



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS E MEIO AMBIENTE

VIVIANNE DE CÁSSIA PAIXÃO ANDRADE

**A IMPORTÂNCIA DAS OPERAÇÕES DE INFRAESTRUTURA DE MINA – UM
ESTUDO SOBRE AS ATIVIDADES REALIZADAS NA LAVRA DE BAUXITA PELA
MINERAÇÃO PARAGOMINAS S/A**

MARABÁ – PA

JULHO – 2014

VIVIANNE DE CÁSSIA PAIXÃO ANDRADE

**A IMPORTÂNCIA DAS OPERAÇÕES DE INFRAESTRUTURA DE MINA – UM
ESTUDO SOBRE AS ATIVIDADES REALIZADAS NA LAVRA DE BAUXITA PELA
MINERAÇÃO PARAGOMINAS S/A**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Manoel Ferreira

Coorientador: Edil Neto Pimentel

MARABÁ – PA

JULHO – 2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA

Andrade, Vivianne de Cássia Paixão

A importância das operações de infraestrutura de mina - um estudo sobre as atividades realizadas na lavra de bauxita pela Mineração Paragominas S/A / Vivianne de Cássia Paixão Andrade; orientador, Manoel Ferreira Nunes. — 2014.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio

VIVIANNE DE CÁSSIA PAIXÃO ANDRADE

**A IMPORTÂNCIA DAS OPERAÇÕES DE INFRAESTRUTURA DE MINA – UM
ESTUDO SOBRE AS ATIVIDADES REALIZADAS NA LAVRA DE BAUXITA PELA
MINERAÇÃO PARAGOMINAS S/A**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Manoel Ferreira

Coorientador: Edil Pimentel Neto

DATA DE APROVAÇÃO: ____/____/____

CONCEITO: _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Bel. Manoel Ferreira Nunes
Professor da FEMMA (Orientador)
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Edil Pimentel Neto
Engenheiro de Minas (Coorientador)
Mineração Paragominas S/A

Prof. Dr. Reginaldo Saboia de Paiva
Professor da FEMMA (Avaliador)
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Este trabalho é dedicado a minha família e amigos, sobretudo a minha mãe, Adelaide Andrade, que perante todas as dificuldades nunca hesitou em acreditar e me incentivar. Eis agora o resultado da perseverança.

AGRADECIMENTO

A Deus, por me permitir o discernimento para desvendar os grandiosos mistérios, por todas as promessas cumpridas e planos que tem para minha vida.

Aos meus pais Adelaide Andrade e Raimundo Andrade por todo incentivo educacional, ensinamentos de vida e princípios familiares arraigados.

Aos meus irmãos, sobrinhos, enfim, a minha família por todo amor evidenciado em cada gesto e/ou palavra, confiança e apoio em minhas decisões.

A minhas primas, irmãs e amigas: Ana Karita, Élyda Lima e Jéssica Kerina, com as quais estabeleci um elo familiar. Ao lado de vocês, apesar de árduos, esses anos foram engrandecedores e prazerosos. Serei eternamente grata ao carinho, cuidado e parceria, mas, sobretudo, a cumplicidade que sempre houve entre nós. Deixo aqui também o meu sincero agradecimento às amigas Suelen Rocha e Priscila Oliveira. Nunca me esquecerei da palavra amiga e por vocês estarem sempre dispostas a ajudar e me compreender.

Aos amigos e companheiros de associação, os pp's, Clayver Carneiro, Daniel Reis, Everaldo Cunha, Gustavo Macêdo, Michael Batista, Rafael Marques e Stallone Sales, que me propiciaram momentos memoráveis de alegria, companheirismo e aprendizado.

Aos demais companheiros de turma com os quais compartilhei os mesmos sonhos e esperança, mas principalmente por todo o amadurecimento angariado junto a eles durante esses cinco anos de vida acadêmica.

Ao corpo docente da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará por todo conhecimento compartilhado, dos quais destaco a minha gratidão ao orientador deste trabalho Manoel Nunes por sua credibilidade e paciência.

Agradeço especialmente aos mais que educadores, sobretudo amigos Edinaldo Teixeira, Elizeu Melo, Karina Fischer e Reginaldo Saboia que, além de cumprirem o plano pedagógico, tiraram a “armadura” de professor colocando-se a inteira disposição de todo o alunado seja para uma conversa amiga, um conselho, incentivo ou momentos de descontração.

A empresa Mineração Paragominas S/A por sua contribuição incalculável para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, mas não menos importante, o meu muitíssimo obrigada a Edil Pimentel, coorientador deste trabalho, por me conceder a oportunidade de realizar um trabalho junto a uma empresa mineradora, mas principalmente por mostrar-se totalmente disposto em contribuir para com o êxito dessa tarefa.

“A boa mão do nosso Deus é sobre todos os que o buscam, para o bem deles; mas a sua força e a sua ira, contra todos os que o abandonam”.

(Esdras, 8:22)

RESUMO

A extração de um recurso mineral envolve uma série de parâmetros os quais devem estar perfeitamente sincronizados para atender as especificações de uma mina. Para que a extração ocorra efetivamente, é necessário um conjunto de ações relacionadas à infraestrutura que oferecerão o suporte às operações de lavra, como Supressão vegetal, construção e manutenção das rampas e acessos, planos de drenagem, entre outros. Sem um correto dimensionamento ou a ausência desses parâmetros vários problemas podem ser granjeados as atividades inerentes à lavra, prejudicando-a, no que tange o ritmo da produção. Apesar da grande importância associada à infraestrutura de mina são poucas as informações teóricas disponíveis que retratem o tema e que demonstrem o quão peculiar são essas atividades para o processo de melhorias do plano estratégico de uma mina. O trabalho em questão objetivou demonstrar as operações de infraestrutura de mina elucidando sua importância para o êxito das operações unitárias de lavra e demais atividades envolvidas na indústria mineral. Devido o escasso subsídio teórico que retrate o tema foram apresentados os parâmetros operacionais de infraestrutura de mina utilizados na Mina de Bauxita Paragominas pela Mineração Paragominas S.A, localizada no município de Paragominas, no estado do Pará, a fim de certificar maior didática ao tema. A partir das informações levantadas pode-se chegar a uma análise crítica e informacional sobre os vários parâmetros que podem estar associadas a uma atividade de extração mineral, no que diz respeito à infraestrutura de mina e, ainda, demonstrar quais as maiores problemáticas associadas à mesma e quais parâmetros ainda necessitam de maior atenção.

Palavras – chave: bauxita; lavra; infraestrutura de mina.

ABSTRACT

The extraction of a mineral resource involves a number of parameters that must be perfectly synchronized to meet the needs of a mine. For the effective development of the mining, a series of actions related to infrastructure, such as clearing, construction and maintenance of ramps and accesses, mine signaling and drainage plans, must be performed in order to provide the necessary support to the mining operations. Without a proper design or with a lack of such infrastructure parameters, several problems may happen in the mining inherent activities, impairing them in terms of pace of production. Despite the great importance associated to the mine infrastructure, there are few theoretical information available that portray the theme and show how these activities are peculiar to the process of developing the improvements of the mine strategic plan. Thus, the present work aims to present the mine infrastructure operations and demonstrate their importance to the success of the mining unit operations and other activities involved in the mineral industry. Due to the scarce theoretical subsidy that portrays the theme, it will be presented here the operating parameters used in the mine infrastructure in the bauxite mine in Paragominas, Pará, by Mineração Paragominas S.A., in order to ensure the subject didactics. From the information gathered can reach a critical and informational analysis of the various parameters that may be associated with an activity of mining, with regard to the infrastructure of the mine and also demonstrate what the major issues associated with the same parameters and which still need more attention.

Key words: bauxite; mining; mine infrastructure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Demonstração da geometria das faixas na lavra em tiras na mina de bauxita Paragominas	21
Figura 2 – Localização do Platô Miltônia.	24
Figura 3 – Platô de ocorrência da bauxita – Miltônia3.	25
Figura 4 – Perfil laterítico típico.	26
Figura 5 – Amostras dos horizontes que compõem o perfil laterítico do platô miltônia 3, em que a, b, c, d, e, f, g e h correspondem, respectivamente, a CAP, BN, BNC, LT, BC, BCBA com diversas estratificações, BCBA típico da região e ARV.	28
Figura 6 – Geometria das faixas.	29
Figura 7 – Equipamentos utilizados no sistema de lavra convencional.	30
Figura 8 – Sistema de lavra com o minerador de superfície.	31
Figura 9 – Operações unitárias de lavra	32
Figura 10 – Demarcação da zona de influência.....	33
Figura 11 – sequenciamento de operações para as toras de madeira. Elas são empilhadas, já dividindo-as em classe e, por fim, distribuídas em pontos estratégicos.....	34
Figura 12 – Raspagem do solo orgânico.	35
Figura 13 – Representação gráfica do primeiro modelo de decapeamento.....	36
Figura 14 – Representação gráfica do segundo modelo de decapeamento.	37
Figura 15 – Representação gráfica do terceiro modelo de decapeamento.	38
Figura 16 – Transporte do minério a britagem primária por caminhões Scanea P420 25m ³ ..	40
Figura 17 – Equipamentos de infraestrutura de mina.....	50
Figura 18 – Rampa com 8% de inclinação.	51
Figura 19 – Dimensão do caminhão Scania	53
Figura 20 – Semi-Reboque Prancha c/ Dolly; a prancha é padrão de largura(SRPR 4E).....	53
Figura 21 – Dimensão do caminhão CATERPILLAR 777F	54
Figura 22 – Desenvolvimento e manutenção das vias de acesso.	55
Figura 23 – Confeção e manutenção dos acessos de borda	56
Figura 24 – Confeção e manutenção de leiras de segurança.	57
Figura 25 - Pá Carregadeira de Rodas, maior pneu de veículo que trafega nas vias destinadas aos caminhões SCANIA.....	58
Figura 26 – Sinalização dos acessos.....	59

Figura 27 – Gabião, evidenciando a distancia mínima do pé do talude do acesso de contorno até o gabião e a locação do gabião na bacia de contenção de sólidos/amortecimento	60
Figura 28 – Sistemas extravasores de gabião e bacias de dissipação de energia cinética.....	61
Figura 29 – Gabião revestido com manta geotêxtil.....	62
Figura 30 – Inspeções aos sistemas de drenagem.	63
Figura 31 – Curvas de níveis.	64
Figura 32 – Sistemas de drenagem.....	64
Figura 33 – representação dos <i>sump's</i>	65
Figura 34 – <i>Sump</i> com profundidade mínima de 2,5m.	66
Figura 35 – Localização dos <i>sump's</i> em relação aos acessos.	66
Figura 36 – Demonstração dos serviços de bomba.	67
Figura 37 – Atividade de regularização do depósito.	68
Figura 38 – Processo de regularização do depósito: I nivelamento do depósito e II terreno nivelado apto a receber a vegetação.	68
Figura 39 – Horas de infraestrutura e produtividade dos caminhões.	69
Figura 40 – Não uso das ferramentas de infraestrutura de mina.	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 JUSTIFICATIVA	15
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 BAUXITA	16
4.2 LAVRA EM TIRAS	20
4.3 INFRAESTRUTURA DE MINA.....	22
5 METODOLOGIA	23
5.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DE ANÁLISE.....	23
5.1.1 Localização	23
5.1.2 Aspectos litológicos da mina Paragominas	24
5.1.2.1 Platô Miltônia (M3)	24
5.1.3 Método de lavra	29
5.1.4 Operações unitárias de lavra	31
5.1.4.1 Supressão vegetal, remoção e estocagem do solo orgânico.	32
5.1.4.2 Decapeamento.....	35
5.1.4.3 Raspagem, carregamento e transporte da laterita	39
5.1.4.4 Escarificação, escavação, carregamento e transporte do minério.....	39
5.1.4.5 Preparo para reabilitação	41
5.2 MECANISMOS DE INFRAESTRUTURA DE MINA UTILIZADOS NA EMPRESA..	42
5.2.1 Equipamentos de infraestrutura	43
5.2.2 Acessos	44
5.2.2.1 Rampas operacionais	45
5.2.2.2 Acessos de contorno	46

5.2.3 Drenagem	46
5.2.3.1 Diques e/ou Bacias de Contenção de sólidos/Amortecimento	47
5.2.3.2 Gabiões.....	47
5.2.3.3 Sistema extravasor de gabões e bacia de dissipação	48
5.2.3.4 Valas de drenagem em curva de nível	48
5.2.3.5 Drenagem na frente de lavra no período das chuvas	48
5.2.4 Regularização de depósitos	49
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
6.1 EQUIPAMENTOS DE INFRAESTRUTURA	50
6.2 ACESSOS.....	51
6.2.1 Confecção e manutenção dos acessos principais	51
6.2.2 Confecção e manutenção de acessos de borda	55
6.2.3 Confecção e manutenção de leiras de segurança	56
6.2.4 Sinalização dos Acessos	58
6.3 DRENAGENS	59
6.3.1 Diques e/ou Bacias de Contenção de sólidos/Amortecimento	59
6.3.2 Gabiões	60
6.3.3 Sistema extravasor de gabões e bacia de dissipação	61
6.3.4 Valas de drenagem em curva de nível	63
6.3.5 Drenagem nas frentes de lavra em períodos de chuva	65
6.3.5.1 <i>Sump's</i>	65
6.4 REGULARIZAÇÃO DO DEPÓSITO	67
6.5 INFRAESTRUTURA REALIZADA NA MINA EM PERÍODO CHUVOSO.....	68
6.6 NÃO USO DAS FERRAMENTAS DE INFRAESTRUTURA DE MINA	70
7 CONCLUSÕES	72
8 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	73
9 REFRÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A mineração envolve uma série de parâmetros característicos que devem estar em sincronia permitindo com que as mais variadas atividades, a ela associada, alcancem o objetivo almejado. Na etapa de lavra várias ações inerentes à mesma, permitirão o progresso das operações, como remoção da cobertura vegetal, alocação de rampas e vias de acesso à lavra, sinalização de mina, entre outros. Todas essas ações são relacionadas à infraestrutura de mina e devem ser bem arranjadas, de modo a permitir o êxito das atividades de extração do recurso mineral.

A infraestrutura de mina é de grande importância para a mineração, uma vez que envolve todos os parâmetros de suporte imprescindíveis à extração do recurso. Sem esses mecanismos vários problemas podem ocorrer nas frentes de lavra prejudicando a produção e, conseqüentemente, o êxito das mais variadas atividades associadas à indústria mineral, desde as operações de mina e recuperação da área degradada às operações de beneficiamento do minério que dependem do volume extraído para um melhor aproveitamento dos seus processos.

Para que as atividades ocorram satisfatoriamente é necessário que as ferramentas de infraestrutura de mina sejam corretamente elaboradas, supervisionadas e mantidas, de modo a oferecê-las o suporte necessário e permitir com que estas ocorram sem interrupções.

Apesar da grande relevância associada à infraestrutura de mina, são escassos os subsídios literários referentes ao assunto inclinando à necessidade de uma análise científica-informacional sobre o tema. Nesse sentido, levantar-se-á dados de modo a construir um embasamento teórico à infraestrutura de mina demonstrando o quão peculiar ela é para o bom andamento das demais atividades. Devido a escassez de informações sobre o assunto serão utilizados relatórios internos fornecidos pela empresa Mineração Paragominas S/A, sendo assim retratado neste trabalho as ferramentas de infraestrutura de mina utilizados por ela para a lavra de bauxita no município de Paragominas, Estado do Pará, no projeto Miltônia 3.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Em um sentido mais amplo o presente trabalho objetiva levantar um embasamento teórico sobre infraestrutura de mina demonstrando quais parâmetros são avaliados para o dimensionamento dos mecanismos a serem adotados em um projeto de mineração e sua importância para o êxito das operações unitárias de lavra demonstrando o quão ela interfere no ritmo de produção de uma empresa.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Especificamente o estudo irá demonstrar as peculiaridades das atividades de infraestrutura de mina, bem como a importância de execução da mesma de acordo com as necessidades de produção. Junto a isto, serão correlacionados os possíveis impactos às operações de lavra quando a mesma não é executada.

