foi de 1.307,00 mm.

O GRAF.1 mostra a pluviometria média mensal da região no período de 2007 a 2010.

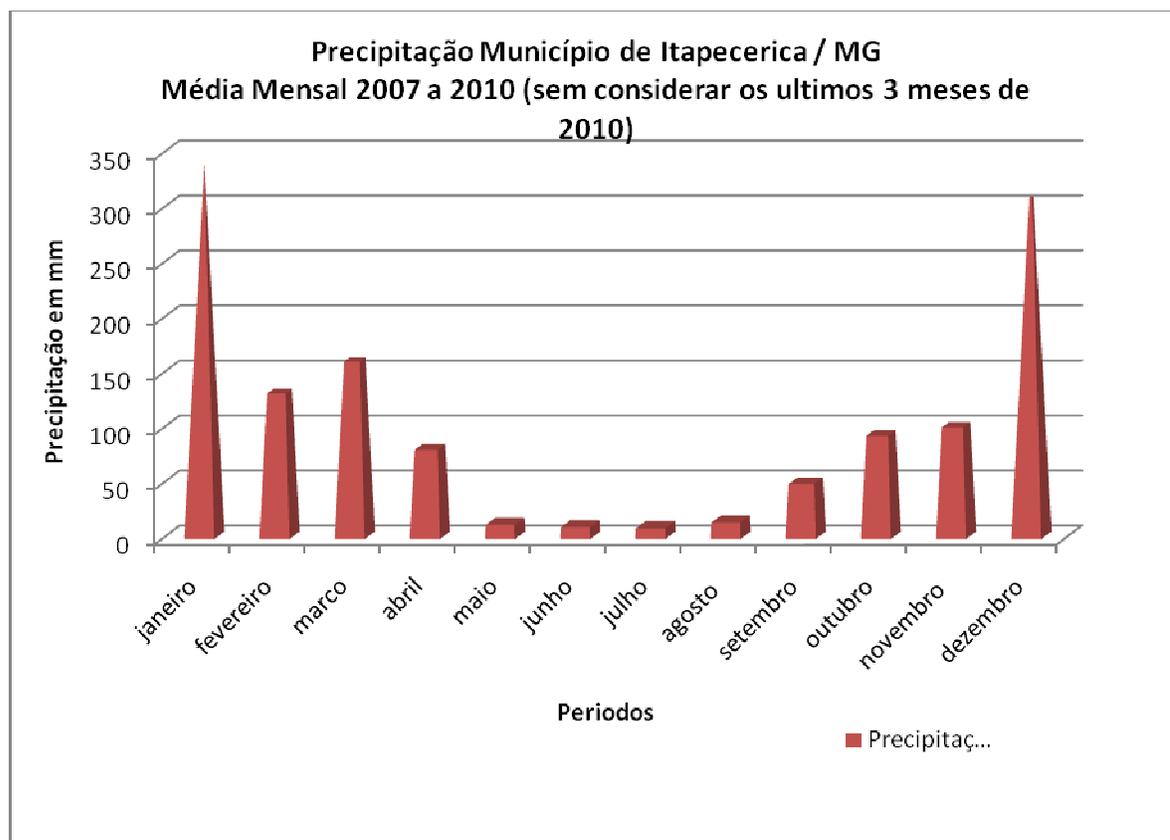


GRÁFICO 1 – Gráfico de pluviometria mensal – período 2007 a 2010
Fonte: Arquivo da empresa

5 DESENVOLVIMENTO

Apesar de terem sido realizadas análises de estabilidade em duas etapas distintas (Ações de Estabilidade Física e Recuperação), este assunto será abordado em um único tópico (tópico 5.2.2.1 Análises de Estabilidade), pois os passos metodológicos seguidos são os mesmos. O que difere são as seções utilizadas.

As seguintes etapas: reconformação topográfica, implantação de sistemas de drenagem, análises de estabilidade e revegetação são os requisitos para elaboração e apresentação de projeto de recuperação de áreas degradadas pela mineração segundo a norma NBR 13030 (ABNT, 1999).

5.1 Escolha da mina

Embora existam várias minas na empresa, este trabalho apresenta apenas as ações relacionadas à recuperação da mina localizada na comunidade rural, pois esta, apesar de possuir uma menor área de abrangência, gera um maior impacto ambiental, vez que está localizada, literalmente, dentro da própria comunidade.

5.2 Ações de Estabilidade Física

Esta etapa compreende as seguintes sub-etapas: levantamento dos dados, tratamento dos dados da topografia e confecção de mapas, ensaios geotécnicos e análises de estabilidade.

5.2.1 Levantamento dos Dados e Confecção dos Mapas

Para o desenvolvimento do estudo e com objetivo de agregar informações relevantes para compreensão do problema, foram levantados os dados necessários para a elaboração do trabalho considerando a topografia original e atual, os parâmetros geotécnicos do solo e os custos de recuperação.

A confecção dos mapas foi feita com o tratamento dos dados da topografia. Este tratamento teve como objetivo tornar a topografia trabalhável, possibilitando a confecção de mapas de locação e caracterização da mina, além da definição dos limites do retaludamento, a elaboração das seções para análise de estabilidade e elaboração da reconformação topográfica.

5.2.2 Ensaios Geotecnicos

Os ensaios foram realizados pela equipe da BVP Engenharia e consistiu no levantamento de todos os contatos geológicos, classificação dos solos conforme nomenclatura da mina, parâmetros geomecânicos e variações texturais dentro de uma mesma unidade litológica. Para isso, o levantamento foi feito nas bancadas da mina onde foi possível o acesso e os pontos foram marcados em locais onde se percebeu a variação de uma das propriedades descritas acima.

Esses pontos foram marcados no mapa com amarração de uma trena de 100 metros no início de cada bancada de forma que fosse possível uma precisão adequada à escala de trabalho (1:1.000).

Como tentativa de caracterizar o grau de permeabilidade do material por meio de sua composição e textura, foi criada uma classificação para umidade levantada em cada ponto. Essa classificação é meramente qualitativa e funciona como um comparativo entre os pontos levantados. Resume-se apenas em permeabilidade BAIXA, MÉDIA e ALTA.

A partir dos levantamentos de campo, produziu-se um novo mapa geológico comparando com ao mapa atual da mina. Após essas atividades realizou-se uma nova visita de campo para detalhamento, com intuito de complementar as informações referentes ao comportamento da mina. Com todas as informações reunidas, definiram-se, então, os cenários para a realização das análises de estabilidade da cava atual.

A FIG. 16 apresenta o mapa, produto do levantamento de campo realizado pela equipe da BVP, com os tipos de solos identificados. Algumas porções foram adaptadas do atual mapa geológico da mina objeto deste estudo devido à inacessibilidade de algumas regiões por conta da presença de água (fundo da cava) e a reconformação de taludes em aterro sobre as rochas *in situ*.

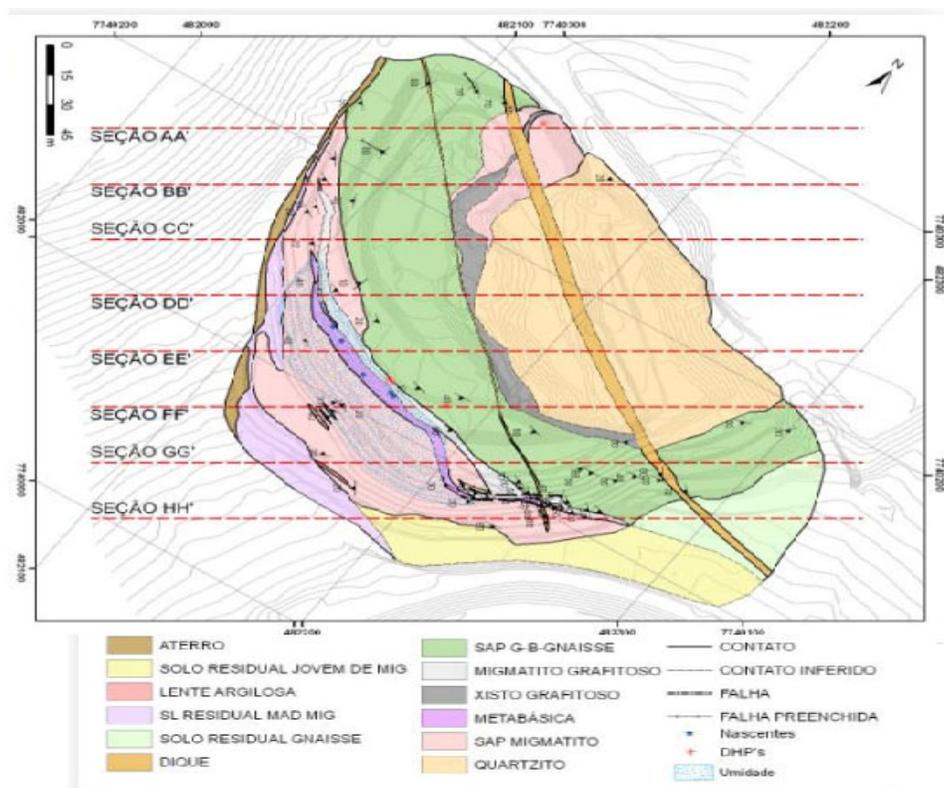


FIGURA 16 – Mapa geológico produto do levantamento de campo da equipe da BVP Engenharia
Fonte: Arquivo da empresa

Nas FIG. 17 a 22 são apresentados, na mina, *in loco*, alguns dos solos identificados.

