



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Hyrck Raphael da Silva Neto

OTIMIZAÇÃO DA BLENDAGEM DE CALCÁRIO DA VOTORANTIM CIMENTOS EM XAMBIOÁ-TO

Palmas - TO

2013

Hyrck Raphael da Silva Neto

**OTIMIZAÇÃO DA BLENDAGEM DE CALCÁRIO DA VOTORANTIM
CIMENTOS EM XAMBIOÁ-TO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues.

Palmas - TO

2013

Hyrck Raphael da Silva Neto

**OTIMIZAÇÃO DA BLENDAGEM DE CALCÁRIO DA VOTORANTIM
CIMENTOS EM XAMBIOÁ-TO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. e Orientador M.Sc. Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues.
CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Prof. Esp. José Cleuton Batista
CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Prof. M.Sc. Daniel Francisco Padilha Setti
CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Palmas - TO

2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por ter me dado sabedoria, paciência, humildade e honestidade.

À minha Mãe, meu maior exemplo, pelo amor e carinho que tem por mim, pela preocupação que eu estivesse sempre andando pelo caminho correto, pelas orações em meu favor e pelos valores e princípios a mim transmitidos.

Ao meu irmão e minhas irmãs que sempre me deram apoio. São minhas referências em companheirismo e amizade e são meus motivos para tamanha felicidade.

Aos professores do Curso de Engenharia de Minas do CEULP/ULBRA, pelos ensinamentos, empatia e motivação que me transmitiram no decorrer do mesmo, especialmente ao meu orientador Rodrigo Meireles. Terei sempre a humildade de reconhecer o quanto foram e serão importantes em minha vitória profissional.

À VOTORANTIM CIMENTOS pelos dias que tive a oportunidade de enriquecer meus conhecimentos e desenvolver profissionalmente.

Ao Hiezus Mateo de Oliveira, pelo conhecimento, apoio, dedicação e paciência. Mais que um Supervisor, um parceiro, um amigo para vida. Ajudou-me compreender e aprender a desenvolver uma mina, extrair minério e recuperar área de forma planejada. Incentivou e motivou-me, de forma humilde, a aperfeiçoar e desenvolver conhecimentos no ramo de Planejamento de Mina. Portanto, só tenho a agradecer.

À Família Folha Queiroz, especialmente ao Igor Folha, Júlia Folha e Lucas Folha, por me motivarem nas horas solitárias.

A todos que, mesmo não estando citados aqui, contribuíram para a conclusão desta etapa.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

SILVA NETO. Hyrck Raphael da. **Otimização da blendagem de calcário da Votorantim Cimentos em Xambioá-TO**. 2013. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Minas, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2013.

Oferecer parâmetros aos gestores, supervisores e técnicos da Mina do Zuza na Votorantim Cimentos para tomarem decisões referentes à blendagem entre duas frentes de lavra com características mineralógicas diferentes, de modo que não tenha um teor médio da blendagem maior que o teor da meta, é o propósito deste trabalho. O objetivo é criar uma técnica que otimize a blendagem e demonstre sua viabilidade, auxiliando a equipe de planejamento de lavra. Foram realizadas visitas ao local para observar a necessidade, o ritmo dos trabalhos e as exigências do controle da qualidade. A pesquisa bibliográfica abordando blendagem, otimização, homogeneização e planejamento foi imprescindível para alcançar os objetivos. A blendagem é uma técnica comum em minas que operam com diversas frentes de lavra simultâneas (MORAES, 2006). Além de ampliar a base de reserva mineral e garantir um máximo aproveitamento do material desmontado, a blendagem satisfaz as exigências de qualidade e quantidade de um cliente. Portanto, foi criada uma Planilha de Otimização, onde, a partir de valores de volumes e teores inseridos, obtém-se um resultado do teor médio da blendagem, indicando viabilidade ou inviabilidade. Para determinar o ritmo de carregamento do material desmontado, já que as frentes têm volumes diferentes, a Planilha de Otimização fornece a relação de carregamento, garantindo um ritmo de transporte ideal. Caso a blendagem seja inviável com os valores inseridos, isto é, o teor de Óxido de Magnésio do minério blendado estiver acima do teor máximo permitido pelo Controle da Qualidade, há duas opções para viabilizar a blendagem. Através de um questionário respondido pelo gestor da Empresa, conclui-se que a Planilha de Otimização da Blendagem é aplicável, apresentando resultados rápidos, precisos, confiáveis e sem custo operacional, é flexível quanto a alteração do teor máximo de MgO e obedece as metas do controle da qualidade.