Devido à ínfima literatura referente ao assunto, se utilizará como fundamento de análise os parâmetros de infraestrutura de mina implantados na Mineração Paragominas S/A (MPSA) na Mina de bauxita Paragominas, sendo abordados, como exemplos das atividades de infraestrutura de mina, à supressão da vegetação, confecção e manutenção dos acessos, planos de drenagem e demais atividades associadas a essas duas vertentes principais, além de regularização do depósito para dar início as atividades de recuperação.

Por meio da temática levantada objetiva-se chamar a atenção para infraestrutura de mina como parte imprescindível da mineração e que necessita especial importância, tal como as demais atividades nela envolvidas.

3 JUSTIFICATIVA

A infraestrutura de mina é imprescindível para o êxito das operações de extração e para que estas atenda ao plano estratégico de desenvolvimento traçado. A ausência ou o incorreto dimensionamento dessas ferramentas implica grandes danos às operações unitárias de lavra e conseqüentemente, ao ritmo de produção.

Apesar de ser fator crucial para o correto andamento das atividades de lavra poucos são os estudos que abranjam-na como um todo, fazendo com que este passe despercebido no processo ou como se não fosse um conjunto de operações unitárias, mas parte integrante de outras operações.

Diante do pouco conteúdo teórico informacional e, também, devido a grande e fundamental participação que estas exibem para o sincronismo do processo de extração mineral, necessita-se de um levantamento acurado sobre essas ferramentas, sobre os parâmetros considerados para que estas atividades sejam realizadas e mantidas e, ainda, o que ocorre caso estas não sejam efetuadas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É abordada, neste capítulo, uma sucinta revisão bibliográfica referente aos parâmetros mais relevantes ao tema de estudo, a fim de permitir um melhor esclarecimento e entendimento dos mesmos.

Em princípio será efetuado um levantamento literário sobre bauxita, seguido do método de lavra mais empregado para a mesma, que corresponde à lavra em tiras e, por fim, uma análise sobre infraestrutura de mina, foco deste trabalho.

4.1 BAUXITA

A bauxita é uma rocha de coloração avermelhada, que apresenta alumínio em abundância e mais de 40% de alumina (Al_2O_3) em sua composição, proporção essa de cinco a seis vezes maiores que a rocha original. As bauxitas formam massas friáveis, cavernosas, compactas, clásticas ou oolíticas de cores branca, rosa e vermelha, dependendo do conteúdo de hidróxidos de ferro o qual lhe determina a coloração. Ela é a fonte natural do alumínio que é o terceiro elemento mais abundante da crosta. Não existem registros de alumínio metálico, de modo que este ocorre de forma combinada a outros elementos (SAMPAIO *et al.*, 2008).

A bauxita é um produto do intemperismo e lixiviação de certos tipos de rochas aluminosas. O desenvolvimento de seus depósitos está diretamente relacionado com o manto do intemperismo, de modo que alguns são formados devido a re-deposição de seus produtos em meio aquoso, sendo estes classificados como formações sedimentares, enquanto outros permanecem *in situ* e são chamados de depósitos residuais.

Existem dois tipos distintos de bauxita. Elas podem ser do tipo cárstico e laterítico. As bauxitas do tipo cársticas são formadas sobre rochas calcárias, recebendo sua denominação por este motivo, enquanto que as bauxitas do tipo lateríticas formam-se a partir de rochas aluminosas silicatadas cristalinas.

As rochas bauxíticas recobrem a rocha fresca, formando mantos ou camadas de alterações desenvolvidos por meio da desintegração de vários minerais alumino-ferruginosos das rochas alcalinas, básicas e ácidas, que se localizam em profundidade ou próximas a superfície. Sua formação está associada a condições climáticas favoráveis, sendo os climas do tipo quente úmido, tropicais ou subtropicais favorecedores do processo de lixiviação.

Em sua essência, a bauxita é formada por uma mistura impura de minerais de alumínio, sendo os mais importantes a gibbsita $\text{Al}(\text{OH})_3$, o diásporo $\text{AlO}(\text{OH})$ e a boehmita $\text{AlO}(\text{OH})$, que são minerais oxi-hidróxidos de alumínio e que se diferem a partir do tipo de estrutura e por meio de conteúdos variáveis de água em sua composição. As proporções desses minerais variam conforme a gênese dos depósitos, assim como os tipos e as quantidades de impurezas associadas ao minério, a exemplo de impurezas tem-se óxidos de ferro, argila e sílica (SAMPAIO *et al.*, 2008). As bauxitas brasileiras são essencialmente gibbsíticas, sendo muito raras as ocorrências de bauxitas boehmíticas ou diásporo (LOBATO, 2012).

Segundo Constantino *et al.* (2002) citado por Costa *et al.* (2006), as principais impurezas presentes na bauxita são compostos de ferro (hematita, óxidos/hidróxidos amorfos e goetita, entre outros), sílica, titânio e aluminossilicatos, que apresentam-se em proporções variáveis, conforme a região em que ocorrem, causando alterações no aspecto físico do minério, que pode variar de um sólido marrom-escuro ferruginoso até um sólido de cor creme, duro e cristalino.

Dessas impurezas, os compostos de ferro e titânio são geralmente insolúveis em soluções básicas e seus efeitos são pouco representativos na extração seletiva do alumínio. Os compostos de silício presentes na bauxita ocorrem principalmente como quartzo e como sais duplos hidratados com alumínio como, por exemplo, a caulinita. O quartzo se dissolve lentamente em solução de hidróxido de sódio (NaOH), enquanto que as outras formas de sílica podem ser rapidamente dissolvidas nessa solução, que é utilizada na etapa de digestão do minério (COSTA *et al.*, 2006).

A presença de sílica na bauxita pode causar problemas na sua digestão, entre eles, o consumo excessivo de NaOH , devido à dissolução e reprecipitação da sílica como um complexo de aluminossilicatos de sódio e à formação de incrustações especialmente em superfícies trocadoras de calor. Tal fato impede um maior aproveitamento da bauxita quando não se dispõe de tecnologias suficientes para neutralizar a ação da mesma (COSTA *et al.*, 2006).

A rota comercial mais importante para a purificação da bauxita é o processo Bayer, utilizado para a manufatura de hidróxido de alumínio e de óxido de alumínio. O processo tem início com uma digestão do minério em meio alcalino (NaOH). A utilização da solução de NaOH se deve ao fato dos compostos gibbsita, boehmita e diásporo serem solúveis sob condições moderadas de pressão e temperatura, diferentemente da maioria dos demais constituintes da bauxita. Na etapa de digestão, é adicionado o óxido de cálcio, CaO , que tem como principal objetivo promover a diminuição, por precipitação, de íons carbonato e fosfato

dissolvidos no meio. A etapa seguinte, denominada clarificação, consiste na separação do resíduo sólido rico em óxido de ferro (lama vermelha) da solução de aluminato de sódio, $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$. O filtrado é então resfriado e o $\text{Al}(\text{OH})_3$ é precipitado pela adição de partículas (germes de cristalização) de $\text{Al}(\text{OH})_3$. Após a remoção do $\text{Al}(\text{OH})_3$, o filtrado alcalino é concentrado por evaporação e retornado à etapa de digestão. A maior parte do hidróxido de alumínio é calcinada para produzir óxido de alumínio, ou seja, a alumina, Al_2O_3 , enquanto que uma pequena fração é submetida à secagem e usada como tal (COSTA *et al.*, 2006).

A bauxita economicamente aproveitável deve apresentar um conteúdo apreciável de alumina, o qual reside entre 50% e 55%, podendo ainda ser lavrada a uma proporção na ordem mínima de 30%. Grande parte da bauxita exaurida no mundo é comumente aplicada na cadeia produtiva do alumínio (alumina e alumínio primário) e, também, em processos não metalúrgicos, no qual se incluem: refratários, abrasivos, produtos químicos, cimentos de alta alumina, fabricação do aço, entre outros. A composição da bauxita “*in natura*” é quem determinará as características do minério, sendo estas as responsáveis por definir em qual dos grupos enunciados acima será empregado o material (SAMPAIO, 2008).

As bauxitas não-metalúrgicas compõem-se, em sua maioria, de minerais de alumínio, os chamados oxi-hidróxidos de alumínio. Algumas bauxitas refratárias consistem de gibbsita, com menor conteúdo de caulinita, logo com menos impurezas. Na **tabela 1** são retratados os três principais minerais de bauxita e suas características, são também elucidadas as composições químicas da bauxita metalúrgica e a utilizada para fins não metalúrgicos. Cabe observar na tabela que o aspecto diferencial mais relevante corresponde ao teor de Fe_2O_3 (SAMPAIO, 2008).

Tabela 1 – Minerais de alumínio contidos na bauxita.

Minerais de alumínio contidos nas bauxitas			
Propriedades	Gibbsita	Boehmita	Díásporo
Fórmula química	Al(OH) ₃ - γ	AlOOH - γ	AlOOH - α
Sistema cristalino	Monoclínico	Ortorrômico	Ortorrômico
Dureza Morh	2,5-3,5	3,5-4,0	6,5-7,0
Densidade	2,42	3,01	3,44
Índice de refração	1,568	1,649	1,702
Temperatura (°C) de desidratação	150	350	450
Produto de desidratação	Al ₂ O ₃ - χ	Al ₂ O ₃ - γ	Al ₂ O ₃ - α
Solubilidade (g Al ₂ O ₃ /L) (*)	128	54	Insolúvel

(*) Em solução de Na₂O a 100 g/L, a 125 °C.

Bauxita não Metalúrgica		Bauxita Metalúrgica	
Constituintes	(%)	Constituintes	(%)
Fe ₂ O ₃	2,5 (máx.)	Fe ₂ O ₃	11 – 12
SiO ₂	5 - 7	SiO ₂	< 4
Al ₂ O ₃	50	Al ₂ O ₃	> 48
Densidade aparente > 3		Alumina aproveitável por meio do processo Bayer	

FONTE: Sampaio *et al.* (2008)

Segundo Sampaio, 2008, as reservas mundiais de bauxita totalizam hoje em torno de 33,4 bilhões de toneladas. O Brasil responde por 3,5 milhões de toneladas, sendo que dessas 95% é bauxita metalúrgica.

A produção mundial de bauxita em 2006 foi de 177.775.000 t, sendo que dessa produção aproximadamente 95% é utilizada na obtenção de alumínio metálico. Em torno de 34,5% da bauxita produzida no mundo provém da Austrália. O Brasil, nesse mesmo período, produziu 22 milhões de toneladas, se consolidando como o segundo maior produtor mundial, com um percentual de 12,4%, seguido de china com 11,3%, Guiné com 8,6%, Jamaica 8,4%, Índia 7,3%, Rússia 4,1% e Venezuela 3,4% (SAMPAIO, 2008).

4.2 LAVRA EM TIRAS

Os minérios de bauxita lavrados, em sua maioria, são gibbsíticos seguidos por aqueles que contêm boehmita e diásporo. Os métodos de lavra empregados aos minérios bauxíticos variam conforme a natureza dos corpos mineralizados existentes nas jazidas. A maior parte das jazidas é lavrada a céu aberto por meio do método de lavra em tiras ou *strip mining*. Das bauxitas lateríticas estima-se que maior parte delas sejam lavradas a céu aberto e que apenas 20% da produção mundial de bauxita sejam efetuadas subterraneamente (SAMPAIO, 2008).

O método de lavra é a técnica utilizada para a extração do material e é justamente nesse parâmetro que reside à importância de sua seleção, uma vez que todo projeto é elaborado em torno da técnica utilizada para lavar o depósito. A metodologia adotada em determinado depósito é aquela que apresenta o menor custo unitário, ao serem consideradas todas as condições operacionais envolvidas no projeto (LOBATO, 2012).

A lavra por tira ou "*strip mining*" é um método praticado principalmente na mineração de camadas de pouca profundidade, subhorizontais e com grande extensão e volume. A técnica é muito usada para corpos minerais plausíveis de serem lavrados a céu aberto e que se apresentam como depósitos minerais de formação sedimentar, a exemplo bauxita e carvão (PIMENTEL, 2010).

A lavra em tiras, ilustrada na **figura 1** logo abaixo, progride por meio de uma série de cortes paralelos de pequena largura e extenso comprimento, na forma de trincheiras profundas, denominadas tiras. A metodologia de escavação consiste na remoção dos materiais de cobertura e do minério através da execução de um corte ao longo de uma das dimensões do depósito. Outro corte paralelo ao primeiro é posteriormente escavado na direção oposta e a cobertura vegetal e de rocha estéril é depositada dentro do corte que fora previamente minerado. Com isso, tem-se uma minimização na distância de transporte do estéril e facilitação da exposição do minério (SOUZA, 2011).



Figura 1 – Demonstração da geometria das faixas na lavra em tiras na mina de bauxita Paragominas
FONTE – Mendes (2012)

O aspecto único assinalado ao método consiste no fato de que o material de cobertura, o qual é removido para dar acesso ao minério, é imediatamente reposicionado no trecho que fora previamente minerado sendo repetido o ciclo até que sejam alcançados os limites da área de extração. Tal fato reduz a distância de transporte, evita a ocupação de novas áreas para deposição do conteúdo estéril, minimizando assim os impactos ambientais decorrentes dessas práticas, sendo o método o mais bem visto sob a ótica ambiental (PERONI, 2007).

Segundo Ferreira (2012), o fechamento de uma mina que utiliza o método de lavra em tiras tem uma grande vantagem no que diz respeito à recuperação ambiental, uma vez que para projetos que possuem uma vida útil longa, quando chegarem ao final do período de extração grande parte das áreas mineradas já terá sido recuperada.

Ainda conforme Ferreira (2012), o controle sobre o plano de fechamento final será mais efetivo e o domínio sobre os custos com fechamento de mina são maiores, uma vez que os investimentos em recuperação de áreas degradadas são contínuos e concomitantes aos de extração reduzindo o tempo de incerteza. Desse modo, ao final se terá uma menor quantidade de áreas a recuperar.

4.3 INFRAESTRUTURA DE MINA

A infraestrutura de mina corresponde a um conjunto de operações que oferecerão suporte as atividades de lavra. Isso significa que de acordo com o método selecionado tais operações podem ser estudadas, planejadas e efetuadas. Ela interfere diretamente no ritmo de produção de uma empresa, de modo que qualquer problema ocasionado a algumas das suas atividades pode provocar a paralização das operações de lavra (GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA, 2013).

As atividades de infraestrutura de mina correspondem ao planejamento podendo ser realizadas antes das operações de lavra ou à medida que a lavra progride. Essas operações devem ser criadas, supervisionadas e mantidas, além de serem realizadas conforme as necessidades de um projeto, isto é, conforme o avanço da mina (GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA, 2013).

Embora existam poucas literaturas que retratem o tema, a infraestrutura de mina é de grande importância, para o sincronismo e para o êxito operacional das demais atividades de mineração. É ela quem oferece todo o suporte estrutural às atividades de lavra, de modo que quaisquer falhas ocasionadas às operações de infraestrutura prejudicam-nas no que tange o ritmo de produção, provocando uma maior depreciação dos equipamentos, podendo, ainda, ocasionar a perda dos mesmos (GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA, 2013).

5 METODOLOGIA

Esse trabalho consiste em efetuar um levantamento literário sobre o assunto infraestrutura de mina demonstrando sua importância para o êxito operacional das atividades que dela demandam. Para isso, será utilizada como princípio fundamental de pesquisa a infraestrutura de mina utilizada para a lavra em tiras de bauxita na Empresa Mineração Paragominas S/A.

