



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA
ASSESSORIA DE EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA
ESPECIALIZAÇÃO *LATO SENSU* EM GEOLOGIA DE MINAS E
TÉCNICAS DE LAVRA A CÉU ABERTO**

RHAYMÁ DO CARMO SILVA

**APLICAÇÃO DA PADRONIZAÇÃO DA CARGA MÉDIA DE
TRANSPORTE DE MINÉRIO COMO INICIATIVA DE
INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE E REDUÇÃO DE
CUSTOS**

**BELÉM-PA
NOVEMBRO/2016**

RHAYMÁ DO CARMO SILVA

**APLICAÇÃO DA PADRONIZAÇÃO DA CARGA MÉDIA DE TRANSPORTE DE
MINÉRIO COMO INICIATIVA DE INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE E
REDUÇÃO DE CUSTOS**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Latu Sensu* da Faculdade de Geologia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Especialista em Geologia de Minas e Técnicas de Lavra a Céu Aberto.

Orientador: Prof^o. Dr. Evaldo Raimundo Pinto da Silva

BELÉM -PA
NOVEMBRO/ 2016

RHAYMÁ DO CARMO SILVA

**APLICAÇÃO DA PADRONIZAÇÃO DA CARGA MÉDIA DE TRANSPORTE DE
MINÉRIO COMO INICIATIVA DE INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE E
REDUÇÃO DE CUSTOS**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação Lato Sensu do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Especialista em Geologia de Minas e Técnicas de Lavra a Céu Aberto.

Data da defesa: 21/11/2016

Conceito: Excelente

Banca Examinadora:

Prof^o. Evaldo Raimundo Pinto da Silva - Orientador
Doutorado em Geologia Econômica
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Rosemery da Silva Nascimento - Membro
Doutorado em Geociências
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Larissa Silva e Silva - Membro
Mestrado em Geologia e Geoquímica

*Dedico este trabalho à minha
família, a base de tudo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me conceder forças e discernimento para sempre investir no meu conhecimento.

Agradeço à minha querida mãe que sempre busca me apoiar em minhas decisões e que muito se alegra com minhas conquistas.

Agradeço à minha namorada pela paciência e companheirismo nas horas de “aperreio”.

Agradeço a meus irmãos pela parceria e apoio de sempre.

Agradeço à Alcoa pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

Agradeço à Gerência de Produção que sempre incentiva a aplicação de melhorias operacionais em busca da melhor produtividade e menor custo.

RESUMO

A Mina de Bauxita de Juruti, localizada na cidade de Juruti no oeste do Pará, é uma mina jovem, a qual está em operação pela mineradora Alcoa S.A. desde setembro de 2009, com uma produção atual de 6 milhões de toneladas de minério por ano. A lavra do minério é realizada a partir do método de lavra em tiras, iniciando-se pela retirada da vegetação (supressão vegetal), partindo para o decapeamento (retirada do material sobrejacente) da camada de estéril para a exposição do minério, e, por fim, a lavra do minério, para então dar início a recuperação das áreas que foram mineradas. Dentre as operações que envolvem o dia a dia de produção em uma mineração, as etapas de carregamento e transporte são vistas como duas das mais importantes no processo produtivo de lavra. Variáveis como volume de produção e condições operacionais impactam diretamente na seleção de equipamentos e dimensionamento de frotas, buscando sempre os menores custos de operação e maior produtividade. Diariamente as mineradoras são desafiadas a buscar o aumento da produtividade e a redução de custos operacionais, desafios que exigem um bom planejamento e um bom gerenciamento em todas as etapas produtivas, principalmente na lavra, onde, geralmente, estão inseridos os maiores custos operacionais de um empreendimento. O presente trabalho tem o objetivo de expor os ganhos operacionais relacionados ao incremento de produtividade e redução de custos na atividade de transporte de minério a partir de melhorias implantadas na padronização da carga média de transporte de material proveniente da lavra de bauxita. A aplicação da padronização da carga de transporte de minério apresentou bons resultados entre os anos de 2014 e 2015. Os resultados obtidos com a aplicação desta melhoria operacional representaram uma melhoria de 2,47% no valor da carga média transportada no ano de 2015 quando comparado ao ano de 2014, além de uma redução perceptível na variabilidade e desvio padrão e variância dos dados levantados e analisados.

Palavras – chave: Bauxita – Juruti (PA). Transporte. Carga. Juruti (PA).

ABSTRACT

The Mina de Bauxita de Juruti is located in Juruti, in the west of Pará, it is a young mine, which is in operation by Alcoa SA mining company since September 2009, with a current production of 6 million tons of ore per year. The mining of ore is carried from the mining method in strips, starting with the removal of vegetation (vegetation removal), starting for the stripping (removal of overlying material), the overburden layer for exposing the ore, so that, finally, there is the ore mining, to then start the recovery of areas that have been mined. Among the operations that involve the daily production in a mining, the steps of loading and transport are seen as two of the most important productive mining process. Variables such as production volume and operating conditions directly impact the selection of equipment and fleet sizing, always seeking the lower operating costs and increased productivity. Daily miners are challenged to seek increased productivity and reduced operating costs, challenges that require good planning and good management in all production stages, mainly in mining, where, generally, the higher operating costs of a are inserted venture. This study aims to expose the operating gains related to productivity improvements and cost reductions in ore transport activity from improvements implemented in the standardization of the average load from the bauxite mining equipment transport. The application of standardized ore shipping charge showed good results in the years 2014 and 2015. The results from the implementation of operational improvement represented an improvement of 2.47% in the average load value carried in 2015 compared the year 2014, in addition to a noticeable reduction in variability and standard deviation and variance of the data collected and analyzed.

Keywords: Bauxite – Juruti (PA). Transport. Cargo. Juruti (PA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Localização geográfica da cidade de Juruti.	15
Figura 3.2 – Perfil litológico. 1. <i>Top Soil</i> , 2. Argila Amarela, 3. Bauxita Nodular, 4. Laterita, 5. Bauxita Maciça, 6. Argila Variegada	18
Figura 4.1- Gráfico da capacidade de transporte dos caminhões.	26
Figura 4.2 – Diagrama de resumo da estatística.	29
Figura 5.1 – Trator de esteira CAT D11 T CD 860hp.	31
Figura 5.2 – Escavadeira hidráulica CAT 349D.....	32
Figura 5.3 – Tratores realizando a atividade de decapeamento da camada de argila.	32
Figura 5.4 – Motoniveladora CAT 140M.	33
Figura 5.5 – Trator executando a escarificação da bauxita.	34
Figura 5.6 – Carregamento de minério em caminhões basculantes.....	34
Figura 5.7 - Fluxograma esquemático da lavra.	35
Figura 6.1 - Rotina operacional de pesagem de caminhões.	38
Figura 7.1 – Média mensal das cargas de transporte.	40
Figura 7.2 – Desvio padrão das cargas de transporte do ano de 2014.	40
Figura 7.3 – Variância das cargas de transporte do ano de 2014.	41
Figura 7.4 – Histograma das cargas de transporte de 2014.....	42
Figura 7.5 – Média mensal das cargas de transporte do ano de 2015.....	43
Figura 7.6 – Diferença entre a média mensal de cargas de 2014 e 2015.	44
Figura 7.7 – Desvio padrão mensal das pesagens da carga de transporte de 2015.....	44
Figura 7.8 – Variância mensal das pesagens da carga de transporte de 2015.	45
Figura 7.9 – Histograma das cargas de transporte de 2015.....	46
Figura 7.10 – Evolução do patamar da média de pesagens de 2014 a 2015.	47
Figura 7.11 – Box Plot 2014 x 2015.....	48

LISTAS DE TABELAS

Tabela 7.1 – Total de pesagens realizadas mensalmente no ano de 2014.....	39
Tabela 7.2 – Frequência de distribuição dos dados de pesagens do ano de 2014.	41
Tabela 7.3 - Total de pesagens realizadas mensalmente no ano de 2015.	43
Tabela 7.4 - Frequência de distribuição dos dados de pesagens do ano de 2015.	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO	14
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	15
3.1 Mina de Bauxita De Juruti - Pará	15
3.1.1 Localização	15
3.1.2 Histórico	16
3.1.3 A Empresa	16
3.1.4 Aspectos Geológicos	17
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
4.1 Projetos de mineração	19
4.1.1 Seleção de equipamentos de carregamento e transporte	21
4.1.2 Produtividade de equipamentos de carregamento e transporte.....	23
4.1.3 Operações de carregamento e transporte a céu aberto	23
4.1.3.1 Equipamentos de carregamento de lavra a céu aberto	24
4.1.3.2 Lavra Com Transporte A Partir De Caminhões.....	24
4.1.4 Método de lavra em tiras (<i>Strip Mining</i>)	26
4.2 Estatística	28
5 MÉTODO DE LAVRA E OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE LAVRA	30
5.1 Supressão vegetal e limpeza	30
5.2 Decapeamento	30
5.3 Escarificação, carregamento e transporte	33
6 ESTUDO DE PADRONIZAÇÃO DA CARGA DE TRANSPORTE DE MINÉRIO PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE E REDUÇÃO DE CUSTOS	36
6.1 Padronização da carga de transporte	36
6.2 Instrução as equipes de produção	37
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
7.1 Condições antes da padronização da carga	39
7.1.1 Análises da carga média de transporte antes da padronização	39
7.2 Resultados da carga de transporte pós-aplicação da padronização	42
7.2.1 Comportamento da carga de transporte pós-aplicação da padronização.....	43

8 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A mineração sempre esteve inserida no contexto da humanidade, acompanhando todas as fases de evolução e cada vez mais presente na vida cotidiana do ser humano. Ao longo dos anos surgiram projetos de extração mineral cada vez mais arrojados, tudo para acompanhar as fases de desenvolvimento da humanidade, levando em consideração o desenvolvimento sustentável.

Dentre as operações que envolvem o dia a dia de produção em uma mineração, as etapas de carregamento e transporte são vistas como duas das mais importantes do processo produtivo de lavra. Variáveis como volume de produção e condições operacionais impactam diretamente na seleção de equipamentos e dimensionamento de frotas, buscando sempre os menores custos de operação e maior produtividade. Diariamente as mineradoras são desafiadas a buscar o aumento da produtividade e a redução de custos operacionais, desafios que exigem um bom planejamento e um bom gerenciamento em todas as etapas produtivas, principalmente na lavra, onde, geralmente, estão inseridos os maiores custos operacionais de um empreendimento.

A Mina de Bauxita de Juruti, localizada no oeste do Pará, é operada pela Alcoa, companhia que se destaca mundialmente por buscar a consolidação dos três pilares da sustentabilidade, que são: ambiental, social e econômico. O método de lavra utilizado na lavra de bauxita é o método de lavra em tiras (*strip mining*), tipo de lavra que permite a deposição do estéril retirado das camadas superiores do depósito dentro dos cortes formados nas etapas anteriores de desenvolvimento da mina. Assim, este método oferece menores impactos ambientais já que diminui consideravelmente a quantidade de estéril depositado na superfície, refletindo positivamente sobre o desempenho econômico do empreendimento, além de contribuir com o ecossistema local e facilitar uma posterior exploração econômica da área após o término da mineração.

Em virtude do método de lavra utilizado na lavra da bauxita, o aumento da distância média de transporte de minério (DMT) em função dos avanços de lavra é algo que, rotineiramente, desafia as operações de lavra com o objetivo de se estudar e estabelecer metodologias que busquem a redução dos custos relacionados a esta atividade.