Palavras-chave: Blendagem. Viabilidade. Planilha de Otimização.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mina do Zuza.....	17
Figura 2: Pátio de pré-homogeneização.....	17
Figura 3: Moagem de Farinha.....	18
Figura 4: Torre de Ciclone.....	18
Figura 5: Forno rotativo.....	19
Figura 6: Moinho de cimento.....	19
Figura 7: Silo de Cimento.....	20
Figura 8: Ensacadora.....	20
Figura 9: Vantagens da utilização das pilhas de homogeneização como unidade armazenadora.....	25
Figura 10: Tipos de Planejamento.....	26
Figura 11: Perfil geológico de uma seção.....	28
Figura 12: Perfil geológico de uma seção.....	31
Figura 13: Imagem do software Datamine Studio 3®.....	33
Figura 14: Imagem da Planilha de Otimização em formato .xls.....	37
Figura 15: Simulação de uma blendagem viável.....	38
Figura 16: Simulação de uma blendagem inviável.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de Cimento Portland	21
Quadro 2: Dados da Mina do Zuza.....	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
1.1 Calcário	13
1.2 Cimento	13
1.2.1 História do cimento Portland	14
1.2.2 Aplicações do Cimento Portland	14
1.2.3 Processos de fabricação do cimento Portland	14
1.2.4 Tipos de Cimento Portland	18
1.3 Otimização	20
1.4 Blendagem	20
1.5 Variabilidade das características do minério	21
1.6 Estratégias de homogeneização	21
1.7 Planejamento	24
1.8 Planejamento estratégico de lavra	25
1.9 Mina do Zuza	25
1.9.1 Geologia Geral	25
1.9.2 Geologia Local	26
3. METODOLOGIA	27
1.10 Tipos de Pesquisas	27
1.10.1 Pesquisa qualitativa	27
1.10.2 Pesquisa Descritiva	28
1.10.3 Pesquisa Exploratória	28
1.11 Objeto de Estudo	28
1.11.1 Xambioá-TO	28
1.11.2 VOTORANTIM CIMENTOS	29
1.12 Procedimentos	32
1.13 Microsoft Excel	33
1.14 Datamine	33
1.15 Técnica de Otimização	34
1.15.1 Desafio do Planejamento de Lavra	34
1.15.2 Planilha de Otimização da Blendagem	35
4. ANÁLISE DOS DADOS	40

1.16	Entrevista com o Gestor	40
1.17	Frequência das blendagens das frentes	40
1.18	Controle do teor máximo de MgO	40
1.19	Aplicabilidade da Planilha de Otimização	40
1.20	Rapidez, precisão e confiabilidade da Planilha de Otimização	41
1.21	Flexibilidade da Planilha quanto à mudança de teor da meta	41
1.22	Relação de carregamento e planejamento das operações mineiras	41
1.23	Eficiência das opções para viabilizar a blendagem	41
1.24	Considerações sobre a Planilha de Otimização	41
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
6.	REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

No cenário atual, para que as empresas consigam atingir a vantagem competitiva, o mercado exige que as mesmas gerenciem de forma eficiente e eficaz as prioridades necessárias para atingir a satisfação do cliente referente ao custo, preço, qualidade, flexibilidade e agilidade. (PAIVA; TEIXEIRA, 2008).

As etapas estratégicas, táticas e operacionais em um empreendimento mineiro são realizadas por uma equipe de planejamento que define os planos necessários para atingir os objetivos da empresa (CORRÊA; CORRÊA, 2006). Para obter um produto com as características estabelecidas pelo Controle de Qualidade é necessário que a extração do Calcário obedeça aos planejamentos de longo, médio e curto prazo. O planejamento de lavra da VOTORANTIM CIMENTOS visa garantir que o *Run of mine* (minério bruto, obtido diretamente da mina, sem sofrer qualquer tipo de beneficiamento) que alimenta a britagem primária esteja com o teor de óxido de magnésio constante e abaixo do limite máximo.

O processo de homogeneização dos minérios de duas frentes de lavra, chamado de blendagem, para obter uma média do teor de óxido de magnésio abaixo da meta e constante é realizado sempre quando há necessidade de ajustar o teor do material que alimentará a fábrica. (ABICHEQUER, 2010).

Diante dessa consideração, o objetivo geral do trabalho que é criar uma técnica de otimização que demonstre a viabilidade ou inviabilidade da blendagem entre frentes de lavra que auxiliará o planejamento de lavra em curto foi atendido e colocado em prática, garantindo que as decisões tomadas resultem em um calcário com teores exigidos pelo controle da qualidade, proporcionando uma matéria prima ideal para o Cimento Portland.

