

Daniel dos Santos Costa

**Estudo de Caso: Planejamento das Operações Unitárias de Lavra da
Pedreira Paraíso**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Especialista José Cleuton Batista.

Palmas-TO

2013

Daniel dos Santos Costa

**Estudo de Caso: Planejamento das Operações Unitárias de Lavra da
Pedreira Paraíso**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Especialista José Cleuton Batista.

Aprovada em novembro de 2013.

BANCA EXAMINADORA

Professor Orientador Especialista José Cleuton Batista
Centro Universitário Luterano de Palmas

Professor M.Sc. Daniel Francisco Padilha Setti
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Otton Nunes Pinheiro
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas-TO

2013

AGRADECIMENTOS

“Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar saúde e sabedoria para conseguir vencer os desafios da vida. Agradeço também ao apoio que recebi durante essa caminhada da minha esposa Ada Lúcia, minha mãe Edna Maria, meu pai Francisco de Paulo, meu irmão Samuel e claro, ao meu filho Pedro Vitor Costa, que é a fonte de meu esforço e dedicação em tudo que faço. Gostaria também de dizer que sou muito grato ao meu orientador, professor José Cleuton Batista, que me amparou durante minha vida acadêmica e à mineradora que proporcionou a realização deste trabalho”.

SUMÁRIO

1	Introdução	10
2	Referencial Teórico.....	12
2.1	A Importância do Planejamento das Operações Unitárias de Lavra	12
2.2	Planejamento das Operações de Perfuração.....	12
2.3	Influência do Desmonte de Rochas no Ciclo Produtivo.....	16
2.4	Carregamento e Transporte no do Ciclo das Operações Unitárias de lavra	18
2.4.1	Classificações de Equipamentos.....	19
2.4.2	Processos de Seleção dos Equipamentos.....	22
2.5	Cálculos de Carregamento e Produção.....	25
2.5.1	Equipamentos de Carregamento.....	25
2.5.2	Equipamentos de Transporte.....	27
2.5.3	Esforço Trator.....	27
2.5.4	Resistência de Rampa.....	28
2.5.5	Resistência de Rolamento.....	28
2.5.6	Lei da Movimentação de Equipamentos.....	29
2.6	Eficiência.....	31
2.7	Produtividade.....	32
2.7.1	Índices de Produtividade.....	33
2.7.1.1	Disponibilidade Física	34
2.7.1.2	Utilização Efetiva	34
2.7.1.3	Eficiência Operacional	34
2.7.1.4	Utilização	35
2.7.1.5	Confiabilidade.....	35

2.7.1.6	Atraso Operacional.....	35
3	Materiais e Métodos	37
3.1	Características Gerais do Empreendimento	37
3.2	Geologia e Clima	38
3.2.1	Geologia Regional	38
3.2.2	Geologia Local.....	40
3.2.2.1	Sequência metavulcano-sedimentar Rio do Coco.....	40
3.2.2.2	Associação Ortognaíssica-Migmatítica Rio dos Mangues (Prm)	40
3.2.2.3	Complexo Granito-Gnaíssico Campo Maior (Pmc)	41
3.2.2.4	Metagranito Serrote (Ps).....	41
3.2.2.5	Coberturas detrito-lateríticas (TQdl)	42
3.2.3	Clima	43
3.3	Consumo de Mercado e Metas de Produção	43
3.4	Decapeamento	44
3.5	Sistemas de Perfuração e Desmonte.....	45
3.6	Carregamento e Transporte	45
4	Resultados e Discussões	52
5	Considerações Finais	55
6	Referências Bibliográficas.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Pré-dimensionamento de perfuratrizes	13
Tabela 2	Vida útil de elementos de uma perfuratriz.....	15
Tabela 3	Classificação geral dos equipamentos	19
Tabela 4	Fator de enchimento dos materiais	26
Tabela 5	Tempo de carregamento por material	26
Tabela 6	Coefficientes de afundamento e rolamento pela superfície do terreno	29
Tabela 7	Eficiência de acordo com as condições de trabalho	31
Tabela 8	Características do equipamento de carregamento	45
Tabela 9	Especificações da escavadeira Cat 320D.....	46
Tabela 10	Tempo de ciclo do carregamento.....	46
Tabela 11	Características operacionais das unidades de transporte.....	47
Tabela 12	Tempo cíclico do transporte	48
Tabela 13	Eficiência média do transporte.....	50
Tabela 14	Novo tempo de ciclo do transporte.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração da escavadeira hidráulica	20
Figura 2. Carregamento na frente de lavra	20
Figura 3. Caminhão com descarga traseira	21
Figura 4. Caminhão fora de estrada	21
Figura 5. Ciclo de operações de uma carregadeira	25
Figura 6. Resistência de rolamento gerada penetração, flexão e atrição	29
Figura 7. Carta de desempenho típico	31
Figura 8. Bancadas em desenvolvimento.....	37
Figura 9. Visão geral do empreendimento	38
Figura 10. Mapa geológico regional central do Estado do Tocantins	42
Figura 11. Trajeto do ciclo da unidade de transporte.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Histograma de precipitação pluviométrica do Tocantins.....	43
Gráfico 2. Estimativa de produção entre os meses de maio e outubro	44
Gráfico 3. Eficiência operacional do transporte no mês de junho	49
Gráfico 4. Eficiência operacional do transporte no mês de julho	49
Gráfico 5. Eficiência operacional do transporte no mês de agosto	50
Gráfico 6. Eficiência operacional do transporte no mês de setembro	50
Gráfico 7. Estimativa da produtividade do novo sistema de britagem.....	53

RESUMO

Um empreendimento mineiro constitui-se de uma sucessão de etapas no qual vai desde pesquisas de ocorrências minerais até o fechamento da mina. Na etapa da produção, quando se deseja otimizar o processo, além de um planejamento de mina adequado, é importante planejar as operações unitárias de lavra. As operações de lavra são constituídas pelas etapas de desmonte, carregamento e transporte, porém quando o desmonte é feito com auxílio de explosivos ocorre a necessidade da operação de perfuração. A otimização da produção ocorre quando há condições de sincronismo entre os equipamentos de carregamento e transporte, eficiência operacional dos equipamentos envolvidos, qualidade da mão de obra e condições de trabalho. No entanto as operações de perfuração e desmonte fornecem os parâmetros iniciais para que essa condição ocorra.

Este trabalho constitui de um estudo na Pedreira Paraíso, no qual tem como foco principal o planejamento das operações de carregamento e transporte sem distanciar-se, no entanto, da importância de um sistema adequado de perfuração e desmonte para o processo.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência, Empolamento, Operações Unitárias, Lavra, Tempo de ciclo.

1 INTRODUÇÃO

Em toda operação de lavra um dos maiores desafios dos empreendimentos mineiros é otimizar os processos das operações unitárias. Diante disso, busca-se através de alguns métodos, tais como pesquisa operacional e/ou pesquisas estatísticas planejar as operações de perfuração, desmonte, carregamento e transporte com objetivo principal de reduzir custos e aumentar a produtividade, pois há a necessidade de se fazer um planejamento estratégico de retirada (exploração) do minério para atender as necessidades do mercado. No entanto, uma das maiores barreiras, principalmente em pequenas minerações, é colocar em prática o planejamento das operações de lavra, visto que há necessidade de investimentos de capital e os investidores nem sempre estão dispostos a realizar.

Normalmente, um planejamento de lavra é elaborado considerando-se três fases: longo, médio e curto prazo. Na primeira fase, de longo prazo, faz-se um planejamento mais amplo, pensa-se, então, na mina para alguns anos. Na segunda, de médio prazo, faz-se um planejamento para até um ano e na terceira fase, de curto prazo, trabalha-se num planejamento diário, mensal e até trimestral. É importante salientar que esses intervalos de tempo não são rígidos e, portanto, podem variar de uma empresa para outra.

Grandes empresas de mineração incorporam técnicas estatísticas ou geoestatísticas na avaliação de seus depósitos aplicando-as de maneira eficiente no planejamento mineiro, porém parte das minas, principalmente pequenas mineradoras, por não utilizarem essas técnicas, opera sem um conhecimento adequado de seu depósito e sem planejamento de suas operações. Em consequência disso, em algumas mineradoras, as bancadas e praças são mal planejadas, o sistema de carregamento e transporte não é adequado de acordo com a produtividade desejada e ocorre falha na eficiência das operações. Nessa situação, os resultados de lavra são, geralmente, inadequados aos objetivos pretendidos, resultando em fragmentação grosseira, geração de grandes blocos de rochas (matacos) que induzem uma maior atividade nas operações de

desmonte secundário e sistemas ineficientes de carregamento e transporte, reduzindo a produtividade.

Os dados necessários para o trabalho foram levantados através de bibliografias e *in situ*, por meio de entrevistas com o minerador e o responsável pelo empreendimento. O tempo de ciclo das unidades de carregamento e transporte foi cronometrado em um dia de atividade comum.

Nos próximos meses haverá mudanças para um novo sistema de britagem, com maior capacidade, e este trabalho além de analisar as atuais condições operacionais da mineradora, fez uma possível estimativa da produção esperada com a nova capacidade da britagem em função da eficiência operacional do transporte.

O estudo na pedreira paraíso foi realizado com objetivo de sugerir uma metodologia de trabalho, no qual põe a produção desejada e o planejamento das operações unitárias de lavra como foco principal, principalmente do carregamento e do transporte, que atuam efetivamente no ciclo produtivo da lavra.

Para alcançar os objetivos propostos foi necessário analisar as condições atuais do empreendimento, tais como capacidade de processamento de minerais, condições da frota de carregamento e transporte, tempo de ciclo das unidades de produção, acessos e condições do trajeto da lavra até a britagem e a produção desejada.

2 Referencial Teórico

2.1 A Importância do Planejamento das Operações Unitárias de Lavra

2.2 Planejamento das Operações de Perfuração

A perfuração é o primeiro estágio dentro do ciclo das operações unitárias de lavra, portanto, a adequada seleção e dimensionamento dos equipamentos de perfuração são fundamentais para um ciclo eficiente (GERALDI, 2011).

Os equipamentos de perfuração podem ser classificados de acordo com o princípio mecânico que exercem como percussão, percussão com rotação e rotação. Há também a classificação de perfuratrizes pelo seu acionamento, que pode ser elétrico, hidráulico ou por ar comprimido (GERALDI, 2011).

As características da furação é um dos parâmetros mais importante que deve ser levado em consideração quando se deseja obter uma fragmentação adequada para diversas finalidades, tais como disposição em pilhas de estéril, desmonte para obras de infraestrutura, carregamento e transporte de minérios para britagem e etc (GERALDI, 2011).

GERALDI (2011) descreve que a seleção e o dimensionamento das perfuratrizes para escavação de rocha devem considerar metas mensais de escavação de rochas previstas (produção efetiva), baseando-se em parâmetros básicos como velocidade de perfuração dos equipamentos, tipo de rocha a perfurar e condições estruturais dos maciços rochosos.

De acordo com GERALDI (2011) rochas mais brandas são perfuradas mais rapidamente que as rochas mais duras. Em compensação, rochas mais brandas e muito friáveis são suscetíveis à ocorrência de acidentes, acusando o aprisionamento e até mesmo danificando as ferramentas de perfuração. O mesmo irá ocorrer com rochas duras, porém muito fraturadas.

O que se pretende alcançar na seleção de perfuratrizes é selecionar um equipamento altamente produtivo com custos operacionais baixos. A alta produtividade de um equipamento está relacionada com a taxa de perfuração que a perfuratriz é capaz de realizar na rocha (GERALDI, 2011).