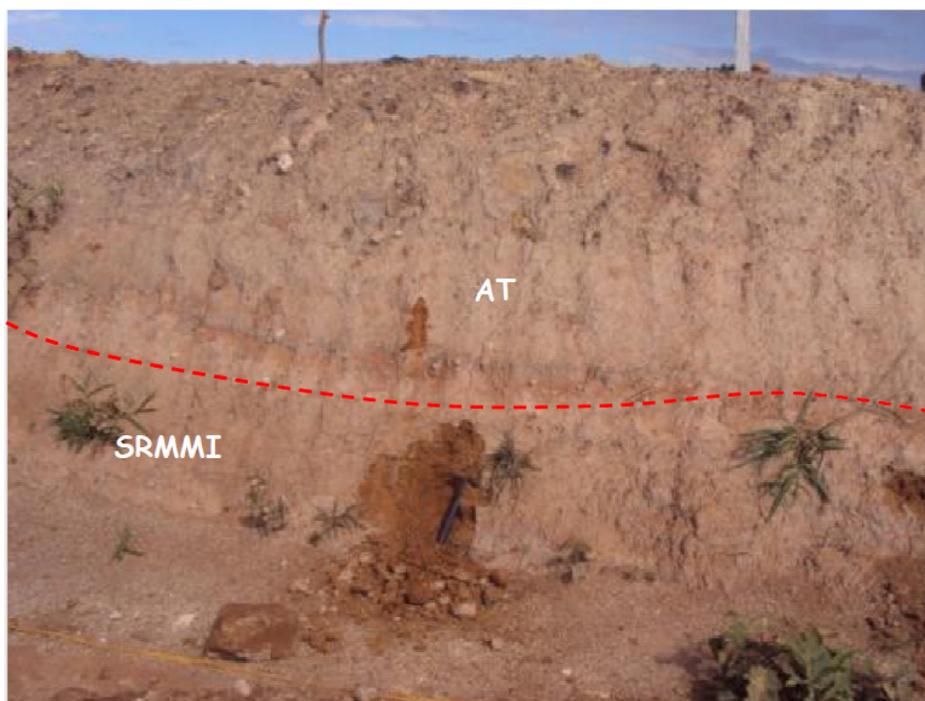


FIGURA 17 – Aterro (AT) sobre solo residual maduro de migmatito (SRMMI)
Fonte: Arquivo da empresa



FIGURA 18 – Veio de quartzo em meio a solo residual maduro de migmatito (SRMMI)
Fonte: Arquivo da empresa

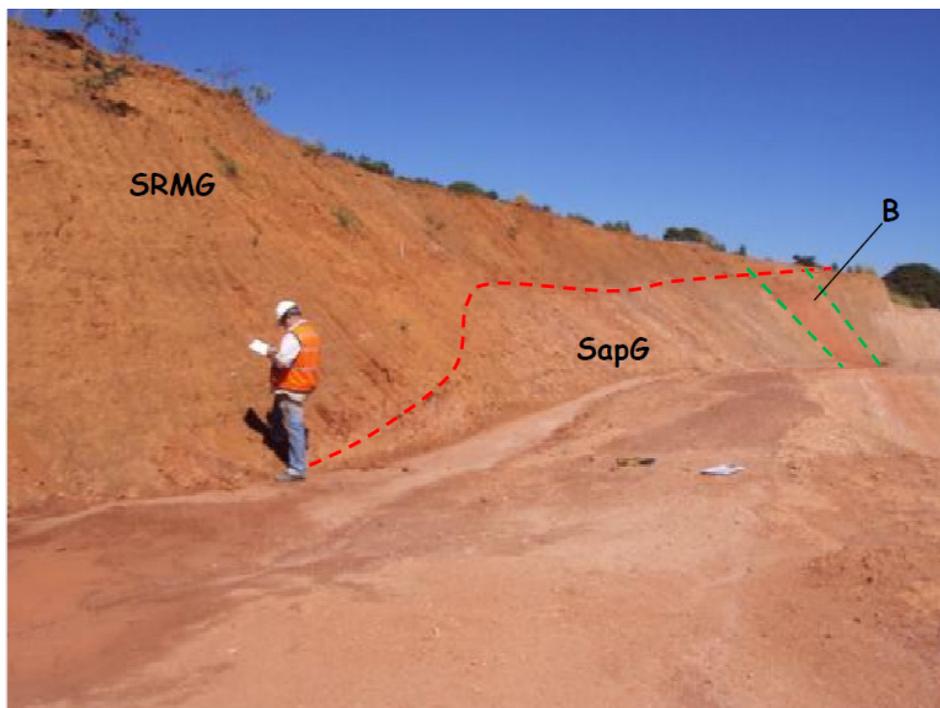


FIGURA 19 – Solo maduro de gnaiss sobreposto (SRMG) ao Saprolito de gnaiss (SapG)
Fonte: Arquivo da empresa



FIGURA 20 – Saprolito de granada-biotita-gnaiss (SapG)
Fonte: Arquivo da empresa

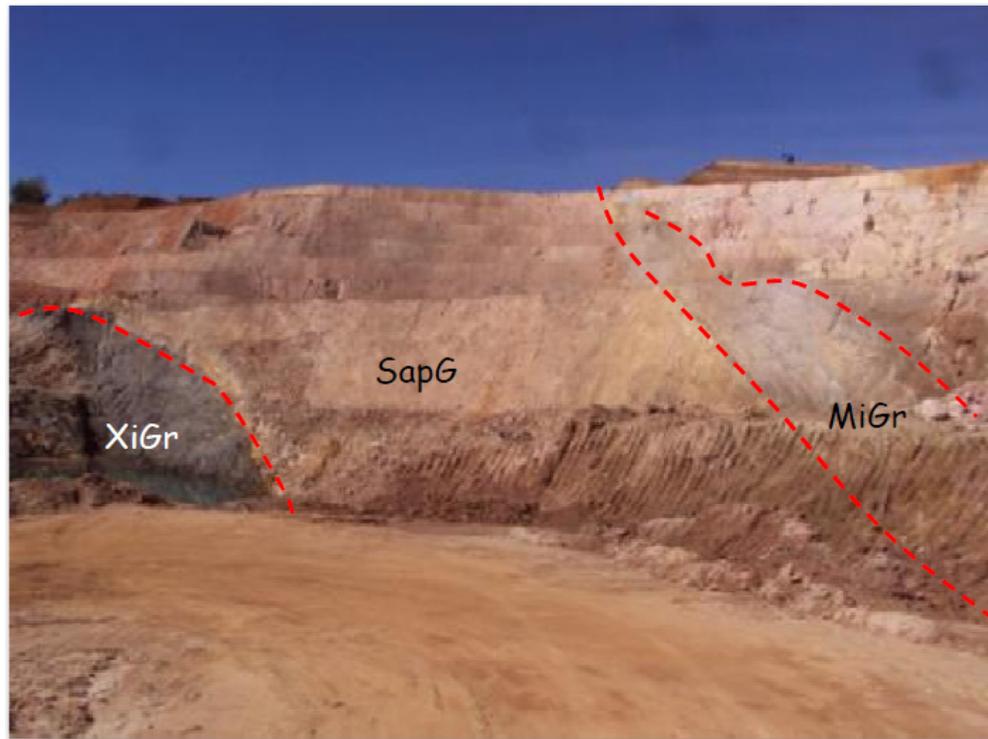


FIGURA 21 – Xisto Grafitoso (XiGr) em contato com Saprolito de granada-biotita-gnaiss (SapG)
Fonte: Arquivo da empresa

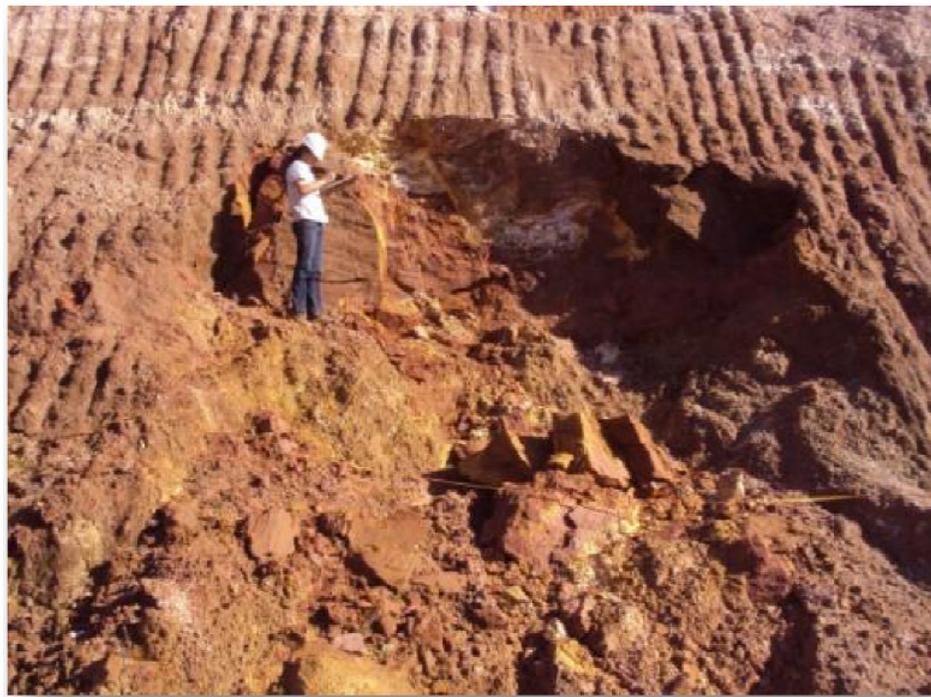


FIGURA 22 – Rupturas em região de surgências em meio a rochas metabásicas, as quais identificam regiões mais fragilizadas nos taludes
Fonte: Arquivo da empresa

Com base na avaliação e interpretação dos dados obtidos em campo, foi estimado o parâmetro de Permeabilidade.