A criação da técnica de otimização trará benefícios para a VOTORANTIM CIMENTOS, uma vez que garante um *Run of Mine* adequado ao processo produtivo, possibilita aumentar a vida útil da mina e determina a proporcionalidade do carregamento e transporte. Beneficiará a sociedade, pois os recursos minerais serão explorados de forma mais sustentável evitando uma lavra ambiciosa e possibilitando aumentar a produção do empreendimento, gerando mais impostos que serão revertidos à população.

A utilização da técnica de otimização possibilitará manter constante o teor do minério que alimenta a britagem e obter resultados mais rápidos, confiáveis e

precisos. Permitirá, também, aos gestores, supervisores e técnicos da empresa, tomar decisões a respeito da blendagem das frentes de lavra sem custo operacional, alinhando a lavra com a produção e garantindo um produto final com os padrões de qualidade exigido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Calcário

Conforme Machado et al. (2013), O calcário deriva do termo latino “calcarium” e significa “o que contém cal”.

O calcário é uma rocha sedimentar proveniente de material precipitado por agentes químicos e orgânicos. A origem do cálcio, principal elemento químico presente no calcário, está relacionada às atividades de erosão e corrosão, quando as rochas são desintegradas e o cálcio em solução é conduzido para o mar por meio da drenagem das águas. Após atingir o oceano, parte do carbonato de cálcio dissolvido precipita-se, em decorrência da sua baixa solubilidade na água marinha. A evaporação e as variações de temperatura podem reduzir o teor de dióxido de carbono contido na água, causando a precipitação do carbonato de cálcio em consequência das condições de saturação. O carbonato de cálcio depositado, segundo esse procedimento, origina um calcário de alta pureza química (LUZ; LINS, 2008).

Luz e Lins (2008) acreditam que os calcários dolomíticos foram formados pela substituição, no próprio calcário calcítico, do cálcio pelo magnésio oriundo de águas com elevado teor de sais de magnésio.

Machado et al. (2013) afirmam que,

Calcários são rochas formadas a partir do mineral calcita, cuja composição química é o carbonato de cálcio. A procedência do carbonato pode variar, desde fósseis de carapaças e esqueletos calcários de organismos vivos, que compõem os calcários fossilíferos, até por precipitação química.

Luz e Lins (2008) alertam que as impurezas dos calcários variam muito em tipo e quantidade, e devem ser analisadas, sob o aspecto econômico, para verificar se elas afetam a utilidade da rocha. Tais impurezas podem ser fatores limitantes ao aproveitamento econômico dos calcários, essencialmente, quando utilizados para fins nobres.

1.2 Cimento

1.2.1 História do cimento Portland

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland, a palavra CIMENTO é originada do latim CAEMENTU, que significa uma espécie de pedra natural de rochedos não esquadrejada. Definido como

(...) um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra. Graças a essas características, o concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água.

Em 1756 o inglês John Smeaton desenvolveu um cimento de alta resistência por meios de calcinação de calcários moles e argilosos. Joseph Aspdin em 1824 queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino, que, após misturar e secar, tornavam-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções. Portanto, a mistura, que não se dissolvia em água, foi patenteada com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2009).

1.2.2 Aplicações do Cimento Portland

O cimento Portland é uma das substâncias mais consumidas pelo homem e devido às características que lhe são peculiares: trabalhabilidade, moldabilidade (estado fresco) e alta durabilidade e resistência a cargas e ao fogo (estado duro). Insubstituível em obras civis, o cimento pode ser empregado tanto em peças de mobiliário urbano como em grandes barragens, em estradas ou edificações, em pontes, tubos de concreto ou telhados. Utilizado até como matéria-prima para a arte (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2009).

1.2.3 Processos de fabricação do cimento Portland

O processo de fabricação do cimento na VOTORANTIM CIMENTOS começa com a exploração do calcário, principal matéria-prima do cimento. O material é extraído da mina do Zuza e armazenado no pátio de pré-homogeneização. Nesta fase são recolhidas amostras para serem analisadas no Laboratório de Qualidade.



Figura 1: Mina do Zuza da Unidade de Xambioá
Fonte: Arquivo pessoal, 2013.



Figura 2: Pátio de pré-homogeneização da Unidade de Xambioá
Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

No moinho de farinha ou cru, o calcário é moído com argila e aditivos específicos (tais como minérios ferrosos, alumínicos ou materiais substitutos co-processados). A argila é um produto rico em sílica, ferro e alumínio, elementos essenciais para a qualidade do cimento. O produto final é formado por grãos muito finos, daí o nome farinha ou cru. Um filtro instalado no moinho evita que haja a emissão de pó para a atmosfera. A farinha é estocada em silos especiais até ser enviada ao forno rotativo.