Segundo GERALDI (2011) a velocidade de perfuração projetada é o principal parâmetro a ser considerado para a seleção de perfuratrizes nos projetos de escavação em rochas. A velocidade de perfuração é geralmente expressa em metros/minutos ou em metros/hora e pode variar muito mesmo para um determinado tipo de rocha.

“Em frentes mais confinadas ou de topografia acidentada, estes equipamentos terão sua produtividade comprometida em função do tempo gasto nas manobras e nos deslocamentos entre os diversos furos a executar” (Geraldí, 2011. Pg 45).

Segundo MORAES (2001) a escolha para um pré-dimensionamento de seleção de perfuratrizes pode ser selecionada pela tabela 1.

Tabela 1. Pré-dimensionamento de perfuratrizes

Fatores	Perfuratriz Rotativa	Martelo de Superfície	Perfuratriz DTH
Diâmetro do furo (mm)	165 a 228 em rocha macia média, 250 a 432 em todas as formações	38 a 127	152 a 228 em formações médias a muito dura. Diâmetros menores e furos longos.
Tipo de rocha	Formações na faixa de macia a muito dura	Média a muito dura	Média a muito dura. Restrições em rochas muito fraturadas
Prof. Máx. do Furo (m)	Maior que 60 m	Menor que 20 m	Maior que 60 m
Volume de Ar Requerido	Grandes vazões de ar para se obter uma limpeza eficiente do furo	O ar tem dupla função: limpeza do furo e acionamento do martelo. Não pode usar pressões tão altas quanto a DTH. Máquinas hidráulicas reduzem bastante o consumo de ar.	A taxa de penetração aumenta com o aumento da pressão de ar, mas o volume de ar requerido também.
Avanço Requerido (m/min)	Baixo em formações macias e muito alto em formações duras.	Altas taxas de penetração alcançadas com menores pressões de avanço.	Boa penetração com menor carga de avanço.

Velocidade Rotação (RPM)	Requer alta velocidade em rocha macia e velocidade baixa em rocha dura.	A rotação para o Bit é aproximadamente de 100 a 120 rpm para furos de 64 mm em rocha macia; Em rocha dura, 75 a 100 rpm para furos de 64 mm e 40 a 50 rpm para furos de 127 mm.	Opera com menores velocidades de rotação; 30 a 50 rpm para rocha macia; 40 para rochas intermediárias e 10 a 30 rpm para rochas duras.
Taxa de penetração	Aumenta com o aumento do diâmetro da broca; Diminui com o aumento da resistência da rocha	Taxas iniciais mais altas que DTH. A taxa de penetração diminui com cada haste adicionada. A taxa decresce com o aumento do diâmetro.	Taxas relativamente constantes ao longo do furo. Maiores taxas em rochas duras, na faixa de diâmetro de 152 mm a 228 mm comparando-se com o método rotativo.
Níveis de Ruído	Geralmente Baixo	Ruído é crítico: impacto do martelo e do ar comprimido. Máquinas hidráulicas possuem menor nível de ruído.	O nível de ruído é maior do que o método de martelo de superfície. Ruído é dissipado dentro do furo.

FONTE: MORAES, 2011.

Os custos operacionais da perfuração podem ser reduzidos através de escolhas adequadas de acordo com o tipo de rocha, das condições da frente de trabalho, do sistema de perfuração e dos elementos que os compõem, tais como luvas, hastes, brocas, consumo de energia gasta para desempenhar determinado trabalho e a qualidade da mão de obra para manusear determinados equipamentos, visto que uma mão de obra pouco qualificada pode levar o equipamento a maior tempo em manutenção (GERALDI, 2011).

As perfuratrizes de grande porte e as modernas carretas hidráulicas necessitam de frentes de trabalho bem definidas, niveladas e livres para facilitar seu deslocamento e operação (GERALDI, 2011. Pg 56).

Segundo GERALDI (2011) as condições mecânicas das perfuratrizes podem ser responsáveis por quebras prematuras das brocas. Além dos aspectos gerais quanto ao funcionamento correto do equipamento, o acoplamento punho da broca-bucha de rotação da perfuratriz deve ser constantemente checado com

gabaritos fornecidos pelos fabricantes. A tabela 2 mostra um exemplo de previsão de vida útil para alguns elementos de uma perfuratriz.

Tabela 2. Vida útil de elementos de uma perfuratriz

Equipamento Seccionado	Vida Média
Punhos de rosca-corda (Φ 32 mm)	600/800
Punhos de rosca (Φ 38 mm)	1000/1200
Punhos de rosca FI (Φ 38 mm)	1500/2000
Hastes redondas de rosca-corda (Φ 38 mm)	500/600
Hastes redondas de rosca-corda (Φ 38 mm)	800/1000
Hastes sextavadas de rosca FI (Φ 38 mm)	1300/1500
Hastes redondas de rosca FI (Φ 38 mm)	1200/1400
Luvras de rosca-corda (Φ 32 mm)	300/400
Luvras de rosca-corda (Φ 38 mm)	600/800
Luvras de rosca FI (Φ 38 mm)	800/1000

FONTE: GERALDI, 2010

No geral um plano de perfuração ideal é aquele que proporciona boas condições para a etapa seguinte das operações unitárias de lavra, o desmonte com auxílio de explosivos.

2.3 Influência do Desmonte no Ciclo Produtivo

O processo de desmonte de rochas é uma operação que pode ser realizada com auxílio de explosivos ou por processos mecânicos e/ou com auxílio de materiais expansivos.

A aplicação de explosivos com propósito à fragmentação de rochas ou extração de recursos minerais é visto não só como uma ciência, mas também como uma arte (AIMONE *et A.L.*, 1996).

O processo de desmonte de rochas, com auxílio ou não de explosivos, é importante não só para um bom andamento do ciclo de produção da lavra, mas também para os processos de cominuição, visto que alguns autores, como BENVINDO (2010) e CHAVES (2005), tratam a fragmentação na lavra como a primeira etapa do processamento de minérios e seu dimensionamento adequado reflete em um bom andamento de todo o processo.

Segundo BENVINDO (2010) na etapa de lavra, o desmonte do minério ou rocha, com auxílio de explosivo pode ser visto como um primeiro estágio de fragmentação, onde são produzidos blocos volumosos, mas de um tamanho que permite alimentar os equipamentos de britagem.

Uma fragmentação adequada produz um bom andamento da produção, pois reduz a necessidade de desmontes secundários. A abertura de frentes livres, acessos ótimos, condições das praças de trabalho e desníveis entre as bancadas, com auxílio de explosivos, permitem maior agilidade e desempenho dos equipamentos de perfuração carga e transporte (HARTMAM, 2002).

Segundo GERALDI (2011) para o bom andamento de um serviço de escavação de rocha, uma vez avaliados os seus principais condicionantes e estabelecidos o cronograma físico para os serviços, faz-se necessário preparar no campo, as denominadas frentes livres de escavação. Estas frentes devem ser bem projetadas e implantadas logo no início dos serviços, para se obter os melhores resultados nas operações de perfuração, detonação, carga e transporte da rocha detonada.

De acordo com GERALDI (2011) um projeto de escavação de rocha a céu aberto deve ser baseado em três parâmetros; condicionantes que interferem diretamente no dimensionamento geral e nos custos do empreendimento. Inicialmente, é preciso determinar com clareza os volumes a escavar e as metas de produção (cronogramas), estudo sobre a destinação da rocha que será escavada e o grau de fragmentação da rocha ou a faixa granulométrica ideal da rocha a ser obtida em função da destinação do material.

As características, que envolvem o dimensionamento adequado de escavações de rochas, são as condições de perfuração, características geológico-geomecânicas locais do maciço rochoso e o tipo de equipamento ou material que realizará a fragmentação tais como máquinas, equipamentos ou explosivos (GERALDI, 2011).

Os elementos que compõem um plano de fogo são afastamento, espaçamento, subfuração, tampão, profundidade, inclinação e diâmetro do furo, cargas de fundo e/ou de coluna. Através de fórmulas ou regras práticas pode-se planejar uma sequência de desmontes e os resultados devem ser avaliados e adequados de acordo com o histórico do desmonte, portanto, para alcançar uma malha ótima requer tempo (GERALDI, 2011).

De acordo com RICARDO (1990) muitos estudos teóricos, apoiados em experiências de campo, foram desenvolvidos para se determinarem valores aos elementos componentes do plano de fogo. A aplicação desses estudos requer informações muitas das vezes de difícil obtenção e que demandam um tempo relativamente prolongado. Por outro lado, a experiência de muitos desmontes de rocha gerou regras práticas que permitem estabelecer valores para o plano de fogo com margem de êxito bastante razoável.

2.4 O Carregamento e o Transporte dentro do Ciclo das Operações Unitárias de Lavra

Dentro de um ciclo de operações unitárias o processo de carregamento e transporte pode-se dizer que dita a produtividade de uma indústria mineral e, portanto, o dimensionamento de forma correta proporciona condições adequadas de trabalho. Num cenário hipotético, dentro de uma cadeia produtiva, uma unidade de carregamento é utilizada para carregar o material fragmentado em uma unidade de transporte, que leva o minério para as instalações de beneficiamento ou o estéril para pilhas de estéril (ANON, 1990).

Segundo ANON, o material transportado para o beneficiamento ou disposição de estéril é inicialmente fragmentado pelas operações de perfuração e desmonte, que pode ser por meios mecânicos ou com auxílio de explosivos. A fragmentação é uma operação extremamente importante, pois através dela determina-se o tamanho adequado dos fragmentos que serão transportados e o grau de empolamento que será carregado. Outras propriedades físicas que afetam a movimentação de materiais são a abrasão, adesão, coesão, ângulo de repouso, compressão, densidade do solo, densidade de partículas, friabilidade, teor de umidade, higroscopicidade e a forma e o tamanho dos fragmentos.

As exigências de produção do sistema determinam as características e quantidade de equipamentos necessários de carregamento e transporte. Em geral, essas exigências são fornecidas em unidades de peso ou volume por unidade de tempo, variando de acordo com o tipo da produção (HARTMAN, 1996).

“A capacidade de produção de qualquer carga ou transporte com componente pode ser descrito, pelo volume de material que pode assegurar a qualquer instante a capacidade e o tempo necessário para completar um ciclo de operação, ou por outras palavras, o tempo que leva para que o volume de material a mover completamente através desse componente do sistema (velocidade de produção)” (Sweigard, 1996).

Uma vez que os requisitos de produção são conhecidos, várias combinações de equipamentos e sequencias de operações podem ser

desenvolvidas e projetadas para produzir o volume necessário de material. Esta etapa pressupõe o conhecimento da capacidade de produção de cada componente específico da carga projetada e do sistema de transporte (HARTMAN, 1996).

2.4.1 Classificações de Equipamentos

A movimentação de materiais envolve diversos processos, dentre os quais podemos citar os equipamentos que devem ser adequados para cada tipo de serviço.

Segundo ATKINSON (1971), a classificação de sistemas de transportes de superfície, no qual os trata de acordo com o tipo de cada operação unitária são classificados em contínuos ou descontínuos. A principal função dessa classificação é fornecer parâmetros iniciais básicos de seleção dos equipamentos e facilitar a escolha dos equipamentos de carregamento e transporte em um projeto preliminar, embora que para a seleção final seja necessários mais detalhes específicos. O sistema de classificação de utilizado por Atkinson é mostrado na tabela 3.