Serão abordadas nesse tópico as principais características do projeto de análise associados à infraestrutura de mina, a saber, localização, aspectos litológicos da mina, método de lavra e operações unitárias de lavra. Por conseguinte, serão abordadas as ferramentas de infraestrutura de mina utilizadas para o desempenho do plano estratégico anual de produção da empresa, que consistem em plano de desenvolvimento para os acessos e plano de drenagem e, ainda a atividade de regularização de depósito que vem a fechar as operações de infraestrutura de mina adotadas.

5.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DE ANÁLISE

5.1.1 Localização

A empresa mineração Paragominas S/A localiza-se no município de Paragominas o qual fica situado às margens da rodovia Belém-Brasília (BR - 010), distando 360 quilômetros da capital Belém, no estado do Pará. As operações de mineração e processamento mineral, atualmente, concentram-se no Platô Miltônia 3 (M3), com produção anual de 8,6 milhões de toneladas de concentrado de bauxita, o qual é transportado por mineroduto de 244 km de extensão até o município de Barcarena em que fica locada a Refinaria Hydro. A localização do platô em relação à cidade de Paragominas e a extensão do mineroduto, que liga a mina até a refinaria, são ilustradas na **figura 2** (PEREIRA, 2012).

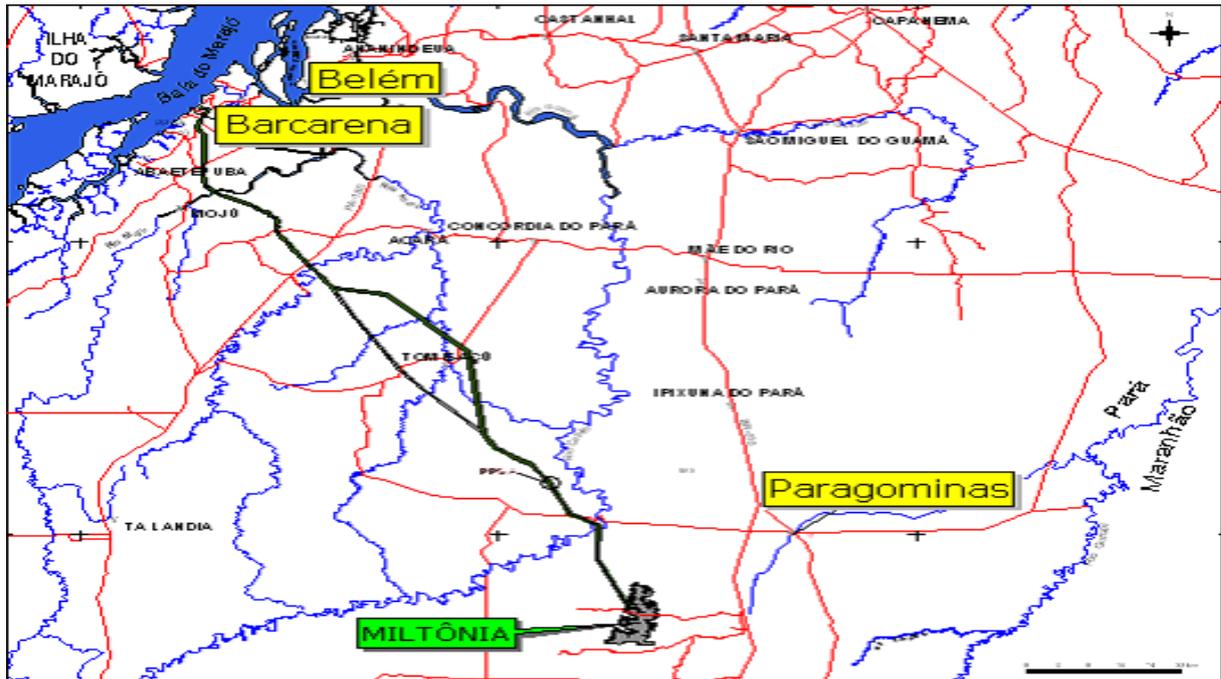


Figura 2 – Localização do Platô Miltônia.
 FONTE – Mendes (2012)

5.1.2 Aspectos litológicos da mina Paragominas

5.1.2.1 Platô Miltônia (M3)

Localizado na porção noroeste da Bacia do Parnaíba, o celeiro mineralógico bauxítico de Paragominas (platô miltônia 3 – M3) ilustrado na **figura 3** abaixo ocupa a região sul da chamada Plataforma Bragantina, sendo está tectonicamente estável desde o Cretáceo, sendo seus sedimentos aflorantes de idade cretácea, terciária ou quaternária (PIMENTEL, 2010).



Figura 3 – Platô de ocorrência da bauxita – Miltônia3.

FONTE – GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

Os depósitos minerais de bauxita ocorrem na parte sul da Plataforma Bragantina, cuja origem procede de rochas sedimentares continentais fluviais pertencentes às formações Ipixuna/Itapecuru, que foram sedimentadas em clima semi-árido. Esporadicamente, ocorrem horizontes de bauxitas relacionados à Argila Belterra (PIMENTEL, 2010). O perfil típico de bauxita da região é demonstrado na **figura 4**.



Figura 4 – Perfil laterítico típico.

FONTE – GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

Segundo Pimentel (2010), o perfil laterítico da **figura 4** característico do platô M3, é representado por meio dos seguintes horizontes:

- **Cobertura Argilosa (CAP):** consiste em uma camada argilosa plástica de coloração amarelada, conhecida como argila Belterra, a qual apresenta espessura que varia de 5,0 a 11 metros;
- **Bauxita Nodular (BN):** nesse horizonte a bauxita apresenta-se na forma de nódulos de coloração amarelada, lilás ou avermelhada. É possível verificar em sua composição pisólitos ferruginosos em meio a canais e bolsões de argila e, ainda, pequenos cristais de gibbissita de micro a criptocristalizados;
- **Bauxita Nodular Cristalizada (BNC):** compõem-se em forma de nódulos de coloração preponderantemente avermelhada com cristais de gibbissita visíveis a olho nu, além de exibir canais e bolsões de argila avermelhada. A espessura dessa camada junto a BN varia de 0,3 a 2,5 metros;
- **Laterita Ferruginosa e/ou Ferruginosa Gibbissítica (LF):** Equivale a uma camada enriquecida em óxido de ferro, de coloração escura, a qual ocorre como nódulos soltos ou como concreções, apresentando, por vezes, cimento bauxítico em sua composição. A espessura do horizonte varia de 0,20 a 4,40 metros e devido a considerável resistência que possui, é bastante utilizada como forro dos acessos e vias de mina;

- **Bauxita Cristalizada (BC):** essa camada apresenta coloração avermelhada, em geral concrecional, dura, com cristais de gibbissita bem desenvolvidos e presença de canais e bolsões de argila avermelhada.
- **Bauxita Cristalizada associada à Bauxita Micro e/ou Criptocristalizada Porcelanada (BCBA):** a BCBA apresenta um leque de coloração do tipo avermelhada, róseo, lilás, com manchas amareladas, esbranquiçadas, podendo ocorrer como concreções duras, como blocos ou como nódulos, em geral possui cristais de gibbissita bem desenvolvidos e presença de canais e bolsões de argila avermelhada ou lilás, por vezes argila caulínica. É possível verificar, frequentemente, estratificação/acamamento da rocha mãe.
- **Bauxita “Amorfa” (BA) Micro e/ou Criptocristalizada Porcelanada Associada à Argila Variogada:** comporta a camada mais profunda em que termina a mineralização do corpo. Nesse horizonte do perfil laterítico é possível verificar uma bauxita com ambiente caulinizado. O percentual mínimo de bauxita em relação à matriz argilosa, para ser considerada BA, deve ser em torno de 15% a 20% e aqueles inferiores a esse percentual, recebem a denominação de argila variogada (ARV), contendo traços de bauxita e/ou rocha saprolitizada.

Na **figura 5** são ilustrados, respectivamente, amostras dos horizontes característicos do perfil laterítico da região.

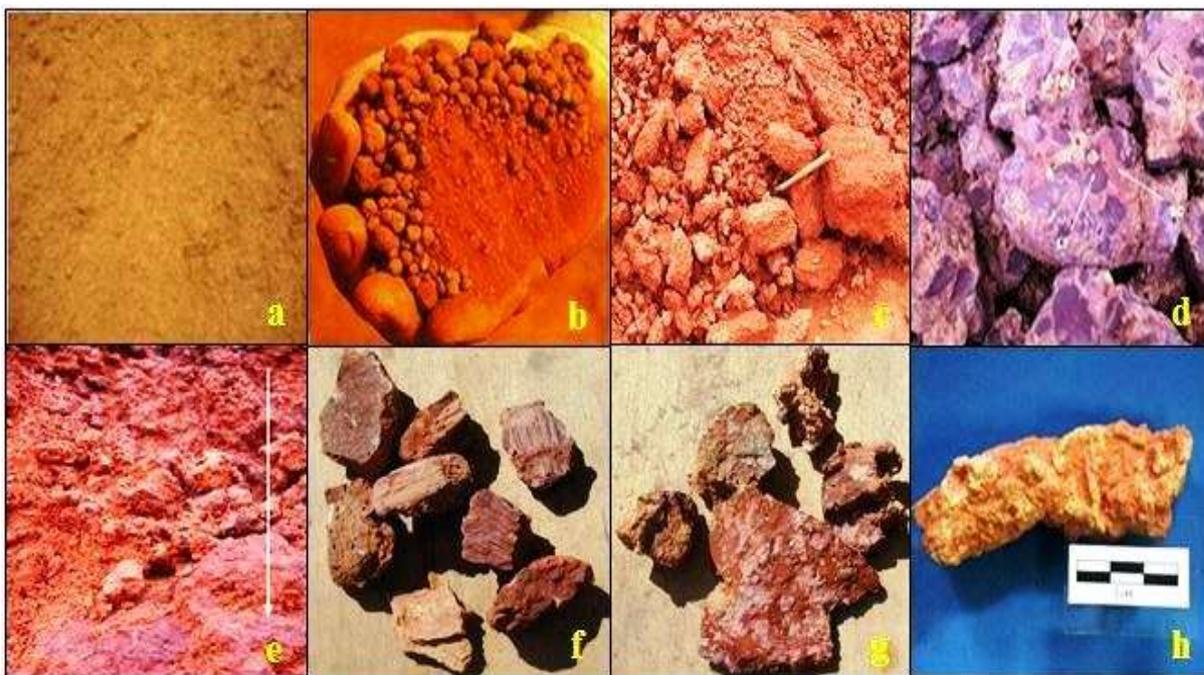


Figura 5 – Amostras dos horizontes que compõem o perfil laterítico do platô miltônia 3, em que a, b, c, d, e, f, g e h correspondem, respectivamente, a CAP, BN, BNC, LT, BC, BCBA com diversas estratificações, BCBA típico da região e ARV.

FONTE – Pimentel (2010)

O principal horizonte de bauxita é a BC com 25% a 30 % de matriz argilosa em média. O topo, via de regra, é ferruginoso devido à interface transicional com a laterita ferruginosa sobrejacente. A transição para o horizonte sotoposto, BCBA, é representada por uma passagem bastante sinuosa com superfície não definida. A bauxita cristalizada é caracterizada por possuir espessura que varia de 0,5 a 2,0 metros, apresentar-se nas formas maciça, bloco, nódulo, estratificada e em concreção (nódulos ferruginosos com cimento bauxítico), de estratificação subjacente e concordante com a LF, “Granocrescência” (grau de cristalização e a razão bauxita / argila que diminuem com a profundidade) e, por apresentar conteúdos de alumínio e de ferro que diminuem com a profundidade, diferentemente do conteúdo de sílica, o qual tende a aumentar (PIMENTEL, 2010).

O perfil laterítico típico do platô M3 apresenta uma espessura média de capeamento ou de conteúdo estéril de 14m (CAP + BN + BNC + LF) e uma camada média de minério lavrável de 1,65m que corresponde às camadas BC + BCBA compondo então o depósito aproveitável da mina de bauxita Paragominas (FERREIRA, 2012).

5.1.3 Método de lavra

O método mais propício para as características do depósito laterítico de Paragominas no platô M3, o qual ocorre em platôs planos, de forma tabular e horizontalizado, com corpos mineralizados de espessuras médias que não ultrapassam os 2,0 m e, ainda, capeamentos médios da ordem de 11,45 m - é o de lavra em tiras ou *strip mining* (PIMENTEL, 2010).

Em síntese, o método consiste em lavar a jazida em tiras sucessivas, sendo o estéril da tira subsequente lançado na tira que fora, em princípio, exaurida reduzindo a distância de transporte do estéril, fator muito importante, devido à elevada relação estéril/minério dessa jazida e, também, por a área degradada, a partir das atividades de lavra, poder ser recuperada concomitantemente às operações reduzindo os impactos ambientais (PIMENTEL, 2010).

Segundo Pimentel (2010) devido o depósito apresentar elevada relação estéril/minério (da ordem de 7,6 em volume) e também por localizar-se em uma região com alto índice pluviométrico, o mecanismo operacional de lavra cabível configura-se em dividir a mina em vários blocos ordenados alfabeticamente, com 200 metros de comprimento para que sejam lavrados em faixas entre 20 a 30 metros de extensão conforme ilustra a **figura 6**.

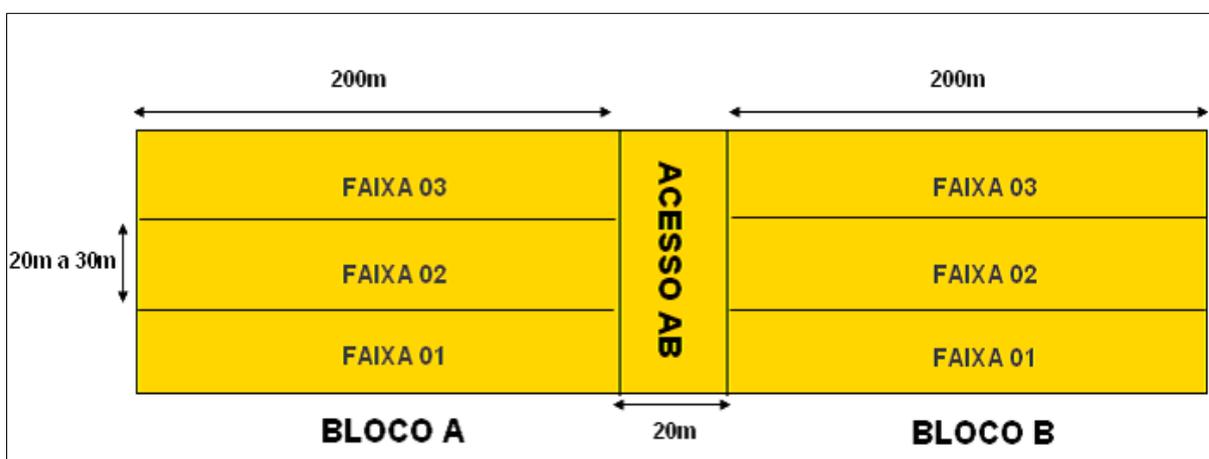


Figura 6 – Geometria das faixas.

FONTE – Mendes (2012)

O sistema de lavra a ser adotado deve apresentar baixos custos operacionais, boa flexibilidade, além de razoável segurança operacional nos períodos chuvosos. Um dos pontos mais críticos da Mina de Bauxita Paragominas a ser considerado é o decapeamento, uma vez que o depósito apresenta elevada relação estéril/minério, além das características argilosa da região. Outro parâmetro a ser contemplado é atender a alta produtividade requerida, em virtude da pequena espessura da camada de bauxita. Isso implica a necessidade de um rápido

avanço das frentes de lavra, para que a escala de produção requerida seja atendida fazendo necessário um sistema de infraestrutura eficiente e suficiente para oferecer o suporte ao progresso das frentes de extração (PIMENTEL, 2010).

Segundo Mendes (2012), são utilizados dois sistemas de lavra na mina de bauxita Paragominas: o sistema de lavra convencional e o sistema de lavra com minerador de superfície.