O GRAF. 2 apresenta o histograma de freqüência para o parâmetro de permeabilidade (estimativa) para os principais solos presentes na área da mina.

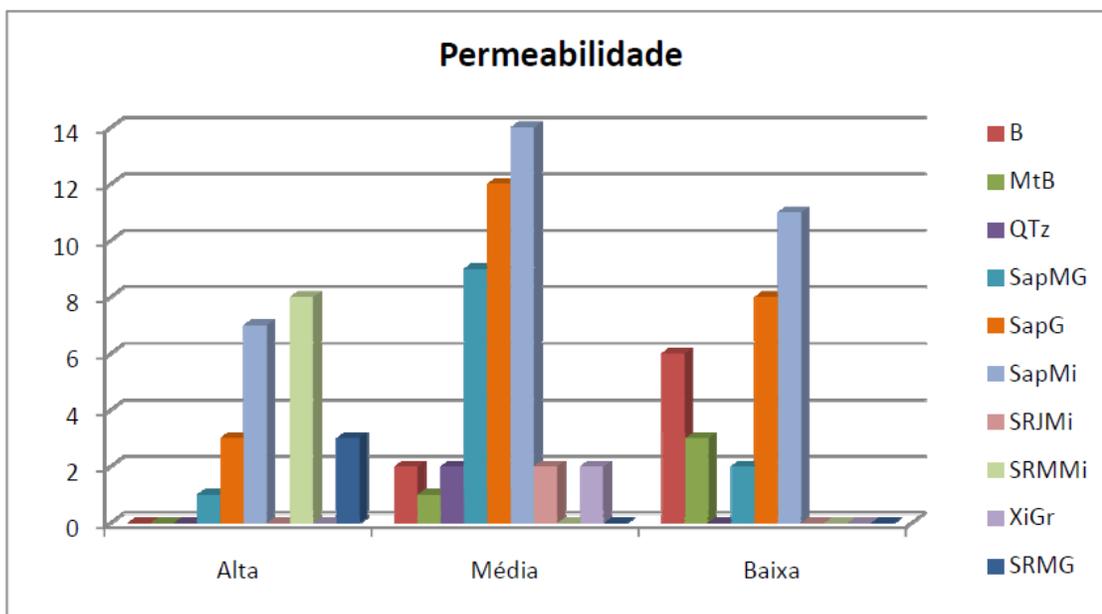


GRÁFICO 2 – Histograma de Freqüência – Permeabilidade
Fonte: Arquivo da empresa

5.2.2.1 Análises de Estabilidade

Nesta etapa, são analisadas as estabilidades dos taludes atuais da cava da mina, bem como considerando o retaludamento do terreno remanescente. É sugerido também um modelo geomecânico a fim de determinar o ângulo médio que posteriormente deverá ser traduzido no retaludamento.

Para a realização das análises de estabilidade foi utilizado o programa Slide, versão 5.0, da Rocscience. O Slide é um programa de formulação bidimensional de análise de estabilidade de taludes e avalia o fator de segurança para rupturas circulares e não-circulares usando a teoria do Equilíbrio Limite. O método do

equilíbrio-limite considera que as forças que tendem a induzir a ruptura devem ser balanceadas pelos esforços resistentes. A fim de comparar a estabilidade de taludes em condições diferentes de equilíbrio-limite, define-se o fator de segurança (FS) como a relação entre a resistência ao cisalhamento máxima mobilizada em relação àquela necessária ao equilíbrio do solo. À condição de equilíbrio-limite corresponderia um fator de segurança unitário

Dentre os vários recursos disponíveis pelo Slide destaca-se a possibilidade de representar o fluxo bidimensional em materiais anisotrópicos e a incorporação dos resultados nas análises de estabilidade.

Para melhor entendimento das condições necessárias à estabilidade dos taludes da Cava da mina, foram estudadas seções geológico-geotécnicas ortogonais (1, 2 e 3) às paredes da cava em três posições representativas para realização das análises de estabilidade. Uma das seções contempla o segmento em que ocorreu a ruptura da metabásica intemperizada, constituída em termos geotécnicos predominantemente por argila plástica, saturada. A seguir, apresenta-se uma planta esquemática com a topografia atual, mostrando as seções estudadas (FIG. 23).

Na seção 3-3 encontra-se em área onde a metabásica se apresenta bastante adelgada, provavelmente por estiramento tectônico, com menor influência na estabilidade do talude. Nas demais seções a espessura da camada de argila é maior, sendo nestas seções a reprodução da geometria onde ocorreu a ruptura da bancada.

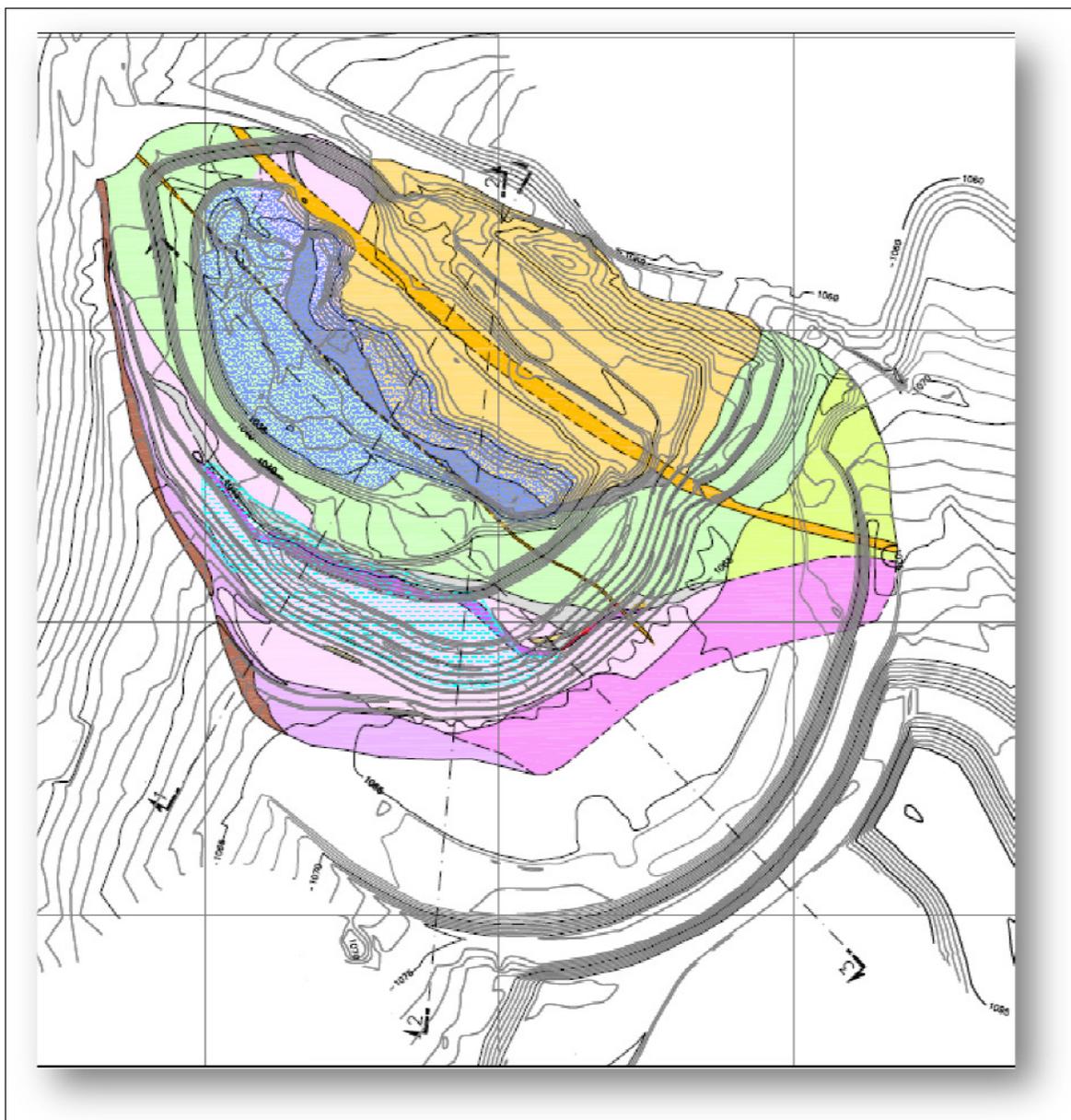


FIGURA 23 – Planta esquemática com as seções utilizadas para as análises de estabilidade de taludes da mina
Fonte: Arquivo da empresa

O objetivo da elaboração deste modelo consistiu em verificar a influência de determinados fatores condicionantes que interferem na estabilidade geral dos taludes. Neste estudo foram admitidos como condicionantes da segurança dos taludes o tipo de material presente na estrutura e o alto nível de água no interior de da cava da mina.

Os parâmetros de resistência adotados para as análises de estabilidade dos taludes da Cava levaram em conta os ensaios de laboratório realizados pela empresa TECNOGEO em 2008, em alguns materiais, experiência prévia da BVP Engenharia em materiais semelhantes e retro análises.

Após a determinação e calibração de alguns parâmetros dos materiais contidos nos taludes da Cava, a geometria dos mesmos foi analisada quanto à sua estabilidade.