TABELA 3. Sistema de classificação segundo Atkinson

	Carregamento	Transporte		Combinado	
		Partes não fixas	Partes Fixas	Base móvel	Base fixa
Unidades	Shovel	Truck	Rail	scraper	Dragline
Discretas	Backhoe	Shuttle Car	Skip hoist	Dozer	Shovel
	Hydraulic front shovel		Slusher	LHD	Base fixa
Fluxo		Para sólidos	Para fluídos		Dragline
Contínuo	Bucket Weel excavator			Máquinas de carregamento e transporte são colocados em serie para criar o fluxo contínuo.	
	Bucket chain excavator	Belt conveyer	Slurry		
	Dredge	Screw conveyer	Pneumatic transport		
	Continuous miner	Chain conveyer			

Fonte: HARTMAN, 1996.

As distinções principais desse sistema apresentado por Atkinson estão relacionadas em função do tipo de função que a máquina efetua como a carga, em idade de transporte, ou uma combinação de carregamento e transporte; e a forma que o material entra no processo, em unidades discretas ou em fluxo

contínuo. Todos os equipamentos de carga e transporte que lidam com as unidades discretas de material podem ser descrito em termos de um tempo de ciclo.



FIGURA 1. Ilustração da Escavadeira Hidráulica

A figura 1 ilustra uma escavadeira em uma frente de lavra trabalhando na posição de 90°, posição de maior produtividade.



FIGURA 2. carregamento na frente de lavra

A figura 2 mostra o sistema de carregamento da unidade de transporte na Pedreira Paraíso, observa-se as boas condições da praça que permite melhor condições para alta produção.



FIGURA 3. Caminhão com descarga traseira

A figura 3 ilustra o tipo de caminhão utilizado para transportar o minério da frente de lavra até a britagem na Pedreira Paraíso.

FIGURA 4. Caminhão fora de estrada



FONTE: CATERPILLAR

A figura 4 ilustra um tipo de unidade de transporte com grande capacidade operacional, porém deve ser dimensionado adequadamente de acordo com o porte da produção e condições de trabalho.

2.4.2 Processos de Seleção dos Equipamentos

O processo de seleção de equipamentos envolve algumas informações estão envolvidos em todo processos de seleção de equipamentos, tais como produção requerida, produtividade, taxa de produção dos equipamentos, eficiência, disponibilidade e capacidade dos equipamentos (HARTMAN, 1996).

Para se concluir quais os tipos e as quantidades necessárias para uma determinada produção desejada é necessário realizar cálculos auxiliados com as informações que envolvem o processo, gráficos e tabelas dos fabricantes (HARTMAN, 1996).

Inicialmente deve-se determinar a produção desejada para atender o processo, no entanto é necessário levar em consideração alguns fatores externos que podem atrapalhar o processo tais como projeções de vendas, contratos, quantidade de reservas disponíveis, condições climáticas e outras operações da empresa em questão. Levando em consideração todos esses fatores deve-se, então, determinar a produção necessária para um período específico, geralmente um ano (HARTMAN, 1996).

“A exigência de produção anual total para a mina deve, então, ser convertidas em taxas de produção por dia ou hora para cada operação. As taxas de produção para operações específicas dentro do ciclo de mineração serão afetadas por fatores como percentual recuperação, minério e razão de separação, no caso de superfície operações” (SWEIGARD, 1996).

Outro parâmetro a ser determinado é o percurso e as condições do percurso que o material será levado da frente de lavra até o ponto de descarga, para isso é fundamental determinar o layout do depósito, seus avanços e informações topográficas detalhadas. As condições da praça também influenciam na produtividade, visto que praças com boas condições evitam manobras excessivas e reduzem, conseqüentemente, os tempos de ciclo de equipamentos. A partir dos dados levantados pode-se calcular o tempo de ciclo para uma operação de unidade, que se constituem em tempos de ciclo mínimo e efetivo (HARTMAN, 1996).

O tempo de ciclo mínimo é a somatória de todos os tempos elementares que resulte o menor tempo de ciclo, em que a tarefa pode ser executada, ou seja, é a somatória dos tempos fixos e tempos variáveis. Tempos fixos são unidades de tempos em que não há variações, como o tempo em que uma escavadeira leva para carregar uma unidade de transporte, por outro lado, tempos variáveis são unidades de tempo em que há variações consideráveis durante um percurso como caminhões, por exemplo. Tempos variáveis podem ser calculados segundo RICARDO (1990) através da somatória das variações de tempo em cada trecho num dado percurso.

$$\sum \zeta V_i = \frac{(L_i \times 0,06)}{V_i} + \dots + \frac{(L_n \times 0,06)}{V_n} \quad (1)$$

Onde:

L: comprimento do trecho (m)

V: Velocidade média do trecho (km/h)

O Tempo de ciclo efetivo é aquele gasto realmente pelo equipamento para executar o ciclo de operação, computado os tempos de parada que ocorrem necessariamente no decurso de muitos ciclos.

$$T_{cmín} = \sum \zeta f + \sum \zeta V \quad (2)$$

$$T_{cef} = \sum \zeta f + \sum \zeta V + \sum \zeta p \quad (3)$$

$$T_{cef} = T_{cmín} + \sum \zeta p \quad (4)$$

Onde:

$T_{cmín}$: Tempo de Ciclo mínimo

T_{cef} : Tempo de ciclo efetivo

$\sum \zeta f$: Somatória dos tempos fixos

$\sum \zeta V$: Somatória dos tempos variáveis

$\sum \zeta_p$: Somatória dos tempos de parada

A capacidade de cada equipamento pode ser calculada em função da taxa de produção e o número de ciclos por unidade de tempo através da seguinte fórmula:

$$\text{Taxa de produção} = \text{Capacidade} \times (\text{n}^\circ \text{ de ciclos} / \text{unidade de tempo}) \quad (5)$$

Considerando todos os fatores de eficiência,

$$\text{Produtividade} = \text{Taxa de produção} \times \text{fatores de eficiência} \quad (6)$$

Uma vez que os requisitos de produção foram estabelecidos e estimativas foram feitas para os tempos de ciclo e todos os fatores de eficiência, pode-se calcular a capacidade necessária. No entanto, as máquinas devem ser concebidas para lidar com pesos específicos, em vez de um volume específico. Portanto, é necessário considerar a capacidade nominal de uma máquina, juntamente com a densidade do material a ser determinada para que a produção necessária possa ser conseguida com o equipamento selecionado (SWEIGARD, 1996).

$$P \text{ (ton)} = \text{Capacidade de Carregamento} \times \text{Densidade do material} \quad (7)$$

portanto,

$$P \leq \text{Capacidade máxima operacional da máquina}$$

Uma fase importante no dimensionamento de equipamentos de carregamento e transporte é a análise de alternativas que atendam os quesitos de produção com custos operacionais baixos, vida útil relativa dos equipamentos estudados e custos de capital. No entanto, é preciso realizar várias simulações com possíveis alternativas presentes. O resultado poderá mostrar que para uma dada produção ser atendida é necessário desde uma máquina até uma frota de equipamentos. O número total de máquinas necessárias para uma produção requerida pode ser determinada utilizando o princípio probabilístico de disponibilidade de equipamentos (SWEIGARD, 1996).

Para ANON, Existem vários algoritmos para calcular a probabilidade de qualquer número de máquinas que estão disponíveis em um ponto no tempo para um dado tamanho da frota.

2.5 Cálculos de Carregamento e Produção

Determinar a produtividade de um carregamento, bem como o transporte é uma abordagem que foi desenvolvida e analisada por muitos autores como ANON (1979), BISHOP (1972), PEURIFOY (1956), RICARDO (1990) e fabricantes de máquinas e equipamentos.

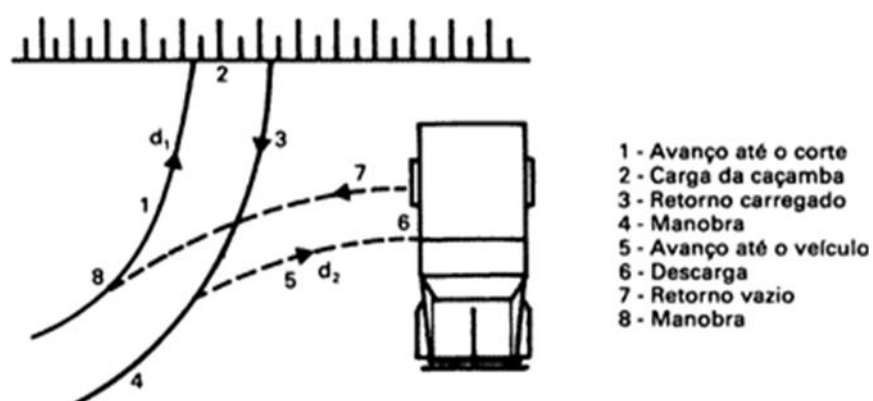
De acordo com ANON (1979) a capacidade de produção de equipamentos de carregamento e transporte pode ser dividida em unidades discretas, fluxo contínuo ou a combinação dos dois. A abordagem tratada nesse trabalho está relacionada às unidades discretas por serem aplicados, na maioria dos casos, dentro de empreendimentos mineiros de pequeno e médio porte.

2.5.1 Equipamentos de Carregamento

As carregadeiras de unidades discretas podem ser classificadas pela necessidade ou não de tração. Dentre os vários equipamentos de carregamento podemos citar as retroescavadeiras, escavadeiras hidráulicas, pás carregadeiras e pequenas draglines que são usadas para veículos de carga de transporte.

Carregadeiras têm seus tempos de ciclo dimensionado através das somatórias dos tempos variáveis e tempos fixos de carga e descarga da concha, movimento carregado e vazio, e tempo de posicionamento como mostra a figura.

Figura 5: Ciclo de operação de uma carregadeira



FONTE: RICARDO, P. 410.

O tempo de ciclo de uma escavadeira ou carregadeira, no qual é citado na figura 5, é dependente do porte da máquina e das condições de trabalho, tais como tipo de material, altura e granulometria das pilhas, obstáculos no carregamento e posicionamento estratégico do transporte em relação ao equipamento de carregamento.

De acordo com ANON (1988) o fator de enchimento é um dos fatores que deve ser considerados nos cálculos de produção. A tabela 4 relaciona o tipo de material com o fator de empolamento correspondente.

Tabela 4. Fator de enchimento dos materiais

Material	Fator de enchimento (%)
Moist loam or sandy clay	100 – 110
Sand and gravel	95 – 100
Hard, tough Clay	80 – 90
Rocha- bem fragmentada	60 – 75
Rocha menos fragmentada	40 – 50

FONTE: CATALANI, 2008

Segundo RICARDO (2008), o tempo de carga da caçamba está relacionado com tipo de material a ser escavado, a tabela 5 relaciona o tipo de material a ser escavado com o possível tempo correspondente.

Tabela 5. Tempo de carregamento por material

Material a ser escavado	Tempo de Carga
Agregados de granulometria uniforme	0,03 - 0,05 min
Agregados misturados e úmidos	0,04 - 0,06 min
Argila úmida	0,05 - 0,7 min
Terra, matacões, raízes	0,05 - 0,20 min
Materiais concrecionados	0,10 - 0,20 min

FONTE: CATALANI, 2008

Geralmente, além de cálculos de tempos previstos, deve-se trabalhar concomitantemente com dados práticos observando o equipamento de carregamento em campo e relacionar o tempo de ciclo medido com o calculado teoricamente, pois outros fatores influenciam no rendimento da produtividade de um equipamento, tais como condições de trabalho, habilidade da mão de obra e etc.

