

Abordagem Geomórfica na Reconformação Superficial de uma Pilha de Estéril na Mina de Córrego do Meio

Fernando Tomé

Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda., BHte, Brasil, ftome@golder.com.br

Ana Paula Vianna

VLB Engenharia e Consultoria Ltda., Curitiba, Brasil, ana.vianna@vlb.com.br

Marcelo Diniz

Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda., BHte, Brasil, mdiniz@golder.com.br

Vinícius Ribeiro

Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda., BHte, Brasil, vribeiro@golder.com.br

Fabiano Medanha

Vale S.A., Belo Horizonte, Brasil, fabiano.mendanha@vale.com

Hélio Cerqueira

Vale S.A., Belo Horizonte, Brasil, helio.cerqueira@vale.com

Rodrigo Marinaro

Vale S.A., Belo Horizonte, Brasil, c0358739@vale.com

Germano Araújo

Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda., BHte, Brasil, garaujo@golder.com.br

Daniela Moreira

Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda., BHte, Brasil, dmoreira@golder.com.br

RESUMO: A abordagem geomórfica busca aplicar as características semelhantes às naturais de relevo e drenagem que representam uma condição de forma e erosão em equilíbrio e maduras. Como consequência, as estruturas projetadas com este tipo de abordagem se parecem com as condições naturais nos arredores, favorecendo os aspectos visuais, as condições de vida selvagem e minimizando os processos erosivos, aproximando-os aos naturais. O presente artigo apresenta um estudo de caso da proposta de alterações de forma e de arranjo da pilha de estéril Voçoroca (PDE Voçoroca) localizada na Mina Córrego do Meio, no município de Sabará, Minas Gerais. Para o estudo das modificações necessárias foram realizadas visitas de campo para a identificação do fluxo de águas atualmente existente na pilha, o reconhecimento de erosões e ravinamentos, as análises da topografia, declividades e tipo de vegetação na pilha e em seus arredores. A partir destas visitas de campo e das análises descritas foi possível identificar características geomorfológicas da natureza ao redor e verificar o comportamento da PDE Voçoroca hoje, características estas utilizando a metodologia baseada nos processos geomórficos de operação em bacias hidrográficas. Com as modificações propostas para a PDE Voçoroca, esta deixará de apresentar as características estruturais atuais (talude/berma) e passará a apresentar, a partir das premissas da abordagem geomórfica, topografia ou morfologia compatível com os parâmetros geomórficos da natureza no entorno.

PALAVRAS-CHAVE: Fechamento de Mina, Abordagem Geomórfica, Projeto de Pilhas, Minas Gerais (Brasil), Geomorphic, Mine Closure.

1 INTRODUÇÃO

A abordagem geomórfica busca aplicar as características semelhantes às naturais de relevo e drenagem que representam uma condição de forma e erosão em equilíbrio e maduras. Como consequência, as estruturas projetadas com este tipo de abordagem se parecem com as condições naturais nos arredores, favorecendo os aspectos visuais, as condições de vida selvagem e minimizando os processos erosivos, aproximando-os aos naturais. Dessa forma, é possível atingir a sustentabilidade de longo prazo tal qual a natureza assim o é. Apesar de ser uma novidade no Brasil, a abordagem geomórfica já é um princípio bem estabelecido no Canadá, nos Estados Unidos e na Austrália (Martín-Duque et al, 2010). Este conceito é especialmente aplicável em regiões tropicais, onde o crescimento rápido da vegetação é obtido com sucesso em um período relativamente curto.

O presente artigo apresenta um estudo de caso da proposta de alterações de forma e de arranjo da pilha de estéril Voçoroca (PDE Voçoroca) localizada na Mina Córrego do Meio, localizada no município de Sabará, Minas Gerais. As atividades desta mina foram paralisadas em 2005 e hoje a mina encontra-se em processo de fechamento. A nova proposta, de acordo com a abordagem geomórfica, sugere a implementação de uma nova geometria à pilha de estéril associada a um plano de drenagem superficial que juntos venham conferir maior sustentabilidade na área da estrutura buscando replicar, o máximo possível, as condições de terreno natural tanto em forma quanto em função. Este arranjo similar à geomorfologia natural também promove integração ao meio ambiente para a estrutura, além de assegurar menor demanda por ações de monitoramento e de manutenção, bem como redução na geração e na demanda por sistemas de contenção de sedimentos a médio e longo prazos.