Neste contexto, a estabilização da carga média de transporte de minério surgiu como uma alternativa de incremento de produtividade e, conseqüentemente, redução de custos dentro do processo produtivo das operações unitárias de lavra. Este trabalho tomou como base os dados históricos das cargas de transporte de minério realizadas no ano de 2014, a fim de se

estabelecer os critérios de melhoria para o ano de 2015 e padrões de instrução operacional. Houve acompanhamento diário dos dados de carga de transporte para uma verificação e confirmação da eficiência das práticas implantadas, onde se constatou um ganho substância com as ações que foram tomadas.

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem o objetivo de expor os ganhos operacionais relacionados ao incremento de produtividade e redução de custos na atividade de transporte de minério a partir de melhorias implantadas na padronização da carga média de transporte de material proveniente da lavra de bauxita.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

3.1 Mina de Bauxita De Juruti - Pará

3.1.1 Localização

A Mina de Bauxita de Juruti está localizada na cidade de Juruti e é operada pela Alcoa Alumínio S/A. A cidade está situada à margem direita do Rio Amazonas no oeste do Pará, figura 3.1, há cerca de 200 km da cidade de Santarém, maior centro econômico da região. O município tem área aproximada de 8.304 km², população de 47.123 habitantes (Censo IBGE 2010) distribuídos 65% na zona rural (150 comunidades) e 35% na zona urbana. A estrada PA 257 é o principal acesso utilizado para se chegar até a mina, que se encontra a cerca de 60 km do centro da cidade.

Figura 3.1 – Localização geográfica da cidade de Juruti.



Fonte: Adaptado de Sobrinho (2016)

3.1.2 Histórico

Os primeiros estudos de pesquisa e prospecção na área da mina de Juruti começaram no início da década de 70 pela empresa Reynolds Metals, nos platôs denominados Central e Capiranga, já no início da década de 90 as áreas de pesquisas foram expandidas com o requerimento de pesquisa dos platôs Mauari e Central Sul.

No ano de 2000 a Alcoa adquiriu os direitos de pesquisa na região da Reynolds Metals, iniciando assim pesquisas mais aprofundadas nos platôs Capiranga, Mauari e Guaraná, localizados nos limites da cidade de Juruti.

A Mina de Bauxita de Juruti tem um dos maiores depósitos e de mais alta qualidade entre as reservas de bauxita do mundo, com um potencial total estimado em cerca de 700 milhões de toneladas métricas, suficientes para atender à crescente demanda do produto no mercado.

O projeto de Juruti foi inaugurado no dia 15 de setembro de 2009, com capacidade inicial de 2,6 milhões de toneladas métricas anuais, hoje opera com produção aproximada de 6,0 milhões de toneladas de minério lavado por ano.

3.1.3 A Empresa

A Alcoa Alumínio S.A. integra a Alcoa Inc, que está inserida no contexto nacional desde 1965, atuando em toda a cadeia produtiva do metal, desde a mineração da bauxita até a produção de transformados.

A sustentabilidade permeia a estratégia da Alcoa e é parte integrante de todas as suas atividades. A companhia destaca-se mundialmente por buscar a consolidação dos três pilares da sustentabilidade: excelência ambiental, responsabilidade social e sucesso econômico.

A Alcoa se instalou na cidade de Juruti há cerca de 20 anos, quando adquiriu os direitos de pesquisa mineral da empresa Reynolds Metals, como mencionado anteriormente. O empreendimento abrange as seguintes grandes áreas: - Mina - Beneficiamento - Ferrovia (para escoamento da produção) - Rodovia (para suporte à produção e outros tráfegos) – Porto.

A mina é lavrada a céu aberto, pelo método de lavra em tiras. A remoção do estéril sobrejacente ao minério é realizada por tratores de esteiras e escavadeiras. A lavra é executada pelo desmonte, tipo escarificação, e, posteriormente, por escavadeiras no carregamento do minério, que segue por caminhões basculantes que transportam o minério às instalações da britagem primária. O beneficiamento do minério é feito por etapas sucessivas de britagem,

classificação granulométrica (*trommel*, peneiras e hidrociclones) e filtragem das frações mais finas, sendo o seu rejeito (porção argilosa) depositado nas bacias de espessamento e de disposição. Toda a produção da planta de beneficiamento (grossos e finos) é composta em um produto único, que segue transportado via ferrovia, às instalações do porto. Na área do porto o produto é descarregado dos vagões ferroviários, estocado e expedido em navios para a refinaria.

3.1.4 Aspectos Geológicos

A região onde está inserida a área das jazidas é constituída, predominantemente por rochas sedimentares.

Os depósitos enquadram-se como do tipo “blanket” (PATTERSON, 1967), formados “in situ” por processos de intemperismo sobre rochas sedimentares clásticas, em condições climáticas tropicais úmidas. Estes depósitos caracterizam-se por apresentar espessura de ordem métrica, alcançando e ultrapassando raramente 10 metros e por apresentarem acentuadas variações laterais nos teores de Al, Si e Fe. Na macro-área Juruti, os depósitos correspondentes aos platôs Capiroanga, Central, Mauari e Guaraná desenvolveram-se sobre a Formação Alter do Chão, gerando um perfil geológico bastante persistente, com horizontes de bauxita relativamente bem definidos e contínuos. Estes platôs apresentam-se posicionados no topo da sequência, um perfil de laterização no qual podem ser identificadas três zonas distintas: argila Belterra, zona de laterita concrecionária e zona saprolítica. A zona de laterita, por sua vez, pode ser subdividida em três sub-zonas: bauxita nodular, laterita e bauxita maciça.

Argila Belterra: consiste numa cobertura de argila caulínica, amarelada, bem uniforme e permeável, cuja espessura varia de zero a doze metros nos centros dos Platôs.

Bauxita Nodular: representado por um horizonte descontínuo, chegando a atingir seis metros de espessura, consiste em nódulos de gibbsita, finamente cristalina, de tamanhos variáveis, distribuídos em uma matriz caulínica. São comuns neste horizonte nódulos ferruginosos que conferem elevados teores nas análises de Fe_2O_3 .

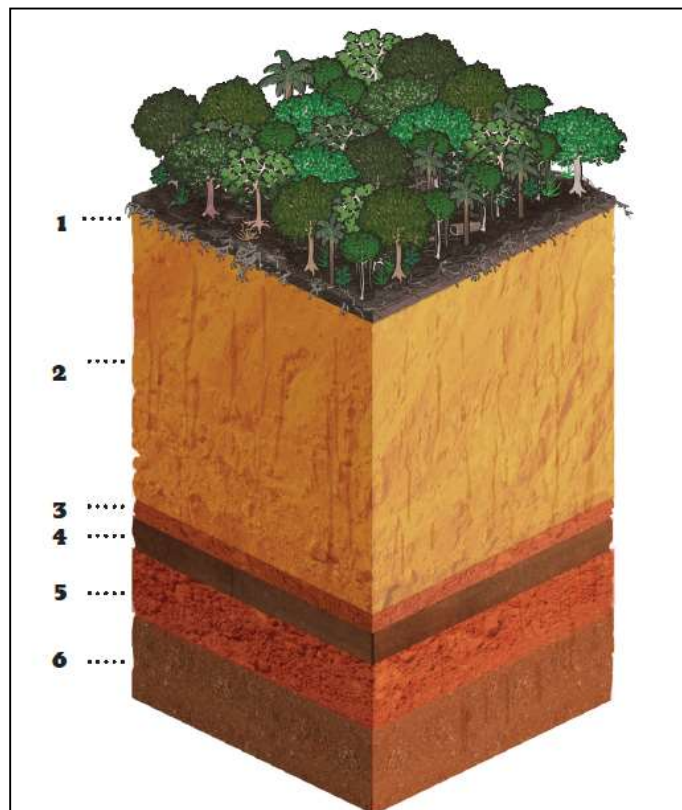
Laterita: corresponde a um horizonte de baixa sílica, com espessura de zero a três metros e consideráveis variações na dureza, textura, cor, relação ferro-alumina e conteúdo de sílica. Em alguns locais, esse material pode ser classificado como bauxita ferruginosa, face ao seu alto teor em Al_2O_3 .

Bauxita Maciça (bauxita): este horizonte, com espessura variando de 0 a 6 metros, é essencialmente constituído de gibbsita (45% a 85%), hematita (6 % a 40 %), caulinita (6 % a 32%) e, secundariamente, noselita ($3.Na_2Al_2Si_2O_8.Na_2SO_4$) do grupo da sodalita, quartzo e anatásio. Sempre apresenta uma gradação com o horizonte superior pela substituição gradativa do Fe_2O_3 por SiO_2 . A dureza, textura e coloração variam com o teor de ferro e conteúdo em argila.

Argila Variiegada: consiste num horizonte composto de argilas caulíníticas de cores variegadas, em geral avermelhadas a rosadas, com trechos esbranquiçados e matizes arroxeados, contendo, eventualmente, alguma gibbsita. Localmente, apresenta concreções alongadas de bauxita colunar, compostas de gibbsita microcristalina em posição vertical neste horizonte argiloso.

Uma análise do perfil descrito anteriormente pode ser realizada a partir da figura 3.2.

Figura 3.2 – Perfil litológico. 1. *Top Soil*, 2. Argila Amarela, 3. Bauxita Nodular, 4. Laterita, 5. Bauxita Maciça, 6. Argila Variiegada



Fonte: Alcoa - Arquivo (2010).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Projetos de mineração

A indústria de mineração, assim como qualquer outro empreendimento, apresenta como objetivo básico maximizar ao máximo o lucro. Entretanto, como é de conhecimento, a indústria de mineração é caracterizada por visar ao aproveitamento econômico de um bem de capital exaurível e não renovável, o que a diferencia de uma parcela das demais indústrias. Assim, a maximização da riqueza futura deve se realizar em um período definido, ou seja, durante a existência do bem mineral que lhe deu origem. Em termos econômicos, podemos dizer, mais apropriadamente, que o objetivo da indústria de mineração é a maximização do valor atual líquido dos benefícios monetários futuros, durante toda a vida da mina segundo COSTA (1979).

De acordo com COSTA (1979) todo projeto de mineração é formado pelo conjunto de estudos essenciais à implantação destes empreendimentos, conforme mencionado anteriormente. Tais estudos consistem das diversas áreas da engenharia de modo geral, e o êxito destes empreendimentos mineiros está ligado profundamente à aplicação destes estudos, sendo primordial dar a cada um deles a devida importância.

Como exemplo podemos citar estudos que conduzem a seleção dos equipamentos de lavra, que é uma das etapas mais importantes do estabelecimento de projetos de mineração, esta etapa deve ser conduzida com cautela, haja visto que é possível que existam várias alternativas viáveis, e a escolha correta deve ser tomada em busca dos melhores resultados econômicos, segundo COSTA (1979).

O projeto de uma mina é um processo de engenharia que converte recursos em reservas economicamente lavráveis. Segundo SWANEPOEL (2003), o propósito do projeto de uma mina deve ser de agregar valor aos recursos através de uma série de processos de transformação, tendo em conta uma série de elementos inter-relacionados ou fatores modificadores que incluem o mercado, processo metalúrgico, método de mineração, os objetivos corporativos, bem como restrições legais, ambientais e políticas.

No projeto de uma mina, uma vez que os recursos tenham sido estabelecidos e os objetivos corporativos definidos, o próximo passo é a tomada de decisão sobre o método de lavra. Segundo MACÊDO, BAZANTE e BONATES (2001), a seleção do método de lavra é um dos principais elementos em qualquer análise econômica de uma mina e sua escolha permite o desenvolvimento da operação. Sendo uma etapa que requer um maior nível de

detalhamento, pode constituir-se como fator preponderante para uma resposta positiva do projeto. A seleção imprópria tem efeitos negativos na viabilidade da mina. Na fase de projeto, a seleção é baseada em critérios geológico, social, geográfico e ambiental, todavia as condições de segurança e higiene devem ser garantidas durante toda a vida útil da mina. Os aspectos relativos à estabilidade da mina, à recuperação do minério e à produtividade máxima também devem ser considerados.