Figura 3: Moagem de Farinha da Unidade de Xambioá
Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Antes de ser inserida no forno rotativo, a farinha passa pela torre de ciclone para que seja aquecida através dos gases quentes originados pelo forno, que se encontra logo abaixo. Quando a farinha chega ao forno rotativo, já está com temperatura em torno de 900°C , ajudando a reduzir o consumo de energia. No interior do forno a temperatura chega a 1.450°C , produzindo o clínquer.



Figura 4: Torre de Ciclone da Unidade de Xambioá
Fonte: Arquivo pessoal, 2013.



Figura 5: Forno rotativo da Unidade de Xambioá
Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Para finalizar o processo de produção do clínquer, o material é resfriado no resfriador e a temperatura é reduzida para menos de 200°C. Um filtro está instalado na saída do equipamento, liberando o ar de resfriamento para a atmosfera sem poluentes. Uma nova coleta de amostras é realizada para os ensaios físicos do Laboratório de Controle de Qualidade. O clínquer é transportado para as moegas, onde ficam armazenadas as outras matérias-primas que compõem o cimento: gesso, calcário e pozolana ou escória. Dependendo da porcentagem de cada produto, obtém-se uma especificação de cimento.



Figura 6: Moinho de cimento da Unidade de Xambioá
Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

A mistura segue para o moinho de cimento, onde todos os componentes são moídos até atingirem a granulometria ideal, resultando em cimento de alta qualidade.

Após sua moagem, o cimento é estocado em silos até ser ensacado e comercializado (VOTORANTIM CIMENTOS, 2013).



Figura 7: Silo de Cimento da Unidade de Xambioá
Fonte: VOTORANTIM CIMENTOS, 2013.



Figura 8: Ensacadora da Unidade de Xambioá
Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

1.2.4 Tipos de Cimento Portland

A Votorantim Cimentos possui a maior linha de cimentos do mercado. Há sempre um produto para atender necessidades específicas em obras de qualquer porte. Abaixo estão listados os tipos de cimentos comercializados pela Votorantim Cimentos.

Quadro 1: Tipos de Cimentos Portland

Tipos de Cimento	Descrição
<i>CP II-E-32</i>	Ideal para utilização em estruturas de concreto armado, pavimento de concreto, argamassa de chapisco, assentamento de blocos, revestimento, pisos e contra pisos, groutes, concreto protendido, pré-moldados e artefatos de concreto (blocos, pavers, tubos, telhas, vasos e outros).
<i>CP II-E-32 RS</i>	Para aplicações que necessitem de moderadas resistências à compressão nas primeiras idades e que estejam expostas a ataques químicos do meio ambiente. Indicado para fabricação de artefatos de cimento, blocos de concreto, concreto protendido, estruturas de concreto, fundações, galerias subterrâneas, lajes, pisos intertravados, pisos industriais e pré-moldados de porte.
<i>CP II-F-32</i>	Adequado para utilização em estruturas de concreto armado, protendido, pré-moldados e na fabricação de artefatos, como blocos, telhas e vasos, entre outros. Indicado ainda para utilização em fibrocimento, argamassas de chapisco, assentamento de blocos e revestimentos, pisos, contra pisos e groutes.
<i>CP II-Z-32</i>	Para obras sujeitas a meios agressivos, ambientes úmidos e obras marítimas. Recomendado para concreto simples, armado ou usinado, estruturas de concreto em geral, fundações, estacas, galerias subterrâneas, argamassas de assentamento e revestimento, concreto magro para passeio e revestimento.
<i>CP II-Z-32 RS</i>	Para obras em contato com meios agressivos, especialmente ataques de sulfatos e aplicações que necessitem de moderadas resistências à compressão nas primeiras idades. Indicado para estruturas de concreto em geral, concreto usinado e compactado a rolo (CCR), fundações, estacas, galerias subterrâneas, pisos industriais, outras estruturas de concreto e pavimentos.
<i>CP III-32 RS</i>	Para obras em contato com meios agressivos, especialmente aos ataques de sulfatos e aplicações que necessitem de moderadas resistências à compressão nas primeiras idades. Para obras de concreto, grandes blocos de concreto, obras em ambiente marinho, obras de saneamento, barragens, pontes, portos e pavimento de concreto.
<i>CP III-40 RS</i>	Para obras em contato com meios agressivos, especialmente ataques de sulfatos e aplicações que necessitem de elevada resistência final. Indicado para concretos de obras em pontes, barragens, pavimentos, saneamento, concreto massa, concreto armado, calçadas, para o preparo de argamassas de revestimento, como chapisco e emboço, assentamento e contra pisos.
<i>CP IV-32</i>	Para obras correntes e especiais. Ideal para argamassas e concretos utilizados na construção de obras especiais, como edifícios, pontes, rodovias e concreto em regiões litorâneas. Protege sua obra de agentes agressivos do meio ambiente.
<i>CP IV-32 RS</i>	Para grandes obras, de concreto-massa, pavimentos, grandes blocos e em ambiente marinho e de saneamento. Aumenta a durabilidade das estruturas de concreto em contato com ambientes agressivos, sujeitos a ataque de sulfatos, esgotos, água do mar, etc. Aumenta a vida útil da obra e minimiza gasto com manutenção a curto e médio prazo. Ideal para saneamento de portos, barragens e estruturas de concreto.
<i>CP IV-32 RS RRAA</i>	Para maior resistência em ambientes úmidos e idades avançadas. Para fundações, em ambientes agressivos e solos úmidos. Ideal para meios agressivos: esgotos, solos sulfatados, obras marinhas e barragens. Inibidor da reação álcali-agregado. Resistente a sulfatos. Baixo calor durante a