Para o estudo das modificações necessárias foram realizadas visitas de campo para a identificação do fluxo de águas atualmente existente na pilha, o reconhecimento de erosões e ravinamentos, as análises da topografia, declividades e tipo de vegetação na pilha e em

seus arredores. A partir destas visitas de campo e das análises descritas foi possível identificar características geomorfológicas da natureza ao redor e verificar o comportamento da PDE Voçoroca hoje, características estas utilizando a metodologia baseada nos processos geomórficos de operação em bacias hidrográficas (Strahler, 1964 e Sawatsky and Beersing, 2014).

2 DEFINIÇÃO DA ABORDAGEM GEOMÓRFICA

A morfologia ou topografia de relevo pós-fechamento de mina tem se tornado uma consideração nos projetos de fechamento de mina, mesmo nos estágios iniciais de planejamento de mineração. A investigação sobre o desempenho de estruturas de fechamento de mina revela que a hidrologia e a geomorfologia são comumente negligenciadas durante o planejamento de fechamento de minas (McKenna, 1997), como evidenciado pela deterioração crônica de superfícies conformadas por erosão e ravinamento após o fechamento da mina. Operadores de minas, legisladores e as partes interessadas estão se tornando cada vez mais preocupados com terrenos recuperados que não fornecem uma característica de aparência, produtividade ecológica, eficácia de drenagem, perpetuação da vegetação, e estabilidade semelhante à dos terrenos naturais não impactados. Como resultado do desempenho insatisfatório das estruturas de fechamento de mina, os proprietários de mina estão preocupados com passivos de longo prazo.

Em contraste com muitos planos de fechamento de mina no passado que foram projetados usando métodos estruturais convencionais, a abordagem geomórfica lida adequadamente com processos de longo prazo que regem a evolução da paisagem natural. Em vez de resistir aos processos geomórficos, a abordagem geomórfica tenta replicar as formas de relevo naturais e os sistemas de drenagem associados para obter uma composição semelhante, assim como contorno, e função hidrológica. No lugar da conformação típica de depósitos de estéril com superfícies planas de topo e laterais em bancadas homogêneas, a

abordagem geomorfológica aplicada bem antes do desenvolvimento da mina é capaz de oferecer micro topografia fornecida por uma forma dendrítica em planta dos cursos de drenagem com inclinações decrescentes na base da estrutura, semelhante a outras formas de relevo naturais, já maduras. Uma densidade de drenagem característica pode ser elaborada para controlar trechos de escoamento superficial. Os taludes das estruturas podem ser dimensionados de forma a possibilitar uma drenagem adequada sem causar riscos excessivos de erosão. Cursos de drenagem de cabeceiras são concebidos como cursos d'água com vegetação, como observado em terrenos naturais. Canais aluviais são construídos para imitar as relações de regime de sistemas de drenagem naturais equivalentes e facilitar o rápido desenvolvimento de processos aluviais maduros em canais construídos ao se replicar as principais características dos sistemas naturais que possam existir nas proximidades.

Um dos principais objetivos da abordagem geomórfica é conseguir o tipo de sustentabilidade a longo prazo que é evidente na maioria dos sistemas naturais. A replicação da paisagem natural e dos sistemas de drenagem naturais exige uma boa compreensão dos processos geomórficos que controlam a conformação do relevo, evapotranspiração, hidrologia de superfície, hidrogeologia, erosão, sedimentação e geomorfologia fluvial. Vários princípios para replicar sistemas naturais têm sido desenvolvidos para projeto das formas de relevo e drenagem em terrenos impactados de minas. As principais estratégias para o estudo de caso em questão foram:

- a. Previsão de taludes contínuos sem bancos (eliminação de bermas);
- b. Previsão de trechos de escoamento artificial que não excedam ao 'Trajeto Máximo de Escoamento Superficial', conhecido como Maximum Overland Flow Path Length (MOFPL), aqui tratado como TMES, representado em formas de relevo natural vizinhas de igual composição e estrutura;
- c. Inclinação decrescente com o comprimento do percurso de escoamento;
- d. Evitar escoamentos de origem pontuais sobre um talude íngreme; e

e. Previsão de cursos d'água para atender a densidade de drenagem natural de forma de relevo natural equivalentes na vizinhança.