A seleção do método de extração é o primeiro passo no processo interativo do projeto de mina. Geralmente as duas opções são a mineração subterrânea ou a céu aberto e suas variações específicas para cada característica de corpo de minério e demais condições associadas.

Definido o método de lavra, que o presente trabalho terá como referência o método de lavra a céu aberto, o passo seguinte é a construção de um modelo geológico, que, em linhas gerais, de acordo com AMARAL (2008), dá início efetivo às atividades de planejamento de lavra a partir da prospecção, quando são realizadas escavações para determinação do formato e distribuição do corpo mineral, para determinação dos teores dos parâmetros de interesse e para o cálculo da quantidade do minério a ser recuperado durante a extração.

De posse dos dados obtidos, é construído um modelo geológico, contendo milhares de blocos, para representação do terreno da mina. A cada um desses blocos é associado um valor econômico, que determina se este deve ser considerado como minério ou como estéril (KUNRAL; DOWD, 2005) nas etapas seguintes de projeto e planejamento ou para o cálculo da reserva lavrável e do retorno financeiro esperado para o empreendimento.

O planejamento de lavra se inicia com o planejamento de longo prazo, isto é, com a determinação da cava final otimizada, dentro da qual estão todos os blocos que devem ser retirados até o encerramento das atividades, para maximização do retorno financeiro obtido com a venda do minério (RAMAZAN, 2007).

Dando continuidade ao projeto da mina, deve-se projetar e construir toda a infraestrutura de apoio para o início da lavra, tais como barragens de rejeito, plantas de tratamento, pilhas de estoque, escritórios, alojamentos, refeitórios e vias de acesso. Essas estruturas devem ser construídas fora dos limites da cava final, para que não tenham que ser movidas ao longo dos anos para expansão dos trabalhos e abertura de outras frentes de lavra (HUSTRULID; KUCHTA, 1995).

O passo seguinte é a seleção e aquisição dos equipamentos necessários ao início das atividades, requerendo altos investimentos por parte da mineradora. Essa etapa do processo de projeto da mina é de grande importância e requer muita atenção devido aos altos

investimentos necessários para compra dos equipamentos. Uma escolha acertada dos equipamentos acarreta uma minimização dos custos de operação e reduz o tempo de retorno do capital investido. Para auxiliar na tomada de decisão nessa etapa do processo de planejamento da mina existem métodos e ferramentas adequadas a cada caso.

A fase seguinte refere-se ao planejamento da produção, que está relacionada às atividades de planejamento estratégico, tático e operacional. Essa fase apresenta atividades contínuas e de longa duração, específicas, como a alocação de equipamentos de carga e de transporte, a alimentação das plantas de tratamento para concentração do minério e a administração das pilhas de estoque ou de homogeneização, segundo Costa et al. (2005) e (HUSTRULID; KUCHTA, 1995). De acordo com AMARAL (2008), além destas, devem ser realizadas ações que visam à manutenção das estruturas de apoio, como a retirada e a deposição final de estéril para liberar a lavra do minério e a construção e manutenção das vias de acesso utilizadas pelos caminhões.

4.1.1 Seleção de equipamentos de carregamento e transporte

O problema da seleção de equipamentos, de acordo com Baççetin et al. (2006), tem interface com as fases de projeto das instalações da mina e com a fase de produção, influenciando nos parâmetros econômicos operacionais e de longo prazo. Assim, a seleção de equipamentos baseada somente na experiência do tomador de decisões incorre em altos riscos econômicos, motivando o desenvolvimento de estudos e pesquisas na área. Alguns estudos anteriores sobre seleção de equipamentos presentes na literatura atual serão apresentados em um tópico específico neste trabalho.

Segundo AMARAL (2008), a seleção de equipamentos para aplicações de mineração não é um processo bem definido. Uma das razões para isso é que não há duas minas com características idênticas que proporcionem as mesmas condições para seleção dos equipamentos mais adequados. As características do minério, condições climáticas e a disposição dos depósitos são algumas das variáveis que podem diferir entre minas, mesmo essas contendo o mesmo tipo de minério. Uma pesquisa feita por Srajer et al. (1989) revelou que na maioria dos casos é dada mais atenção à seleção de equipamentos de transporte do que à de equipamentos de carregamento.

Equipamentos de carregamento são tipicamente selecionados para corresponder às condições de minas em termos de capacidade necessária, às condições climáticas, exigências de mobilidade e número de frentes de lavra, ao mesmo tempo, de acordo com Borges (2013).

Srajer et al. (1989) concluíram que, apesar das considerações acima, o conhecimento pessoal e experiência do engenheiro de minas ou do gerente com o equipamento de carga é a principal influência sobre a escolha dos equipamentos.

Para a seleção de equipamentos de transporte, como caminhões, por exemplo, algumas empresas contam com o auxílio do fabricante para apresentá-los uma proposta de aplicação baseada em requisitos de produção determinados. Em seguida as empresas selecionam o tipo e a capacidade do caminhão a partir das diferentes propostas com base em alguns dos seguintes critérios:

- compatibilidade com equipamento de carga existente;
- capacidade de atender às projeções de produção;
- experiência anterior com o equipamento;
- requisitos de serviço e manutenção;
- custo de aquisição e custo operacional;
- utilização e disponibilidade estimadas.

Para Silva (2009), as principais considerações na seleção primária dos equipamentos são:

- geologia do depósito;
- metas de produção;
- vida útil do projeto;
- disponibilidade de capital;
- custo de operação;
- parâmetros geotécnicos;
- retorno de investimentos;
- interferências com o meio ambiente.

Para que haja acerto na escolha da seleção de equipamentos tanto de carregamento quanto de transporte, estes equipamentos devem ser selecionados em conjunto, objetivando sempre a melhor sinergia entre estes, já que esse é um ponto fundamental para a otimização das operações tanto em produtividade quanto na redução de custos.

4.1.2 Produtividade de equipamentos de carregamento e transporte

Segundo Silva (2009), a produtividade das frotas de carregamento e transporte, na mineração a céu aberto, depende de que o projeto e o planejamento de lavra sejam adequados à jazida e de que os equipamentos selecionados estejam ajustados às demais operações unitárias de lavra e beneficiamento. Assim, o tipo, o número de equipamentos a serem utilizados e a produtividade dependem de:

- Porte das jazidas: vida da mina, taxa de produção, método de lavra;
- Projeto de cava: altura das bancadas, largura das frentes de trabalho, desnível entre as frentes de lavra e o destino dos caminhões;
- Tipos de rocha: características do minério e do estéril, como massa específica “in-situ”, empolamento, umidade, resistência à escavação, grau de fragmentação;
- Projeto da deposição do estéril: local da deposição, forma de disposição do estéril;
- Projetos das estradas: largura das estradas (recomenda-se uma largura mínima de pista igual a 3,5 vezes a largura do caminhão, o que deixa uma faixa igual a meio caminhão de largura entre os veículos que se cruzam e nas laterais. Caso a faixa seja estreita, o motorista se sentirá inseguro e reduzirá a velocidade ao se aproximar um veículo em sentido contrário), inclinação das rampas de acesso, raio das curvas, superfície de rolamento;
- Planejamento de lavra: número de frentes simultâneas, relação estéril/minério, frequência de deslocamento das frentes de lavra;
- Destino do minério: distância, tipo, dimensões e taxa de produção do equipamento que receberá o minério do caminhão, tais como britadores, silos, pilha para lixiviação, entre outros.
- Infraestrutura de apoio: recursos de manutenção, recursos para abastecimento, comunicações etc.;
- Equipamentos para demais operações: manutenção das estradas e frentes de lavra, desmonte de minério e do estéril etc.

4.1.3 Operações de carregamento e transporte a céu aberto

Segundo Borges (2013), as operações de carregamento e transporte consistem em retirar o material extraído da frente de lavra até diferentes pontos de descarga.

Segundo Quevedo (2009), em minas a céu aberto as atividades se iniciam com a preparação da área a ser lavrada para que ela possa ser perfurada e detonada, quando necessário. Então a escavação e o carregamento são feitos por equipamentos de carga (pás carregadeiras ou escavadeiras) que estão alocados nas frentes de lavra. Estes retiram o material e o carregam nos equipamentos de transporte, caminhões, correias transportadoras, vagões, entre outros. O equipamento de transporte transporta o material até um determinado ponto de descarga, esses pontos de descargas podem ser britadores, pilha estéril ou pilha pulmão, e o ciclo da operação recomeça, sendo realizada de forma contínua.

4.1.3.1 Equipamentos de carregamento de lavra a céu aberto

As operações de escavação e carregamento podem ser feitas pelo mesmo equipamento ou por equipamentos distintos, sendo o primeiro caso chamado, segundo Ricardo e Catalani (2007), de unidades escavocarregadoras, mais comuns para corpos de minério friáveis.

Os equipamentos mais utilizados para as operações de escavação e carregamento, concomitante ou não, são escavadeiras a cabo, escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus ou esteira, motoscrapers, dragas e monitores hidráulicos, segundo Borges (2013).

Na mineração de outros países são mais comuns equipamentos de maior porte, existindo assim, um número superior de escavadeiras a cabo de grande porte. Já nas empresas de mineração no Brasil é mais frequente o uso de escavadeiras tipo “shovel”, ou caçamba frontal, nas operações de escavação direta na frente de lavra, e concomitante carregamento da unidade de transporte, para corpos friáveis. Estas escavadeiras “shovel”, segundo Ricardo e Catalani (2007), são adequadas para o uso em taludes por ter um elevado alcance máximo para o corte.

4.1.3.2 Lavra com transporte a partir de caminhões

O método de lavra por caminhões é o mais utilizado em todo o mundo. Com o surgimento da mecanização alavancou-se a capacidade de lavra das minas, as rampas começaram a ser vencidas e o aprofundamento das cavas tornou-se realidade. Os equipamentos foram sendo modernizados e os conceitos de desmonte, carregamento e transporte se consolidaram. Com o avanço da tecnologia surgiram variações, tais como as escavadeiras elétricas a cabo, diesel-elétricas e hidráulicas. Segundo LOPES (2010), os