5.3 Recuperação – Intervenções para Recuperar/Estabilizar o Terreno

Com a finalização da retirada do minério, o terreno remanescente se encontrará instável, suscetível a movimentos de massa e a erosão visto que, tampouco, há vegetação, conforme já demonstrado. De acordo com Bitar (1997), um terreno que tenha sofrido intervenções deve ser remodelado de forma que sua conformação final seja segura, estável e não erosiva.

A nova conformação topográfica do terreno será diferente da encosta original anterior a retirada da grafita, pois durante a retirada são abertos acessos, praças para movimentação de máquinas que implicam na alteração do perfil topográfico, tornando a encosta ainda mais instável e necessitando de intervenções para estabilizá-la, além de estar, como já dito anteriormente, totalmente desprovida de vegetação e, portanto mais suscetível à erosão.

5.3.1 Conformação Final do Terreno – Retaludamento

Com a intenção de conferir maior estabilidade para o terreno, foram propostas as obras de retaludamento. Para a obtenção de uma geometria final do terreno foram utilizados os seguintes itens:

- Considerações expostas pela literatura na revisão bibliográfica do presente trabalho: os taludes devem ter altura entre 7 a 10 m e as bermas uma inclinação longitudinal máxima de 0,5% e transversal máxima de 5% (BITAR, 1997 e ENVIRONMENT AUSTRÁLIA, 1998). Os taludes de escavação devem possuir no máximo 10 m de altura (AUGUSTO FILHO & VIRGILI, 1998).

- Topografia primitiva: topografia anterior à extração do minério, obtida na empresa. O retaludamento foi realizando utilizando como base a topografia primitiva.

- Softwares AutoCAD e programa Slide, versão 5.0, da Rocscience. O AutoCAD foi utilizado para a execução da conformação do retaludamento O Slide foi utilizado para condução das análises de estabilidade.

Foi elaborada a seção típica do retaludamento para a realização das análises de estabilidade conforme item 5.2.2.1 (Análises de Estabilidade).

5.3.2 Sistemas de Drenagem

As áreas retaludadas ficam frágeis em virtude da exposição de novas áreas cortadas, razão pela qual a necessidade de um sistema de drenagem, assim entende ALHEIROS et al. (2003). E, conforme BITAR (1997) e ENVIRONMENT AUSTRALIA (1998), as bermas devem possuir inclinação transversal negativa máxima de 0,5%, e a inclinação longitudinal suave de no máximo 5%, para a melhor condução das águas. Assim, na nova geometria foram propostas as drenagens superficiais indicando os locais onde deverão existir os dispositivos que direcionarão as águas pluviais, evitando, então, a ocorrência de processos erosivos.

Propôs-se, de maneira conceitual, o sistema de drenagem, recolhendo a água da chuva que cai sobre o terreno retaludado, fazendo com essa percorra seu caminho sem deflagrar processos erosivos, chegando até o terreno natural com baixa velocidade.

Contudo, como existem incertezas em relação aos parâmetros dos materiais ao longo da altura total do talude e da elevação da freática, não se pode afirmar que somente esta geometria seria suficiente para manter a estabilidade de tal estrutura.

As exposições realizadas por BITAR (1997) fundamentaram o dimensionamento do sistema de drenagem superficial. Os dispositivos de drenagem propostos são:

- Canaleta trapezoidal em terra com grama para declividades inferior a 3%;
- Canaleta trapezoidal enrocada para declividades entre 3% e 7%;
- Canaleta de pedra argamassada para declividades entre 7% a 27%, já que as águas pluviais tendem a arrancar as pedras do enrocamento das canaletas;
- Canaleta / escada em pedra argamassada, quando a declividade for maior que 27%, objetivando diminuir a velocidade das águas;
- Escada de descida d'água em concreto armado;
- Caixas coletoras/passagem em concreto. Estas caixas são existentes nos locais de mudança de direção de fluxo entre as canaletas.

5.3.3 Revegetação

Em áreas industriais a vegetação sofre, por força da própria atividade, uma completa erradicação. A recuperação de um ecossistema completamente destruído é um processo pouco conhecido, complexo e sempre diferente de uma localidade para outra. Alguns fatores determinam a maior ou menor rapidez da regeneração natural. Dentre outros, destacam-se como mais importantes:

- o grau de evolução do processo de intemperismo do material que compõe a área decaçada pelas operações de mineração;

- a presença de fontes naturais de sementes próximas à área de interesses para a vegetação;
- os trabalhos de engenharia mineral que promoverão a movimentação e a retirada das camadas superficiais.

Geralmente, os solos expostos não são os solos superficiais orgânicos. São solos onde falta o ambiente bacteriano, o pH é inadequado e muitas vezes as bases disponíveis são reduzidas e não há condições de trocas para alimentação dos vegetais através das raízes.

Como esse processo de recuperação natural é longo, o homem deve interferir, criando condições necessárias e favoráveis, abreviando estes processos de sucessão.

O DNIT (2009) recomenda a técnica da hidrossemeadura em áreas íngremes para promover a cobertura vegetal e minimizar as perdas de solo por erosão. Foi considerado também, o monitoramento e a manutenção das áreas revegetadas.

A composição sugerida para a hidrossemeadura é aquela apresentada no item 2.3.3 deste trabalho (TAB 1), utilizada para a revegetação de áreas degradadas pela mineração. Embora as espécies presentes nesta tabela não sejam nativas da área em estudo, algumas foram encontradas durante os levantamentos efetuados na região. Isto demonstra que estas espécies possuem capacidade de fixação na área em estudo e, para confirmar esta capacidade, faz-se necessário o monitoramento da área revegetada.

A água existente no fundo da cava é originada do lençol freático, sendo de boa qualidade pra uso humano. Com o retaludamento e revegetação, esta água, que é, originalmente, represada, tenderá a preencher parte da cava, formando um lago que poderá ser utilizado pela comunidade. A proposta é usar este lago como criadouro de peixes para consumo.

5.4 Análise Econômica - Estimativa de Custo de Recuperação

Os custos de recuperação deverão ser obtidos através dos praticados no mercado atualmente. São pontos a serem considerados nos custos:

- Ensaios geotécnicos – o custo dos ensaios teve como base o custo dos ensaios realizados pela BVP Engenharia;
- Obras de drenagem superficial – foi considerado, para levantamento dos custos, o preço por metro linear de canaletas e por unidade de caixas coletoras. Nestas obras é necessário, também, que sejam realizadas escavações; sendo estas mensuradas multiplicando-se a área da seção de cada canaleta pelo comprimento da mesma e o volume a ser escavado, para a execução das caixas coletoras, obtido com base no volume das mesmas.
- Revegetação – a revegetação foi orçada por metro quadrado plantado de hidrossemeadura. O metro quadrado foi levantado com base no desenho da geometria proposta;
- Monitoramento – foi considerado um percentual de 40% de replantio para o monitoramento e a manutenção das áreas revegetadas (ALMEIDA E SANCHÉZ, 2005).
- Projeto executivo – é necessário considerar o preço de um projeto executivo de retaludamento, pois assim o valor total estimado da recuperação aproximará do valor real.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Recuperação – Intervenções para Recuperar/Estabilizar o Terreno

6.1.1 Conformação Final do Terreno e Análise de Estabilidade

Após a determinação e calibração de alguns parâmetros dos materiais contidos nos taludes da Cava, a geometria dos taludes atuais foi analisada quanto a sua estabilidade.

Para uma análise inicial, foi utilizada como base a seção 1. No GRAF. 3 é apresentado o resultado da análise efetuada para esta geometria.

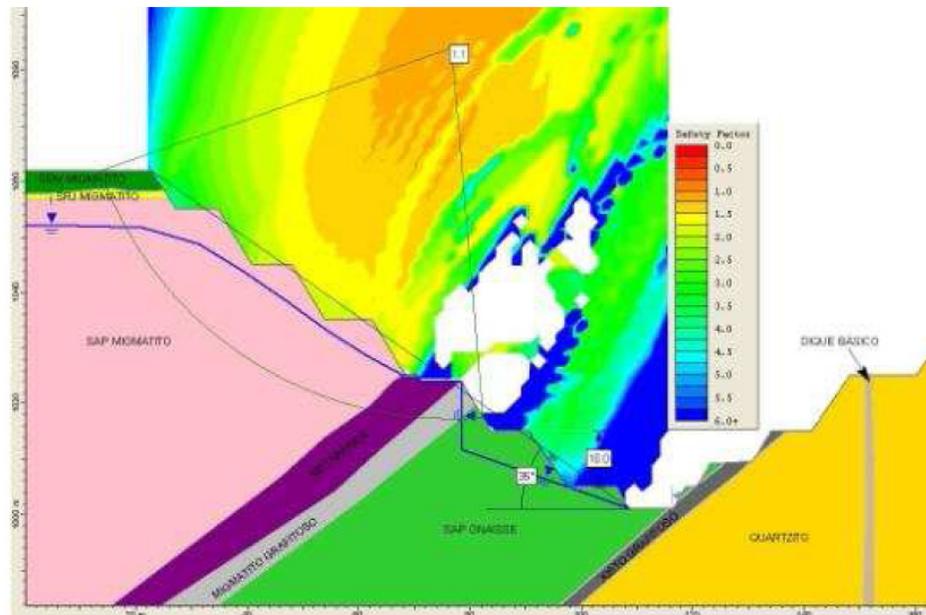


GRÁFICO 3 – Resultado da análise de estabilidade Seção 1 – Cava atual - FS = 1,1
Fonte: Arquivo da empresa

O fator de segurança encontrado (FS=1,1) não é satisfatório para os fatores comumente usados em retaludamento. O FS padrão deve ser maior que 1,5.