A abordagem geomórfica tem sido aplicada a muitos depósitos de estéril de mina com sucesso. A abordagem é especialmente aplicável em regiões tropicais, onde o crescimento rápido da vegetação é obtido com sucesso em um período relativamente curto de tempo.

3 CONFORMAÇÕES DE RELEVO SUCEPTÍVEIS A RUPTURA

Até a poucos anos, a principal preocupação de um operador de mina para a concepção de depósitos de estéril era a minimização de custos. Pouca consideração foi dada a critérios hidrológicos e geomórficos que regem a sustentabilidade. A abordagem histórica para a configuração da paisagem para recuperação de áreas foi desenvolver taludes uniformes que se conformavam em linhas uniformes e greides, completados com bancos ou bermas para de alguma forma minimizar a erosão. Tais formas de relevo se assemelham a uma topografia imatura que pode estar pronta a evoluir por erosão acelerada. As características-chave de configurações de formas de relevo não sustentáveis (altamente vulneráveis à deterioração) são descritas a seguir.

3.1 Barragem de Contenção de Fluidos

Um corpo fluido contido por um maciço ou dique relativamente fino feito em aterro ou material artificial representa um passivo significativo a longo prazo. Um maciço em aterro está sujeito a ruptura por erosão ou galgamento. O equivalente a uma barragem e reservatório no meio ambiente natural é extremamente raro porque processos hidrológicos e geomórficos ao longo de grandes períodos de tempo fazem com que essas estruturas se rompam.

3.2 Bancos ou Bermas nos Taludes Laterais de Depósitos de Estéril e Outros Maciços

Bancos e bermas representam um alto risco de grande ravinamento porque são

vulneráveis a acumulação de água. Uma acumulação excessiva pode causar vertimento em um único ponto. Isto resulta na formação de grandes voçorocas. Bancos também são indesejáveis porque exigem taludes mais altos entre os mesmos, em relação ao talude geral da estrutura. Taludes mais altos são mais vulneráveis à erosão, especialmente no pé das pilhas ou outros aterros.

3.3 Taludes Longos e Uniformes

Taludes longos estão associados a longos trechos de escoamento superficial. O escoamento superficial se concentra mais à medida que o trecho de escoamento aumenta e portanto, o risco de erosão e ravinamento é maior com o aumento do trecho de escoamento superficial.

3.4 Taludes Íngremes Particularmente na Extremidade de Jusante do Fluxo Superficial

Depósitos de estéril com a superfície de topo plana e taludes laterais íngremes são altamente vulneráveis à erosão porque altos fluxos superficiais de uma grande área de drenagem ficam expostos a taludes íngremes resultando em maiores velocidades de escoamento superficial e consequentemente, taxas de erosão mais altas.

4 DIMENSIONAMENTO DE CRITÉRIOS DE PROJETO PARA REPLICAR FORMAS DE RELEVO NATURAL

O desenvolvimento de formas de relevo sustentáveis em material estéril de mina para atender aos critérios de sustentabilidade a longo prazo para o fechamento da mina deve envolver a concepção de formas de relevo semelhantes ao relevo natural para minimizar a taxa e risco de erosão acelerada. Conformações de relevo natural precisam ser cuidadosamente selecionadas para proporcionar uma base sólida para a mudança. A forma de relevo natural preferida deverá estar localizada por perto para garantir a equivalência climática. A geologia deve ser semelhante para evitar inconsistência. Solos superficiais do relevo natural precisarão

ser replicados na estrutura construída. Supondo que estes critérios de seleção das formas de relevo preferidas tenham sido atendidos para fins de replicação, as seguintes características de formas de relevo natural devem ser analisadas e replicadas:

- a. Irregularidade topográfica (relevo);
- b. Densidade de drenagem;
- c. Trajeto Máximo de Escoamento Superficial (TMES);
- d. Cursos d'água com vegetação;
- e. Características do regime de cursos d'água.