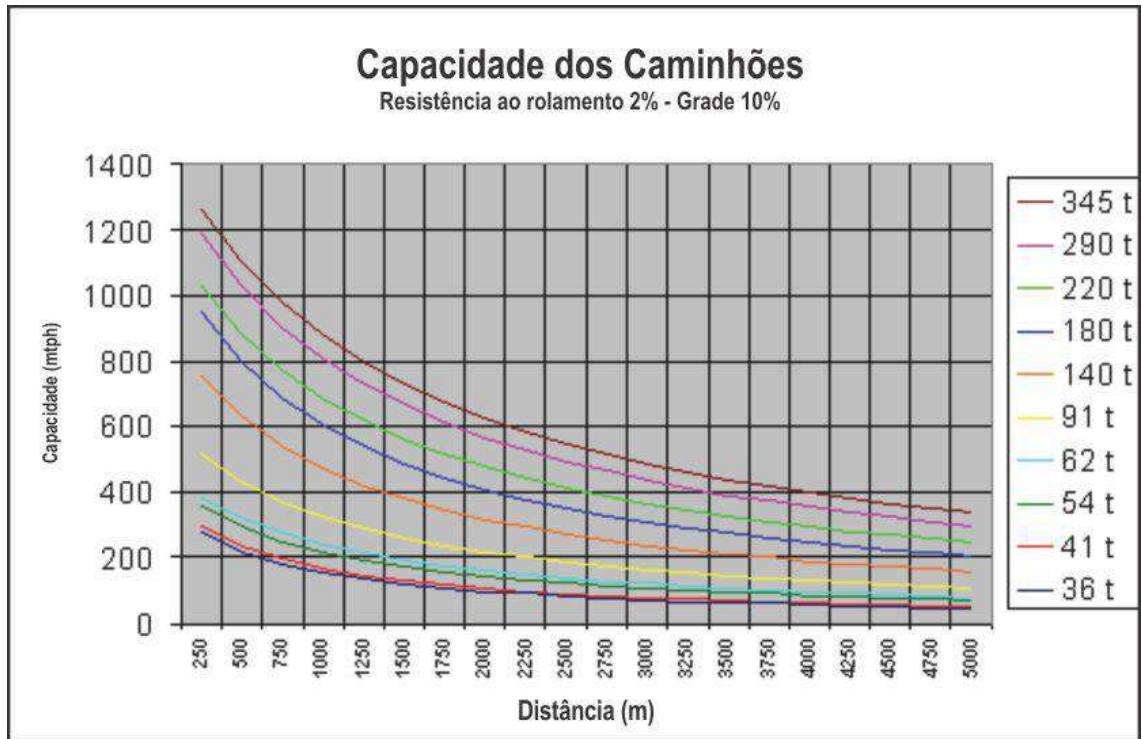
caminhões acompanharam o porte das escavadeiras, mas por falta de tecnologia, foram barrados pelo tamanho dos pneus, caso que ocorreu no mesmo período com as carregadeiras. Nas últimas décadas a tecnologia de fabricação de pneus avançou e o tamanho dos caminhões e carregadeiras foi ampliado atingindo as capacidades atuais de produção, o que provocou a possibilidade de ajuste de tamanho das escavadeiras para as novas dimensões dos equipamentos de transporte.

A lavra com transporte por caminhões consiste basicamente de desmonte do material “in situ”, que normalmente é executado por meio de perfuração e desmonte por explosivo ou mecanicamente (tratores, escavadeiras ou carregadeiras, dependendo da resistência do material). Outra possibilidade, dependendo da geologia do minério lavrado é a própria escavadeira ou carregadeira escavar e carregar o equipamento de transporte, no caso, caminhões. O transporte do material por caminhões até a estação de britagem, descarga no silo e retorno até a frente de lavra, finaliza o ciclo do método, de acordo com LOPES (2010).

Atualmente o mercado oferece caminhões com capacidades variando de 10 toneladas a 400 toneladas, e escavadeiras compatíveis para o carregamento eficiente dos mesmos. A aplicação e o porte do conjunto de carga e transporte estão inteiramente ligados à escala de produção, geometrias da cava e geologia da jazida.

No estudo dos tempos e movimentos característicos do método convencional por caminhões, esses são divididos em fixos e variáveis, sendo o primeiro composto por: tempo de carga, tempo de descarga e tempo de manobras - soma de manobras para carregamento e manobras para descarga. Já os tempos de transporte, carregado e vazio, somados formam o tempo de ciclo variável. A distância de transporte está diretamente ligada ao tempo de ciclo por viagem dos caminhões que por consequência reflete a produtividade da frota. A Figura 4 relaciona a capacidade produtiva em toneladas normais por hora de operação pela distância de transporte percorrida para vários modelos com capacidades de cargas variáveis, segundo LOPES (2010).

Figura 4.1- Gráfico da capacidade de transporte dos caminhões.



Fonte: Adaptado de Zimmermann e Kruse (2006).

De acordo com a análise da Figura 4.1, segundo LOPES (2010), observa-se que para se manter uma produção constante requerida ao longo do tempo de vida das minas, pode-se tomar mão de duas ações: aumentar o número de caminhões da frota ou alterar o modelo por capacidades maiores mantendo o mesmo número de caminhões anteriores. O tamanho do equipamento de carga poderá ou não acompanhar o aumento da capacidade dos caminhões.

4.1.4 Método de lavra em tiras (*Strip Mining*)

A lavra a céu aberto por tiras é utilizada principalmente em jazidas com predominância de camadas horizontais, com espessuras de minério menores em relação às grandes dimensões laterais. É semelhante à lavra por bancadas, diferindo num aspecto: o capeamento não é transportado para um bota fora ou pilhas de estéril, mas depositado diretamente nas áreas adjacentes já lavradas. Às vezes a mesma máquina faz a escavação e o transporte do estéril, em uma operação unitária. Em alguns casos parte do estéril é

transportado por caminhão para fora da mina, como a cobertura vegetal, para uso posterior na recuperação da área, Souza (1994).

A deposição do estéril na cava faz com que este método seja de alta produtividade e de custo mais baixo. Outra vantagem é que o corte fica aberto por um tempo relativamente curto, permitindo trabalhar com um ângulo de talude maior. Da mesma forma, o estéril que será depositado nas áreas escavadas fica por um curto período em espera, possibilitando também o trabalho com um ângulo maior do que o na lavra por bancadas, Souza (1994).

Ainda de acordo com Souza (2004) as dimensões típicas de uma mina lavrada por tiras variam conforme a geometria das camadas de minério e do capeamento, as características geomecânicas, a produção desejada e equipamentos dimensionados. A lavra por tiras pode ser aplicada tanto para rochas coesas, que necessitam de desmonte de rocha por explosivo, quanto para rochas friáveis ou brandas, que podem ser escavadas diretamente. A sequência de operações unitárias é: desmatamento, decapeamento, desmonte de rocha (com ou sem explosivo), carregamento e transporte.

Os equipamentos e insumos mais utilizados são: tratores, escavadeiras (shovel ou retro), pá carregadeiras, drag-lines, buckets-wheel, perfuratrizes pneumáticas ou martelos manuais, caminhões (fora-de-estrada ou urbanos adaptados); explosivos e acessórios.

Vantagens do método de lavra em tiras:

- O capeamento não é transportado para as pilhas de estéril, mas depositado diretamente nas áreas adjacentes já lavradas;
- Maior produtividade;
- Pouco intensivo em mão-de-obra;
- Produção em larga escala;
- Custo de lavra baixo;
- Mão-de-obra não especializada, exceto alguns operadores chave (perfuratriz, dragline, bucket-wheel);
- Cadência flexível (menos flexível que na lavra por bancadas);
- Permite boa estabilidade dos taludes, (o corte fica aberto por pouco tempo);
- Desenvolvimento e acessos simples;
- Segurança e higiene satisfatórias;

A lavra em tiras implica em um menor impacto ambiental do que a lavra convencional, uma vez que permite que, ao final da mineração de uma faixa, possa se dar

início ao processo de recuperação da área degradada, bem como em ausência de áreas destinadas à deposição de rejeitos, utilizados como um dos perfis do solo a ser recuperado.

Desvantagens do método de lavra em tiras:

- Limitado pela profundidade (< 9 m) – limites impostos pelos equipamentos;
- Limitado pela relação estéril/minério;
- Produção dependente de um só equipamento;
- Necessita de operações sincronizadas;
- Mais adequado a jazidas com grandes extensões laterais;
- Sujeito a condições climáticas adversas (inundações);
- Necessidades de bombeamento onde o nível do lençol freático seja alcançado ou devido às águas pluviais.

O método de lavra em tiras é amplamente utilizado tanto em minerações de carvão quanto de bauxita, por conta da disposição do corpo a ser minerado.

4.2 Estatística

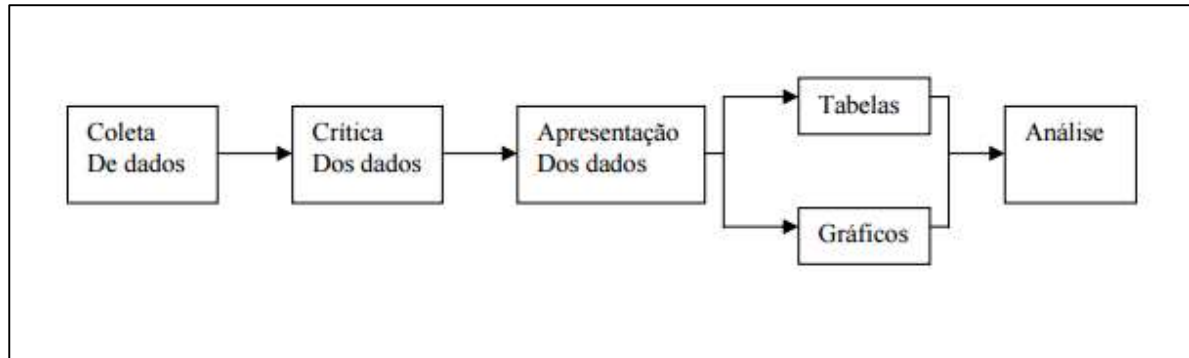
De acordo com Reis (2016), nas várias áreas profissionais e científicas, a Estatística pode ser utilizada com três objetivos: (1) descrever e compreender relações entre diferentes características de uma população, (2) tomar decisões mais corretas e (3) fazer face à mudança.

A quantidade de informação recolhida, processada e finalmente apresentada a um comum mortal cresce tão rapidamente que um processo de seleção e identificação das relações mais importantes se torna imprescindível. É aqui que a Estatística poderá dar o seu primeiro contributo, quer através de métodos meramente descritivos, quer utilizando métodos mais sofisticados de generalização dos resultados de uma amostra a toda a população. Uma vez identificadas as relações, estas poderão constituir uma ajuda preciosa à tomada de decisões corretas em situações de incerteza, Reis et al (2016).

A Estatística é constituída por um conjunto de conceitos e métodos desenvolvidos para coletar, classificar, apresentar, analisar e interpretar dados relativos a uma determinada área do conhecimento, como também, utilizados para obter conclusões em situações onde a incerteza e a variabilidade estão presentes (BUSSAB; MORETTIN, 2002; MILONE, 2004).

De acordo com Shiguti (2006), podemos resumir a estatística de acordo com o diagrama a seguir (Figura 4.2).

Figura 4.2 – Diagrama de resumo da estatística.



Fonte: Shiguti (2006).

Após a definição do problema a ser estudado e o estabelecimento do planejamento de pesquisa o passo seguinte é a coleta de dados, que consiste na busca ou compilação dos dados das variáveis e componentes do fenômeno a ser estudado, Shiguti (2006).

Ainda de acordo com Shiguti (2006), a revisão crítica dos dados deve ser executada com intuito de suprimir os valores estranhos obtidos no levantamento, os quais são capazes de causar futuros enganos.

É necessário organizar o conjunto de dados de maneira prática e racional, e apresentados em forma de tabelas ou gráficos.

5 MÉTODO DE LAVRA E OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE LAVRA

As características de disposição dos platôs da Mina de Bauxita de Juruti conduzem a aplicação do método de lavra em tiras (*strip minig*) para o aproveitamento racional da reserva.

Este método tem aplicação consagrada nos depósitos em camadas, onde a remoção do minério e do estéril se dá ao longo de cortes paralelos com uma pequena largura e grandes comprimentos, chamados de tiras. O estéril removido de uma tira é depositado na tira lavrada anteriormente, de onde já foi removido o minério, promovendo, assim, o descobrimento do minério nesta tira.

Analisando de forma geral, o método de lavra em tiras, em uma óptica ambiental, pode ser considerado um dos mais corretos, devido o método conjugar as operações de lavra do minério com a disposição de estéril, evitando a ocupação de novas áreas e reduzindo, assim, os impactos ambientais decorrentes da atividade.