	hidratação. Tem melhor cura, sem fissuras, resultando em excelente acabamento. Mais fácil de trabalhar com argamassa e concreto. Maior impermeabilidade e proteção para a ferragem.
<i>CP V-ARI</i>	Alta resistência inicial para situações de desforma rápida. É um cimento de alta resistência inicial, indicado para situações em que se necessita de desforma rápida. Usado em artefatos de concreto.
<i>CP V-ARI RS</i>	Alta resistência para situações de desforma rápida e resistência a ambientes agressivos, especialmente ao ataque por sulfatos. É um cimento de alta resistência inicial. Indicado para situações em que se necessita de desforma rápida e resistência a agentes agressivos do meio ambiente, especialmente ao ataque por sulfatos. Usado em artefatos de concreto.

Fonte: VOTORANTIM CIMENTOS, 2013.

1.3 Otimização

Otimização é um termo que pode ser usado em geral para ter em vista um processo no qual algo é feito como efetivo, perfeito ou útil quando possível (WHITTLE, 2006).

No ramo matemático significa encontrar o valor ótimo de uma função, frequentemente sujeito a restrições, onde o custo deverá ser minimizado e o lucro maximizado (WHITTLE, 2006).

O método utilizado para otimizar um processo depende das características do problema e da função objetivo que o representa (ALBUQUERQUE; GOUVÊA; SERPA, 2005).

Conforme Moreira (2003),

O objetivo da otimização é encontrar um conjunto de variáveis de decisão que geram um valor ótimo para a função objetivo, valor máximo ou valor mínimo, dependendo do problema, satisfazendo um conjunto de restrições impostas pelo modelo.

Em um empreendimento mineiro, otimizar é simplificar um processo para funcionar de forma mais rápida e eficiente, reduzindo o tempo das operações, maximizando o valor presente líquido, ou seja, tender a alcançar uma solução ótima de um problema considerando as restrições.

1.4 Blendagem

Moraes et al. (2006) enfatiza que,

Um problema muito comum em minas a céu aberto que operam com diversas frentes de lavra simultâneas é determinar o ritmo de lavra de cada frente para que uma blendagem ou mistura de minérios seja feita de maneira a satisfazer as exigências de qualidade e quantidade de um cliente, já que cada frente de minério possui características químicas, físicas e granulométricas diferentes.

O objetivo do problema de blendagem em mineração é manter o teor do minério em um nível quase constante obedecendo à meta do controle da qualidade (GERSHON, 1982 *apud* PINTO, 2007).

Chanda e Dagdelen (1995) *apud* Pinto (2007) afirmam ainda que, uma blendagem de minério apropriada pode ampliar a base de reserva, na medida em que o minério abaixo do teor de corte não é considerado estéril, mas pode ser utilizado e misturado com material de alto teor. Pode ser entendida como um processo sistemático e metódico que deve ser praticado em minas com alto grau de variabilidade do teor como forma de manter a qualidade do produto final, tornando-se um aspecto imprescindível no planejamento de mina.