Os GRAF. 4 e 5 apresentam os resultados das seções 2 e 3.

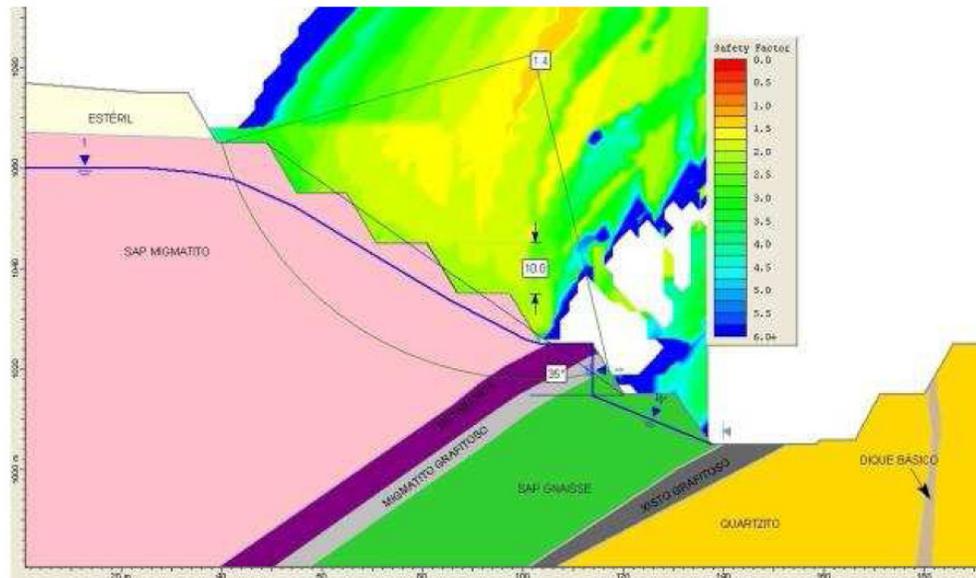


GRÁFICO 4 – Resultado da análise de estabilidade Seção 2 – Cava atual - FS = 1,4
Fonte: Arquivo da empresa

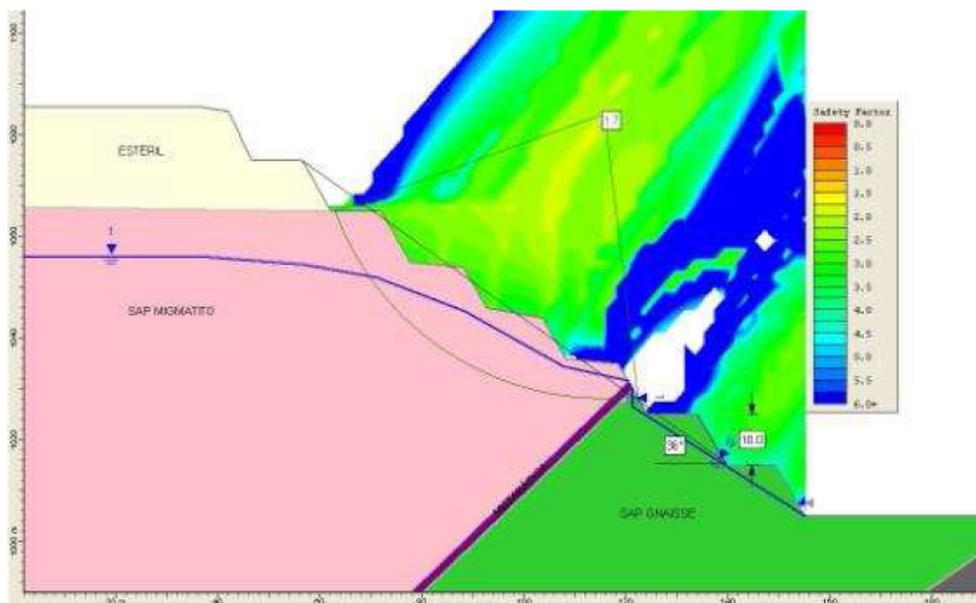


GRÁFICO 5 – Resultado da análise de estabilidade Seção 3 – Cava atual - FS = 1,7
Fonte: Arquivo da empresa

Os GRAF. 6 a 8 representam as seções que alimentaram as análises de estabilidade realizadas para a nova conformação topográfica.

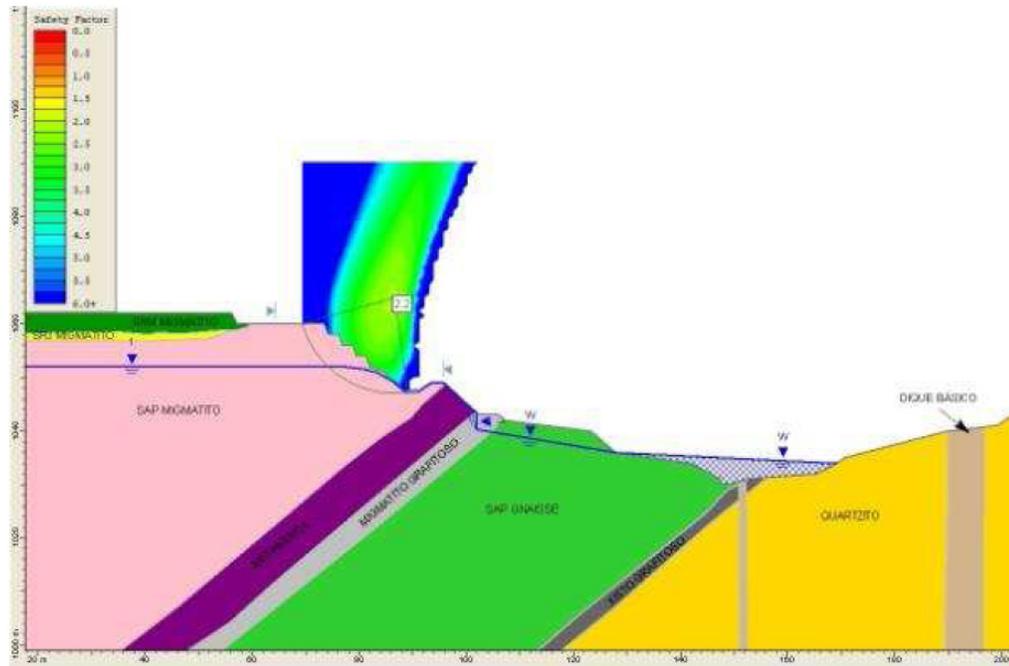


GRÁFICO 6 – Resultado da análise de estabilidade Seção 1 - FS = 2,2
 Fonte: Arquivo da empresa

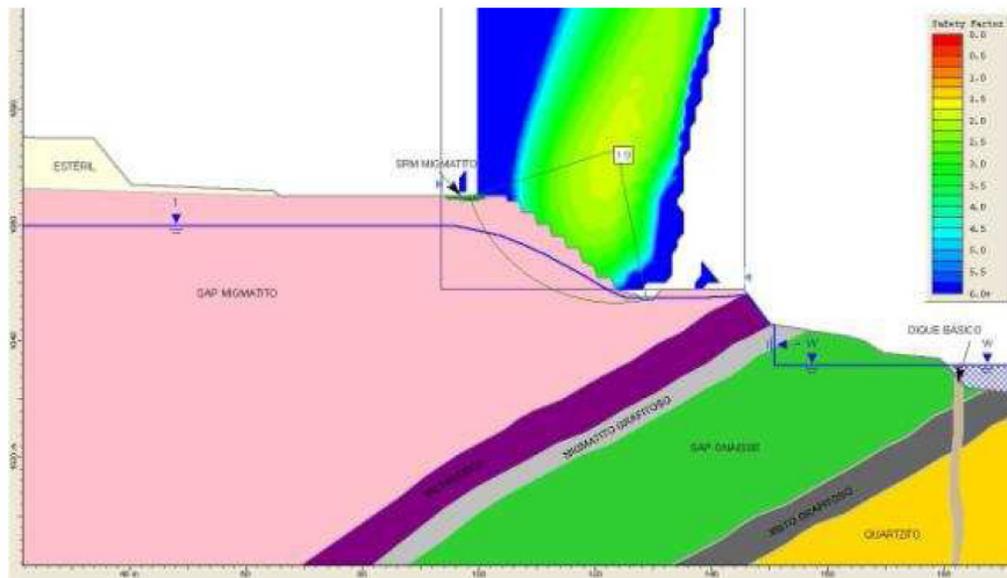


GRÁFICO 7 – Resultado da análise de estabilidade Seção 2 - FS = 1,9
 Fonte: Arquivo da empresa