Estes são parâmetros muito importantes de formas análogas de relevo natural que normalmente são replicadas no projeto de sistemas de fechamento de mina quando o planejamento de fechamento de mina acontece antes do desenvolvimento da mina. No entanto, para a estrutura em questão, a pilha de estéril (PDE) Voçoroca em Córrego do Meio (CDM), alguns parâmetros não são aplicáveis por causa das pequenas dimensões do depósito de estéril e da vegetação em avançado estágio de crescimento, que surgiu desde a construção do mesmo. O principal parâmetro geomórfico a ser replicado em formas selecionadas de relevo em estéril (como discutido mais adiante neste artigo) é o Trajeto Máximo de Escoamento Superficial (TMES).

O TMES é uma característica de forma de relevo que, assim como a densidade de drenagem, é regida por vários fatores, como clima, aspecto, tipo de solo, geologia de superfície, declive e cobertura vegetal. Ele pode ser estimado para uma forma de relevo com condições semelhantes de solo, clima, aspecto, e geologia com base em mapas de grande escala que mostram todos os cursos d'água. Um gráfico de TMES vs. inclinação gera um diagrama de dispersão, que muitas vezes forma uma curva envelope específica para áreas locais. Se o TMES da forma de relevo construída for excedido, isso provavelmente resultará em ravinamento. Considera-se prudente aplicar um fator de segurança de 25% à condição limite indicada pela curva envelope.

5 ANÁLISE DE FORMAS DE RELEVO VIZINHAS

Foi realizada uma investigação geomórfica das condições do terreno natural para gerar uma base de dados para a replicação de características naturais para uma reconformação do depósito de estéril. A investigação se concentrou em áreas vizinhas não impactadas, de geologia e aspecto semelhantes, e tipos de terreno variáveis. Foi necessário realizar uma investigação de locais próximos para assegurar condições climáticas semelhantes.

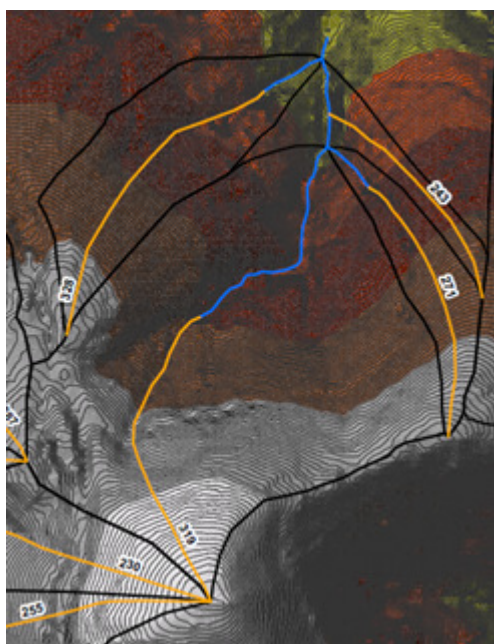


Figura 1. Exemplos de Trajetos Máximos de Escoamento Superficial (TMES).

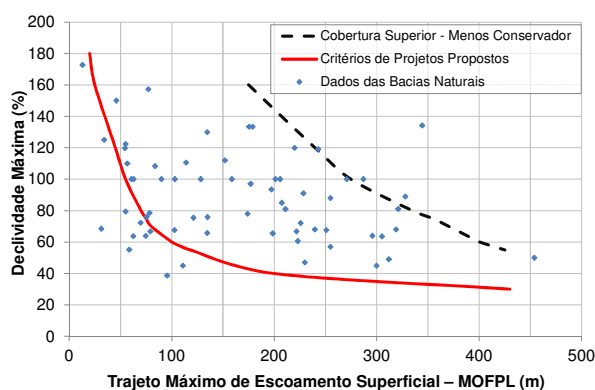


Figura 2. Correlação Entre TMES e a Declividade Máxima em Áreas Próximas da Pilha de Estéril Voçoroca em CDM.

O Trajeto Máximo de Escoamento Superficial (TMES) é definido como a distância

que a água de chuva percorre desde os limites da bacia hidrográfica até um curso d'água. Este valor correlacionado com as declividades médias e máximas gera um ponto de correlação importante, e vários destes pontos se transformam em uma nuvem de pontos. Esta combinação de pontos é utilizada como base para a criação de uma curva envelopando-os e é utilizado como limite para a abordagem geomórfica.