Por meio do sistema de lavra convencional a faixa de bauxita, após ser exposta, é escarificada por tratores de esteira CAT D11R e nivelada por motoniveladoras CAT 16H / 160M, no intuito de facilitar o trabalho das escavadeiras CAT 365CL durante seu carregamento e o transporte à britagem primária que é realizado por caminhões Scania P 420. Após a etapa de carregamento o trator de esteira retorna a faixa para realizar a raspagem, de modo a recuperar o minério restante no fundo da cava. **Na figura 7** são ilustrados os equipamentos utilizados no sistema convencional de lavra (MENDES, 2012).

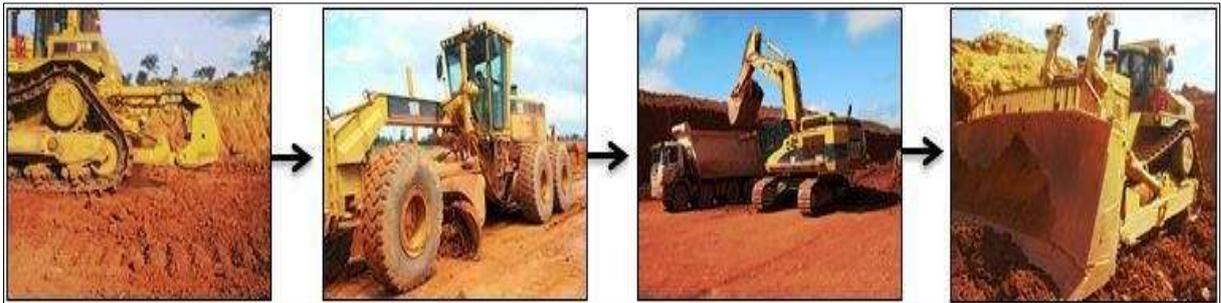


Figura 7 - Equipamentos utilizados no sistema de lavra convencional.
FONTE – Mendes (2012)

No sistema de lavra quando realizado com minerador de superfície a atividade de escarificação do minério é eliminada, uma vez que o próprio equipamento realiza tal tarefa, além de carregar os caminhões rodoviários Scania P 420. Nesse sistema há um aumento da produtividade e redução de custos operacionais, além de exigir menor necessidade de substituição dos equipamentos, diferentemente do sistema de lavra convencional. Todavia, em períodos chuvosos as operações de lavra tornam-se mais difíceis por meio dessa técnica havendo a necessidade de condições de drenagem específicas. A **figura 8** ilustra o sistema de lavra convencional.



Figura 8 - Sistema de lavra com o minerador de superfície.
FONTE – Mendes (2012)

5.1.4 Operações unitárias de lavra

As operações unitárias de mina utilizadas na lavra de bauxita consistem nas seguintes etapas: desmatamento e limpeza das áreas a serem lavradas; remoção e estocagem do solo orgânico (top soil); decapeamento da camada de bauxita; raspagem, carregamento e transporte da laterita; escarificação, escavação, carregamento e transporte de bauxita e preparo para reabilitação da área minerada. Todos esses parâmetros operacionais podem ser observados na **figura 9**, os quais são posteriormente descritos (PIMENTEL, 2010).



Figura 9 - Operações unitárias de lavra
 FONTE – Mendes (2012)

5.1.4.1 Supressão vegetal, remoção e estocagem do solo orgânico.

A supressão vegetal e destocamento consistem no corte e remoção de toda vegetação de qualquer densidade ou tipo que recobrem a jazida mineral. O desmatamento envolve as operações de escavação e remoção total de tocos e raízes, da camada de solo orgânico, de entulho ou de qualquer outro material considerado prejudicial, na profundidade necessária até o nível do terreno considerado apto à lavra. Para isso, são realizadas atividades de delimitação da área, limpeza dos bosques e remanejo das toras (FERREIRA, 2012).

A remoção da vegetação envolve um conjunto de operações que devem ser contempladas, de modo a permitir um melhor resultado das atividades. Primeiramente, ocorre à delimitação da zona a ser suprimida, como ilustrado na **figura 10**. Os serviços de delimitação do polígono devem ser demarcados por uma equipe responsável por serviços de topografia e, por fim, a entidade responsável em remover a vegetação translada os equipamentos necessários para delimitar os limites no campo (GATIM – MPSA, 2012).



Figura 10 - Demarcação da zona de influência.

FONTE – GATIM – Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2012)

Depois de definida a área que será suprimida e iniciada as atividades de campo sucede-se para a etapa de exploração. A etapa de exploração é dividida em duas fases: a primeira consiste na limpeza do sub-bosque para árvores com diâmetro menor que 40 cm por meio de tratores de esteira que percorre a área com a lâmina alta para efetuar o corte e transporte do material lenhoso; e a segunda que corresponde à derrubada seletiva de árvores com diâmetro superior ou igual a 40 cm, dividindo-as em categorias em duas: comercializável ou não comercializável. São utilizados tratores de esteira para favorecer o movimento de queda das árvores, reduzindo os riscos e certificando maior segurança ao operador (GATIM - MPSA, 2012).

Simultaneamente a essas operações ocorre o resgate da flora e da fauna característica da região de modo a garantir que a biodiversidade local será mantida e também para que os impactos decorrentes da atividade ao meio biótico sejam reduzidos, consoante as condicionantes ambientais (GATIM, - MPSA 2012).

Após serem derrubadas as árvores são desganhadas e seus troncos tracejados para posteriormente serem arrastados e estocados, nos pátios de estocagem em áreas que não serão posteriormente lavradas. O empilhamento dos troncos ocorre por meio de carregadeira, na qual são acoplados garfos de mandíbula para facilitar o carregamento. As toras são estocadas divididas em classe, quanto à comercialização e distribuídas em vários pontos do trecho de

lavra de modo a facilitar o posterior carregamento e transporte. O sequenciamento operacional para as toras de madeira é ilustrado na **figura 11** (GATIM - MPSA, 2012).



Figura 11 - sequenciamento de operações para as toras de madeira. Elas são empilhadas, já dividindo-as em classe e, por fim, distribuídas em pontos estratégicos.

FONTE: GATIM – Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2012)

Após o desmatamento, as galhadas são depositadas em linhas paralelas ao avanço da lavra. Cada linha dista aproximadamente 100 metros uma da outra. Posteriormente esse material é lançado no fundo da tira, de modo a atribuir mais fertilidade ao solo. As cavas são forradas com material argiloso antes da deposição da galhada, para que a fertilidade do solo não seja comprometida devido ao contato desse material com a bauxita (PIMENTEL, 2010).

O solo orgânico, bem como as sobras de galhadas, é raspado, como ilustra a **figura 12**, e acumulado em pilhas nas proximidades das áreas de lavra para subsequente utilização na reabilitação de áreas degradadas. O empilhamento do material em forma de leiras é efetuado por tratores de esteiras - CAT D8T ou D6 para posterior carregamento (FERREIRA, 2012).



Figura 12 - Raspagem do solo orgânico.

FONTES – GATIM – Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2012)

5.1.4.2 Decapeamento

Para Ferreira (2012), a etapa de decapeamento comporta as técnicas utilizadas para extrair as camadas que se encontram acima do corpo de minério. As camadas de estéril do perfil bauxítico de Paragominas compreende as de argila belterra, bauxita nodular, bauxita nodular cristalizada e laterita ferruginosa.

Ainda segundo Ferreira (2012), a Mina de bauxita Paragominas apresenta parâmetros operacionais complexos de decapeamento devido às elevadas camadas de estéril que variam entre 2 metros e 20 metros. Essa característica demonstra a necessidade de um plano de corte estratégico e suficiente para possibilitar a remoção da camada de estéril e subsequente exposição da camada de minério. Assim, utilizam-se três cenários de decapeamento na mina, os quais são aplicados conforme varia a profundidade da camada de estéril.

O primeiro cenário corresponde ao decapeamento direto, que é realizado somente com trator de esteiras CAT D11 em que os tratores empurram a camada de estéril com lâmina de um lado para o outro formando a faixa geométrica ideal, sempre considerando a altura limítrofe de operação do trator que é de 8 metros. A **figura 13** ilustra o corte somente com o uso de trator de esteira à profundidade recomendável.

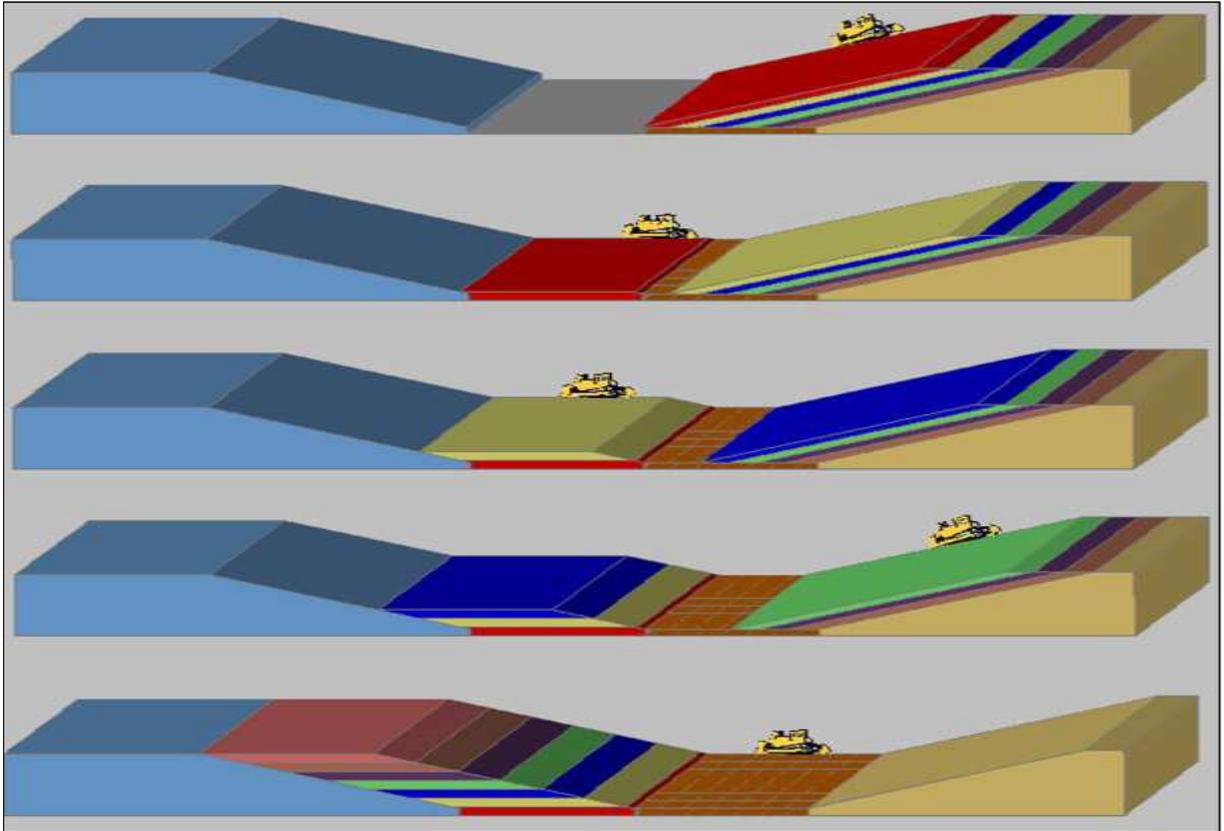


Figura 13 - Representação gráfica do primeiro modelo de decapeamento.
 FONTE – Ferreira (2012)

O segundo cenário corresponde ao pré corte e tombamento em que as operações são realizadas para camadas que se encontram entre 8 e 13 metros da espessura de estéril. As atividades são realizadas por trator de esteiras D11 e escavadeira hidráulica (EH). Nesse modelo o trator remove a camada de estéril preenchendo a cava resultante. Na operação nem toda a camada de estéril é removida, uma faixa de aproximadamente 3,5 metros de espessura é deixada para ser retirada por escavadeira hidráulica. Na **figura 14** podem ser visualizadas as operações realizadas por essa técnica, na qual se verificam detalhadamente as características do modelo de tombamento, por meio do qual se aumenta a produtividade reduzindo os custos de decapeamento;

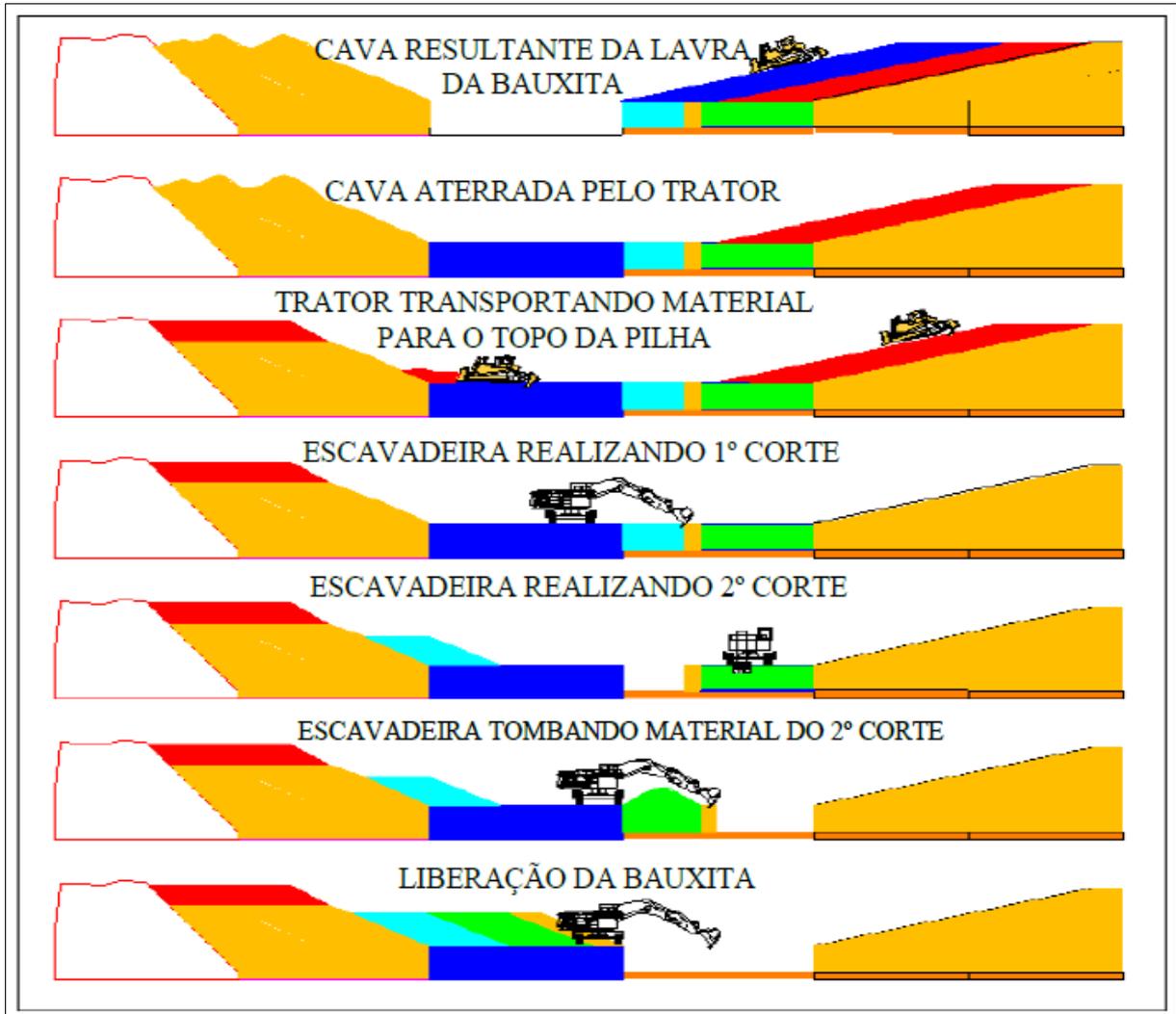


Figura 14 - Representação gráfica do segundo modelo de decapeamento.
 FONTE – Ferreira (2012)

O terceiro modelo corresponde ao rebaixo da camada de estéril que é realizada com o auxílio de escavadeira hidráulica junto a caminhões fora de estrada (CAT 777) para retirada da camada superficial composta de argila belterra. Essa camada fica por volta de 3,5 a 4 metros de espessura e o cenário apresenta uma espessura superior a 13 metros. Na **figura 15** abaixo são ilustradas as operações de decapeamento para essa espessura de estéril.