5.1 Supressão vegetal e limpeza

O processo de mineração da bauxita requer, antes do início das operações unitárias de lavra, a supressão da vegetação e a movimentação das camadas de solo e argila que se encontram sobre a camada de minério. Este procedimento requer a retirada de grande volume de biomassa vegetal e *topsoil* (camada orgânica do solo).

A supressão vegetal compreende a primeira operação unitária para que se possa desenvolver a lavra do minério de interesse, objetivando a entrega de uma área, planejada e delimitada, apta para a etapa de decapeamento (remoção de argila).

O desmatamento segue, esquematicamente, a seguinte linha: levantamento de flora e fauna, derrubada com trator de grande porte, picagem de árvores com motosserras, remoção de galhada e remoção de *top soil*.

5.2 Decapeamento

A etapa de decapeamento consiste na retirada de todo o material para a exposição do corpo mineral (bauxita) para que posteriormente sejam executadas as atividades de desmonte, carregamento e transporte do minério. No caso da Mina de Bauxita de Juruti esse material consiste em Argila Amarela, Bauxita Nodular e Laterita Ferruginosa.

A atividade é desenvolvida com a utilização de tratores de esteira do tipo CAT D11T CD 860 hp (Figura 5.1) e Escavadeiras Hidráulicas (EH) do tipo CAT 349D (Figura 5.2), com capacidade de caçamba de 3,1 m³. Nesta prática utiliza-se os tratores de esteira para decapeamento das tiras a serem expostas e as EH para decapear as áreas de acesso, devido a baixa produtividade dos tratores em decapeamentos desse tipo. A figura 3.3 mostra um trator D11 executando uma atividade de decapeamento.

Figura 5.1 – Trator de esteira CAT D11 T CD 860hp.



Fonte: Manual Caterpillar (2004).

Figura 5.2 – Escavadeira hidráulica CAT 349D.



Fonte: Adaptado de Manual Caterpillar (2010).

Figura 5.3 – Tratores realizando a atividade de decapeamento da camada de argila.



Fonte: Arquivo da empresa (2015).

O decapeamento só pode ser executado depois da demarcação da área pela topografia, visando marcar o recuo do trator, a sobrelargura e o alinhamento da tira que será decapeada,

tais marcações são necessárias, ainda, para que posteriormente possa ser feito o levantamento do volume de estéril que foi decapeado na área em questão.

5.3 Escarificação, carregamento e transporte

O desmonte do minério é feito a partir do método de escarificação unidente progressiva em profundidade com a utilização de trator de esteira do tipo CAT D11 T 860 hp (figura 5.3 e 5.7).

Após a escarificação ocorre a regulação do topo de minério, comumente chamado de “selamento”, a partir de motoniveladoras do tipo CAT 140 M 120 hp (figura 5.4). O objetivo da “selagem” é proporcionar tráfego de caminhões e máquinas na tira escarificada.

Com o término das etapas descritas anteriormente, após planejado, inicia-se a lavra da tira que foi desmontada. O carregamento do minério é feito com escavadeiras hidráulicas CAT 349D com capacidade da caçamba de 3,1 m³ (figura 5.2), e o transporte do minério até o britador é realizado com caminhões rodoviários de capacidade de 37 toneladas (Figura 5.6)

Figura 5.4 – Motoniveladora CAT 140M.



Fonte: Adaptado de Manual Caterpillar (2010).

Figura 5.5 – Trator executando a escarificação da bauxita.



Fonte: Arquivo da empresa (2015).

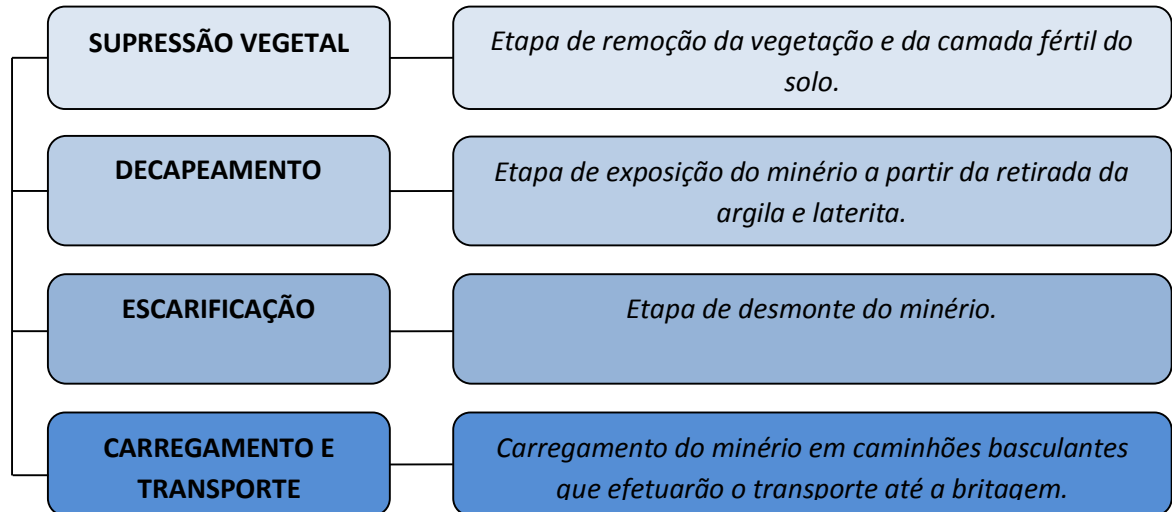
Figura 5.6 – Carregamento de minério em caminhões basculantes.



Fonte: Arquivo da empresa (2015).

Esquemáticamente a lavra do minério pode ser entendida através do fluxograma (figura 5.7).

Figura 5.7 - Fluxograma esquemático da lavra.



6 ESTUDO DE PADRONIZAÇÃO DA CARGA DE TRANSPORTE DE MINÉRIO PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE E REDUÇÃO DE CUSTOS

A atividade de lavra, na maioria, das minerações, tende a ocorrer 24h horas por dia, em diferentes turnos de trabalho, e com diferentes números de produção, variando desde milhares a milhões de toneladas produzidas por ano. Isso acarreta dizer que diariamente inúmeras viagens transportando minério são realizadas a partir da mina até a planta de beneficiamento, geralmente iniciando-se na britagem primária. Essas viagens transportando minério podem ser realizadas a partir dos diferentes formas por correias, por locomotivas, por caminhões fora de estrada e por caminhões rodoviários, por exemplo. Em virtude disso, a etapa de transporte de minério exige um controle diário para que se tenha a garantia de uma atividade dentro dos padrões necessários e esperados, tanto no aspecto de segurança quanto no aspecto produtivo.

Sabe-se que todo e qualquer empreendimento, assim como a mineração, exige que diariamente sejam trabalhadas iniciativas de ganho de produtividade e, conseqüentemente, redução de custos para que se tenha a garantia de uma atividade viável e lucrativa, de forma sustentável.

Em análise dos dados de pesagem do ano de 2014 observou-se uma diferença elevada entre os valores de carga de transporte de minério, o que motivou a elaboração do trabalho de padronização da carga de transporte de minério a fim de se obter maiores índices de produtividade na etapa de transporte de material e redução de custo.

6.1 Padronização da carga de transporte

Por definição, a carga média de transporte de minério na Mina de Bauxita de Juruti deve ser de 37 toneladas, carga esta que garante uma estabilidade do transporte, com um bom índice de produtividade sem comprometer a parte mecânica do caminhão utilizado para este fim.

O carregamento dos caminhões é feito a partir de escavadeiras hidráulicas que buscam a melhor distribuição da carga nos implementos de transporte (básculas), buscando sempre uma carga homogênea. As escavadeiras não possuem nenhum dispositivo que garanta que a carga no caminhão esteja dentro das 37 toneladas definidas como o padrão, da mesma forma os caminhões também não possuem qualquer dispositivo que confirme tal informação. Sendo

assim entra em ação a utilização de uma balança rodoviária para confirmação da carga que está sendo transportada até a britagem primária.

A pesagem dos caminhões, feita a partir da balança rodoviária, e realizada partindo do princípio de amostragem de forma que se pesa diariamente somente uma porção do total de viagens realizadas em cada um dos turnos de trabalho. O balanceiro (pessoa responsável por realizar as pesagens dos caminhões na balança rodoviária) seleciona de forma aleatória qual caminhão deverá passar pela balança para checagem da carga do mesmo.

Em análise aos dados de carga realizados no ano de 2014, percebeu-se que havia uma larga diferença entre os dados de transporte de material onde os valores pesados estavam sempre acima ou abaixo do valor estabelecido como padrão. A partir desta análise iniciou-se o trabalho de padronização da carga de transporte de minério.

6.2 Instrução as equipes de produção

Após o levantamento dos dados elaborou-se uma rotina de instrução das equipes envolvidas na atividade de transporte de minério a fim de se padronizar a mesma. Nesta etapa de trabalho foram envolvidas as equipes de lavra (carregamento e transporte de minério) sistema de despacho de caminhões e balança rodoviária.

A etapa de instrução foi subdividida, basicamente, em duas etapas. Uma com as equipes de carregamento expondo as perdas e ganhos relacionados a cargas de minério, e uma segunda etapa envolvendo os operadores de controle de pesagem e sistema de despacho.

As equipes de trabalho foram instruídas e estimuladas por suas lideranças a seguirem uma rotina durante o carregamento e transporte de minério, com o objetivo de estreitar a comunicação de forma a garantir a estabilidade da carga de minério transportada. A rotina (figura 5.1) aqui mencionada consiste em:

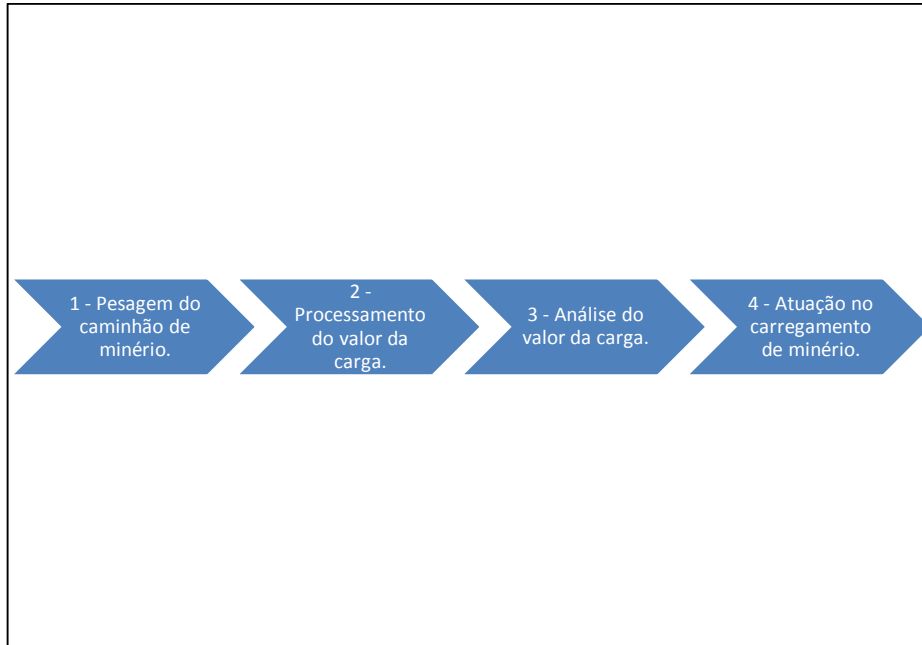
- 1 – O caminhão com minério proveniente de determinada frente de lavra deve passar pela balança rodoviária (por amostragem) para pesagem do material transportado pelo mesmo;

- 2 – O operador da balança rodoviária deve processar o valor da massa pesada e repassar este valor para o operador do sistema de despacho;

- 3 – O operador do sistema de despacho analisa se o valor de carga transportado pelo caminhão e verifica se o mesmo está ou não em concordância ao esperado e, imediatamente, repassa o *feedback* ao operador responsável pelo de carregamento de minério dizendo se o mesmo está carregando menos ou mais minério do que o esperado.