Na Figura 1 são apresentados exemplos de alguns trajetos máximos de escoamento superficial TMES que foram extraídas da topografia da área, próximo às regiões da pilha. Na qual a linha em preto é a representação da área de drenagem da bacia hidrográfica; a linha azul a representação dos cursos d'água; e a linha verde representando alguns dos trajetos máximos de escoamento superficial utilizados, com o respectivo valor de comprimento.

Para o caso aqui apresentado, foram considerados além dos relevos próximos da região, a topografia reconstituída do local antes da implantação das pilhas de estéril. Um exemplo de uma das curvas geradas está apresentado nas Figura 2.

6 PDE VOÇOROCA NA MINA CÓRREGO DO MEIO

6.1 Contexto Físico e Condições Atuais

A PDE Voçoroca, da Mina Córrego do Meio (CDM), foi construída em meados da década de 1980 como um depósito de material estéril extraído para desenvolvimento de uma cava a céu aberto, que fica a cerca de 600 m para o leste. A PDE Voçoroca é composta de duas áreas; uma área a nordeste e outra a sudoeste. A área NE forma uma pequena elevação medindo cerca de 290 m de comprimento e 170 m de largura, com três bancos em torno de grande parte da área. Material estéril da mina foi colocado no topo de uma elevação natural naquele local, com espessura estimada em poucos metros. A área SO é um vale preenchido com estéril. Sua exposição (aspecto) é NO e tem cerca de 150 m de largura na parte superior e cerca de 125 m do pé até a crista na horizontal. A inclinação geral

destas pilhas é de 40% considerando os bancos e em média de 60% para taludes entre bancos.

Acredita-se que os bancos tenham uma inclinação transversal distinta para drenagem. As larguras de berma variam, mas normalmente são superiores a 6 m. Uma leira é instalada na borda exterior em alguns locais e as bermas têm uma declividade transversal tal como mostrado na Figura 3, embora não tão bem definida. A inclinação transversal mantém o escoamento superficial concentrado na borda interna e a leira cria um bordo livre em caso de altas vazões. As leiras ficam 0,5 m a 1,0 m acima do ponto mais baixo da borda interna oferecendo excelente contenção do escoamento superficial.

A cobertura vegetal na PDE Voçoroca de CDM é esparsa com gramíneas e alguns arbustos pequenos.



Figura 3. Ilustração com a Reconformação das Bermas.

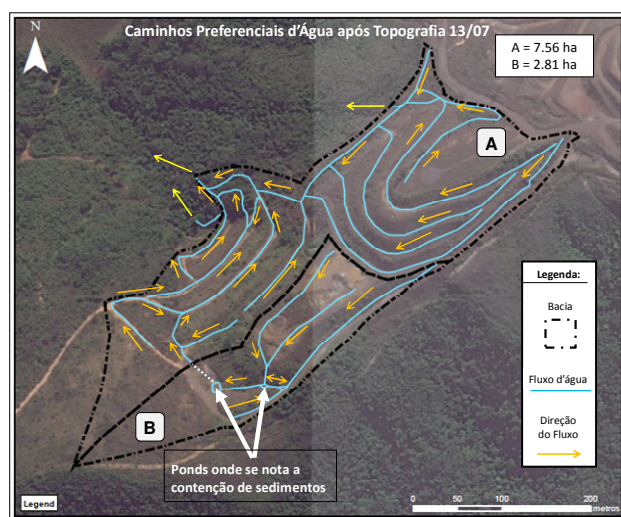


Figura 4. Situação Atual da PDE Voçoroca.

Os problemas de drenagem na PDE Voçoroca são relativamente pequenos. Entretanto, várias voçorocas foram observadas. Os problemas de drenagem geram as erosões na PDE Voçoroca, e são causadas principalmente por escoamento superficial em estradas e bancos. As voçorocas se formam como

resultado de descargas concentradas no banco e em pontos de vertimento na estrada. A Figura 4 representa um resumo da situação atual da PDE Voçoroca, com as linhas em preto tracejada representando as áreas de drenagem, as linhas em azul o trajeto de drenagem atual e as setas a indicação da direção do fluxo.