1.5 Variabilidade das características do minério

De acordo com Gambin (2003), a variabilidade mineralógica do minério *in situ* está relacionada às condições de formação do depósito mineral. Fato que justifica a necessidade de técnicas matemáticas que descrevam uma variável que assume valores distintos em lugares diferentes no espaço, pois são fenômenos naturais (PERONI, 1998). A heterogeneidade pode ser encontrada durante a preparação, formação do minério, métodos de carregamento e transporte.

Schofield (1980) *apud* Abichequer (2010) diz que quando as amostras em que o limite de variabilidade para determinados parâmetros definido como aceitável é ultrapassado, caracteriza-se um material heterogêneo.

1.6 Estratégias de homogeneização

Abichequer (2010) e Gambin (2003) afirmam que os procedimentos e técnicas de homogeneização ocorrem em três principais áreas: Lavra, Pilha de Homogeneização e Beneficiamento.

Gambin (2003) enfatiza que em uma jazida onde há um alto grau na variabilidade de teores é imprescindível o conhecimento detalhado da qualidade do minério *in situ* em qualquer ponto do depósito com certo nível de confiança.

Abichequer (2010) diz que as informações geológicas do depósito são importantes para classificar os materiais como estéril ou minério, e afirma:

O conhecimento geológico e geotécnico da jazida é fundamental para a adequada extração de qualquer bem mineral. É indispensável saber sobre as dimensões do depósito, a distribuição dos teores e a incerteza associada à estimativa dos mesmos, principalmente quando a distribuição espacial dos teores do minério em questão for bastante variável.

As técnicas geoestatísticas são uma forma de fornecer informações essenciais para o controle da variabilidade do minério a ser carregado, propiciando um trabalho contínuo de planejamento de lavra e fornecimento de ROM (Run of Mine) com teor constante, porém, o material apresentará algumas variações em algum padrão de qualidade (GAMBIN, 2003).

As pilhas de homogeneização são técnicas muito utilizadas para reduzir a variabilidade do minério proveniente da lavra e manter o teor constante, além de servirem como pátio de armazenamento (ABICHEQUER, 2010).

Schofield (1980) *apud* Abichequer (2010) descreve algumas vantagens da utilização das pilhas de homogeneização como unidade armazenadora, conforme a figura abaixo.