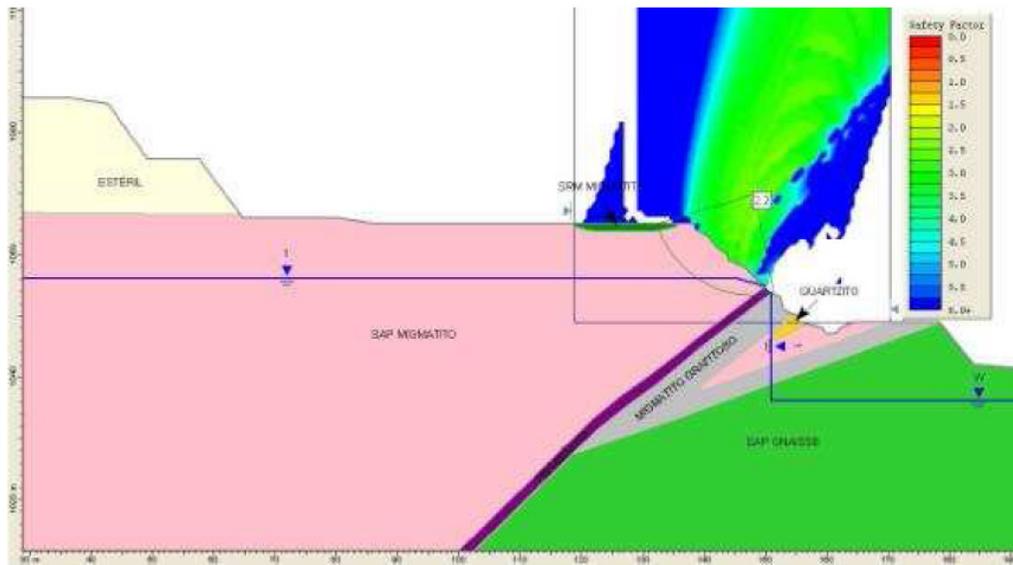


GRÁFICO 8 – Resultado da análise de estabilidade Seção 3 - FS = 2,2
Fonte: Arquivo da empresa

Conforme o esperado, houve um aumento do FS para as seções retalhadas quando comparadas com as seções atuais. Além disso, para todas as análises do retalhamento proposto, o FS foi igual ou maior do que 1,5, atendendo aos critérios de segurança da norma NBR 9061 (ABNT, 1985).

Os resultados das análises de estabilidade dos solos destes taludes, bem como as estruturas dos maciços de solo mostram que, do ponto de vista estrutural, os taludes tornar-se-ão estáveis e apresentarão excelentes comportamentos. Assim, pode-se afirmar que eles não terão quaisquer problemas estruturais no futuro.

Em alguns casos ainda verificaram-se taludes com problemas causados por erosão e descalçamento dos mesmos. Nestes casos, reforça-se a decisão de executar drenagem superficial à montante de todos os taludes estudados.

6.1.2 Sistemas de drenagem

Paralelamente aos trabalhos de abrandamento dos topos das erosões, é necessário executar um sistema de drenagem realmente eficaz, eliminando a continuidade de processos erosivos observados durante os levantamentos.

O sistema de drenagem proposto constitui-se, basicamente, da execução de canaletas que deverão variar na forma de acordo com a declividade e seção de vazão. As canaletas deverão ser construídas a certa distância da crista dos taludes. A inclinação das bermas deverá ser sempre para o pé do talude superior, onde deverão ser construídas as canaletas, evitando-se, assim, o transbordamento das águas pluviais pela crista da banqueteta, descendo e ravinando o talude. Na FIG 24, tem-se um croqui da posição das canaletas em relação aos taludes.

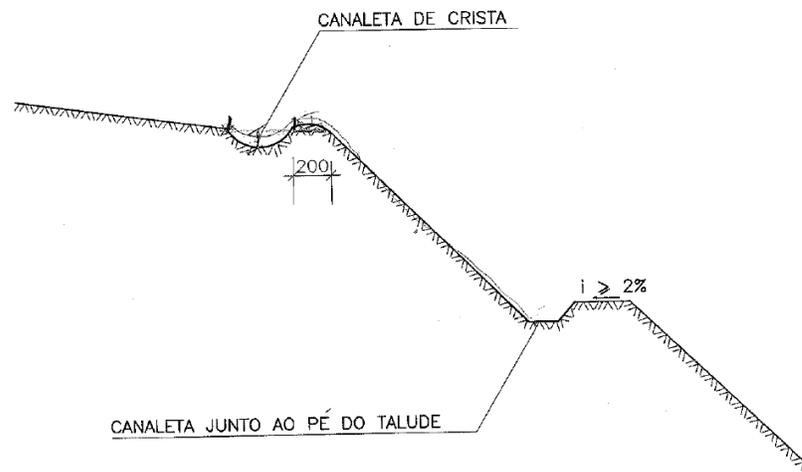


FIGURA 24 – Posição das canaletas
Fonte: Arquivo da empresa

Deve-se evitar, ao máximo, o uso de escadas de descida de água em concreto armado, que agridem visualmente o ambiente e constituem problema para o uso da terra que, em sua grande maioria, são destinadas ao pastoreio de bovinos. Estas escadas devem ser utilizadas apenas em lugares onde a declividade é grande, principalmente nos taludes de corte e aterro, onde não há condições para outra solução.

Toda água pluvial será direcionada para o fundo da cava, onde o nível de água, oriunda do lençol freático, comporá um lago o qual poderá ser utilizado para o lazer da comunidade ou criação de peixes.

Após a implantação, todo sistema de drenagem deverá sofrer manutenção preventiva periódica, principalmente antes do período chuvoso. Esta manutenção

poderá ser gradativamente diminuída com a progressão da recuperação vegetal da área.

O sistema de drenagem será constituído de:

- Canaleta trapezoidal em terra com grama – quando a declividade for inferior a 3%, será adotada apenas uma canaleta cortada no solo e com o fundo plantado em grama, de fácil execução e manutenção. Esta canaleta está ilustrada na FIG 25, sendo que as medidas variam de acordo com as caixas coletoras;

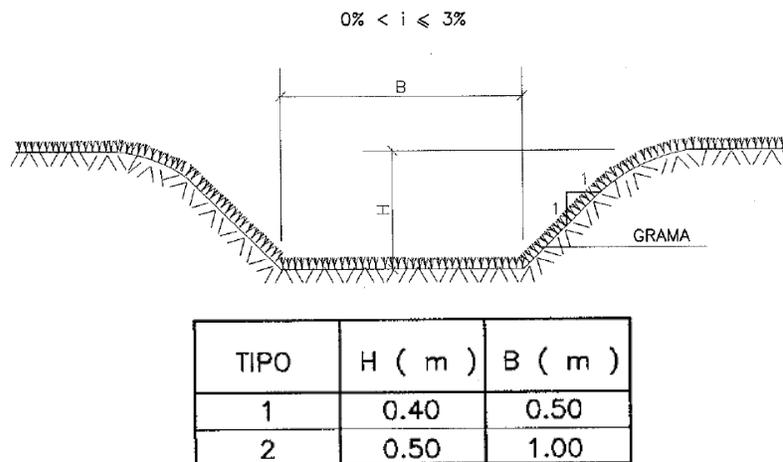
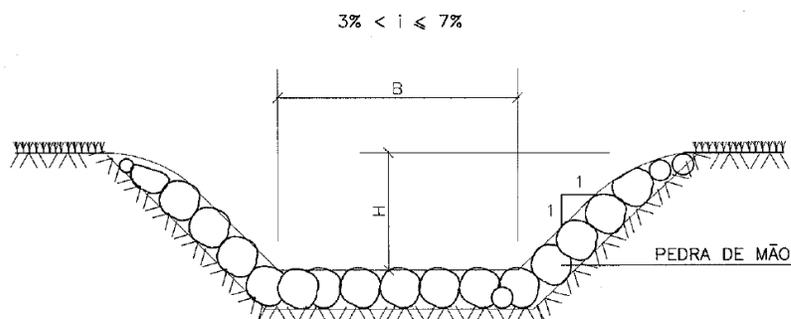


FIGURA 25 – Seção Canaleta Trapezoidal em terra e grama
Fonte: Arquivo da empresa

Após recuperação vegetal da área com a formação de um extrato arbóreo, capoeira e mata, estas canaletas passam a não precisar de manutenção e incorporam ao meio com grande facilidade.

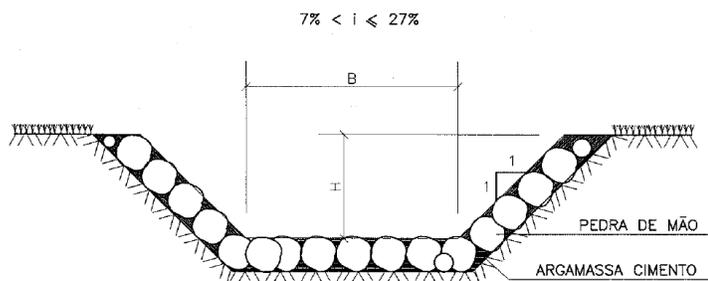
- Canaleta trapezoidal enrocada – com declividade entre 3% e 7%, a canaleta deverá ser enrocada, usando-se pedras provenientes de jazidas de granito da região, conforme apresenta a FIG. 26. Esta canaleta tem sempre o fundo chato e, como a anterior, não necessita de manutenção após a formação do extrato arbóreo, capoeira, mata.



TIPO	H (m)	B (m)
1	0.40	0.50
2	0.50	1.00

FIGURA 26 – Seção Canaleta Trapezoidal enrocada
Fonte: Arquivo da empresa

- Canaleta de pedra argamassada – com o aumento da declividade, 7% a 27%, as águas pluviais tendem a arrancar as pedras do enrocamento das canaletas. Para fixá-las, as pedras deverão ser argamassadas e bem assentadas depois de feita a escavação do solo com largura suficiente para receber as águas das caixas coletoras. Na FIG 27 são mostrados os detalhes desta canaleta.



TIPO	H (m)	B (m)
1	0.40	0.50
2	0.50	1.00
3	0.60	1.50

FIGURA 27 – Seção Canaleta de Pedra argamassada
Fonte: Arquivo da empresa

Até a estabilização estas canaletas, mesmo depois da recuperação vegetal, deverá ter manutenção preventiva, objetivando evitar erosões localizadas.