2.5.2 Equipamentos de Transporte

Em se tratando de transporte as unidades discretas se dividem em duas categorias: aqueles que seguem um caminho fixo, no qual foi estudado por BISE (1986), e aqueles que são livres para mover-se em qualquer direção. Nos transportadores não fixos parte são caracterizados principalmente por caminhões. O cálculo do tempo de ciclo relacionado ao transporte de movimentos variáveis, de acordo com PEURIFOY (1956), ANON (1979) e BISHOP (1972), está relacionado ao desempenho do motor, capacidade de transporte, condições e distancia do trajeto, disponibilidade e qualidade do operador.

Segundo PEURIFOY (1956) A capacidade de produção de um caminhão depende do tamanho de sua carga e o número de viagens que ele pode fazer em uma hora.

A condição para um tempo cíclico de transportes está relacionada com o grau de resistência e a capacidade de inclinação que a unidade transportadora enfrenta em um trajeto. A capacidade de inclinação que pode ser definida como a capacidade que um veículo tem para romper um determinado grau de inclinação, levando em consideração a qualidade do solo e a resistência ao rolamento. A soma desses dois valores é expressa como a resistência total em percentagem do peso do veículo PEURIFOY (1956).

De acordo com RICARDO (1990), equipamentos sofrem resistências aos movimentos de resistências de rolamento, rampa, inércia e resistência do ar. Resistência do ar e a resistência à inércia são menos influenciáveis em transportes de empreendimentos mineiros.

2.5.3 Esforço Trator

O grau de resistência, segundo RICARDO (1990), é definido como a força de tração ou esforço trator necessário para vencer a gravidade de propulsão de um veículo a uma determinada inclinação (resistência de rampa), definido pela equação 2.4.3.1. Isso equivale a 20 lb / ton (10 g / kg) ou 1% do peso da unidade para cada por cento de grau. A inclinação, que oferece uma determinada resistência ao veículo, pode ser calculada pela equação 9.

$$E_r = \frac{N_o \times \eta_m}{V} \quad (8)$$

Onde:

E_r : É o esforço trator na roda motriz

N_o : É a potência no Volante (kW, Hp ou CV)

η_m : Coeficiente de rendimento mecânico da transmissão

V : Velocidade média de deslocamento (km/h)

2.5.4 Resistência de Rampa

A resistência de rampa pode ser calculada pela fórmula:

$$R_p = + 10 \times P \times i \quad (9)$$

Onde:

R_p : Resistência de rampa (Kg)

P : Peso total do equipamento (ton)

i : Inclinação do trajeto (%)

2.5.5 Resistência de Rolamento

A resistência ao rolamento é o valor do esforço de tração ou força de tração necessária para superar o efeito de retardamento entre os pneus e o solo, calculado pela fórmula 10.

$$R_r = K \times P \quad (10)$$

$$K = 0,02 \times 0,006 a$$

Onde:

R_r : É a resistência ao rolamento

K : Coeficiente de rolamento

P : Peso total do equipamento (ton)

a : Afundamento (cm)

A fórmula inclui a resistência causada pela penetração do pneu no solo, pela flexão dos pneus sob a carga, e pelo atrito nos rolamentos das rodas como mostra a figura 6. É, normalmente, expresso como kg por tonelada necessária para puxar o peso do veículo, ou como uma porcentagem do peso do veículo.

FIGURA 6. Resistência de rolamento gerada penetração, flexão e atrição.



FONTE: HARTMAN, 1996.

A tabela 6 relaciona as características do terreno com seus respectivos valores de afundamento e coeficiente de rolamento.

Tabela 6. Coeficientes de afundamento e rolamento pela superfície do terreno

Superfície do Terreno	Afundamento a (cm)	Coef. de rolamento (Kg/t)
Revestimento em asfalto ou concreto	0	20
Terra seca e firme	1,6	30
Terra seca, solta.	3,2 - 6,7	40 – 60
Terra seca, arada.	10	80
Aterros sem compactação	10	80
Areia solta e seca	13,3	100
Terra muito úmida e mole	23,3	160
Terra argilosa muito úmida	26,6	180

Fonte: Ricardo, 1990

2.5.6 Lei da Movimentação de Equipamentos

O movimento de equipamentos que se desloca sobre um plano, em trajetória retilínea, obedece a seguinte lei:

$$E_r - \sum R = m \times \gamma \quad (11)$$

Onde:

E_r : Esforço trator

$\sum R$: Somatória das resistências opostas ao movimento

M: Massa da máquina

Y: Aceleração

Tração discutida por PEURIFOY (1956) é um termo usado para designar a força entre os pneus de rodas de condução e a superfície sobre a qual eles se deslocam. Se o coeficiente de tração é elevado o suficiente para eliminar o deslizamento do pneu, a força de tração máxima é função da potência do motor e das relações de transmissão entre o motor e as rodas motrizes. Se as rodas motrizes deslizam sobre a superfície de transporte, a força de tração máxima eficaz será igual à pressão total entre os pneus e a superfície multiplicado pelo coeficiente de tração. Tração é expresso em quilos (kg). Se a força de tração de um veículo não é conhecida, pode ser determinada a partir da fórmula:

$$\text{rimpull (lb)} = \frac{375 \times \text{hp} \times \text{efficiency}}{\text{speed (mph)}} \quad (9.3.26)$$

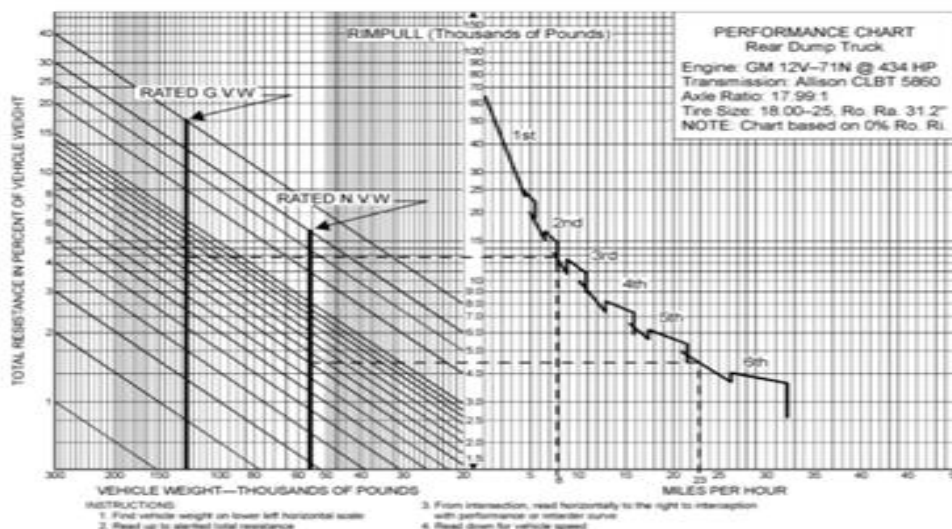
or

$$\text{rimpull (kg)} = \frac{383 \times \text{power (kW)} \times \text{efficiency}}{\text{speed(km/h)}} \quad (9.3.26a)$$

Ao calcular a força que um equipamento pode exercer sobre uma carga de arrasto, é necessário deduzir a tração nas rodas do equipamento, a força de tração necessária para superar a resistência ao rolamento mais qualquer resistência série para o equipamento.

BISHOP (1972), no entanto, afirma que o uso deste sozinho não vai medir o desempenho ou a capacidade de inclinação do veículo. Para conseguir isso, é preciso ter o desempenho do motor, relações de transmissão, os dados de pneus, pesos, etc. Quando se deseja determinar a velocidade de um veículo para um determinado grau de resistência ao rolamento, devem-se consultar tabelas, fornecidas pelos fabricantes, que possuem características de cada modelo de equipamento. A figura 7 mostra um exemplo em uma representação gráfica, de um equipamento, que mostra a velocidade possível de um veículo carregado e a correspondente resistência ao rolamento relacionando um caminhão com capacidade de 35 toneladas com 434 hp de potência.

FIGURA 7. Carta de desempenho típico



FONTE: BISHOP, 1972.

2.6 Eficiência

A eficiência é um parâmetro que mensura o rendimento de uma operação. Segundo RICARDO (1997) o coeficiente de rendimento ou fator de eficiência exprime, em ultima análise, a relação entre o número de horas efetivamente trabalhadas e o número de horas que o equipamento fica à disposição do empreendimento para a execução de uma tarefa, ou seja, o turno de trabalho admitido, podendo ser calculada através da fórmula 12.

$$E = \frac{\text{Nº de horas de trabalho efetivo do equipamento}}{\text{Nº de horas disponíveis do equipamento}} \quad (12)$$

A influência das paradas por motivos mecânicos, condições meteorológicas, habilidade do operador e etc, tornam a eficiência menor que 100%. A tabela 7 mostra valores de E segundo manual da KOMATSU (1990).

TABELA 7. Eficiência de acordo com as condições de trabalho

Condições de trabalho	Condição de eficiência mecânica			
	Excelente	Boa	Média	Má
Excelente	0,84	0,81	0,76	0,70
Boa	0,78	0,75	0,71	0,65
Média	0,69	0,69	0,65	0,60
Má	0,63	0,61	0,57	0,52

FONTE: SALES PROMOTION MANUAL - KOMATSU

2.7 Produtividade

De acordo com Ricardo (1990), a produtividade de uma escavadeira hidráulica pode ser calculada através da fórmula 13.

$$Q_{ef} = C \times f \times \Phi \times \frac{1}{t_{cmín}} \times E \quad (13)$$

Onde:

Q_{ef} : Produção efetiva

C : Capacidade da caçamba, em volume solto

f : Fator de carga

Φ : Fator de empolamento ou conversão de volumes

$t_{cmín}$: Tempo de Ciclo mínimo

E : Coeficiente de rendimento da operação ou fator de eficiência

A produtividade dos equipamentos de transporte, segundo Ricardo (1996), pode também ser calculada através da produtividade efetiva:

$$Q_{ef} = C \times \Phi \times \frac{1}{t_{cmín}} \times E \quad (13.1)$$

Onde:

Q_{ef} : Produção efetiva

C : Capacidade da caçamba, em volume solto

Φ : Fator de empolamento ou conversão de volumes

$t_{cmín}$: Tempo de Ciclo mínimo

E : Coeficiente de rendimento da operação ou fator de eficiência

Outra maneira de calcular a produtividade dos equipamentos, segundo ANON (1979), é através da Produtividade teórica e produtividade média. A produtividade teórica é a relação da unidade de massa (Ton, Kg e etc) por unidade de volume (m^3 , Jd^3) por unidade de tempo, que pode ser expressa em minutos, horas, dias e até meses. Nesse tipo de produtividade não é considerado

tempos de paradas, ou seja, o processo está em 100% de eficiência, fato raro de ocorrer. Quando se contabiliza no processo tempos fixos e variáveis, considera-se que o processo não é 100% eficiente. Segundo ANON, a produtividade média pode ser calculada através da expressão:

$$P = \frac{(U - D) \times 60 \times E \times TR}{U \times C} \quad (14)$$

$$P = \frac{(U - D) \times 60 \times E \times TR}{U \times C \times SF \times M} \quad (15)$$

Onde:

P: Produtividade

U: Unidade de tempo

D: Tempos fixos

E: Eficiência dos equipamentos

TR: Capacidade de Carregamento

C: Tempo de ciclo mínimo

M: Densidade do material

SF: Fator de empolamento

2.7.1 Índices de Produtividade

Índices de produção são indicadores que medem o desempenho das operações dos equipamentos. Através desses indicadores pode-se inferir se as atuais condições de trabalho estão ou não satisfazendo a produtividade e quais problemas poderiam ser ajustados ou corrigidos para melhorar o desempenho dos equipamentos. Os índices de produtividade dos equipamentos devem ser acompanhados diariamente e os dados devem mostrar a melhor maneira de direcionar os equipamentos de produção. Alguns indicadores de desempenho tais como índices de produtividade global e efetiva, índice de eficiência operacional e eficiência efetiva, disponibilidade, utilização efetiva, utilização global e rendimento, índice de confiabilidade e índices de atrasos operacionais são utilizados pelo engenheiro para avaliar os equipamentos (MANUAL SMARTMINE).