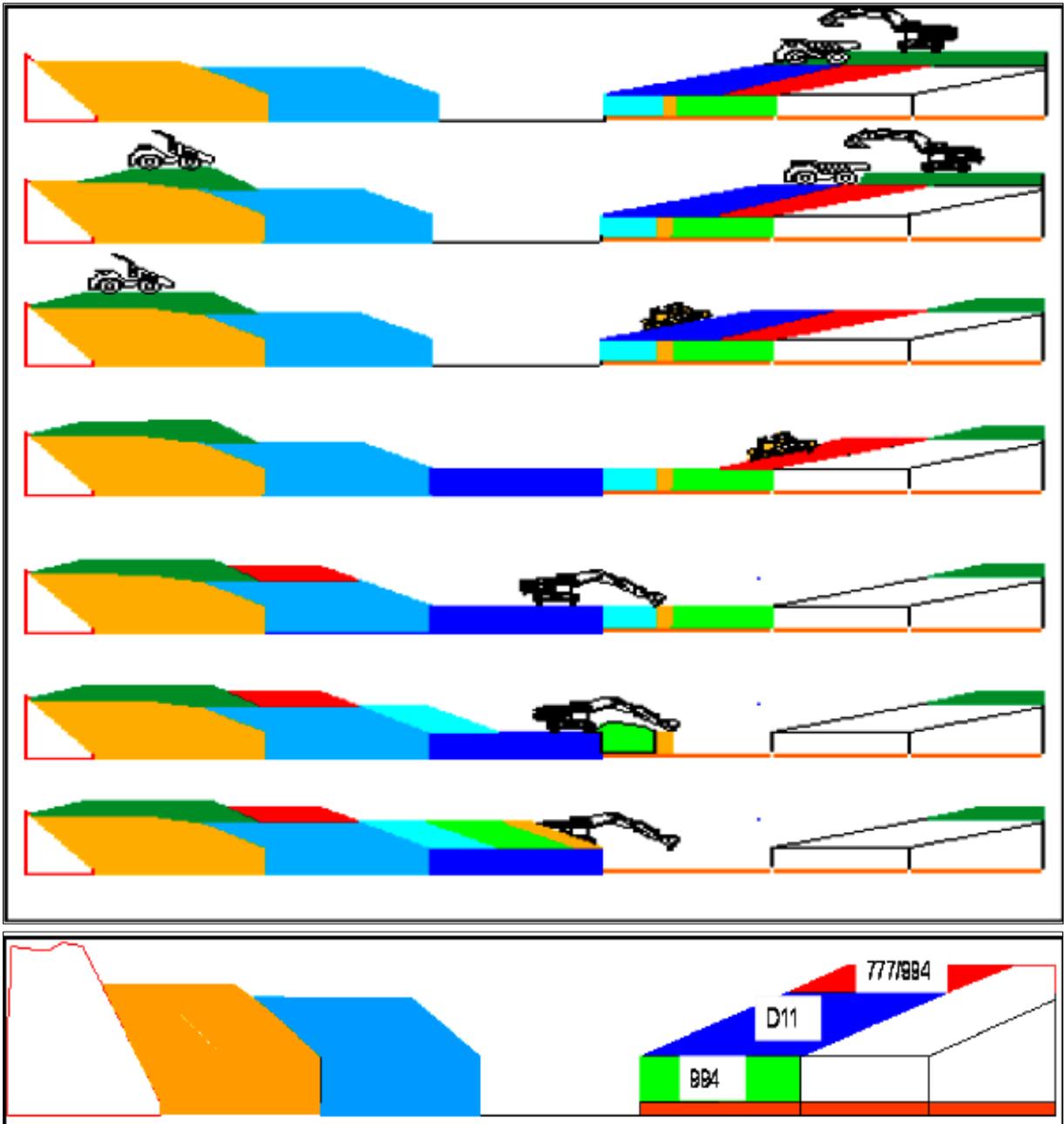


Figura 15 - Representação gráfica do terceiro modelo de decapeamento.
 FONTE – Ferreira (2012)

A exposição de faixas de minério, tanto para o sistema de lavra convencional, quanto para o minerador de superfície ocorrem a partir do mesmo sequenciamento operacional, sempre considerando os limites referentes à altura da camada de estéril. Todavia, quando a lavra for efetuada por minerador de superfície há necessidade de alargar as tiras, uma vez que elas necessitam de uma maior latitude de operação que a técnica de lavra tradicional, passando-as de 20 metros para 30 metros impactando a produtividade dos tratores de esteira. Também para o minerador de superfície, é necessário empregar na técnica de decapeamento

equipamentos de carregamento, no caso o CAT 777, uma vez que o alcance das escavadeiras não é suficiente para depositar o material na pilha de estéril (MENDES, 2013).

5.1.4.3 Raspagem, carregamento e transporte da laterita

Antes da escarificação da camada de minério faz-se necessário a remoção de uma camada rígida, avermelhada denominada laterita. Tal material, rico em ferro, é composto por nódulos soltos e resistentes sendo, por essa razão, utilizado na forração de pisos, praças e acessos aumentando a aderência dos mesmos. A remoção da laterita requer grandes esforços por parte dos equipamentos e ocorre com o auxílio de tratores de esteira do tipo CAT D11 e retro escavadeira CAT D8T que irão efetuar a raspagem, o carregamento é realizado por Escavadeiras CAT 365 CL e por Pás Carregadeiras e o transporte por intermédio de caminhões basculantes (PIMENTEL, 2010).

5.1.4.4 Escarificação, escavação, carregamento e transporte do minério

Para Ferreira (2012), a Mineração Paragominas utiliza dois sistemas de carregamento e transporte do minério das frentes de lavra, ambos em operação, todavia o sistema com minerador de superfície certifica maior produtividade e menos custos de produção quando comparado ao método tradicional.

Ainda segundo Ferreira (2012), para o método tradicional a escarificação ocorre na camada de bauxita cristalina, localizada acima do minério, que é bastante compacta, e por apresentar-se bastante resistente ao corte é necessária à desagregação do material que ocorre a partir da inserção de garras na parte traseira do trator CAT D11, movimentando-se para baixo e para cima através de acionamentos hidráulicos, “afrouxando-a”. Uma vez escarificado, a superfície da faixa é regularizada por Motoniveladora, a fim de “otimizar” o trabalho da escavadeira e possibilitar o tráfego de caminhões que transportam a bauxita à britagem primária. A bauxita é escavada por EH CAT 365 CL, carregando o minério em caminhões rodoviários Scania P420. Diante da pequena espessura da camada de bauxita, o alcance da lança é suficiente permitindo um bom controle do operador para seletividade na escavação.

Ratificando, Pimentel (2010) diz que a camada de bauxita cristalina é bastante resistente necessitando, na maioria das vezes, de uma desagregação antes da escavação desse material por meio de escavadeira hidráulica. A descompactação pode ocorrer como uso de

explosivos, todavia os danos ocasionados ao meio ambiente por meio dessa prática são consideráveis fazendo necessário o uso de uma técnica ambientalmente mais correta. A empresa adota a técnica de desmonte a frio por escarificação a qual além de possuir eficiência comprovada ocasiona menos danos ambientais. Depois de desagregado o minério por meio da adaptação de escarificadores nos tratores de esteiras CAT D11 a superfície da faixa que está sendo lavrada é regularizada com motoniveladora, no intuito de facilitar o trabalho da escavadeira e possibilitar o tráfego de caminhões que transportam a bauxita até a britagem primária. A bauxita então escarificada é carregada por meio de escavadeiras hidráulicas, equipadas com implemento retro, a trabalhar na parte superior da camada a ser escavada e transportada por caminhões basculantes. Isso certifica que, mesmo em períodos de elevados índices pluviométricos, a plataforma de operação permanece em condições de trabalho.

O transporte da bauxita, até a britagem primária, é efetuado por caminhões basculantes como pode ser visualizado na **figura 16**. O caminhão carregado nas frentes de lavra transita sobre a camada de bauxita até um dos acessos perpendiculares às tiras, por onde faz o restante do percurso até o britador primário. Os acessos são revestidos com laterita e a manutenção constante garante a boa condição de tráfego dos caminhões durante todo o ano. O trecho sobre a camada de bauxita não apresenta problemas dada sua própria característica.



Figura 16 - Transporte do minério a britagem primária por caminhões Scanea P420 25m³
FONTE – Candido (2012)

O processo de escarificação, carregamento e transporte do minério também pode ocorrer por meio de um sistema de equipamentos denominado minerador de superfície. Este substitui o trator de esteiras D11 no processo de escarificação e na recuperação do fundo da cava, a escavadeira CAT 365 CL no carregamento de minério e a Motoniveladora no nivelamento da praça após a escarificação. Por meio dele obtém-se curva granulométrica e blendagens adequadas substituindo a britagem primária (FERREIRA, 2012).

A extração da bauxita, por meio do minerador de superfície, ocorre por comandos eletrônicos que regulam a altura de corte, velocidade e ângulo de carregamento. O corte do minério é realizado por pontas de aço denominadas “BITS” que são posicionadas na parte inferior central. Depois de cortada, a bauxita é transportada simultaneamente por correia transportadora do próprio equipamento para o caminhão rodoviário Scania. A correia é posicionada a 90° permitindo uma melhor visibilidade para o operador do SM, o que facilita o posicionamento do caminhão e minimiza o derramamento de material durante o carregamento, aproveitando melhor a capacidade da caçamba (FERREIRA, 2012).

5.1.4.5 Preparo para reabilitação

Uma característica peculiar do método de lavra em tiras é que este permite a reabilitação imediata da área minerada. Dessa forma, após a lavra, inicia-se a recuperação com o auxílio de tratores de esteira para o nivelamento do terreno preparando-o para receber a camada de solo orgânico e restos de vegetais, os quais foram estocados durante o processo de supressão da vegetação (FERREIRA, 2012).

De acordo com Ferreira (2012), a recuperação na mina de bauxita Paragominas ocorre em três etapas:

- A primeira corresponde a processo de recuperação em curto prazo, na qual ocorre a recomposição topográfica do terreno, controle da erosão e correção dos níveis de fertilidade do solo, amenização do impacto na paisagem e controle da deposição de estéreis e rejeitos;
- A segunda etapa corresponde ao processo de recuperação em médio prazo, no qual há sucessão vegetal, restauração das propriedades físicas e químicas do solo, ciclagem dos nutrientes e reaparecimento da fauna; e

- A terceira corresponde ao processo de recuperação em longo prazo a qual contempla a auto-sustentação do processo de recuperação, inter-relacionamento dinâmico entre solo-planta-animal e utilização futura da área.

Conforme Pimentel (2010), a empresa compromete-se em destinar 80% das áreas reabilitadas como reserva legal e 20% da área para outros fins que abrange a pastagem, a plantação de espécies para fornecimento de produtos madeireiros e não madeireiros, como frutos, sementes, folhas e galhos para serem utilizados nas indústrias alimentícia, farmacêutica e de perfumaria. Essas formas de uso serão determinadas segundo experimentos a serem desenvolvidos com espécies nativas, sempre considerando as demandas locais e regionais por determinados produtos (MAGALHÃES, 2012).

A Mineração Paragominas S.A utiliza duas técnicas de reabilitação da área degradada: o método tradicional e o método de nucleação. As técnicas se diferem, uma vez que na técnica de nucleação não é feita a picotagem do resíduo florestal (galhada) e nem o nivelamento do solo vegetal com trator de esteira, com isso a galhada é incorporada junto ao solo. Utiliza-se uma pá mecânica CAT 950 para fazer as leiras em torno da galhada para repouso e germinação das sementes.

A técnica de nucleação tem sido bastante difundida em virtude dos ganhos ambientais que tem por meio dela em curto prazo. Em síntese, a técnica consiste em utilizar núcleos de vegetação, enquanto a vegetação secundária se expande ao longo do tempo acelerando o processo de sucesso natural na área.

5.2 MECANISMOS DE INFRAESTRUTURA DE MINA UTILIZADOS NA EMPRESA

Para que as operações unitárias inerentes à indústria mineral tenham suas atividades corretamente desenvolvidas, principalmente as relacionadas à lavra conforme demonstrado no item anterior, vários parâmetros relacionados à infraestrutura de mina devem ser implantados oferecendo suporte às atividades, de modo a permitir que essas ocorram satisfatoriamente atendendo a produção almejada.

A infraestrutura de mina tem suas operações iniciadas com a supressão vegetal, remoção e armazenamento do conteúdo orgânico a ser espalhado para reabilitação da área, após a última etapa de infraestrutura de mina que corresponde à regularização do depósito. Como a remoção da vegetação e demais atividades a ela associadas são pressuposto para as operações de lavra, e por já terem sido devidamente enfatizadas no item anterior, serão

abordadas nos itens que seguem os demais parâmetros de infraestrutura de mina utilizados na mina de bauxita Paragominas.

5.2.1 Equipamentos de infraestrutura

Toda atividade necessita de maquinários específicos que lhe oferecerão suporte. Para as operações de infraestrutura de mina existem equipamentos característicos que são utilizados desempenhando funções diversas no decorrer das atividades.

Na Mina de Bauxita Paragominas os equipamentos que são empregados na infraestrutura da mina correspondem a:

- Tratores de esteira (TE) que são unidades básicas de terraplanagem, os quais apresentam elevado esforço trator e boa aderência ao terreno, possibilitando o reboque ou o empurrão de grandes cargas sem o risco de patinamento ainda que em rampas de forte declividade. Eles podem deslocar-se em solos de baixa capacidade de suporte, devido sua característica de flutuação a qual lhes permitem realizar trabalho em locais que outros equipamentos são impossibilitados de operar (RICARDO e CATALANI, 2007).
- Escavadeira hidráulica (EH) que compreendem unidades que escavam e carregam o material sobre outros equipamentos de transporte completando o ciclo de terraplanagem por meio de dois equipamentos. Elas são estruturas que operam parados e seu movimento é permitido devido a uma estrutura portante que não participa do ciclo de trabalho (RICARDO e CATALANI, 2007).
- Pá carregadeira (PC) a qual, assim como a escavadeira hidráulica, é uma unidade escavocarregadora. Essas unidades são montadas sobre rodas ou sobre esteiras. As carregadeiras de esteira, por praticamente girarem sobre si, são indicadas para operar em locais de dimensões limitadas, elas apresentam melhor balanceamento – o peso do motor serve de contrapeso à caçamba carregada, além de melhor visibilidade do operador para o controle da caçamba. Quando sobre rodas apresentam maior mobilidade, podendo deslocar-se a longas distâncias por meio das próprias forças eliminando a necessidade de carretas para transporte desse equipamento, o qual é necessário para as de esteira, todavia a presença de umidade impedem as operações por meio dessas máquinas (RICARDO e CATALANI, 2007).

- Caminhões basculantes (CB) que são unidades carregadoras utilizados quando a distância de transporte torna-se acentuada de modo que o emprego de outros equipamentos, como “*motoecraper*” ou “*scraper*” rebocado não mais são econômicas. (RICARDO e CATALANI, 2007).
- Motoniveladora (MN) a qual é uma unidade que realiza o aplainamento do terreno sendo indicada para as atividades de acabamento, ou seja, para conformar o terreno aos *greides* finais do projeto. Dentre as principais características desse equipamento tem-se a grande mobilidade da lâmina de corte e precisão de movimentos permitindo o seu posicionamento em situações diversas (RICARDO e CATALANI, 2007).
- Rolo compressor (RC) que são unidades que se aplicam a compactação ou adensamento do solo deixando-o com menos espaços vazios (RICARDO e CATALANI, 2007).
- Carreta transportadora (CT) que são responsáveis por transladar o maquinário de uma região para outra quando este, por si, não pode mover-se seja devido o elevado custo com combustível demandado, seja devido as características operacionais inerentes do equipamento.