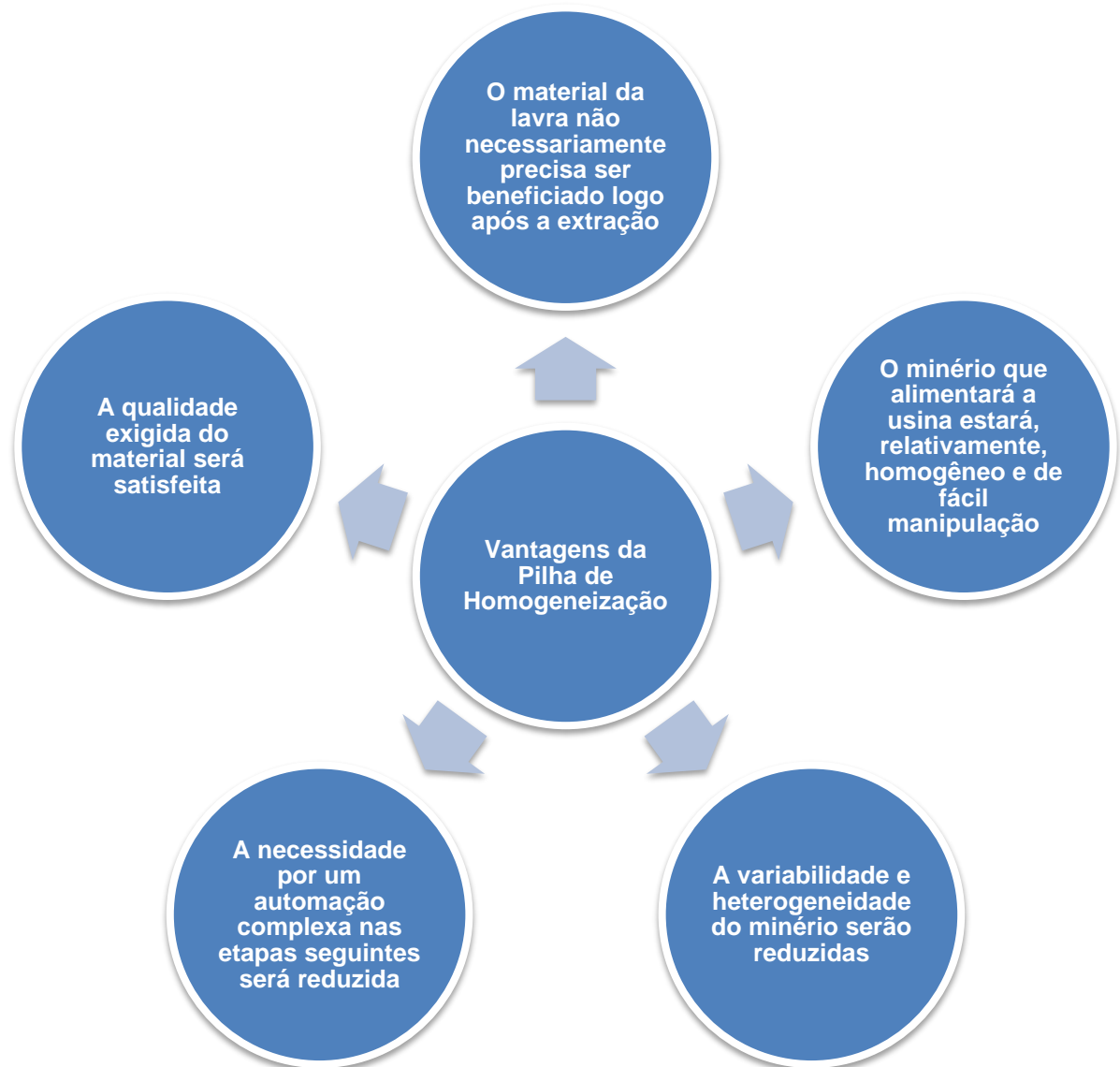


Figura 9: Vantagens da utilização das pilhas de homogeneização como unidade armazenadora
Fonte: Adaptado de Schofield (1980) *apud* Abichequer (2010).

Em se tratando das dimensões da pilha, esta se relaciona com a variabilidade natural do depósito, com a variabilidade exigida para certo sequenciamento de lavra e a variabilidade máxima estabelecida no contrato comercial (GAMBIN, 2003).

Já Ferreira, Chave e Delboni (1992) *apud* Gambin (2003) dizem que as dimensões das pilhas devem ser consideradas a partir de dois aspectos:

- Econômicos, pois o custo de armazenamento e o custo das correias transportadoras são diretamente proporcionais à largura da pilha e ao comprimento, respectivamente;

- Processual, já que a redução do desvio padrão está relacionada à geometria da pilha e às características do material.

1.7 Planejamento

Segundo Chiavenato (2002), o planejamento é a primeira função administrativa, pois serve de base para as demais funções e descreve os planos necessários para atingir os objetivos determinados antecipadamente.

Cláudio Tomanini (2010) conceitua planejamento como:

Planejar é estabelecer uma linha mestra, uma diretriz, visando reduzir incertezas e riscos no caminho rumo ao êxito. O planejamento permite o desenvolvimento de ações e atitudes dentro das organizações capazes de produzir um roteiro preciso do que deve ser feito para alcançar os objetivos almejados. Sem isso, corremos o risco de sair do foco de nossos negócios, comprometendo a organização inteira.

De acordo com Corrêa e Corrêa (2006), o planejamento se divide em três níveis: estratégico, tático e operacional.