2.7.1.1 Disponibilidade Física

Segundo manual do sistema SMARTMINE, mede o desempenho da manutenção representando o percentual do tempo que o equipamento esteve disponível para operar, calculado pela fórmula:

$$IDF = \frac{HH - HM}{HH} \times 100 \quad (16)$$

Onde:

IDF: Índice de disponibilidade física

HH: Horas horizonte

HM: Horas de manutenção

2.7.1.2 Utilização Efetiva

Estima o desempenho parcial da operação. Representa o percentual do tempo que o equipamento esteve operando, em relação ao tempo que a manutenção lhe permitiu operar (MANUAL SMARTMINE).

$$IU = \frac{HT}{HT + HR} \times 100 \quad (17)$$

Onde:

IU: Índice de utilização

HT: Horas trabalhadas

HR: Horas de reserva

2.7.1.3 Eficiência Operacional

Calcula o desempenho parcial da equipe, de operação e manutenção, responsável pelo equipamento. Representa o percentual de tempo que o equipamento operou em relação ao tempo total.

$$IE = \frac{HT}{HH} \times 100 \quad (18)$$

Onde:

IE: Índice de eficiência operacional

HT: Horas trabalhadas

HH: Horas horizonte

2.7.1.4 Utilização

Mede o desempenho parcial da operação. Representa o percentual do tempo que o equipamento esteve operando, em relação ao tempo que a manutenção lhe permitiu operar (MANUAL SMARTMINE).

$$IU = \frac{HT}{HT+HR} \times 100 \quad (19)$$

Onde:

IE: Índice de utilização

HT: Horas trabalhadas

HR: Horas reserva

2.7.1.5 Confiabilidade

Representa o percentual de confiabilidade dado pela manutenção a operação do equipamento, em relação ao seu tempo de operação.

$$IC = \frac{HT}{HT+ HMc} \times 100 \quad (20)$$

Onde:

IC: Índice de confiabilidade

HT: Horas trabalhadas

HMc: Horas de manutenção corretiva

2.7.1.6 Atraso Operacional

Verifica o percentual do tempo que o equipamento deveria estar operando e não o fez por razões exclusivamente operacionais (MANUAL SMARTMINE).

$$IAO = \frac{AO}{HT} \times 100 \quad (21)$$

Onde:

IAO: Índice de atrasos operacionais

AO: Horas de atrasos operacionais

HT: Horas trabalhadas

Esses índices quando trabalhados de forma correta podem fornecer bons parâmetros para identificação de gargalos e propiciando, dessa forma, melhorias nos processos e na produtividade.

3 Materiais e Métodos

3.1 Características Gerais do Empreendimento

A pedreira paraíso, exemplo de aplicação desse estudo, localiza-se na Br 153, Km 496, no município de Pug Mil, localizado a 90 km de Palmas, estado de Tocantins. O empreendimento fornece britas do tipo pó, 0 e 1, extraídas de rochas graníticas e fornecidas aos consumidores da região centro-sul do Tocantins.

A mineradora trabalha de segunda a sexta no período das 07:00 às 18:00hs, totalizando 44 horas semanais. Eventualmente, quando há necessidade de aumento de produção, há horas extras trabalhadas nos quais ocorrem no período noturno e aos sábados.

A empresa possui dois títulos com concessão de lavra sendo as áreas conhecidas como Mina Pedreira Paraíso com reserva medida de 2.126.329,47 toneladas e Mina Oeste com reserva de 2.147.692,00 toneladas. O empreendimento conta com escritório, almoxarifado, área para manutenção e refeitório.

A extração é realizada pelo método de lavra à céu aberto por bancadas em encosta. O empreendimento está em fase de desenvolvimento das bancadas, com dois níveis já desenvolvidos, com altura média dos taludes de 10 a 12 metros. A figura 8 mostra as condições atuais das bancadas.



FIGURA 8. Bancadas em desenvolvimento

O sistema de beneficiamento atual é realizado através de britagens primárias, através de um britador de mandíbulas com capacidade de aproximadamente 100 toneladas por hora, e britagem secundária realizada com britador giratório em circuito fechado. O sistema terá sua capacidade aumentada para aproximadamente 200 t/h nos próximos meses e haverá necessidade de nova reavaliação das condições operacionais do sistema de ciclo produtivo para determinar se a frota e a metodologia de trabalho atenderão as mudanças na planta. A estocagem do material processado é feita no pátio, com pilhas próximas a planta de beneficiamento. A figura 9 mostra o empreendimento.



FIGURA 9. Visão geral do empreendimento

3.2 Geologia e Clima

3.2.1 Geologia Regional

A região centro-norte do Tocantins, onde se localiza a Pedreira Paraíso, é segmentada em 3 tipos crustais distintos: o primeiro tipo é individualizado por um núcleo cratônico de idade Paleoproterozóica; o segundo é marcado por uma extensa faixa de cisalhamentos, dobramentos e imbricações, desenvolvidas durante o Proterozóico durante ciclos orogenéticos progressivos; e um terceiro tipo caracterizado por um segmento intracratônico de idade Fanerozóica, constituindo a borda sudoeste da Sinéclise do Parnaíba.

O núcleo cratônico caracteriza-se por apresentar um típico terreno granito-gnáissico metamorfozido em médio-alto grau. A esse terreno associa-se

uma sequência metavulcano-sedimentar, de fácies xisto-verde. Na região de interesse, o núcleo cratônico é representado pelo Complexo Granito-Gnáissico Campo Maior (Pcm) e pela Sequência Metavulcano-sedimentar Rio do Coco (Prc).

A faixa de dobramentos proterozóicos, designada também como Cinturão Araguaia, ou como Faixa Paraguai-Araguaia, constitui uma significativa porção da crosta continental, que expõe um conjunto de unidades estratigráficas com uma grande variedade de tipos litológicos intercalados, imbricados, com intrusões graníticas associadas em sistemas complexos e policíclicos.

Às sequências de alto-médio grau metamórfico estão associadas a unidades metassedimentares. Essa relação entre as unidades litoestratigráficas é de caráter tectônico, através de cavalgamentos, imbricações e dobramentos. . Na região centro norte, predominam as rochas da Associação Ortognaíssica-Migmatítica Rio dos Mangues (Prm) e as rochas do Supergrupo Baixo Araguaia.

O arcabouço tectônico da região de Pugmil está inserido entre o Complexo Rio dos Mangues, orientado na direção centro-norte, e a Faixa Araguaia; que se apresenta como uma faixa alongada na direção norte-sul. As rochas do Núcleo Cratônico também predominam na região centro-sul do Tocantins, enquanto a Bacia do Parnaíba tem pouca representação litoestratigráfica.

A Associação Ortognaíssica-Migmatítica Rio dos Mangues (Prm) é definida como uma associação de ortognaisses tonalíticos e granodioríticos, parcialmente migmatizados, proto a ultramilonitizados e intercalações tectônicas de rochas anfibolíticas e granulíticas (FRASCA *et al.*, 2001).

O Grupo Baixo Araguaia é sub-dividido em quatro partes: A Formação Morro do Campo, Formação Xambioá, Formação Pequizeiro e Formação Couto Magalhães. Essas unidades foram intensamente deformadas sob regime dúctil e compressivo, causando imbricações das unidades basais, a leste, e sobre as do topo, a oeste.

3.2.2 Geologia Local

A geologia local da Pedreira Paraíso é representada pelas seguintes formações: Sequência metavulcano-sedimentar Rio do Coco (Pcr), Associação Ortognaíssica-Migmatítica Rio dos Mangues (Prm), Complexo Granito-Gnaíssico Campo Maior (Pmc), Metagrano Serrote (Ps) e Coberturas detrito-lateríticas (TQdl).

3.2.2.1 Sequência metavulcano-sedimentar Rio do Coco

É um conjunto litológico extremamente deformado e metamorfozido em alto grau de idade Arqueana. É de natureza composicional diversificada e está segmentada em uma associação ortogranulítica e uma associação de rochas supracrustais. Aparecem como corpos de forma alongada e estreita de direção NE, alojados concordantemente no Complexo Granulítico Rio dos Mangues.

As rochas ortogranulíticas são representadas por rochas máficas e félsicas. Sendo freqüentes os piroxenitos, os milonitos e os gabronoritos. São corpos irregulares concordantes. As rochas supracrustais estão representadas por xistos miloníticos, metassedimentos pelíticos, migmatitos, gnaisses e gonditos. Estão submetidos a intensos cisalhamentos e aparecem em discordância angular e litológica com os sedimentos da Bacia do Parnaíba.

3.2.2.2 Associação Ortognaíssica-Migmatítica Rio dos Mangues (Prm)

A Associação Ortognaíssica-Migmatítica Rio dos Mangues (Prm) é definida como uma associação de ortognaisses tonalíticos e granodioríticos, parcialmente migmatizados, proto a ultramilonitizados e intercalações tectônicas de rochas anfibolíticas e granulíticas (FRASCA *et al.*, 2001). Os tipos gnáissicos ocorrentes apresentam variação composicional entre termos tonalíticos e granodioríticos. São de coloração cinza e de tonalidades clara a escura. Possuem granulação média a grossa. A feição estrutural dominante é o forte bandamento composicional composto pelas alternâncias de níveis quartzo-feldspáticos e hornblenda-biotíticos. .

3.2.2.3 Complexo Granito-Gnaíssico Campo Maior (Pmc)

O Complexo Granito-Gnaíssico Campo Maior compreende um terreno metamórfico de médio a alto grau, que se estende do povoado de Campo Maior até as nascentes do Rio Urubu. São rochas ígneas de natureza tonalítica-granítica associadas a rochas calcissilicáticas e seus termos gnaíssicos metamorfizados a fácies anfibolito médio a alto. Estão parcialmente milonitizados e intercalados por corpos de anfibolitos e diques de composição básica e ultrabásica de ocorrência limitada. Na região da serra do Serrote predominam os gnaisses graníticos, de maneira indistinta e condicionada à estruturação local. São rochas leucocráticas de coloração rosa, inequigranulares médio a grosso, possuem estrutura planar bem desenvolvidas, constituída por bandamento composicional contínuo, centimétrico a decimétrico, com foliação penetrativa desenvolvida pela orientação de quartzo e microclínio estirados e biotita.

3.2.2.4 Metagranito Serrote (Ps)

O Metagranito Serrote é caracterizado como um stock e dois corpos batolíticos, intrusivos sub-concordantemente no Complexo granito-gnaíssico Campo Maior, sugerindo uma possível correlação genética e cronológica com a Suíte metagranítica Matança. Tanto o Complexo Campo Maior quanto o Metagranito Serrote são compostos por rochas graníticas, granitos-gnaíssicos e milonitos. Os litotipos predominantes são sienogranitos e monzogranitos leucocráticos de coloração rosa a cinza. Apresentam grande variação textural em função dos eventos deformacionais. Estruturas gnaíssicas ocorrem com frequência e estão definidas por porfiroblastos de microclínio estirados paralelamente em uma matriz milonítica ou granoblástica, composta por quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino, biotita e anfibólio. Estudos geocronológicos (Souza & Moura, 1995) pelo método Pb-Pb indicaram uma idade mínima de cristalização de 1.851+/-41 m.a.