6.2 Modificações Propostas com Base na Abordagem Geomórfica

Como indicado anteriormente, a lista de possíveis modificações em uma área de disposição de estéril para replicar formas de relevo natural (abordagem geomórfica) pode incluir alterações para se adequar a uma densidade de drenagem natural, irregularidade topográfica, eliminação de bancos com comprimento do caminho de fluxo regido pelos critérios TMES, previsão de cursos d'água com vegetação e construção de canais de fluxo que se adequam a um regime natural. A PDE Voçoroca de CDM é muito pequena para justificar a modificação para atender a todos esses parâmetros, e a presença de vegetação, embora escassa, é de grande valor para minimizar o impacto. As modificações que devem ser aplicada à PDE Voçoroca são a eliminação de bancos e previsão de comprimentos de caminho de fluxo que não excedam os critérios TMES; a implantação de canais de drenagem cujos eixos buscam os caminhos existentes de drenagem com vistas a limitar os impactos na vegetação existente e também a movimentação de terra; e a implantação de bacias de dissipação de energia e contenção de sedimentos ao longo dos canais. É desejável evitar terraplenagem excessiva de formas de relevo e, assim, preservar a vegetação existente e minimizar custos. Assim, o foco do caso é remediar os elementos mais vulneráveis da PDE Voçoroca, ou seja, bancos que concentram água superficial ao invés de espalhá-la e a criação de canais com as bacias de controle de energia de escoamento e sedimentação.

Um benefício que pode ser oferecido com base na abordagem geomórfica é a remoção dos bancos da PDE Voçoroca.

Essa 'remoção de bancos' significa

reconformar os bancos como ilustrado na Figura 3 para que as bermas fiquem com pelo menos 10% de inclinação transversal. O resultado é uma pilha de estéril sem bancos, mas com taludes contínuos, com gradiente médio de 60% para os taludes existentes e de 10% para os novos taludes. A Figura 5 apresenta o resultado final proposto para a implantação da abordagem geomórfica na PDE Voçoroca.

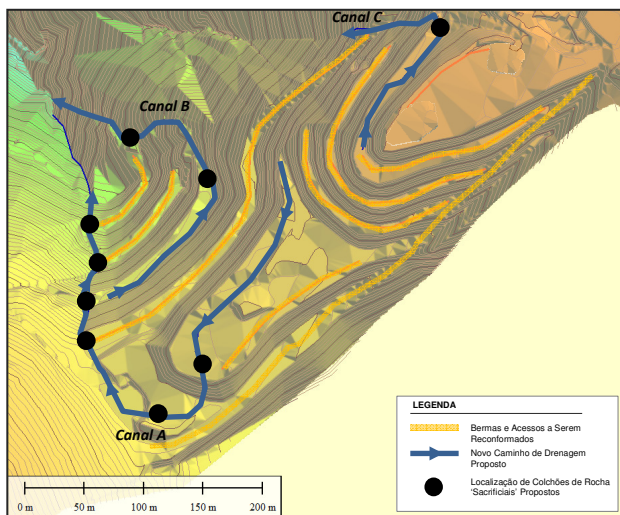


Figura 5. Alterações Propostas para os Critérios da Abordagem Geomórfica serem Atendidos na PDE Voçoroca.

6.3 Atendimento aos Critérios Geomórficos

Foi proposta para a PDE Voçoroca a reconfiguração de suas bermas, com a retirada das leiras e mudança das declividades e a implantação dos canais apresentados na Figura 5, estas modificações foram então verificadas com as relações de Trajeto Máximo de Escoamento Superficial (TMES) e declividade para perfis transversais da pilha. Estas relações são então comparadas com as representadas no gráfico apresentado na Figura 2, através desta comparação percebe-se que apesar de alguns pontos estarem acima da curva de envelopamento, estão próximas a esta curva e a maioria dos pontos abaixo da curva de envelopamento.