4 – O operador do carregamento deve atuar de forma a aumentar, reduzir ou manter a forma que está sendo executado o carregamento de minério.

Figura 6.1 - Rotina operacional de pesagem de caminhões.



7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação da padronização da carga de transporte de minério.

7.1 Condições antes da padronização da carga

Para elaboração da condição antes da aplicação da rotina de padronização de carga levantou-se todos os dados de pesagens de caminhões do ano de 2014 (tabela 6.1). Foram levantados os dados de Janeiro a Dezembro, num total de 5.525 pesagens, sendo:

Tabela 7.1 – Total de pesagens realizadas mensalmente no ano de 2014.

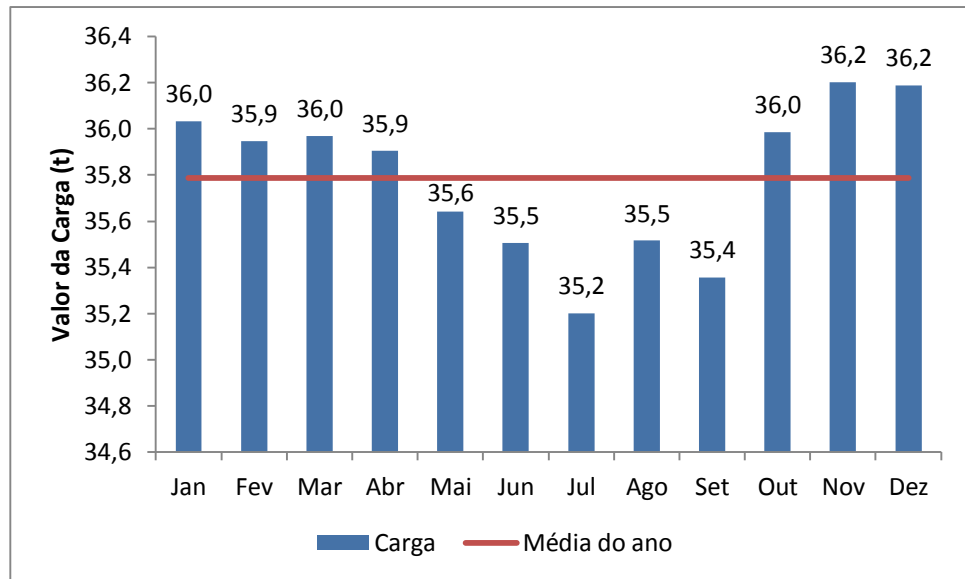
Mês de Referência	Total de Pesagens
Jan	436
Fev	382
Mar	491
Abr	469
Mai	425
Jun	470
Jul	469
Ago	508
Set	507
Out	420
Nov	461
Dez	487
Total	5.525

7.1.1 Análises da carga média de transporte antes da padronização

Com o tratamento dos dados referentes ao ano de 2014 foi possível verificar a média, o desvio padrão e a variabilidade dos dados referentes ao transporte de minério.

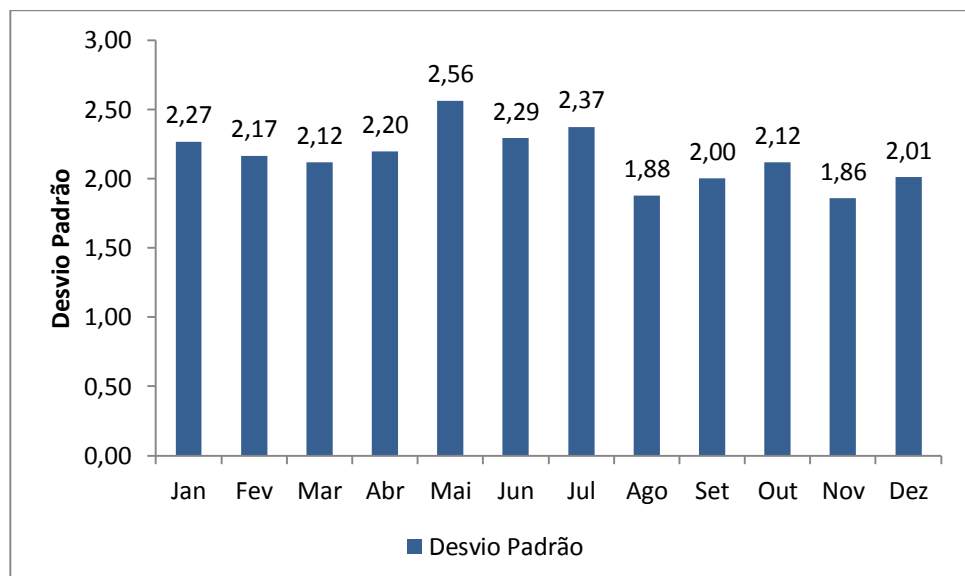
Observou-se que no referido ano a média de carga de transporte de material 35,78 toneladas por viagem transportada (figura 7.1), um valor 3,28% inferior ao estabelecido como meta, 37 toneladas.

Figura 7.1 – Média mensal das cargas de transporte.



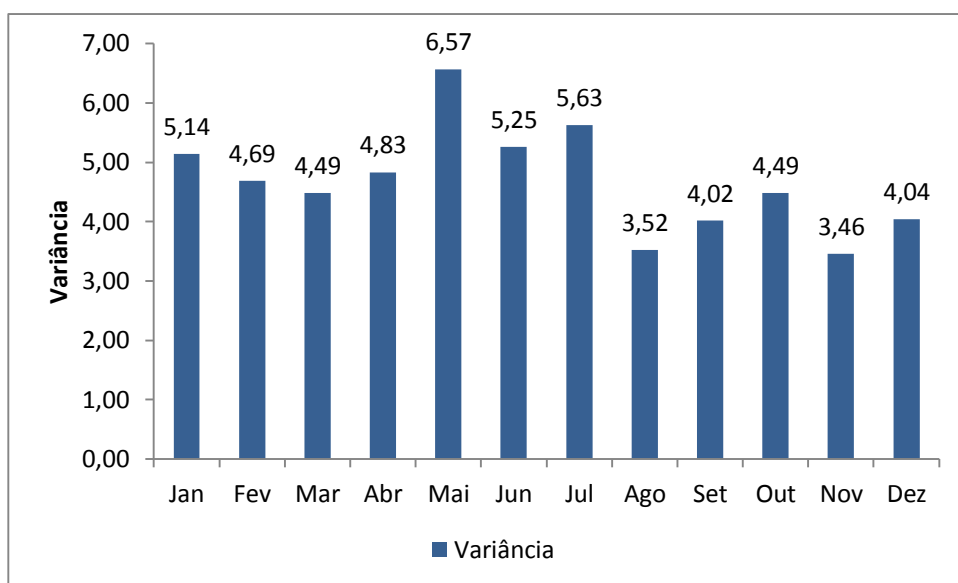
A análise dos dados permitiu calcular o desvio padrão de cada um dos meses do ano de 2014 (figura 7.2), no ano teve-se uma dispersão absoluta de 2,17. O mês com maior desvio foi o mês de maio com 2,56, provavelmente impactado pelo alto índice de pluviometria registrado neste mês (268,16 mm).

Figura 7.2 – Desvio padrão das cargas de transporte do ano de 2014.



A variância dos dados no ano de 2014 foi de 4,72, chegando a 6,57 no mês de maio do referido ano (figura 7.3).

Figura 7.3 – Variância das cargas de transporte do ano de 2014.

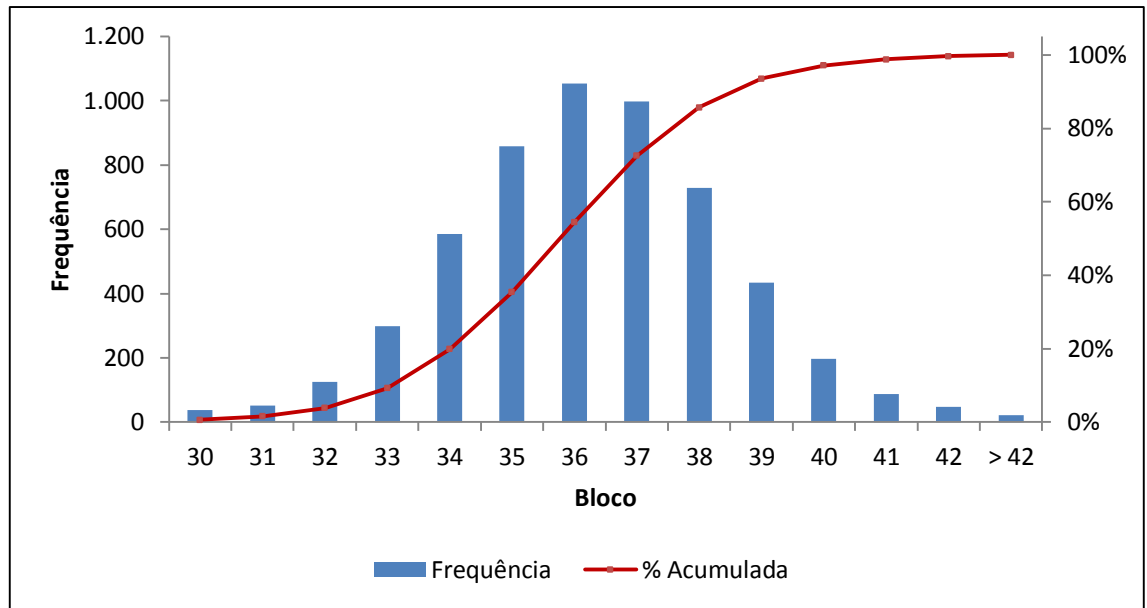


Em uma análise do histograma dos dados de pesagens do ano de 2014, pode-se perceber que os dados, de certa forma, seguem uma curva normal de distribuição, conforme pode ser percebido na tabela 7.2 e na figura 7.4

Tabela 7.2 – Frequência de distribuição dos dados de pesagens do ano de 2014.

Peso da carga	Frequência	% Acumulativo
30	37	0,67%
31	51	1,59%
32	125	3,86%
33	299	9,27%
34	586	19,87%
35	858	35,40%
36	1053	54,46%
37	998	72,52%
38	729	85,72%
39	434	93,57%
40	198	97,16%
41	88	98,75%
42	48	99,62%
Maior que 42	21	100,00%

Figura 7.4 – Histograma das cargas de transporte de 2014.



A partir destes dados percebe-se que somente 31,26% das cargas de transporte de minério estão entre 36 e 38 toneladas, um número relativamente baixo levando em conta que 37 toneladas é a carga esperada de transporte.