5.2.2 Acessos

Os acessos são os principais meios de ligar as várias frentes de lavra. Estes são utilizados para escoar o minério extraído nas linhas de produção à britagem primária, sendo estrategicamente posicionados de modo a facilitar tanto o escoamento da produção quanto a drenagem dos mesmos, uma vez que a presença de água é fator de instabilidade as operações e conseqüentemente atrapalhar o ritmo de produção.

Para os acessos serão aqui considerados o plano anual de acessos e drenagens desenvolvidos por intermédio da equipe de planejamento de mina da Mineração Paragominas S/A, de modo a explicar as considerações a serem feitas quando se dimensionar os acessos de uma mina, para esse caso, a Mina de Bauxita Paragominas.

O perfil dos acessos para transportar o minério e fluxo na mina é definido no intuito de permitirem uma uniformidade nas operações. O plano de acesso é escolhido conforme os custos associados à abertura de estrada, principalmente os de terraplanagem, considerando, ainda, as condições geomorfológicas e geotécnicas das áreas transpassadas para execução de cortes e aterro.

Condições desfavoráveis nos perfis de solo natural podem necessitar de serviços especiais que demandam alto investimento, como escavações e obras especiais de estabilização de talude. A diminuição da altura de um corte ou de um aterro, por vezes, podem reduzir os custos de um trecho de estrada, todavia nem sempre uma série de considerações, como as características técnicas mínimas exigidas para o desenvolvimento de um acesso, a existência de pontos de concordância com outras estradas, à cota mínima de aterro necessário para a colocação de leito de estrada acima dos níveis de enchente, entre outros parâmetros a observar, irão permitir essa tomada de decisão.

As vias de circulação a serem desenvolvidos em uma mina são as rampas operacionais e os acessos de contorno.

5.2.2.1 Rampas operacionais

As vias de tráfego principais são construídas estrategicamente dividindo blocos de extração e interceptando suas faixas de modo que estas tenham suas linhas de produção voltadas para elas. As vias principais de circulação são confeccionadas, para garantir o máximo desempenho dos caminhões de transporte assegurando que o ritmo de produção seja mantido.

Para a construção do perfil longitudinal de estrada, isto é, para a confecção do acesso principal de circulação da produção de lavra, levantaram-se dados sobre o aspecto do terreno a ser inserido a via. Considerando-se as características topográficas da área, quando elas permitirem, é recomendável o uso de rampas suaves e curvas verticais de raios grandes, de modo a possibilitar que os veículos possam trafegar com velocidade uniforme. Essas características são observadas na Mina de Bauxita Paragominas, devido à região apresentar uma topografia pouco acidentada e regiões extensamente planas. Todavia, à medida que o terreno vai ficando mais delgado, a confecção de rampas suaves e de grande curvatura de raio passam a exigir uma maior movimentação de terra, logo maiores cortes e aterros, desencadeando maiores custos. Diante desse impasse, entre melhores condições técnicas e com maiores custos ou rampas mais acentuadas e curvas de menor raio que geram menores custos, a MBP utiliza como um dos pressupostos para sua tomada de decisão as informações retiradas a partir da experiência de outras minas que apresentam atividades semelhantes as suas, como a MRN.

Considerando-se a Norma Reguladora de Mineração número 22 em seu subitem 22.7.6 a largura mínima das vias de trânsito deve ser duas vezes maior que a largura do maior veículo que será utilizado para fins de transporte em pistas simples (acessos de borda) e três vezes maior para pistas duplas, isto é, acessos principais. Nas laterais dos acessos em que há riscos eminentes de queda de veículos constrói-se leiras de proteção com altura mínima correspondente à metade do diâmetro do maior pneu que por ela irá circular.

Ainda segundo a NRM 22, no subitem 22.7.7.1, as vias devem ser devidamente sinalizadas para assegurar condições de tráfego em qualquer turno de trabalho e mantidas em condições de uso.

Para as inclinações dos acessos são considerados os parâmetros avaliados por meio do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), no que diz respeito ao escoamento da produção.

5.2.2.2 Acessos de contorno

Os acessos de borda são tipos especiais de acessos confeccionados, para permitir a locomoção dos equipamentos de apoio, de supressão vegetal, equipamentos de remoção do solo rico em conteúdo orgânico e caminhonetes de inspeções. Esses acessos circundam o platô e o dimensionamento dos mesmos é efetuado a partir das mesmas considerações feitas para os acessos principais.

5.2.3 Drenagem

Na exploração mineral a presença de água é um fator potencial de problemas a produção, a estabilidade de taludes, a segurança e ao controle ambiental, trazendo para as atividades de extração um maior custo de operação.

Tais atividades também podem causar alterações no regime hidrológico e na qualidade da água. A lavra a céu aberto, por exemplo, quando atinge o nível freático, pode provocar a intrusão de água nas zonas de lavra prejudicando as operações sendo necessário o bombeamento. Esse bombeamento pode alterar o nível piezométrico prejudicando o fornecimento de água para as populações circunvizinhas.

De acordo com estudos levantados por meio da empresa Golder Associates Brasil Ltda em 2003 a área que se encontra a Mina de Bauxita Paragominas não apresenta problemas de

alteração no nível freático. O nível de água subterrânea encontra-se em média a 60 metros de profundidade no centro do platô e à medida que progride em direção as bordas o nível de água vai ficando mais ínfimo. Isso indica apenas a necessidade de um sistema de drenagem superficial na zona de mina.

As operações de drenagem objetivam combinar melhores condições de trabalho, melhorar a estabilidade dos taludes, proteger as águas superficiais e dos aquíferos.

Existem várias soluções para o correto desvio e captação das águas superficiais objetivando a condução do fluxo na área alterada. Das possíveis medidas adotadas na empresa, para o sistema de drenagem, tem-se a construção de valas de drenagens em curva de nível no perímetro que envolve a zona de exploração, construção de diques/bacias de contenção de sólidos/amortecimento, estrutura de gabião, construção de sistema extravasor de gabião, drenagem nas rampas operacionais por valas laterais e a construção de *sump's* – reservatórios superficiais de água.

O sistema de drenagem, em seu plano de execução, é dividido em duas etapas:

- A primeira corresponde ao sistema pré-lavra e regime de chuva, o qual contém bacia de decantação de sólidos/amortecimento, estrutura de gabião, bacia de dissipação e *sump's*;
- A segunda etapa corresponde ao sistema definitivo com canais direcionais em curva de nível regularização da bacia de contenção, gabião e sistema de dissipação.

5.2.3.1 Diques e/ou Bacias de Contenção de sólidos/Amortecimento

São estruturas construídas a fim de controlar o fluxo de água e conter os sedimentos gerados na mina. Eles são implantados no interior e/ou ao longo das bordas do platô à medida que a lavra progride.

5.2.3.2 Gabiões

Os gabiões são estruturas de contenção que tem por finalidade conter maciços de solos. Na mina essas estruturas são utilizadas para conter a drenagem remanescente do talude do platô. Com o auxílio de software, são definidos mapas mais esmiuçados sobre o fluxo de água considerando a declividade e as ondulações na área da mina, a fim de um controle mais específico das drenagens a serem efetuadas a cada período pré-determinado. Outros mapas

também são construídos, como os mapas de localização de modo a inferir a zona de lavra planejada para cada plano anual contendo os limites dos acessos de bordas, acessos principais, gabiões já instalados e os previstos.

5.2.3.3 Sistema extravasor de gabiões e bacia de dissipação

Os sistemas extravasores de borda têm como principal fim conduzir o escoamento superficial gerado no alto do platô de extração de bauxita, seja na zona já lavrada ou na zona em operação, conduzindo o fluxo gerado até a base com desague nos igarapés que quase sempre se encontra a 100 metros de desnível em relação à elevação média do platô. As bacias de dissipação tem por finalidade quebrar a energia cinética do fluxo antes que esse seja desaguado nos igarapés.

5.2.3.4 Valas de drenagem em curva de nível

As valas de drenagem são utilizadas em locais em que a água não puder escoar naturalmente para o sistema extravasor de gabião formando um circuito de drenagem com estes. O parâmetro é aplicável na mina, uma vez que o aquífero, nessa região, possui baixa influência da água de superfície, além de ser um método pouco oneroso.

5.2.3.5 Drenagem na frente de lavra no período das chuvas

Existem algumas atividades de infraestrutura de mina que são implantadas no período que ocorre um maior índice pluviométrico, que corresponde ao período de janeiro a junho. Entre essas operacionalizações têm-se os *sump's* (reservatórios artificiais de água).

Os *sump's* são depressões localizadas em pontos estratégicos para recolher qualquer líquido indesejável. Em uma mina essas fossas funcionam como bacia de infiltração usada para gerenciar escoamento superficial de água coletando as águas provenientes das valas de drenagens. Estes pontos de captura objetivam evitar que estas águas escoem para as frentes de lavra. Eles são construídos no início dos acessos paralelos as rampas e na lateral do *box* que está sendo lavrado sem interferir nas operações.

O mecanismo operacional dos *sump's* ocorre da seguinte forma: o fluxo de água oriundo das vias de circulação será canalizado para esses sistemas de armazenamento. Uma

vez armazenada, a água, em excesso, é removida por duas bombas movidas a energia elétrica para as bacias de contenção/amortecimento em que estão instalados os sistemas extravasores de gabiões. Existem casos pontuais de intervalos de faixa em que, conforme as condições topográficas é mais adequado conduzir o fluxo diretamente para a bacia de contenção de sólidos onde se encontra o gabião ficando essa decisão a critério da equipe técnica que fara as supervisões de campo.

5.2.4 Regularização de depósitos

A regularização do depósito é também um dos parâmetros de infraestrutura de mina. Nela ocorre o nivelamento da área minerada antes que o conteúdo orgânico junto aos restos de galhadas sejam espalhados para a reabilitação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 EQUIPAMENTOS DE INFRAESTRUTURA

A quantidade de cada equipamento utilizado para as atividades de infraestrutura na Mina de Bauxita Paragominas, encontram-se listados na **tabela 2** e são ilustrados por meio da **figura 17**, respectivamente:

Tabela 2 - Equipamentos utilizados na infraestrutura da mina de bauxita Paragominas.

EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE
CB – P420	10
TE D-6	03
TE D-8	07
MN 160M	01
EH LIBHER 964	01
EH 320 C	02
PC 988H	01
PC 950H	01
CT – DOLLY	01
RC	02

FONTE - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina - MPSA (2014)



Figura 17 - Equipamentos de infraestrutura de mina.

FONTE – GATIM – Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina - MPSA (2014)

6.2 ACESSOS

6.2.1 Confeção e manutenção dos acessos principais

Os acessos principais são estrategicamente construídos de modo que fiquem acima do nível dos depósitos, a fim de facilitar a drenagem dos mesmos.

Nas rampas de operação, a velocidade que um caminhão irá desenvolver depende de vários fatores, tais como inclinação e comprimento da rampa, peso e potência do caminhão, velocidade de entrada na rampa, habilidade e qualificação do operador.

Para as inclinações dos acessos operacionais observam-se na **tabela 3** os valores das inclinações máximas e comprimentos críticos de rampa recomendados nas normas para projetos de estrada de rodagem do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Considerando-se que o perfil da estrada deverá garantir o escoamento da produção nos sentidos transversal e longitudinal, na mina de bauxita Paragominas se utiliza rampas com inclinação entre 0,5 e 1% no sentido longitudinal e de 8% em direção ao *Box* de lavra.



Figura 18 - Rampa com 8% de inclinação.

FONTE – GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)

Tabela 3 - Inclinações das Rampas “Grade” (%) e os Comprimentos Críticos (m).

Grade	COMPRIMENTO CRÍTICO DE RAMPA (m)	
	RAMPA PRECEDIDA POR TRECHO PLANO	RAMPA PRECEDIDA POR TRECHO DESCENDENTE
3	480	660
4	330	450
5	240	330
6	210	270
7	180	240
8	150	210

FONTE – GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)

Caso a topografia da região que será inserida uma rampa operacional seja favorável e as condições locais permitirem e, ainda, havendo condições de uma perfeita drenagem do acesso, é possível que se utilize trechos de acesso principal em nível, isto é, rampas sem inclinação.

Conforme a literatura prediz os acessos de operação, bem como os acessos de borda, são confeccionados considerando os equipamentos de transporte que por ele trafegam. Na Mina de Bauxita Paragominas esses equipamentos são o caminhão Scania, modelo P 420 CB e caminhão CATERPILLAR, modelo 777 F.

As dimensões frontais do caminhão Scania P 420 CB são ilustrados na **figura 19**, este apresenta 3,50 metros de largura e diâmetro dos pneus de 1,20 metros. Todavia o maior equipamento que circula nas vias destinadas ao caminhão é o Semi - reboque Prancha com Dolly o qual apresenta largura de 5 metros, como pode ser visto na **figura 20**.

Desse modo, a largura padrão das vias por onde esse equipamento circula é embasada na largura da prancha, correspondendo a 20 metros de largura, uma vez que a largura mínima exigida, de acordo com a literatura, é de 5 metros x 3 = 15 metros.



Figura 19- Dimensão do caminhão Scania

FONTE – GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)



Figura 20 - Semi-Reboque Prancha c/ Dolly; a prancha é padrão de largura(SRPR 4E)

FONTE – GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)

Os caminhões tipo CATERPILLAR 777 F, **figura 21**, apresentam largura frontal de 6,49 metros. Estes equipamentos trafegam em áreas isoladas que permitem as manobras por ele requeridas.

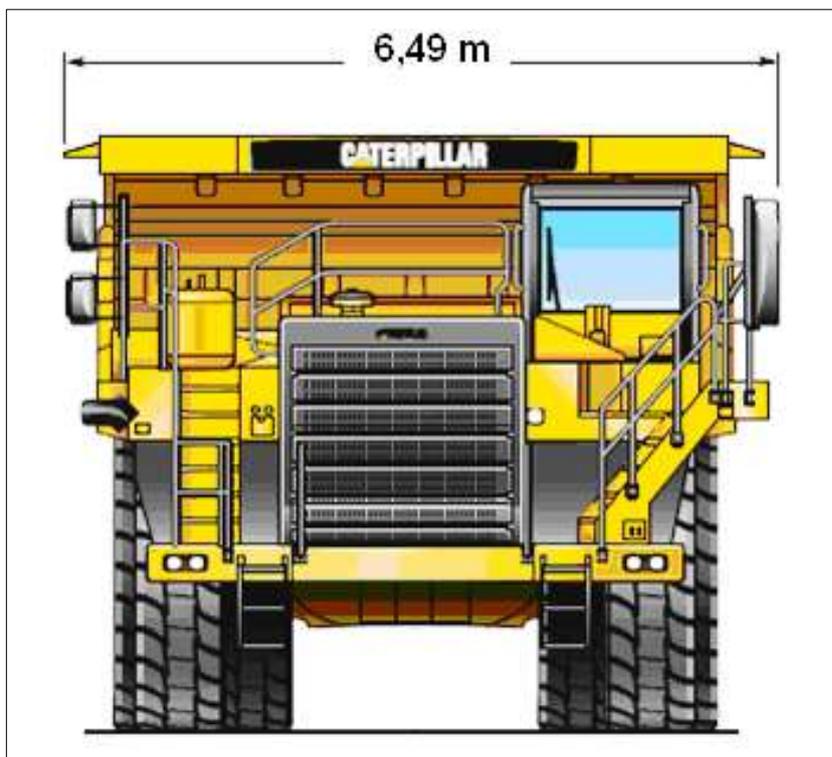


Figura 21 - Dimensão do caminhão CATERPILLAR 777F
FONTE – GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)

As rampas operacionais devem ser continuamente supervisionadas para que sejam mantidas em condições de circulação. Um parâmetro adotado pela empresa é utilizar o material laterítico que fora removido das faixas lavradas antes da escarificação do minério, para assegurar melhores condições de trafegabilidade nas vias, uma vez que este material irá permitir maior aderência dos pneus a elas.