Próximo ao contato entre a Sequência Rio do Coco e o Metagranito Serrote, as rochas mostram indícios de efeitos térmicos com acentuado crescimento da quantidade e dimensões dos profiroblastos de granada nos metassedimentos, acompanhado por metassomatismo nos xistos magnesianos, indicando um caráter intrusivo para esses granito-gnaisses. O núcleo do corpo

granito-gnáissico é ocupado por um biotita-gnaissé rosado de granulação média, homogêneo, constituído por feldspato alcalino (microclina e ortoclásio), plagioclásio (geralmente oligoclásio), quartzo e biotita.

3.2.2.5 Coberturas detrito-lateríticas (TQdl)

São representados por depósitos de alteração *in situ* e depósitos transportados, formados por crostas lateríticas que afloram sobre diversas unidades geológicas em toda a região. As espessuras são variadas e geralmente acompanham os desníveis topográficos, em média têm de 8 a 10 metros de espessura chegando ao máximo de 40 metros.

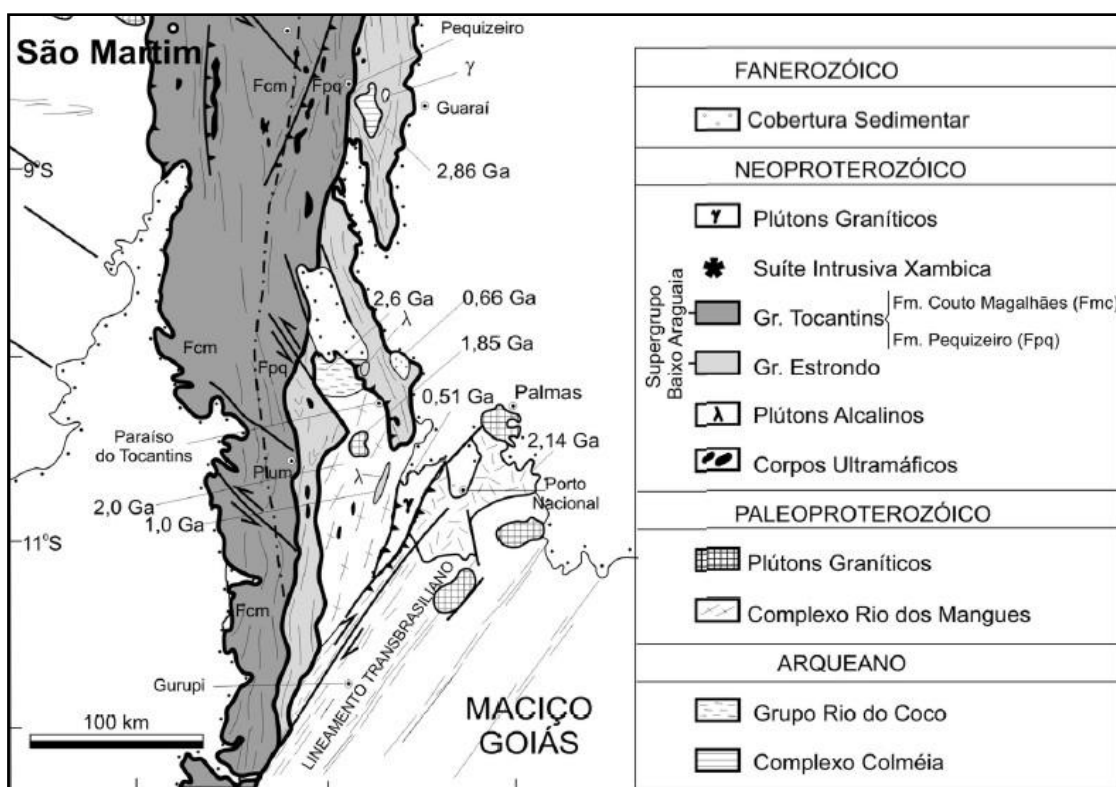
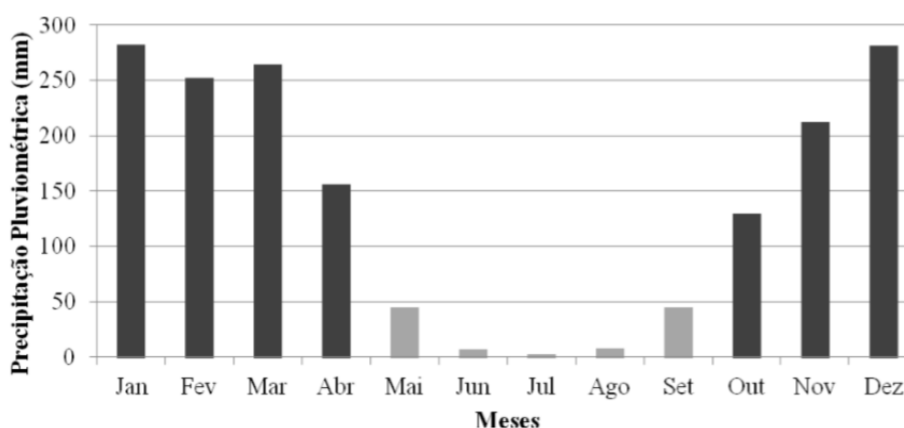


FIGURA 10 – Mapa geológico regional da porção central do Estado do Tocantins (VILLAS *et al.*, 2007).

3.2.3 Clima

O clima da região, onde se localiza a mineração, é definido como clima tropical chuvoso e no tipo SW definido como verão úmido e inverno seco. A estação seca vai de março a setembro e a estação chuvosa que vai de outubro a abril. A temperatura varia da máxima de 39°C e a mínima é de 16°C no início da estação seca. A precipitação máxima anual atinge 275 mm nos meses de dezembro e janeiro e as menores entre os meses de maio e setembro. Portanto, as atividades mais intensas da pedreira ocorrem nesse período.

Gráfico 1. Histograma de precipitação pluviométrica do Tocantins



Fonte: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto

3.3 Consumo de Mercado e Metas de Produção

Os recursos em agregados para a indústria da construção civil são abundantes no Brasil. Em geral, os centros consumidores encontram-se em regiões geologicamente favoráveis à existência de reservas de boa qualidade. Algumas regiões, entretanto, têm recursos insuficientes em rochas adequadas para britagem. Entre elas, podemos citar as cidades situadas na Bacia do Paraná, onde a pedra britada tem de ser transportada por distâncias superiores a 100 km.

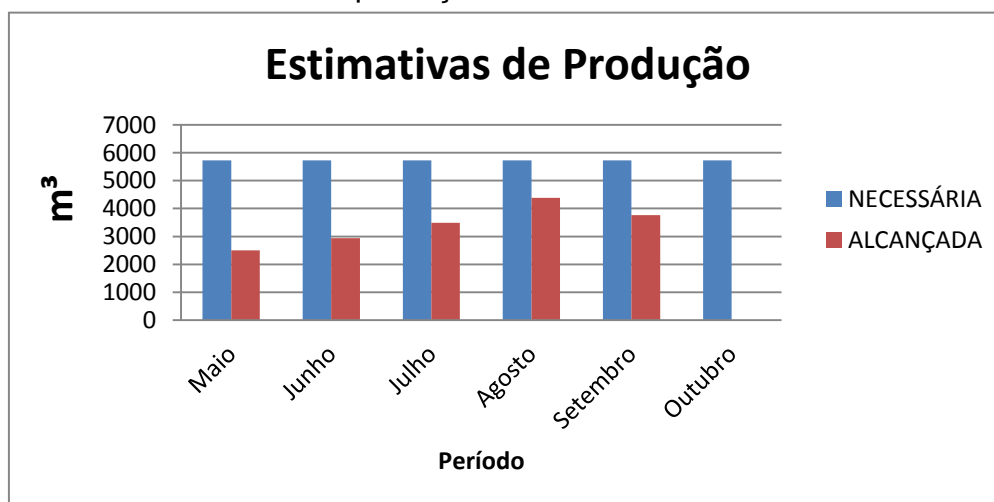
Pedra britada caracteriza-se pelo baixo valor e grandes volumes produzidos. O transporte responde por cerca de 2/3 do preço final do produto, o que impõe a necessidade de produzi-las o mais próximo possível do mercado, que são os aglomerados urbanos. O maior problema para o aproveitamento das reservas existentes é a urbanização crescente que esteriliza importantes depósitos ou restringe a extração. A ocupação do entorno de pedreiras por

habitações e restrições ambientais à utilização de várzeas e leitos de rios para extração de areia criam sérios problemas para as lavras em operação. Em consequência, novas áreas de extração estão cada vez mais distantes dos pontos de consumo, encarecendo o preço final dos produtos.

Uma das necessidades do empreendimento é verificar a produção necessária para o consumo interno da região e consumo de obras do governo federal, pois se deve considerar, no dimensionamento dos equipamentos adequados para a produção, flexibilidade nas operações de produção ocasionada por períodos de chuva e fatores econômicos.

Estima-se que o consumo mensal de pedra britada para atender o mercado interno e externo seja de 5720m³, no entanto, a produção deve ser maximizada, ou minimizada, de acordo com os períodos de maior e menor consumo consequentemente de acordo com o gráfico 2.

Gráfico 2. Estimativa de produção entre os meses de maio e outubro



O gráfico 2 mostra uma estimativa de consumo de brita para atender o mercado nos períodos de maior demanda de acordo com o atual sistema.

3.4 Decapeamento

A fase de desenvolvimento da jazida ocorre inicialmente pelo decapeamento. O capeamento da mina é caracterizado por pequena cobertura de solo orgânico, mata rasteira e com pequenas árvores, característica típica do cerrado. A limpeza ocorre, portanto, sem maiores problemas.

3.5 Sistemas de Perfuração e Desmonte

A perfuração de rochas com objetivo de desmontá-las para os posteriores estágios das operações unitárias é realizado através de uma perfuratriz acionada por sistema pneumático, que é utilizada para todo o sistema de perfuração.

Levando em consideração a densidade da rocha de 2,70 g/cm³, o sistema de perfuração consegue desempenhar uma produtividade com velocidade de perfuração de aproximadamente 0,8 m/min, trabalhando em condições boas.

Para um ciclo eficiente, a perfuração deve trabalhar em conjunto com o desmonte. Na mineradora a execução do desmonte do material a ser beneficiado é realizada por uma empresa terceirizada no qual utiliza emulsão, do tipo bombeado, para o desmonte. A Malha de perfuração utilizada pode variar em função das características da rocha na frente de lavra, embora predomine a malha de 3 x 1,5m. Os furos são desenvolvidos com inclinação variando entre 12 e 15 graus e subfuração em torno de 50 cm.

3.6 Carregamento e Transporte

A produtividade de um sistema eficiente de carregamento e transporte está relacionada com a eficiência dos sistemas de perfuração e desmonte. Um desmonte bem executado tende a aperfeiçoar os processos de carregamento e transporte, uma vez que não haverá, ou será reduzida, a necessidade de desmontes secundários liberando a praça de trabalho e melhorando, conseqüentemente, a produtividade mensal. Na pedreira Paraíso o sistema de carregamento é feito através de um equipamento escavo transportador, com suas respectivas características listadas na tabela 8.