7.2 Resultados da carga de transporte pós-aplicação da padronização

No ano de 2015 iniciou-se o processo de padronização e acompanhamento da carga média de transporte de minério, foram realizadas um total de 5.508 pesagens de diferentes frentes de lavra. No qual foi obtido mensalmente, de acordo com a tabela 6.3, os seguintes dados:

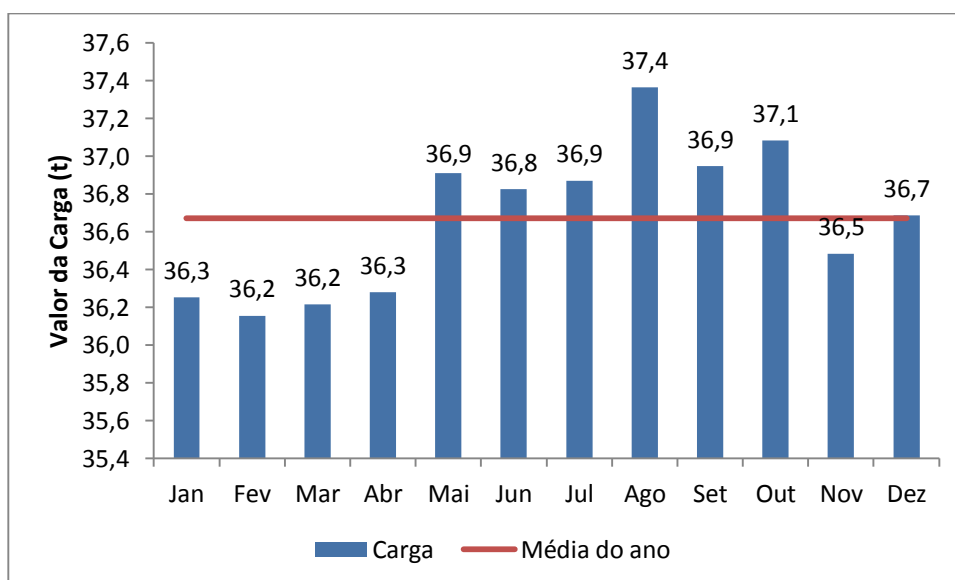
Tabela 7.3 - Total de pesagens realizadas mensalmente no ano de 2015.

Mês de Referência	Total de Pesagens
Jan	469
Fev	461
Mar	459
Abr	446
Mai	486
Jun	480
Jul	329
Ago	455
Set	551
Out	452
Nov	471
Dez	449
Total	5.508

7.2.1 Comportamento da carga de transporte pós-aplicação da padronização

No ano de 2015 foi realizada uma carga média de transporte de 36,67 toneladas (figura 7.5), um valor 2,47% superior ao que foi registrado no ano de 2014, e, somente, 0,88% menor que o ideal para o transporte (37 toneladas).

Figura 7.5 – Média mensal das cargas de transporte do ano de 2015.

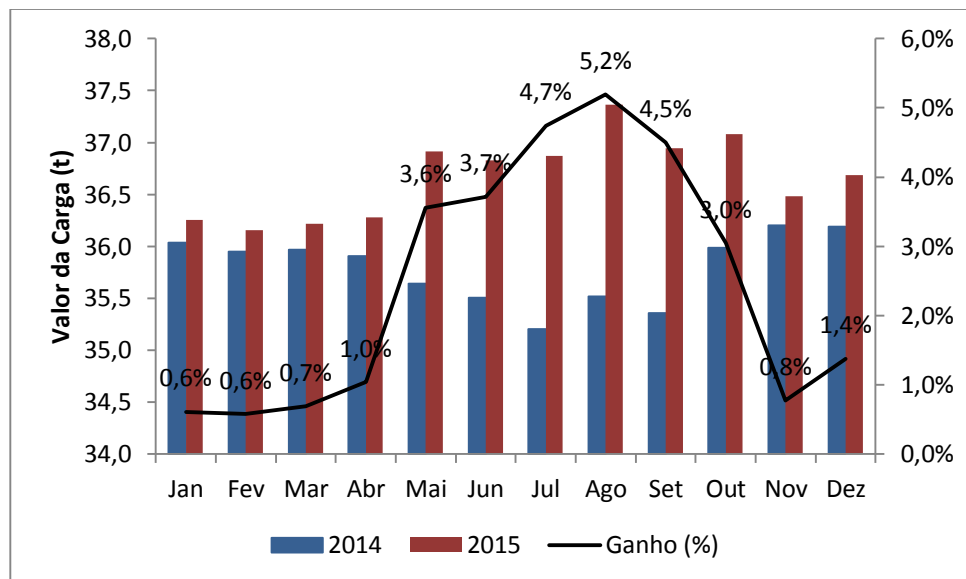


Com estes dados podemos dizer que após a aplicação da rotina de padronização de carga reduzimos em 73,04% a diferença entre a média de transporte em relação ao

estabelecido como ideal, já que em 2014 esta diferença era de 3,28% e em 2015 fechamos em 0,88%.

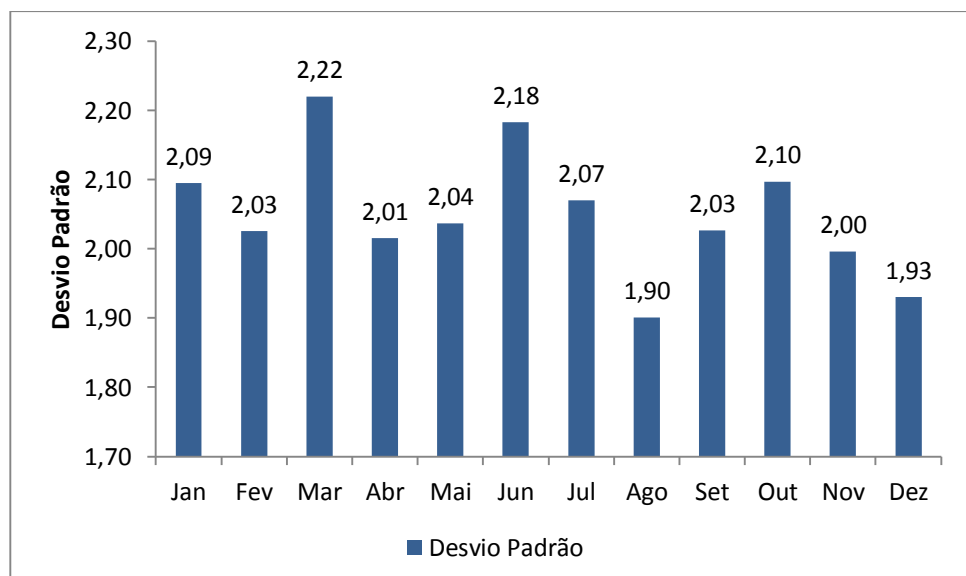
Em todos os meses do ano de 2015 foi constatado ganho no valor de carga média quando comparado com o ano de 2014, conforme pode ser confirmado na figura 7.6.

Figura 7.6 – Diferença entre a média mensal de cargas de 2014 e 2015.



Em análise aos dados de dispersão absoluta, foi calculado que em 2015 tivemos um desvio padrão de 2,07. O mês que registrou o maior desvio padrão foi o mês de março com 2,22 (figura 6.7).

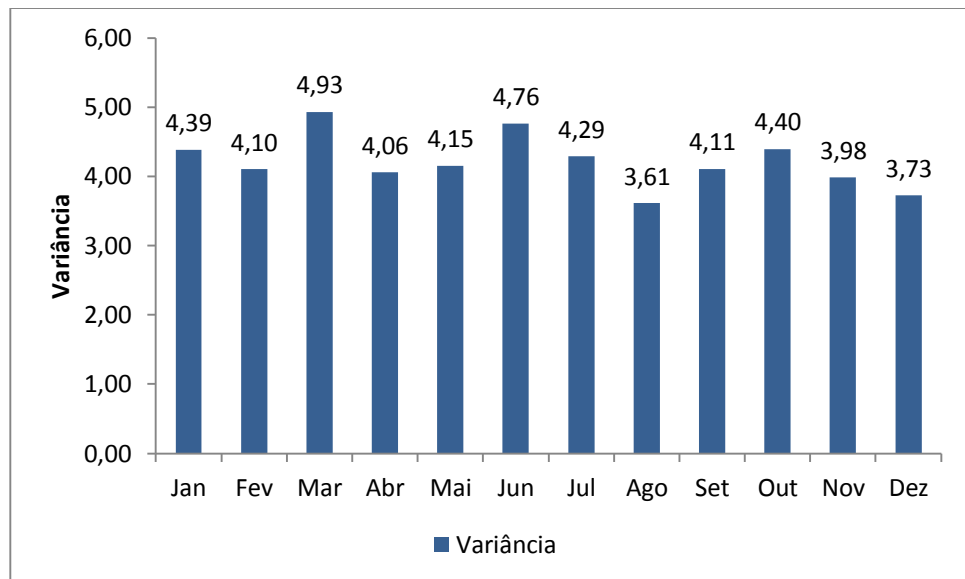
Figura 7.7 – Desvio padrão mensal das pesagens da carga de transporte de 2015.



Quando comparado com o ano de 2014, reduzimos o desvio padrão em 4,6%, já que em 2014 foi registrado um valor de 2,17 de desvio padrão.

Outra redução constatada no ano de 2015 frente a 2014 foi o valor da variância dos dados. Em 2015 tivemos uma variância dos dados de 4,29 enquanto em 2014 tivemos 4,72, ou seja, uma redução de 9,11%. A figura 7.8 apresenta a distribuição da variância por mês.

Figura 7.8 – Variância mensal das pesagens da carga de transporte de 2015.

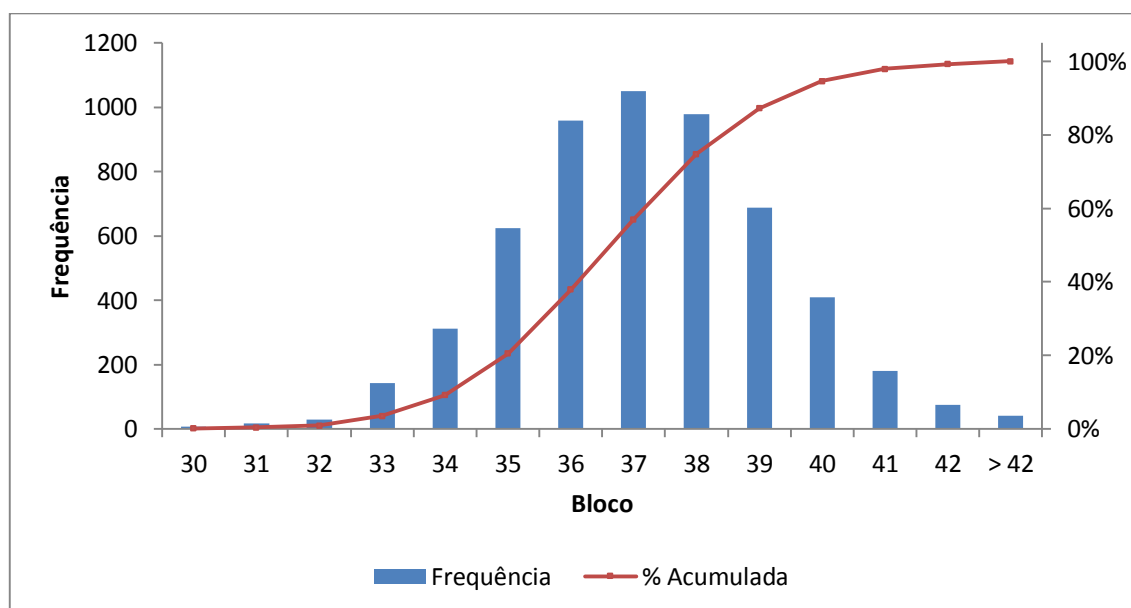


Os dados de pesagens do ano de 2015 (tabela 7.4) foram distribuídos em um histograma (figura 7.9) afim de se visualizar o comportamento dos mesmos, onde se obteve:

Tabela 7.4 - Frequência de distribuição dos dados de pesagens do ano de 2015.

<i>Peso da carga</i>	<i>Frequência</i>	<i>% Acumulativo</i>
30	6	0,11%
31	17	0,42%
32	29	0,94%
33	143	3,54%
34	311	9,19%
35	624	20,52%
36	958	37,91%
37	1051	56,99%
38	978	74,75%
39	687	87,22%
40	410	94,66%
41	180	97,93%
42	74	99,27%
Maior que 42	40	100,00%

Figura 7.9 – Histograma das cargas de transporte de 2015.