Os acessos principais são confeccionados no intuito de que fiquem acima do nível dos depósitos, a fim de facilitar a drenagem dos mesmos. Em períodos chuvosos alguns cuidados especiais devem ser adotados aos mesmos.

Quando o índice pluviométrico é elevado é comum à formação de borrachudos nessas vias. Para conter esse problema a laterita é reforçada, ao menos nos 300 metros do acesso em T. O corte feito para a construção dos acessos será de 40 metros para viabilizar a construção de drenos que irão direcionar o fluxo de água para os SUMP's (CLIFTON, 2011).

Outros cuidados dizem respeito, as valetas de escoamento situadas nos contornos dos acessos que devem ser desobstruídas para minimizar a erosão, problemas com relação à poeira em período de seca são solucionados com a aspersão de água por caminhões pipas e aspersores. Essa aspersão também ajuda a manter o solo compactado. Deve ser tomado um cuidado especial com relação ao excesso de água nas estradas, pois estas podem ficar com baixa sustentação e escorregadias, além de ficarem mais susceptíveis a danos (CLIFTON, 2011). A **figura 22** ilustra a confecção e manutenção dos acessos principais realizados na Mina de Bauxita Paragominas.



Figura 22 – Desenvolvimento e manutenção das vias de acesso.

FONTE – GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

6.2.2 Confecção e manutenção de acessos de borda

Para os acessos de borda utiliza-se a mesma literatura dos acessos principais, no que diz respeito à largura frontal do equipamento de transporte. Nessas vias somente os caminhos do tipo Scania irão circular, logo a largura adotada para as mesmas corresponde a 10 metros, uma vez que a largura mínima permitida é de 7 metros (3,5 metros x 2).

O caimento da estrada nas curvas deve ser para o interior da área de lavra (1% de caimento), evitando o fluxo de água e erosões para áreas que não comportam o sistema de drenagem. Dessa forma, possíveis impactos ambientais podem ser evitados, além de propiciar

maior segurança na condução de veículos e na estabilidade do talude. Como serão instalados extravasores de gabiões nas grotas existentes em cada traçado, as águas acumuladas nas curvas dos acessos de borda podem ser drenadas para as bacias de contenção de sólidos e/ou amortecimento, através de valetas em curvas de nível.

As inspeções nos acessos de borda e na área de exploração da mina são realizadas diariamente, no intuito de mantê-los em condições de tráfego para os equipamentos de apoio a supressão, *top soil* e caminhonetes. A **figura 23** ilustra acessos de borda e também suas manutenções.



Figura 23 - Confeção e manutenção dos acessos de borda

FONTE – GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

6.2.3 Confeção e manutenção de leiras de segurança

As leiras de segurança são implantadas durante e após a conclusão dos acessos, no intuito de dar maior segurança aos equipamentos que irão trafegá-los, além de evitar que a água de porções superiores transborde para essas áreas. A **figura 24** ilustra a confeção e manutenção de leiras de segurança.



Figura 24 - Confeção e manutenção de leiras de segurança.

FONTE – GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

Para a confecção e manutenção das leiras de segurança considera-se a literatura que presume que as leiras devem apresentar altura mínima compatível à metade da altura do maior pneu que por elas trafegam. Desse modo, para os acessos principais em que o caminhão Scania 420 BC for circular, o maior pneu de veículo que trafega nessas vias é o da pá carregadeira. Assim, as leiras dessas vias devem possuir uma altura mínima de: $1,956 \times \frac{1}{2} = 0,978$ metros. Na mina para esses acessos adotam-se leiras de 1,00 metros. Na **figura 25** é ilustrado a diâmetro do pneu da pá carregadeira.

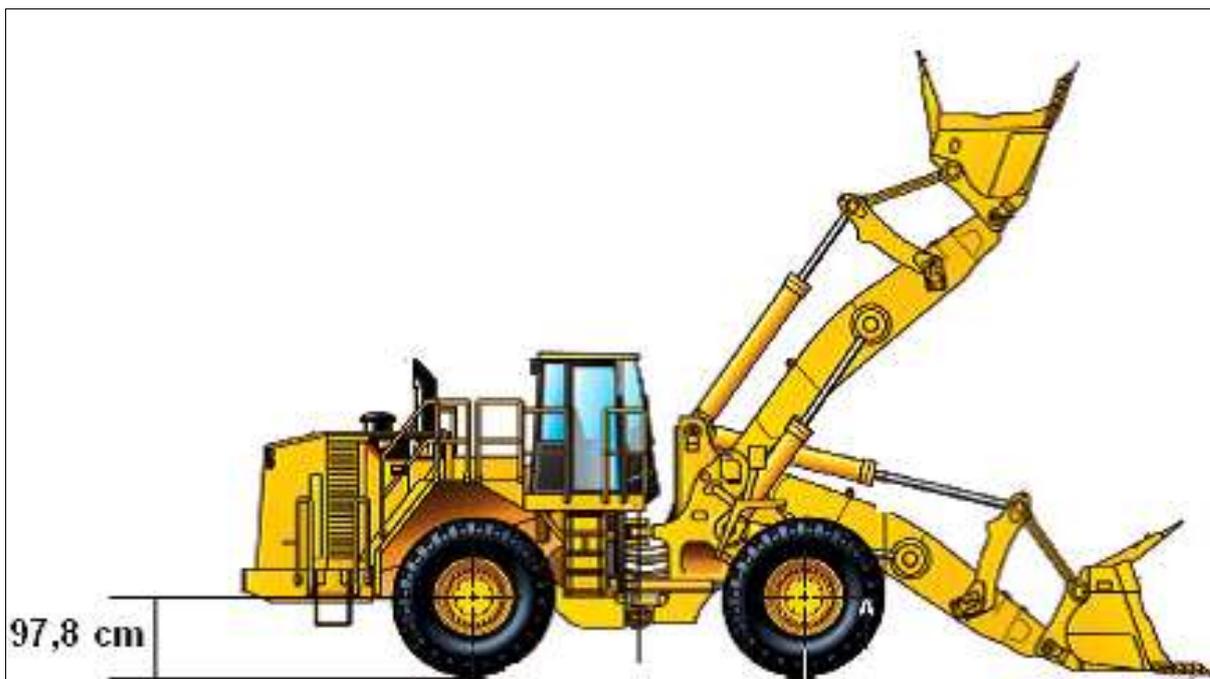


Figura 25 - Pá Carregadeira de Rodas, maior pneu de veículo que trafega nas vias destinadas aos caminhões SCANIA.

FONTE – GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)

Nos acessos operacionais em que irão trafegar equipamentos de grande porte, tipo caminhões CATERPILLA 777 F as leiras de segurança devem possuir uma altura mínima de: $2,9 \times \frac{1}{2} = 1,45$, correspondente à metade da altura do pneu destes equipamentos. Adota-se na mina leiras de 1,50 metros.

6.2.4 Sinalização dos Acessos

A sinalização dos acessos, como ilustrado na **figura 26**, engloba a alocação de pontaletes refletivos, cones, rotatórias e placas. As placas e pontaletes, uma vez instalados, devem ser mantidos limpos para garantir maior visibilidade, principalmente durante as atividades noturnas, e para que gastos excessivos sejam evitados. A empresa hoje efetua a manutenção das sinalizações a cada 96 km de acessos com equipes de quatro pessoas que atua após a conclusão dos acessos (RELATÓRIO INTERNO DO PLANO ANUAL DE ACESSOS E DRENAGEM – MPSA, 2013).



Figura 26 – Sinalização dos acessos.

FONTE – GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

6.3 DRENAGENS

6.3.1 Diques e/ou Bacias de Contenção de sólidos/Amortecimento

As dimensões e posições dessas estruturas são definidas de acordo com as observações de campo, isto é, conforme as condições topográficas e área da bacia de contribuição devendo ser construídas conforme o avanço da lavra.

Considerando a bacia de contribuição, a dimensão adotada pela equipe de planejamento de mina, com base em estudos hipotéticos de possíveis dimensões de áreas efetuadas pela empresa Pimenta de Ávila (4, 8 e 12.5 ha), foi a de maior área uma vez que as áreas drenadas na MBP são bastante extensas, variando de 50 a 100 ha.

Assim, soluções de drenagem como diques são apenas utilizadas como base conceitual devido à dimensão diminuta que este possui, salvo em ocasiões especiais, quando a topografia da região apresentar condições favoráveis é que barragens temporárias são construídas (diques), reduzindo o fluxo de água a ser direcionado para os SUMP's que se encontram nesses locais.

6.3.2 Gabiões

As estruturas de gabião são construídas à medida que a lavra progride e conforme a necessidade da área. A definição do local em que serão inseridos ocorre no período do nivelamento do terreno para o reflorestamento ou durante as operações de lavra em que são deixadas bacias conforme inspeções visuais e informações topográficas das áreas de planejamento de lavra, operação e recomposição, mas principalmente da morfologia da encosta do platô e pontos de deságue.

Os gabiões são instalados em pontos estratégicos conforme o fluxo natural de água, próximo das grotas existentes, reduzindo gastos devido a não necessidade de supressão vegetal nas zonas em que serão instalados os tubos do sistema extravasor. Entre gabiões devem ser construídos bacias, diques ou caixas secas e dessas estruturas, por meio de curvas de nível, devem partir pequenos canais de drenagem para os gabiões.

A base do gabião deve ter uma distância mínima de 2 m do pé do talude do acesso de contorno aumentando o plano de drenagem. Outro fator preponderante diz respeito à extensão da zona em que o gabião será inserido, uma vez que o aconselhável é que este tenha uma face livre mínima de 2500 m² (50 m x 50 m), que corresponde à área mínima da bacia de contenção de sólidos. Isso contribui para uma maior capacidade de armazenamento temporário da bacia e minimiza a velocidade do fluxo de água. Em regiões acidentadas as bacias devem ser de área menor que 50 m x 50 m. Essas especificações são observadas na **figura 27**.



Figura 27 - Gabião, evidenciando a distância mínima do pé do talude do acesso de contorno até o gabião e a localização do gabião na bacia de contenção de sólidos/amortecimento

FONTE - GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)

Os gabiões dimensionados devem ter perímetro médio de 9 metros e serem montados com caixas de 1 metro de espessura e ao menos duas fileiras empilhadas formando 2 metros de altura e uma área de 18 m² de área (painel de 9 metros de comprimento x 2 metros de altura), por seção, totalizando 72 m³ de volume construído. Conforme o local que será inserido, as dimensões dos gabiões poderão ser ajustadas, todavia o perímetro não deve possuir perímetro inferior a 5 metros. O material granulado de preenchimento da caixa de gabião se trata de rocha granítica a qual é fornecida por empresa local.

6.3.3 Sistema extravasor de gabiões e bacia de dissipação

As características do sistema extravasor são definidas a partir da bacia de contribuição considerando a sua dimensão. De acordo com estudos anteriormente citados, a área de bacia de contribuição apresenta 12,5 ha, dessa forma o número de tubos PEAD por gabião serão 3 unidades, o diâmetro destes devem ser de 12'' e espessura de 7,7 mm atendendo as especificações da mina. A principal finalidade dos gabiões, **figura 28**, é conduzir o escoamento superficial gerado no alto do platô até as partes mais baixas ou em sua base (igarapés).



Figura 28 - Sistemas extravasores de gabião e bacias de dissipação de energia cinética.
FONTE - GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

Ao longo dos taludes, deverá ser definido o percurso de tubulação para drenagem, que terá um comprimento suficiente para que o ponto final de lançamento seja um local que o fluxo não provoque erosões. Os tubos deverão estar sempre apoiados no solo e nunca com o ponto final na meia encosta. Especialmente na porção alta do trecho, os tubos deverão ser perfurados em sua geratriz superior para permitir a saída de ar acumulado dentro da tubulação. Nos locais em que o fluxo de água for interrompido, devido à construção de acessos, serão instaladas passagens artificiais, como por exemplo, tubos PEAD e bueiros, visando o escoamento natural e posterior direcionamento para as bacias de contenção onde se encontram os gabiões.

A condução do fluxo deve ocorrer com total segurança de modo que são implantados bacias de dissipação de energia cinética para que a formação de processos erosivos seja evitada.

Além de configurarem dispositivos de drenagem, os extravasores também desenvolvem um segundo papel muito contundente que corresponde à contenção dos finos das vazões de modo que não seja permitido o carreamento de uma elevada carga de sólidos a jusante para assim evitar o assoreamento dessas regiões, em algumas áreas de igarapés. Para uma maior filtragem de finos, as gaiolas dos gabiões são revestidas com manta geotêxtil, como ilustrada na **figura 29**.



Figura 29 - Gabião revestido com manta geotêxtil.

FONTE - GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)

Devido às escassas condições de acesso a essas áreas, por serem regiões de acentuada declividade dos taludes e pela densa vegetação característica, o tipo de bacia a ser implantado dependerá dos materiais disponíveis no local, logo será definida em campo, podendo ser construída com madeira, correia, estrutura de gabião, entre outros.

Esporadicamente são realizadas inspeções nas bordas do platô, e em todos os dispositivos de drenagem, gabiões e bueiros a fim de corrigir qualquer dano que ponha em risco o bom andamento das atividades, e o acesso de pessoas a esses dispositivos. Na **figura 30** ilustram-se as inspeções realizadas nos sistemas de drenagem.



Figura 30 - Inspeções aos sistemas de drenagem.

FONTE - GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

6.3.4 Valas de drenagem em curva de nível

As curvas de nível, **figura 31**, são canais de drenagem definidos e alocados antecipadamente conforme a topografia de mina. Para suas confecções é considerado o desnível do terreno, que irá proporcionar o direcionamento do fluxo da água do terreno natural acidentado, evitando assim, o escoamento para as áreas em que a atividade de lavra está ocorrendo. Essa atividade é implantada pela empresa por meio de tratores de esteira D8 ou D6.



Figura 31 – Curvas de níveis.

FONTE - GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

As drenagens são confeccionadas durante e após o desenvolvimento dos acessos para assegurar condições operacionais nos mesmos e são desobstruídos rotineiramente para permitir a passagem e direcionamento da água para os *sump's* ou gabiões. Na **figura 32**, são ilustradas confecções de drenagem.



Figura 32 - Sistemas de drenagem.

FONTE - GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

6.3.5 Drenagem nas frentes de lavra em períodos de chuva

6.3.5.1 Sump's

Os *sump's*, em suma, têm a função principal de canalizar a água dos acessos e rampas operacionais que serão posteriormente conduzidos para uma depressão onde se encontra uma bacia de contenção de sólido/amortecimento na qual está instalado o sistema extravasor de gabião. Na **figura 33** são ilustrados os SUMP's em operação



Figura 33 - representação dos *sump's*.

FONTE - GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

Essas bacias devem ser dimensionados considerando uma profundidade mínima de 2,5 metros, 40 metros de largura, correspondente a largura de duas faixas/ box de lavra, e comprimento de 50 metros ao longo da faixa/box de lavra sendo estes construídos a cada 7 faixas nos dois lados dos acessos. Essa proporção pode variar desde que a capacidade de armazenamento da estrutura seja mantida. Nas **figuras 34 e 35** são ilustrados um SUMP de 2,5 metros de profundidade e a localização dos mesmos em relação aos acessos, respectivamente.