Tabela 8. Características do equipamento de carregamento

Modelo	Potência (KW)	Capacidade (m ³)	Fator de Enchimento	Lance (m)	Braço (m)
CAT 320D	111	1,5	1,1	5,7	2,5-2,9

Fonte: Caterpillar

Algumas operações, que contribuem para uma boa produtividade no ciclo de carregamento e transporte, estão relacionadas com as características das pilhas que são geradas, as condições da praça e as especificações do equipamento de carregamento. As especificações da escavadeira hidráulica Cat 320D estão listadas na tabela 9.

Tabela 9. Especificações da escavadeira Cat 320D

Descrição	Alcances (m)
Profundidade máxima de escavação	6,72- 6,30
Alcance máximo no nível do solo	10,02 - 9,63
Altura máxima de corte	9,49 - 9,29
Altura máxima de carregamento	6,49 - 6,29
Esc. máxima (parede vertical)	6,06 - 5,65

Fonte: Caterpillar

A praça de trabalho atual do empreendimento, no qual possui uma área equivalente a 250 m², é um pouco irregular, porém com solo firme e o carregamento é realizado com escavadeira hidráulica Cat 320D com tempo de ciclo mínimo de carregamento de 0,22 min. O tempo de ciclo da escavadeira, responsável pela operação de carregamento, foi levantado em situ, por meio da cronometragem do tempo em que a operação de carregamento leva pra encher o caminhão de acordo a capacidade necessária. A disponibilidade mecânica do equipamento de carregamento é de 50 horas por semana.

A tabela 10 descreve o tempo de cada tarefa e o tempo mínimo que a carregadeira hidráulica Cat 320D leva para realizar o trabalho.

Tabela 10. Tempo de ciclo do carregamento

Tarefa	Tempo (seg)
Carga	9,0
Giro Carregado	6,0
Descarga	3,0
Giro Vazio	4,0
Tempo de ciclo mínimo	22,0

O transporte do minério, dentro do ciclo de operações de lavra, é feito através de unidades discretas, utilizando caminhões para tal fim. As unidades de transporte foram dimensionadas, inicialmente, pelo próprio minerador, sem um conhecimento técnico adequado, no entanto, algumas alterações como mudança de frota, foram realizadas após auxílio técnico para reduzir custos, tais como paradas por problemas mecânicos. O aumento da produção também foi outro objetivo a ser alcançado, visto que uma frota nova tende a reduzir o tempo de ciclo efetivo.

A tabela 11 mostra as unidades de transporte disponíveis, bem como suas respectivas características.

Tabela 11. Características operacionais das unidades de transporte

Equip.	Qtd.	Rendimento de Transmissão	Pot. (HP)	Capacidade (m ³)	Capacidade Coroada (m ³)	Peso Vazio (ton)	Velocidade Máxima (km/h)
VW 24250	2	0,85	250	12	14	12	60

O transporte do minério da frente de lavra até o beneficiamento ocorre num trajeto com condições regular e sobre terreno com superfície firme. A distância média de transporte da frente de lavra, do primeiro nível, até o beneficiamento é de aproximadamente 300m, e do segundo nível de aproximadamente 400m.

A capacidade máxima da atual britagem primária, no qual é de aproximadamente 40m³/h, não admite a utilização de uma unidade de transporte com sua capacidade coroada e tampouco duas unidades de transporte devido sua capacidade baixa de recepção. Portanto, nessas condições ocorreriam problemas de fila. Diante disso, um caminhão, que transporta o minério para a britagem primária, utiliza 68% de sua capacidade total, cerca de 8,0 m³. Um novo sistema de britagem, com capacidade de aproximadamente 80m³/h, será implantado.

A figura 11 mostra o caminho necessário para a unidade de transporte realizar um ciclo.

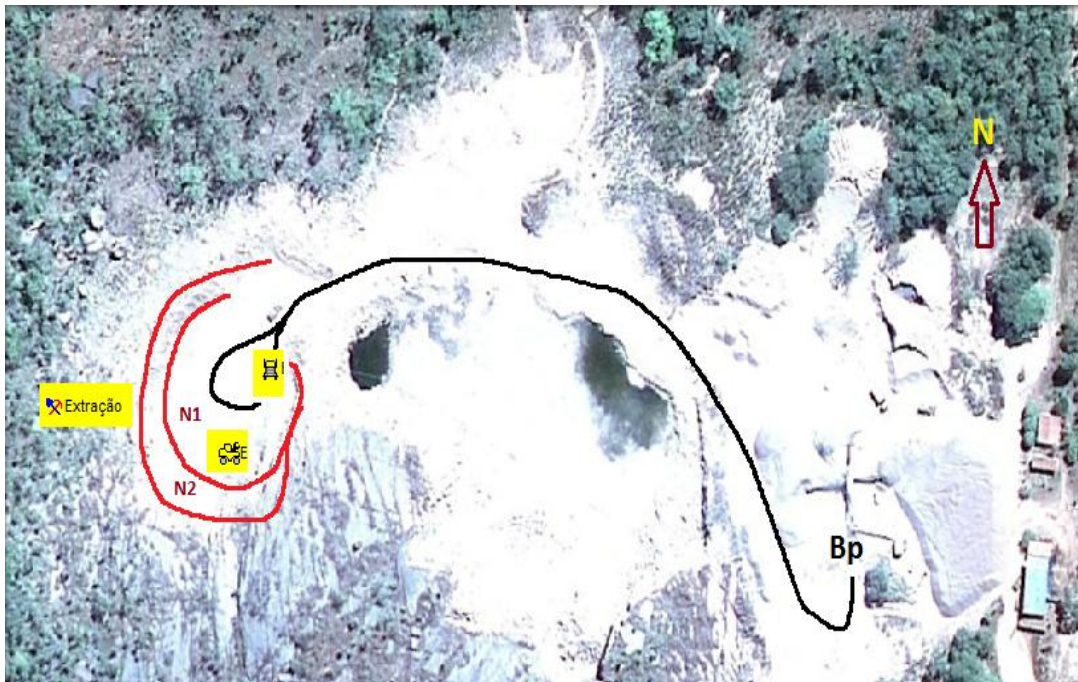


FIGURA 11. Trajeto do ciclo da unidade de transporte

O tempo de ciclo do transporte foi levantado “*in situ*”, através de tempos cronometrados para cada caminhão. A tabela 12 mostra o tempo de ciclo da unidade de transporte.

Tabela 12. Tempo cíclico do transporte

Tarefa	Tempo (min.)
Carga da unidade	1,28
Transporte carregado	1,12
Manobra e descarga	11,08
Transporte vazio	1,06
Posicionamento	0,26
Tempo de ciclo mínimo	15,25

O caminhão espera aproximadamente 9,45 min para descarregar o material na britagem primária, isso demonstra que atualmente a capacidade do britador primário torna-se um gargalo no processo.

A eficiência operacional do transporte, relacionada entre os períodos de junho a setembro, pode ser observada através dos gráficos 3, 4, 5 e 6. A eficiência foi medida através de anotações das quantidades de viagens ocorridas no dia, levando em consideração o tempo de ciclo mínimo e a disponibilidade total de horas para o trabalho efetivo dos equipamentos. As horas improdutivas mostrada nos gráficos podem ser ocasionadas por questões climáticas, mecânicas ou falta de habilidade da mão de obra.