6.4 Recuperação e Revegetação

A reconformação da PDE Voçoroca vai impactar parte da vegetação existente e expor solos superficiais. A área impactada terá de ser

replantada e pode exigir algum tratamento dos solos superficiais, plantio de vegetação e manutenção da área durante os primeiros anos após a interferência. Será necessário corrigir as condições do solo e fertilizar a área impactada durante os primeiros anos após a interferência. Isto é especialmente importante para a PDE Voçoroca onde a cobertura vegetal na PDE Voçoroca, em CDM, é composta quase que exclusivamente por gramíneas e alguns arbustos. Em relação à cobertura arbórea, há algumas poucas árvores isoladas (Figura 4).

Como na PDE Voçoroca não há adensamentos de espécies arbóreas, é recomendável a utilização de sementes seja por hidrossemeadura, seja por plantio direto.

Nos locais onde o solo estiver exposto, pelas obras de terraplenagem, ou pela passagem de máquinas, deve-se proceder à hidrossemeadura de um mix de sementes de gramíneas e leguminosas anuais, consorciado com sementes de espécies nativas da Floresta Estacional Semidecidual.

Nos locais onde a cobertura vegetal atualmente é formada por gramíneas e arbustos, recomenda-se a semeadura direta a lanço, utilizando um mix composto de sementes de espécies nativas, sem a utilização das espécies de gramíneas e leguminosas anuais.

Para a implantação das obras de revegetação deve-se proceder a adoção dos seguintes itens:

- Recomposição topográfica das áreas;
- Tratos da superfície final;
- Hidrossemeadura em áreas com solo exposto;
- Semeadura em áreas com solo exposto
- Monitoramento e manutenção

7 CONCLUSÕES

Com base nos estudos realizados para a Pilha de Estéril Voçoroca de Córrego do Meio sua geometria final pode ser aprimorada com base nos princípios da abordagem geomórfica. O fato de que a vegetação existente e a forma do relevo existente já estarem amadurecidas são fatores importantes buscando minimizar os impactos na vegetação existente.

A maior parte dos ravinamentos e erosões

existentes são resultados da presença de bancos e estradas que coletam o escoamento superficial e causam vertimentos pontuais.

Para a abordagem geomórfica as propostas de alterações incluem o retaludamento dos bancos, prevendo dessa forma taludes contínuos que minimizem as concentrações de fluxos; a implantação de canais seguindo os caminhamentos previstos como seguiriam caso fossem naturais com estruturas para dissipação da energia do fluxo e contenção de sedimentos.

Beersing, Anil; Sawatsky, Les. - Golder Associates Ltd. Canada. *Proceedings of Mine Closure Solutions*. In: *Proceedings of Mine Closure Solutions*, (2014), Ouro Preto, MG, Brasil. Configuring mine disturbed landforms for long-term sustainability. Publicado por InfoMine 2013 ISBN:978-0-9917905-4-8.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa Vale S.A. por permitir o uso de informações para a disseminação do conhecimento no uso do estudo de caso; à empresa Golder Associates Consultoria e Projetos por ter dado todo suporte necessário para que a abordagem geomórfica fosse considerada como possível para a PDE Voçoroca e aos profissionais Anil Beersing e Les Sawatsky que estruturaram o embasamento científico para a concretização dos estudos.

REFERÊNCIAS

- J.F. Martín-duque, M.A. Sanz, J.M. Bodoque, A. Lucía and C. Martín-moreno (2010). *Restoring earth surface processes through landform design. A 13-year monitoring of a geomorphic reclamation model for quarries on slopes*. *Earth Surf. Processes Landforms*, 35, 531-548.
- Strahler A. N., (1964). *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. *Handbook of Applied Hydrology*, Ven Te Chow, Editor-in-Chief, McGraw-Hill Inc.
- Les Sawatsky, Anil Beersing, (2014). *Configuring mine disturbed landforms for long-term sustainability*. InfoMine.
- Mckenna, G. and Dawson, R. (1997). *Closure Planning Practice and Landscape Performance at 57 Canadian and US Mines*, (Draft).
- Beersing, Anil; Sawatsky, Les and ADE, Femi. *A Geomorphic Approach for Design of Drainage Systems on Reclaimed Mine Areas*. Golder Associates Ltd. - Canada
- Beersing, Anil; Sawatsky, Les And Ade Femi. *Configuration of Mine Closure Landforms - Geomorphic Approach*. Golder Associates Ltd. - Canada