- Canaleta / escada em pedra argamassada – quando a declividade for maior que 27%, é necessário diminuir a velocidade das águas. Neste caso deverá ser adotada uma escada em pedra argamassada. A rusticidade desta escada não agride o meio-ambiente e é mostrada na FIG 28.

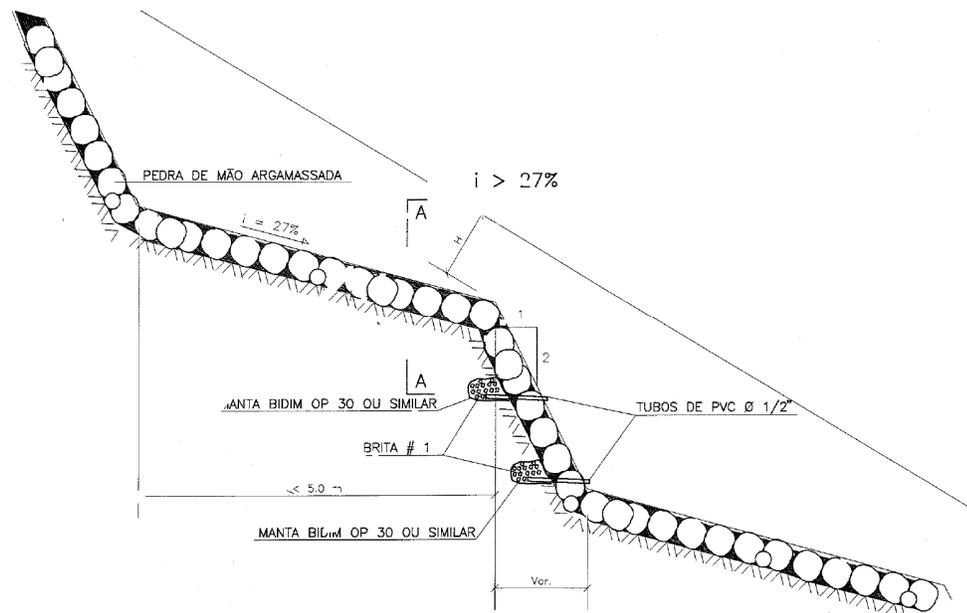


FIGURA 28 – Seção Canaleta / Escada em Pedra argamassada
Fonte: Arquivo da empresa

- Escada de descida d'água em concreto armado – este tipo de solução deverá ser utilizado somente nos taludes de corte e aterro, onde se tem uma declividade acentuada, conforme FIG 29. Estas escadas necessitam de manutenção constante.

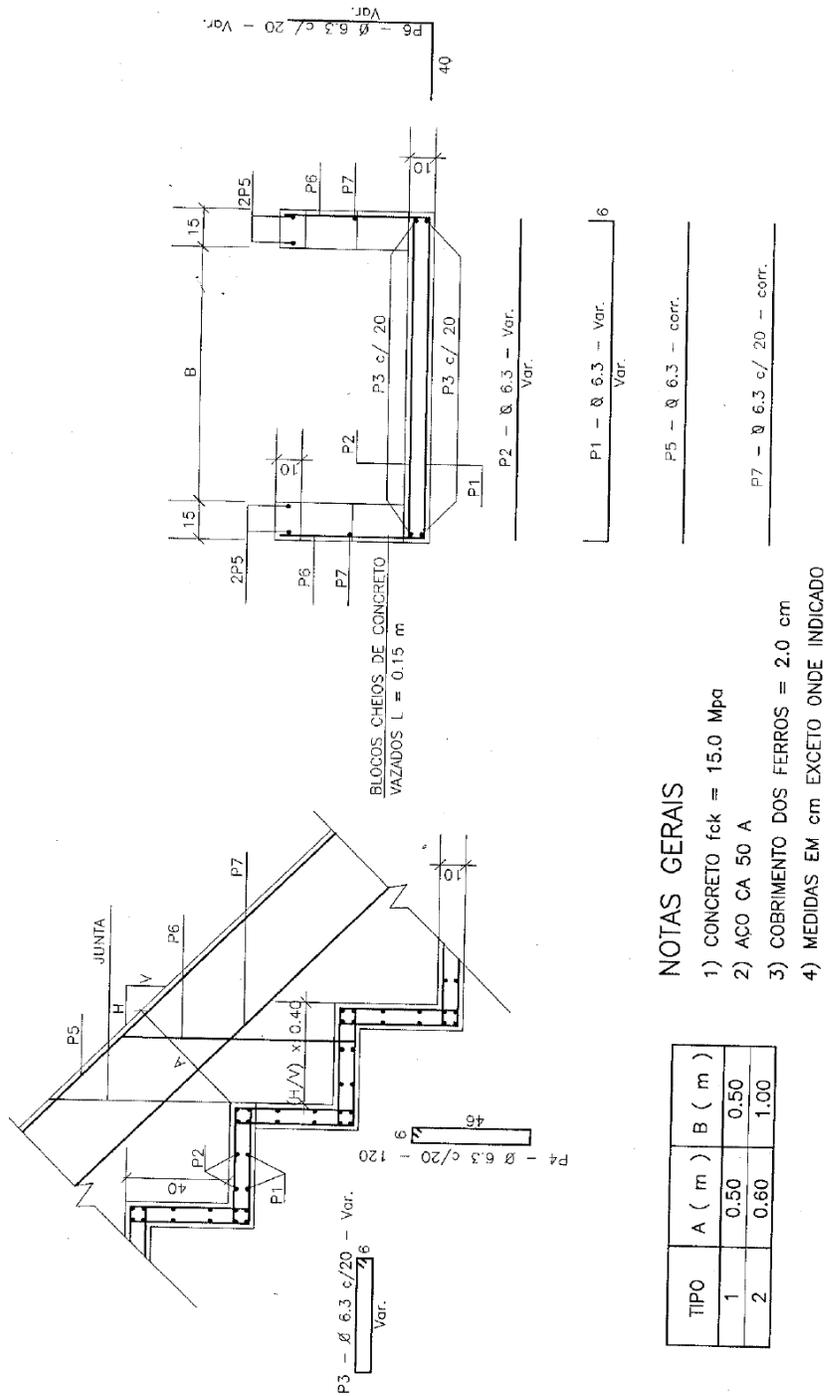


FIGURA 29 – Escada de descida d'água em concreto armado
 Fonte: Arquivo da empresa

Como já informado, o sistema de drenagem é uma proposta conceitual, não sendo possível uma discussão acerca dos resultados, uma vez que esta ainda não foi efetivada.

6.1.3 Revegetação

Tal qual a drenagem, o tipo de proposta de revegetação foi conceitual, seguindo as literaturas técnicas existentes sobre o tema bem como projetos de sucesso executados na recuperação de minas, tal qual a Mina do Piçarrão citada neste trabalho.

6.2 Análise econômica

A própria empresa tem equipamentos e pessoal especializado para executar o projeto de recuperação da mina do início até o ponto da revegetação, ou seja, até a instalação do sistema de drenagem. Assim, o retaludamento e escavações necessárias bem como a execução do sistema de drenagem deverão ser feito pelos profissionais empregados da empresa, com um custo, estima-se, bem menor do que se fosse executado por uma empresa externa. Estima-se que estes gastos giram em torno de R\$ 3.000.000,00 com utilização de mão-de-obra interna e aquisição de materiais.

Para o projeto de revegetação deverá ser contratada empresa especializada em técnicas de hidrossemeadura, com um custo médio de R\$ 6,90 m², considerando que um hectare – ha equivale a 10.000 m², temos que o custo por ha será de R\$ 69.000,00. Uma vez que a área recuperada tem em torno de 20 ha, haverá um custo aproximado final de revegetação de R\$ 1.380.000,00.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através das análises de estabilidade realizadas na seção do terreno, conclui-se que este se encontrará estável do ponto de vista geotécnico somente após a recuperação do local através das obras de intervenção: retaludamento, aplicação dos sistemas de drenagem e revegetação.

Conforme a análise de estabilidade efetuada, a área impactada estará estável fisicamente, evitando-se a ocorrência de movimentos de massa e diminuindo a possibilidade do surgimento de processos erosivos. Se as intervenções para a recuperação não forem realizadas, os processos erosivos continuarão o que acarretará em um maior custo de recuperação no futuro e problemas de segurança para a comunidade.

As atividades de mineração quando planejadas adequadamente geram menor impacto ambiental. Com a tecnologia adequada e os investimentos necessários é possível maximizar o aproveitamento das reservas, gerando menor quantidade de resíduos e, conseqüentemente, menor degradação.

Quando esta recuperação é realizada durante a vida útil da mina, o custo é diluído. Se a empresa, no momento adequado, tivesse optado por este tipo de recuperação, os custos deste processo seriam menores. Assim, importante ressaltar que as obras de recuperação devem ser realizadas, concomitante, as atividades da mina. Como isto não foi uma opção da empresa, os custos para a recuperação da área serão maiores e o próprio tempo de recuperação, também, será maior. Recomenda-se que, em futuras aberturas de minas, seja considerada a possibilidade de execução de um projeto de recuperação durante a vida útil da mesma, ou seja, que a recuperação seja feita concomitante com a exploração do minério.