Gráfico 3. Eficiência operacional do transporte no mês de junho

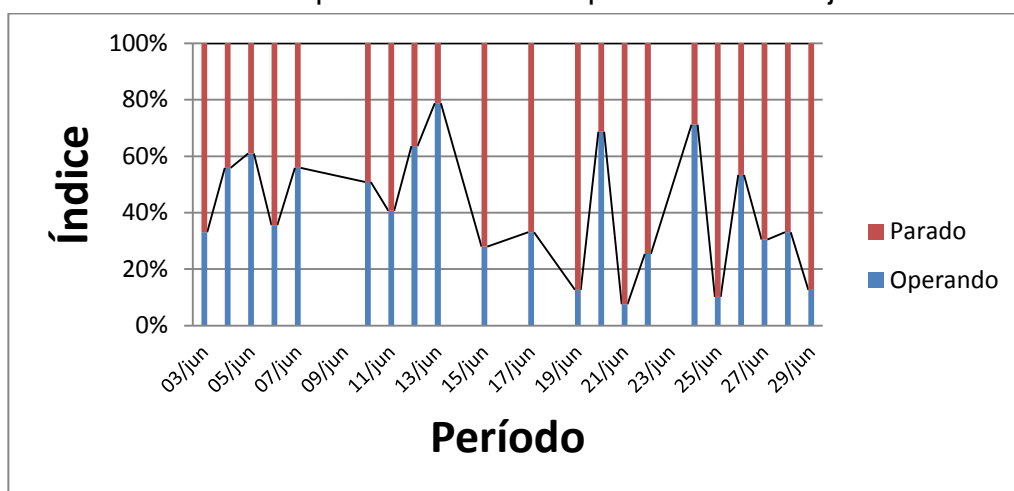


Gráfico 4. Eficiência operacional do transporte no mês de julho

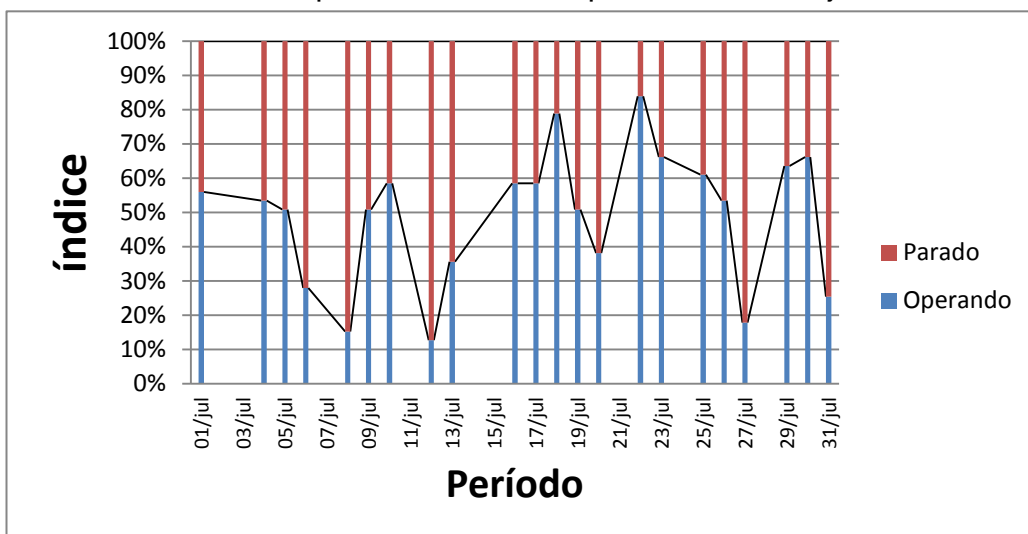


Gráfico 5. Eficiência operacional do transporte no mês de agosto

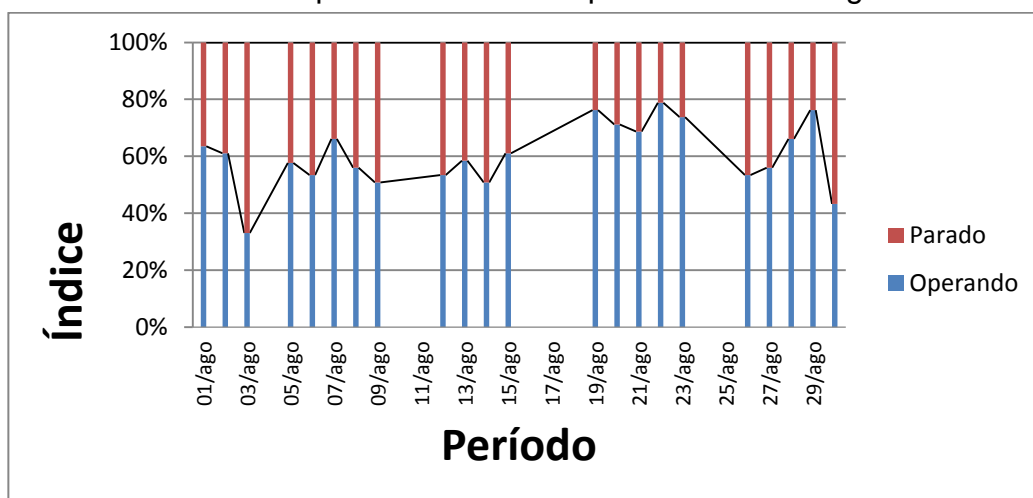
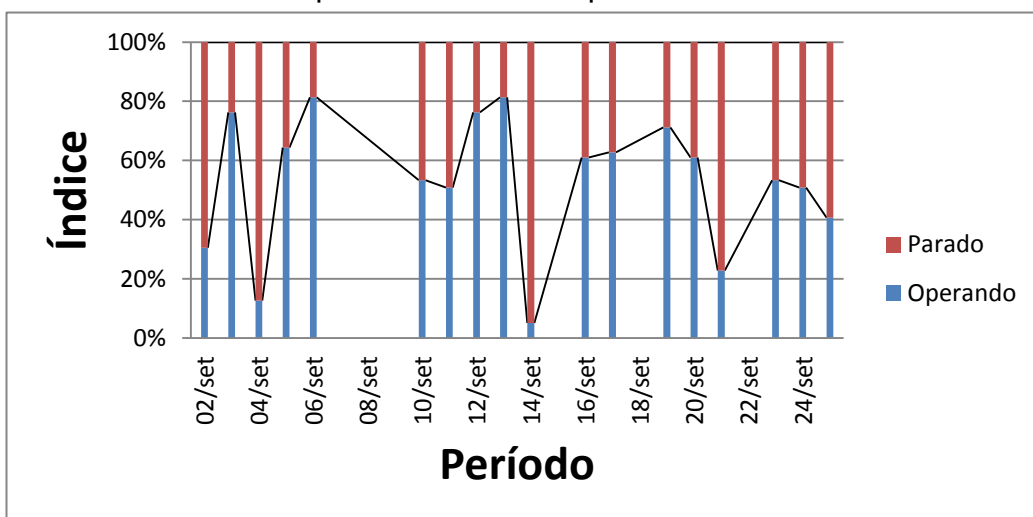


Gráfico 6. Eficiência operacional do transporte no mês de setembro



A Eficiência média do equipamento de transporte, nos meses analisados, para o cálculo da produtividade é demonstrado pela tabela 3.6.6.

Tabela 13. Eficiência média do transporte

Mês	Eficiência média
Junho	42,0
Julho	50,0
Agosto	62,0
Setembro	63,0

De acordo com a fórmula 13 a produtividade máxima da escavadeira hidráulica é de aproximadamente 216 m³/h no corte, considerando uma eficiência de 100%. Portanto, diante da situação apresentada, o equipamento de carregamento trabalha com folga e, na maioria das vezes, ocioso, visto que o tempo de ciclo do transporte é de 15,25 minutos. O atual britador primário, portanto, dita o regime da produtividade.

A produção, no corte, do equipamento de transporte, calculado pela fórmula 13 é de aproximadamente 18,68m³/h ou 37,36m³/h considerando o material empolado. Para os cálculos foram consideradas uma eficiência de 60%, fator de empolamento para rocha granítica detonada de 50% (GERALDI, 2011).

A capacidade do equipamento que apesar de ser de 12m³ é utilizado apenas 8m³ devido a capacidade do britador.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O atual sistema de britagem, apesar de operar com sua capacidade máxima, não atende a necessidade da mineradora e a troca, bem como os testes operacionais para o novo sistema, deverá ocorrer entre os períodos de dezembro e fevereiro. A mineradora espera atingir produções máximas de 800 m³/ dia de produtos britados, entre os meses de maio e outubro, período de menores precipitações pluviométricas. Com isso, pretende estocar material para atender o mercado em outros períodos, visto que há pouca produtividade nos meses de chuva.

Considerando-se uma produção diária de 800m³/dia em jornada regular de 220 horas/mês e um fator de empolamento de 50% para rocha detonada (GERALDI,2011), necessita-se perfurar aproximadamente 11733 m³ mensais de rocha *in situ* nas frentes de lavra da pedreira.

O novo sistema de britagem dependerá, principalmente, da eficiência operacional do sistema de transporte para uma boa produtividade. Considerando que o transporte trabalhará com sua capacidade máxima, e não havendo espera para a descarga, estima-se uma redução no tempo de ciclo de aproximadamente 8,14 minutos. A tabela 14 mostra uma estimativa aproximada do provável novo tempo de ciclo da unidade de transporte após as novas instalações.

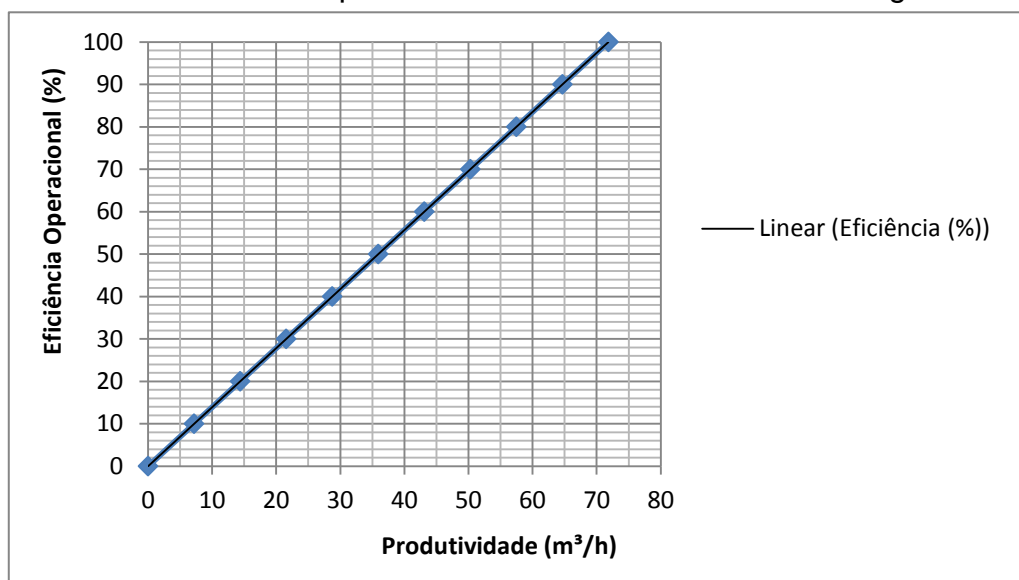
Tabela 14. Novo tempo de ciclo

Tarefa	Tempo (min.)
Carga da unidade	2,56
Transporte carregado	1,40
Manobra e descarga	1,23
Transporte vazio	1,06
Posicionamento	0,26
Tempo de ciclo mínimo	7,31

A correção no tempo de carregamento da unidade de transporte foi realizada através do tempo em que o equipamento de carregamento leva para conseguir encher a unidade de transporte. Considerando que o transporte totalmente carregado leva mais tempo que parcialmente carregado, os acréscimos no tempo de ida foram feitas de acordo com a velocidade desempenhada no trajeto carregado.

Conforme a fórmula da produtividade efetiva, fórmula 13, pode-se estimar a produtividade do novo sistema de transporte, no entanto a falta de dados da eficiência operacional nos leva a propor uma estimativa de produtividade em função da variação da eficiência operacional do transporte através do gráfico linear 7.

Gráfico 7. Estimativa da produtividade do novo sistema de britagem.



O gráfico mostra que com uma unidade de transporte a produção máxima diária alcançada será de aproximadamente 71,84m³/h de material empolado, ou 47,89m³/h no corte, caso o transporte seja 100% eficiente, fato pouco provável para unidades discretas. Caso a eficiência do transporte continue em 60%, estima-se que a produtividade, de acordo com o gráfico, seja de 43,10m³/h, portanto seriam necessárias duas unidades para atender a produção esperada.

A utilização de um caminhão com eficiência de 85%, situação normal em muitos empreendimentos mineiros, gera a necessidade diária, de aproximadamente, 6 horas de trabalhos extras.

Outra situação para a solução ideal seria reduzir, mais ainda, o tempo de ciclo do transporte através de melhorias nas condições do trajeto como curvas e

regularização, aumentando, conseqüentemente, a velocidade de transporte. Para cada redução de 30 segundos no tempo de ciclo aumenta-se em torno de 4,36m³ de produção na britagem.

Várias simulações podem ser feitas a partir do gráfico 7, no entanto, o dimensionamento ótimo será obtido após estudos mais aprofundados com amostragens reais, principalmente na eficiência do transporte e nos atrasos operacionais. Devemos considerar que este trabalho foi realizado para a primeira praça de trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A instalação do novo equipamento de britagem proporcionará, além de um aumento da produtividade, condições para o minerador atender a demanda e estocar materiais para épocas de pouca produção.

A importância de dimensionar adequadamente o sistema de carregamento e transporte pode refletir em uma melhora na produção desejada e no planejamento das operações que antecedem o sistema de carregamento e transporte tais como a perfuração e o desmonte.

Trabalhos futuros poderão ser feitos no sentido de simular o desempenho operacional do sistema de transporte no segundo nível e/ou um estudo de pesquisa operacional objetivando evitar filas ou trabalhos ociosos dos equipamentos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMONE, C.T., 1979, “**Blasting Costs for Surface Coal Mining,**” **Mineral Resource Engineering and Management Program**, Report MREM R102, Northwestern University, Evanston, IL.

ANON., 1976, **Surface Mining Supervisory Training Program**, Bucyrus- Erie Co., South Milwaukee, WI, pp. 2–42 to 2–54.

ANON., 1990, **Caterpillar Performance Handbook**, 19th ed., Caterpillar Inc., Peoria, IL, pp. 215–303.

BISHOP, T.S., 1972, “**Trucks,**” **Surface Mining**, Chap. 9.2, E.P. Pfeider, ed., AIME, New York, pp. 553–588.

BISE, C.J., 1986, **Mining Engineering Analysis**, SME-AIME, New York, pp. 100–111.

CARMO, FREDERICO AUGUSTO ROSA. **Otimização econômica de explorações a céu aberto**. Revista Escola de Minas. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto 2011.

GERALDI, JOSÉ LÚCIO PINHEIRO. **O ABC das Escavações de Rocha**, Rio de Janeiro-Brasil: Interciência (2011). 284p.

HARTMAN, HOWARD L. **SME-Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc.** 2nd printing: December 1996. 2268p.

LUZ, ADÃO BENVINDO *et. AL.* **Tratamento de Minérios – 5º edição**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

PEURIFOY, R. L., 1956, **Construction Planning, Equipment, and Methods**, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 696 pp.

RICARDO, HÉLIO DE SOUZA *et.al.* **Manual Prático de Escavação: terraplanagem e escavação de rocha**. 3 Ed. Revisada e ampliada. São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, VALDIR COSTA. **Apostila de operações Mineiras**. Ouro preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2009.

SWEIGARD, R.J., and Ramani, R.V., 1986, “**The Site Planning Process: Application to Surface-Minable Land,**” **Mining Engineering**, Vol. 38, No. 6, June, pp. 427–432.