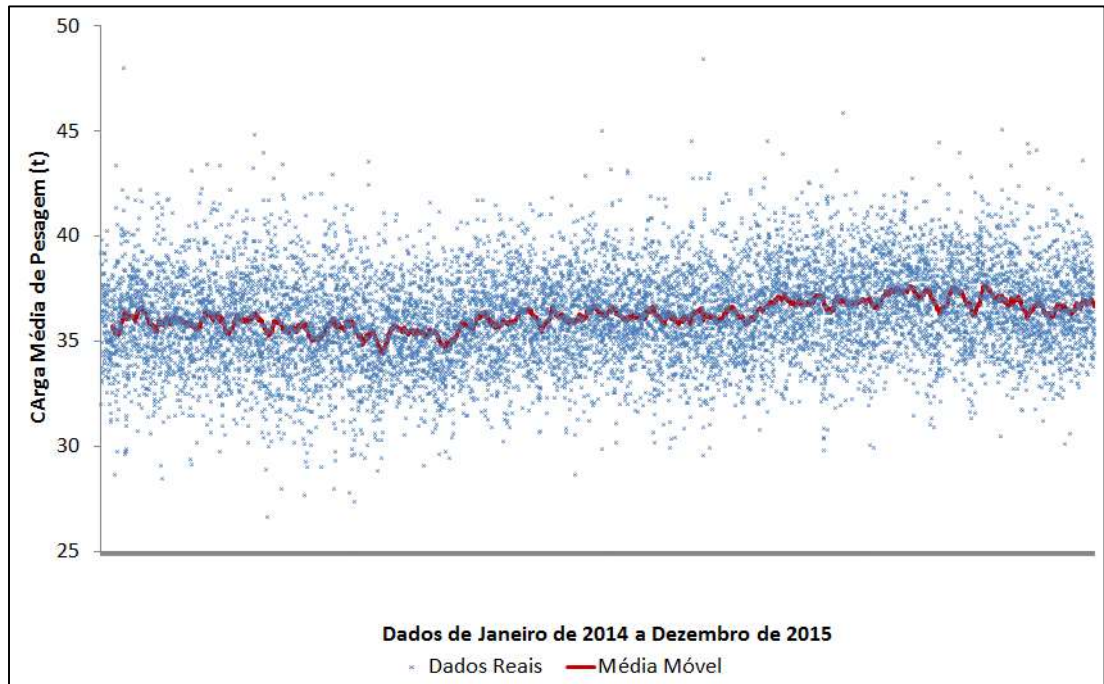


Em análise ao histograma calcula-se que 36,84% das cargas pesadas estavam entre 36 e 38 toneladas, 5,28% maior que o registrado no ano de 2014 (31,26%), um aumento de 17,86%. Além da captura deste ganho, o número de registros de cargas com 30 toneladas, ou menos, caiu de 37 registros em 2014 para um total de 6 registros no ano de 2015, uma redução de 83,78% no total de registros.

A análise da dispersão e da média móvel dos dados de pesagem dos anos de 2014 e 2015 permite verificar a alteração de patamar da média de pesagem que ocorreu com a

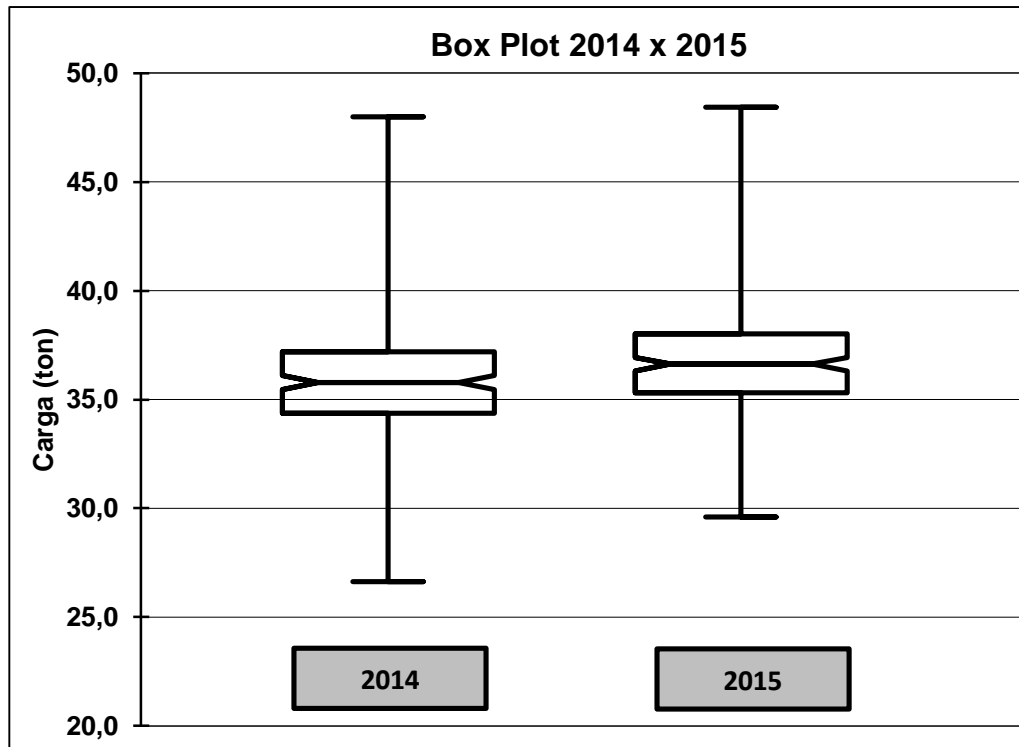
aplicação da metodologia de padronização da carga de transporte de minério, conforme a figura 7.10.

Figura 7.10 – Evolução do patamar da média de pesagens de 2014 a 2015.



A partir dos dados de pesagens foi construído um box plot comparando-se os dados de 2014 e 2015, apresentado na figura 7.11.

Figura 7.11 – Box Plot 2014 x 2015.



Neste gráfico é possível notar que no ano de 2015 tivemos uma elevação da mediana em relação a 2014, ou seja, fica visível que o objetivo de se estabilizar a carga média foi alcançado. Nota-se, ainda, que a carga mínima registrada em 2015 foi bem superior a carga mínima registrada no ano anterior, em contrapartida o valor da carga máxima manteve-se no mesmo patamar em ambos os anos analisados.

8 CONCLUSÃO

A busca por redução de custos e incremento de produtividade através de melhorias operacionais deve ser uma prática rotineira para todo e qualquer empreendimento que busca ser competitivo e sustentável financeiramente.

O estreitamento operacional entre as equipes de trabalho foi um fator preponderante para o sucesso da aplicação da padronização da carga de transporte de minério, pois a atuação imediata em campo é o ponto chave para se manter o equilíbrio e estabilidade do processo.

A aplicação da padronização da carga de transporte de minério apresentou bons resultados entre os anos de 2014 e 2015. Os resultados obtidos com esta melhoria operacional representaram uma melhoria de 2,47% no valor da carga média transportada no ano de 2015 quando comparado ao ano de 2014, além de uma redução perceptível na variabilidade e desvio padrão dos dados levantados e analisados.

Este incremento de carga impacta diretamente na produtividade da etapa de transporte de minério, a ponto de se executar a mesma quantidade de minério reduzindo-se o total de viagens necessárias, ou seja, caso seja necessário um total de 200.000 viagens para executar o plano de produção, com o incremento da carga esse número passa para 195.052, reduzindo 4.948 viagens.

Esse ganho em produtividade impacta diretamente no consumo de diesel, pois com o aumento de produtividade na etapa de transporte tem-se, conseqüentemente, uma redução do consumo específico de diesel (l/t), uma vez que transporta-se mais minério em uma viagem da mina até a planta de britagem.

O consumo de diesel na etapa de transporte de minério representa cerca de 17% do consumo total de diesel das operações unitárias de lavra, e a padronização da carga possibilitou a otimização do consumo nesta etapa em 2,53% no ano de 2015. Essa otimização do consumo de diesel reflete diretamente em redução de custo operacional.

Por fim, conclui-se que o trabalho de padronização da carga de transporte atingiu o resultado esperado já que após a aplicação da metodologia constatou-se um incremento da carga média de transporte e redução da variabilidade e desvio padrão das cargas, o que permitiu, além da melhoria operacional, redução de custos.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, M. **Modelos matemáticos e heurísticas para auxílio ao planejamento de operações de lavra em minas a céu aberto**. 2008. 108f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- BAŞÇETIN, A.; ÖZTAŞ, O.; KANLI, A. İ. **A new development software for equipment selection in mining engineering**. South-African Institute of Mining and Metallurgy, 6 p., 2006.
- BORGES, T. C. **Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2013.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. São Paulo: Atual Editora, 1988.
- CATERPILLAR. **Manual de Produção**. 36ª edição, Caterpillar inc. USA, 2004.
- CENSO DEMOGRÁFICO 2010. **Resultados Gerais da Amostra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- COSTA, R. R. **Projeto de mineração**. 1. ed. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 1979. v. 1 e 2.
- HUSTRULID, W.; KUCHTA, M. **Open pit mine planning & design**. Porto Alegre: Irradiação Sul Ltda., 1995. 636 p. (v. 1, Fundamentals).
- KUNRAL, M.; DOWD, P. A. A simulated annealing approach to mine production scheduling. **Journal of Operational Research Society**, v. 56, p. 922-930, 2005.
- LOPES, J. R. **Viabilização técnica e econômica da lavra contínua de minério de ferro com o uso de sistema de britagem móvel “in pit” auto-propelido**. 2010. 105f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
- MACEDO, A. J. B. ; BAZANTE, A. J.; BONATES, E. J. L. . **Seleção do método de lavra: arte e ciência**. Rem, Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 54, n. 3. 2001
- MILONE, G. **Estatística: geral e aplicada**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- PINTO, L. R.; MERSCHMANN, L. H. C. Planejamento operacional de mina usando modelos matemáticos. **Revista Escola de Minas**, v. 54, n.3, 211-214, 2001.
- QUEVEDO, J. M. G. **Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.

RAMAZAN, S. **The new fundamental tree algorithm for production scheduling of open pit mines**. European Journal of Operational Research, v. 177, p. 1153-1166, 2007.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rocha**. 3. ed. São Paulo. Editora Pini, 2007. 643 p.

SCHAFRANSKI, L. E. **Jogos de gestão da produção: desenvolvimento e validação**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2002. 195f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia da Produção e Sistemas, Belo Horizonte, MG, 2002.

SHIGUTI, W.A. ; SHIGUTI, V.S.C. **Apostila de estatística**. Brasília, DF, 2006.

SILVA, V. C. **Carregamento e transporte de rochas**. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

SRAJER, V.; STUART, N.J.; KOLADA, R; SZYMANSKI, J. "**Selection of hauling equipment: user practices**", application of computers and operations research in the mineral industry (APCOM). Colorado, USA: Published by AIME, Littleton, 1989. p. 638-645.

SOBRINHO, C.R. **Código da região Coligada**. São Paulo. Totvs, 2016. Disponível em: <<http://www.totvs.com>>. Acessado em: 11/12/2016.

SWANEPOEL, W. **The influence of bench height and equipment selection on effective mineral resource utilization**. 2003. 137 f. Dissertation (Master) - Mining Engineering, University of Pretoria, 2003.

ZIMMERMANN, E.; KRUSE, W. **Mobile crushing and conveying in quarries – a change for better and cheap production**. Alemanha, 2006. 7p.