Figura 34 - *Sump* com profundidade mínima de 2,5m.
 FONTE - GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)

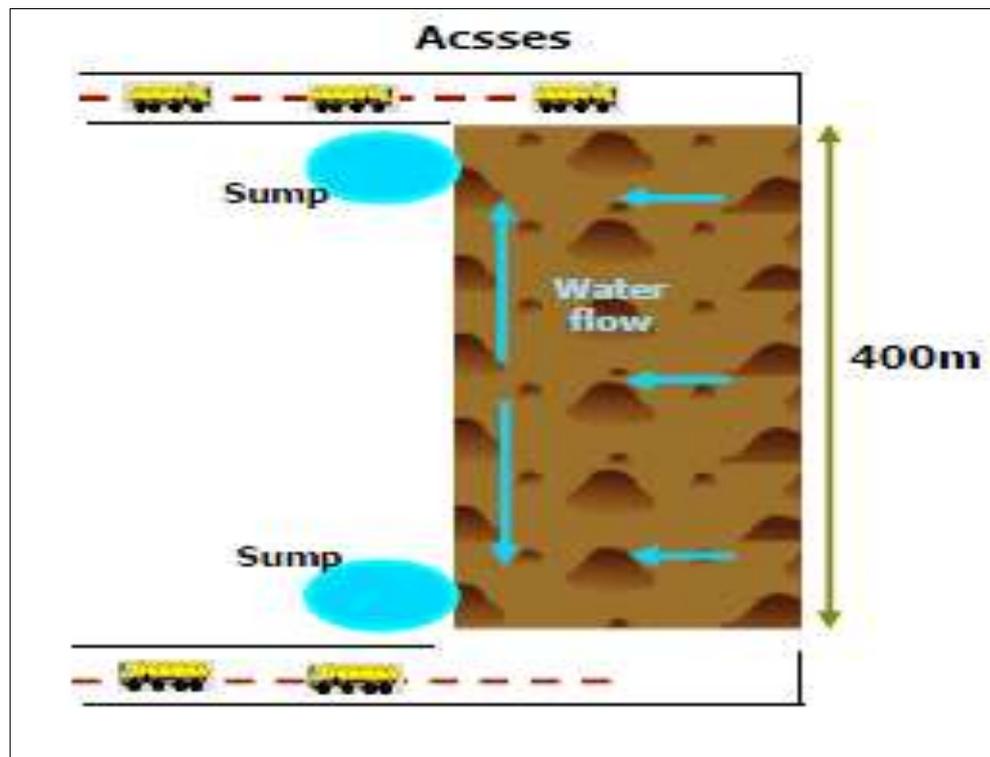


Figura 35 - Localização dos *sump's* em relação aos acessos.
 FONTE – GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)

No período que vai de dezembro a maio, quando os índices pluviométricos na região tornam-se acentuados, a canalização de fluxo de água ocorre por meio de valas de drenagem localizadas nas laterais internas das vias operacionais, isto é, no pé do talude desde a crista até

a camada de minério. Essas águas, posteriormente, são captadas por SUMP's e remanejadas por bombas elétricas, que possuem capacidade de bombeamento de 20 m³ a cada 15 minutos, ao ponto de desague nas bacias de contenção de sólidos/ amortecimento que irá quebrar a velocidade do fluxo e reduzir a quantidade de sólido, antes de estas seguirem para o sistema extravasor de gabião.

O serviço de bombeamento ilustrado na **figura 36** é composto por duas equipes que se revezam de acordo com a necessidade da mina. Além de profissionais qualificados, a empresa possui um caminhão *munck* para o transporte de geradores e bombas. As áreas de atuação para essas bombas são em *sump's* e bacias de contenção, pontos esses em que os níveis de água podem extravasar prejudicando as atividades de lavra e até causar danos ambientais.



Figura 36 - Demonstração dos serviços de bomba.

FONTE - GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

6.4 REGULARIZAÇÃO DO DEPÓSITO

O nivelamento das áreas lavradas **figura 37** ocorre por meio de tratores de esteira D 11, D 8, motoniveladora e recomposição com caminhão 777 F, a fim de que o terreno fique em condições topográficas similares a antes da exploração.



Figura 37 - Atividade de regularização do depósito.

FONTE - GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

A **figura 38** ilustra o processo de regularização do terreno e este já nivelado pronto para receber o plantio, sendo que este em grande parte já fora reabilitado.



Figura 38 - Processo de regularização do depósito: I nivelamento do depósito e II terreno nivelado apto a receber a vegetação.

FONTE - GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

6.5 INFRAESTRUTURA REALIZADA NA MINA EM PERÍODO CHUVOSO

No período que corresponde do mês de janeiro a junho na região amazônica, devido ao clima que possui, o regime de chuvas é bastante intenso. Durante esse período faz-se necessário um ritmo mais acentuado das operações de infraestrutura de mina para contornar as dificuldades inerentes ao processo, a fim de que as atividades realizam-se satisfatoriamente.

Grande parte dos parâmetros de um projeto de mineração, no que diz respeito à lavra, é dimensionada para contemplar a atividade de transporte, como os custos, as rampas e suas larguras, configuração de tráfego, cruzamento, curvas, sistema de drenagem, distância de deslocamento entre outros.

Como grande parte da infraestrutura de uma mina visa contemplar o máximo desempenho dos equipamentos de transporte, a **figura 39** ilustra as horas de infraestrutura de mina realizadas durante o período chuvoso que vai de janeiro a junho, considerando a produtividade dos caminhões para o período correspondente.

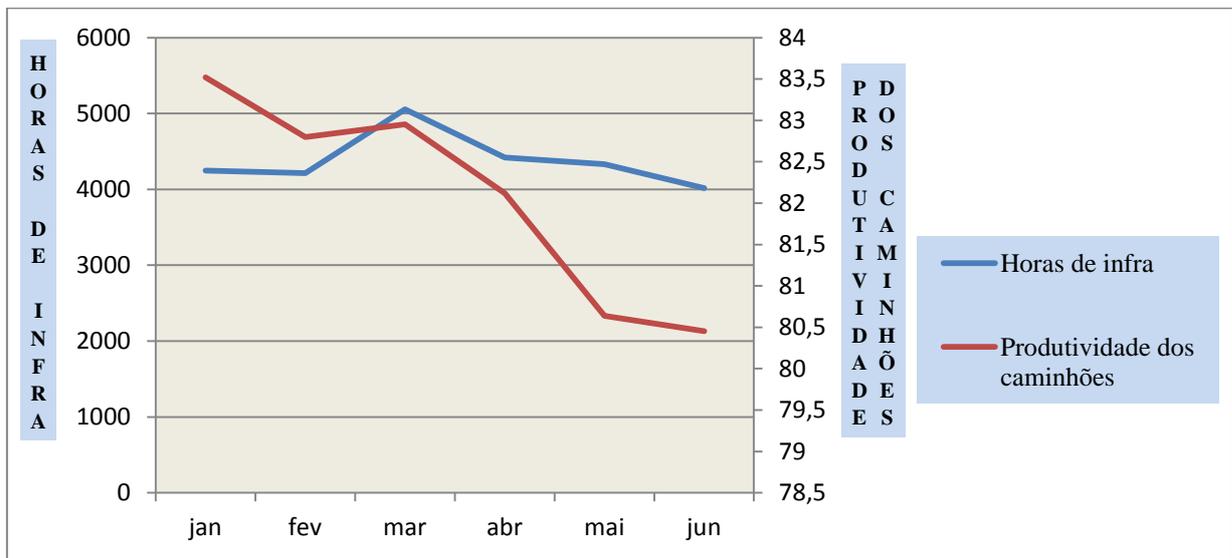


Figura 39 – Horas de infraestrutura e produtividade dos caminhões.
 FONTE - GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)

Observa-se que de janeiro a março, quando a precipitação pluviométrica é mais acentuada há necessidade de um maior número de horas de infraestrutura de mina realizadas para contemplar a produtividade dos caminhões, a qual mantém-se em níveis elevados, tendo em março, mês em que a incidência de chuvas é mais considerável, o seu maior índice de desempenho. A partir desse mês as operações de infraestrutura vão decrescendo até chegar a um nível comumente aceitável para o ritmo das operações. Apesar da queda abrupta da produtividade dos caminhões para esse período, este ainda se mantém em nível cabível para os padrões estabelecidos pela empresa. Isso indica que as horas de infraestrutura realizadas superaram o necessário para esse período. Na **tabela 4** são apresentados os valores referentes às horas de infraestrutura realizadas e a produtividade dos caminhões para os meses de janeiro a junho de 2013, reintegrando as informações observadas em gráfico.

Tabela 4- Horas de infraestrutura de mina realizadas e produtividade dos caminhões

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho
Horas de infraestrutura de mina	4248,304	4214,874	5055,597	4420,772	4332,29	4015,52
Produtividade dos caminhões	83,51812	82,79987	82,95437	82,11992	80,63923	80,45475

FONTE - GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013)

6.6 NÃO USO DAS FERRAMENTAS DE INFRAESTRUTURA DE MINA

As ferramentas de infraestrutura de mina são imprescindíveis para o resultado favorável do plano estratégico de extração do recurso mineral. Sem essas ferramentas, somado a contínua manutenção das mesmas, as operações de lavra podem ser prejudicadas e o objetivo da atividade mineradora que é o de gerar lucro e reduzir os custos a ela associados não ser contemplado.

As atividades de infraestrutura de mina ocorrem em sincronia de modo que qualquer dano ocasionado em uma destas poderá prejudicar o desempenho de outra atividade. Quando ocorre a incidência de algum problema a atividades, principalmente quando elas estão diretamente relacionadas às operações de lavra, como por exemplo, a confecção e manutenção dos acessos e o plano de drenagem para os mesmos, as operações devem ser interrompidas para que os problemas sejam corrigidos, assim comprometendo a produtividade da mina, além dos danos aos equipamentos ou até mesmo a perda dos mesmos. A figura ilustra acidentes devido a não utilização dos mecanismos de infraestrutura de mina.



Figura 40 - Não uso das ferramentas de infraestrutura de mina.

FONTE - GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

Na mineração, sejam a céu aberto ou subterrânea, as estradas de transporte quando mal projetadas ou, ainda, quando não se realiza a manutenção das mesmas, implicam em maiores custos e ,conseqüentemente, perda de produção.

Por vezes, há a necessidade de substituição dos equipamentos, salvo quando somente a manutenção faz-se suficiente, mas que também é bastante dispendioso; ocorre também à redução da vida útil dos pneus, sendo esse um parâmetro de grande relevância no que diz respeito aos gastos associados à manutenção do equipamento durante a vida útil do mesmo que corresponde ao valor inicial de aquisição de um caminhão; o consumo exacerbado de combustível, além de trazer condições inóspitas de trabalho afetando a segurança de todos que por elas trafegam.

Uma série de mecanismos, conforme as características e necessidades de uma mina devem ser estudados e implantados. É de substancial importância que se tenha os devidos cuidados com relação à drenagem na área de mina para que as águas superficiais não escoem para as frentes de lavra e também com relação às condições de tráfego das vias de modo a permitir a trafegabilidade de todos os equipamentos previstos. As ferramentas de infraestrutura de mina oferecem o devido suporte as operações de extração do recurso mineral permitindo-a atender a produção almejada.

7 CONCLUSÕES

A mineração é uma atividade que está em constante evolução no sentido de granjear melhorias as atividades a ela relacionadas. A infraestrutura de mina é imprescindível para o êxito do processo de extração do recurso mineral. Ela permite com que o objetivo da atividade de lavra seja atingido e com que o ritmo operacional da empresa seja mantido.

Esse estudo inclina a importância da infraestrutura de mina, não somente como um conjunto de ferramentas que irão oferecer o suporte as atividades de lavra, mas como quesito imprescindível para que o ritmo de produção de uma empresa seja mantido.

Com base nos dados aqui levantados e apresentados nota-se o quão peculiar é a infraestrutura de mina para as variadas operações de mineração, seja de lavra, decapeamento, manutenção e planejamento. A empresa Mineração Paragominas S.A anualmente programa as atividades de infraestrutura de mina considerando o progresso da lavra e as necessidades da mesma planejando novos acessos, no intuito de diminuir a distância média de transporte de minério (DMT), sistemas de drenagem para conter o fluxo de água na área de mina e também para o controle das drenagens que serão posteriormente desaguadas nos rios, supressão vegetal, recomposição da área lavrado, entre outros parâmetros que permitirão com que ela tenha o desempenho de produção cumprido.

Como a Mina de Bauxita Paragominas localiza-se em uma região cujo índice pluviométrico é elevado os mecanismos relacionados à drenagem devem ser frequentemente estudados, de modo que novas e melhores soluções sejam encontradas para minimizar as interrupções ocasionais.

Embora a empresa adote os mais variados mecanismos que lhe permitem satisfazer as necessidades de lavra e produção almejada, muito ainda há por fazer no sentido de aperfeiçoar esses parâmetros de infraestrutura de modo a fazer com que os custos inerentes à atividade sejam reduzidos.

São poucos os subsídios literários que retratem o tema como um conjunto operacional, daí partem as dificuldades em levantar informações relevantes que inclinem a devida importância que o mesmo exhibe diante do cenário mineral.

8 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se por meio desse estudo uma análise mais acurada sobre os parâmetros de infraestrutura de mina por meio de mais estudos literários informacionais que atentem para a importância dos mesmos e demonstrando quais mecanismos são adotados para outros projetos de mineração e de que forma estes corroboram para o desenvolvimento estratégico de lavra.

Apointa-se ainda a necessidade de mais estudos que visem “otimizar” pontualmente as ferramentas de infraestrutura de mina de modo a demonstrar as possíveis melhorias com a alteração de suas variáveis conforme as necessidades de um projeto.

9 REFERÊNCIAS

CLIFTON. K. *Equipamentos de Apoio e Aplicações na Estrada de transporte: como reduzir nossos custos por tonelada*. Wherever There's Mining, 2011, 56 páginas.

FERREIRA, L. F.M. *Avaliação de três cenários operacionais no decapeamento da lavra de bauxita de Paragominas – PA*. Marabá – PA: UFPA- Universidade Federal do Pará, 2013, 62 páginas. (Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia de Minas e Meio Ambiente).

GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013). *Relatório interno: plano anual de acesso e drenagem*. 36 páginas.

GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014). *Relatório interno: atividades de infraestrutura*. 38 páginas.

GATIM – Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2012). *Relatório interno: aspectos gerais da mineração*. 47 páginas

LOBATO, R. S. *Análise de produtividade na operação de decapeamento de estéril da mina de bauxita de Juruti – PA*. Marabá – PA: UFPA- Universidade Federal do Pará, 2012, 36 páginas. (Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia de Minas e Meio Ambiente).

MENDES, R. C. (2012). *Diferentes metodologias de transporte de minério e estéril*. In: Expositram Amazônia 2012 – 1º Workshop de Bauxita e Alumina da Amazônia. Belém, PA. 32 páginas.

PERONI. R (2007). *Lavra a Céu Aberto: Teoria e prática*. Departamento de Engenharia de Mina – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 34 páginas

PIMENTEL, E. (2011). *Mina de Bauxita Paragominas – Descrição dos Processos de Lavra*. In: VIII Semana da Geologia – UFPA (Universidade Federal do Pará) – Marabá, PA. 35 páginas.

PIMENTEL, E. N. *Aspectos gerais da mina de bauxita de Paragominas. Estudo comparativo e elaboração de modelos ótimos de logística operacional – troca de turnos*. Marabá – PA: UFPA- Universidade Federal do Pará, 2009, 51 páginas. (Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia de Minas e Meio Ambiente).

RICARDO, H. de S.; CATALANI, G. *Manual Prático de Escavação: Terraplanagem e Escavação de Rocha*. 3ª. Ed. rev. e ampliada, São Paulo: Editora Pini, 2007.

SAMPAIO J. A. *et al. Bauxita*. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. *Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações*. 2ª ed. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

COSTA. L. S, CARNEIRO. M. C, DOMINGUES. N. N (2006). *Caracterização Química da Bauxita*. XIV Jornada de Iniciação Científica – CETEM. 7 páginas.