É necessária, ainda, a realização de estudos complementares para subsidiar a elaboração do projeto executivo de recuperação mina proposto, o que deverá ser feito pelo próprio pessoal interno da empresa, lotados na área de meio-ambiente, os quais são capacitados para tal tarefa. Um novo levantamento topográfico, quando da elaboração do projeto executivo, permitirá a determinação do volume real de

escavação e a adaptação da geometria da área. Estudos hidrológicos detalhados da área em estudo deverão ser realizados para a elaboração de um projeto de sistema de drenagem superficial, apresentado aqui de maneira conceitual.

Esse trabalho buscou seguir determinada filosofia de recuperação de áreas mineradas. Não propôs atividades fora da realidade relacionada com a mineração - problema muitas vezes enfrentado pela atividade mineira em relação a órgãos de fiscalização. Limitou-se a apresentar algumas propostas que pudessem ser implementadas de forma viável.

Por fim, é imprescindível que o minerador/empresário tenha a consciência de que é necessário reparar os danos causados ao meio ambiente, assim como é, também, imprescindível que a sociedade compreenda que a mineração é fonte de renda e emprego e auxilia, de forma significativa, no desenvolvimento de determinadas regiões. Nesse sentido, conciliar desenvolvimento econômico e social com a indústria mineral, a fim de buscar benefícios para todos e preservar o patrimônio ambiental, é urgente e necessário.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRÃO, P.C. e SINGER, E.M. **Impactos ambientais na mineração: Um enfoque metodológico. Coletânea de trabalhos técnicos sobre controle ambiental na mineração.** Ministério de Minas e Energia/DNPM, Brasília-DF, 1985.
- ALCARDE, J. C. **Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo.** IN: SIMPÓSIO SOBRE ACIDEZ E CALAGEM, REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, Campinas. 1982. Anais... Campinas: SBCS, p. 11-22, 1983.
- ALHEIROS, M.N., SOUZA, M. A. A., Bitoun, J., MEDEIRO, S. M. G. M., JÚNIOR, W. M. A. **Manual de ocupação dos morros da região metropolitana do Recife.** Fundação de Desenvolvimento Municipal, Recife, PE. 2003
- ALMEIDA, R. O. P. O & Sánchez, L. E. (2005). **Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação de desempenho.** R. Árvore 29, Viçosa-MG, p. 47- 54, 2005
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Segurança de escavação a céu aberto- NBR 9.061.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 31p., 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Degradação do solo-terminologia- NBR 10.703.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 45p., 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. NBR 13.030,** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 5p. 1999
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos - classificação NBR 10.004.:** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 63p., 2004.
- AUGUSTO FILHO, O. e VIRGILI, J. C. **Estabilidade de Taludes.** In: dos Santos, A. M. e de Brito, S. N. A. (Eds.), Geologia de Engenharia: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, São Paulo. p. 243-269. 1998.

ÁVILA, J. M. & UMBELINO, R. **Projeto de Estabilização e Reabilitação de Áreas Degradadas na Mina de Piçarrão**. Nova Era, MG, 2006.

BARROS, Aidil de Jesus de. **Projetos de Pesquisa: propostas metodológicas**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1990.

BARTH, R. C. **Avaliação da reabilitação de áreas mineradas no Brasil**. Brasil Mineral, p.60-72, (Edição especial: meio ambiente). out. 1989.

Bitar, O. Y. & Braga, T. O. **O meio físico na recuperação de áreas degradadas. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**, Bitar, O. Y. (Coord.), ABGE/IPT, São Paulo, SP. p. 165-179. 1995

Bitar, O. Y. . **Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1997

BRASIL. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, DF, 1990.

BRASIL. **Decreto nº 227 de 28 de fevereiro de 1967. Código de Mineração**. Brasília/DF. 1967

BRUM, I. A. S., CARVALHO, I. G., OLIVEIRA Jr., J. B. e CASSA, J. C. **Mineração e meio ambiente – Uma avaliação do Estado da Bahia/Brasil**. TecBahia – Revista Baiana de Tecnologia, Camaçari, V II, n. 03, p.216- 226, Set./Dez.1996.

BRUM, Irineu Antonio Shadash de. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração**. Monografia (Pós graduação em Gerenciamento e Tecnologias ambientais na indústria), 2000, 22 p. – Escola Politécnica, São Paulo, SP. 2000.

CABRAL, V. M.; FARIA, S. M. de; DIAS; G. B. N.; LOTT; C. M.; NARA, H. C. **Seleção de espécies leguminosas fixadoras de nitrogênio para utilização na recuperação de áreas mineradas pela Companhia vale do Rio Doce**. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS "ÁGUA E BIODIVERSIDADE", Belo Horizonte, MG. Anais... Belo Horizonte: SOBRADE, 463-465, 2002.

CAIRNS, JR.; J. **Restauração, reclusão e regeneração de degradado ou destruído ecossistema.** In: Soulé M. E., org. **Conservação biológica.** Sunderland: Sinauer, p. 465-484, 1986

CLARK, A.L.; CLARK, J.C., 2002. **An internacional overview of legal frameworks for mine closure.** Disponível em http://www.idrc.org/uploads/users/11198931391clark_jcclark.pdf . Acesso: 16 out 2010.

DNIT . **Proteção do corpo estrada – Proteção vegetal - Especificação de serviço.** Norma DNIT 102. Rio de Janeiro, RJ, 9p. 2009

ENVIRONMENT AUSTRALIA. **Landform Design for Rehabilitation.** Austrália, 59p. 1998.

FARIA, Carlos Eugenio Faria. **Mineração e meio-ambiente no Brasil.** Relatório preparado para o CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília. 2002

FREIRE, William. **Coletânea de Legislação Mineral.** Belo Horizonte, MG. Editora Revista de Direito Minerário, 2005

GRIFFITH, J. J., DIAS, E. L., JUCKSCH, I. **Recuperação de Áreas Degradadas Usando Vegetação Nativa.** Saneamento Ambiental, v.7 n.37: p. 28-37. 1996

IBRAM. **Mineração e Meio Ambiente.** Belo Horizonte-MG, 59p. 1987.

JONHSON, D. L. et al. **Meanings of Environmental Terms.** Journal of Environmental Quality n. 26: p. 581-589. 1997.

JORDY FILHO, S. **Projeto de reabilitação da mina de Piçarrão.** Seminário encerramento de minas aspectos ambientais e socioeconômicos. Belo Horizonte, MG. 2008

LAZZARINI, S. G. **Estudos de caso: aplicabilidade e limitações do método para fins de pesquisa.** Economia & Empresa São Paulo v.2, n.4, p.17-26, out/dez.1995.

LOTT, C. P. M., BESSA, G. D., VILELA, O. **CVRD – Reabilitação de áreas e fechamento de minas.** BRASIL MINERAL – Edição especial Mineração e Meio Ambiente, n. 228: p. 26-31, 2004

LUZ, A. B. e DAMASCENO, E. C. **Desativação de minas.** Série Tecnologia MCT/CNPq/CETEM. Rio de Janeiro/RJ. 1996.

MASCARENHAS, G. R. **Controle ambiental da atividade de mineração: Algumas técnicas adotadas. Coletânea de trabalhos técnicos sobre controle ambiental na mineração.** Ministério de Minas e Energia/DNPM, p.23-38, 1985.

MORAES, N.C. SILVA J.M., LIMA, E.M. **Proposta de Reabilitação de Mina Abandonada em Ouro Preto – MG.** In Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto, 6º, 2010, Belo Horizonte, MG. 15 p. IBRAM, 2010. 1 CD-ROM

MUNN, R.E. **Environmental impact assessment: principles e procedures.** Toronto: John Wiley, (Seape. Report, 5), 1975

MURTA FILHO, Carlos Diniz. PESSOA, Alaor de Paula. **Recuperação Ambiental da Mina Esperança.** In Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto, 6º, 2010, Belo Horizonte, MG. 15 p. IBRAM, 2010. 1 CD-ROM

MUZZI, M. R. S. **Laudo Técnico Pericial para Valoração do Impacto Ambiental na Mina do Quês.** Belo Horizonte, MG, 2009.

OLIVEIRA JR, O. A., **Mineração – meio-ambiente: revisitando e aprofundo conceitos – apresentado idãs.** Monografia do Curso de lavra a céu aberto. Escola de Engenharia de Minas – UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto. Maio, 1993

OLIVEIRA JÚNIOR , J. B. **Desativação de empreendimentos mineiros: Estratégias para diminuir o passivo ambiental.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 2001

RESENDE, Alexandre Gomes. **Análise da aplicabilidade do Plano de Fechamento de Mina no Plano de Aproveitamento Econômico.** 2009. 95 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2009.

SÁNCHEZ, L. E. **Conceitos. In: Recuperação de áreas degradadas.** Curso de especialização em gestão e tecnologias ambientais. Universidade de São Paulo. 2005.

SANCHEZ, L. E. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração. Notas de aula.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP. MMX (2009). Ortofotos Serra Azul. Minas Gerais. 2003

TOY, T. J.; GRIFFITH, J. J. **Changing surface-mine reclamation practices in Minas Gerais, Brazil.** *Internacional Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Balkema, v. 15, n. 1, p. 33-51, 2001.

VIEIRA, Karippe Gerçossimo. **Aspectos geotécnicos e econômicos da recuperação ambiental de áreas degradadas por antigas pilhas de rejeito: um estudo de caso.** 2010. 113 p. Dissertação (Pós- Graduação em Geotecnia do Núcleo de Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2010

WESTMAN, W. E. **Ecology, Impact Assessment and Environmental Planning.** A Wiley-Interscience Publication. Toronto: John Wiley and Sons, 1985.

WILLIAMS, D. D.; BUGIN, A; REIS, J. L. B., coords. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação.** Brasília: IBAMA, 1990