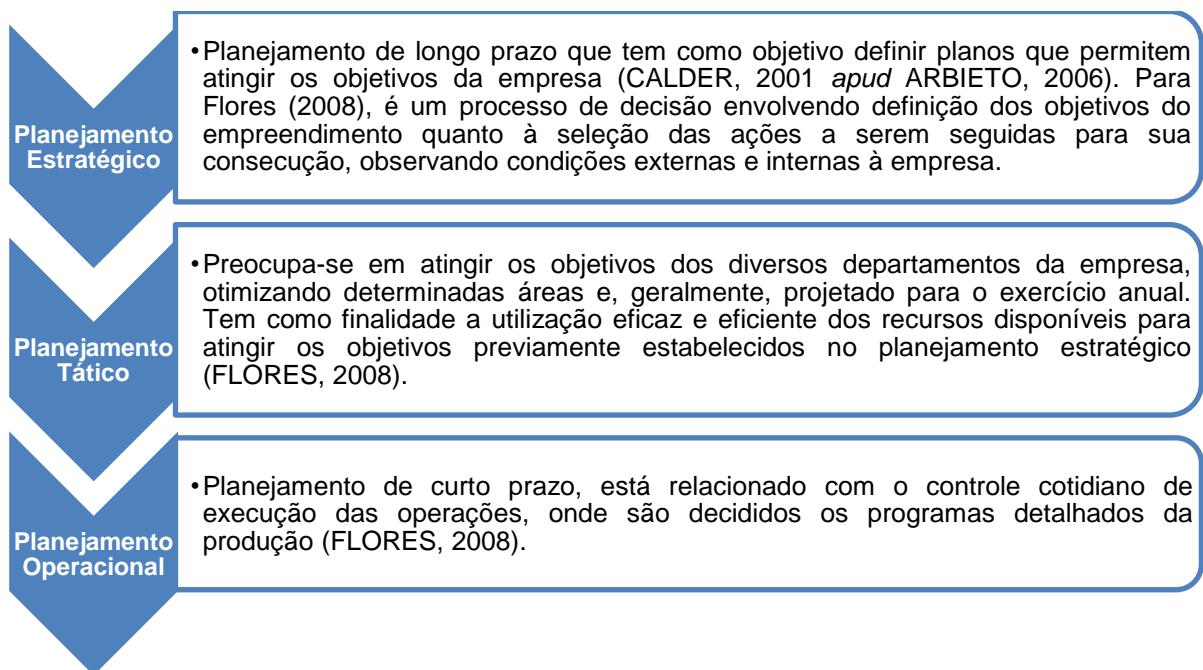


Figura 10: Tipos de Planejamento

Fonte: Adaptado de Corrêa e Corrêa (2006).

1.8 Planejamento estratégico de lavra

Planejar uma mina é uma atividade muito complexa, pois além de envolver aspectos técnicos e financeiros, deve-se considerar aspectos relacionados às fases em que o planejamento de lavra é executado, geralmente relacionado à vida útil da mina (FARIA JUNIOR, 2010).

Faria Junior (2010) destaca que no planejamento de lavra envolve avaliação da jazida, previsão da escala de produção, métodos de lavra e beneficiamento, seleção e dimensionamento de equipamentos, impactos ambientais, infraestrutura industrial, sistemas de apoio, entre outros. Informações que estabelecem parâmetros fundamentais para o sequenciamento de lavra objetivando a viabilidade econômica.

Saydam e Yalcin (2002) *apud* Flores (2008) enfatizam que o planejamento de lavra começa com um modelo de blocos e envolve a tomada de decisão se um bloco do modelo deve ou não ser lavrado.

O planejamento estratégico de minas a céu aberto é um processo de decisão que determina o valor do empreendimento, definindo as áreas de lavra economicamente viáveis e a sequência em que os recursos devem ser aproveitados dentro dessas áreas, ou seja, define a geometria final ótima da cava e sequência econômica de lavra de longo prazo (ASCARZA et al., 2008 *apud* FLORES, 2008).

1.9 Mina do Zuza

1.9.1 Geologia Geral

Na região situada no entorno do município de Xambioá afloram rochas do Cinturão Araguaia, o qual se caracteriza por um estilo estrutural compatível com um regime compressivo oblíquo, onde ocorrem cavalgamentos imbricados associados com zonas de transcorrência. (PETRUS CONSULTORIA GEOLÓGICA LTDA, 2008).

As rochas presentes correspondem a diversas unidades litoestratigráficas de idades arqueanas à proterozóicas, incluindo ortognaisses, migmatitos e demais rochas de filiação granítica do Complexo Colméia, metassedimentos do Grupo Baixo Araguaia (ou Grupo Estrondo) constituídos pelas formações Morro do Campo e Xambioá, além de coberturas lateríticas superficiais quaternárias e de depósitos aluvionares recentes. (PETRUS CONSULTORIA GEOLÓGICA LTDA, 2008).

1.9.2 Geologia Local

Na região onde está situado o empreendimento a faixa de calcário calcítico é longa na direção norte-sul chegando a mais de 7 km de comprimento, e largura de mais de 1.300m na porção norte. A camada possui mergulhos de 5° a 20° com sentido de mergulho predominante para leste. Sua espessura é maior na porção norte alcançando até 240m, enquanto que na porção central predominam dolomitos e xistos tendo o calcário calcítico espessura de máxima de aproximadamente 80m e, na porção sul a espessura do calcário calcítico é de aproximadamente 40m e com muitas intercalações de dolomito. (PETRUS CONSULTORIA GEOLÓGICA LTDA, 2008).

Na figura 1, a camada de calcário calcítico possui mergulhos médios de 15° para Leste, com intercalações dolomíticas e xistos. A espessura do calcário calcítico permanece praticamente constante com o avanço da profundidade para leste, contudo, o estéril composto por solo, xistos e dolomito em uma topografia irregular com um gradiente que aumenta sensivelmente para leste, acarretam em um considerável aumento na provável relação estéril minério.

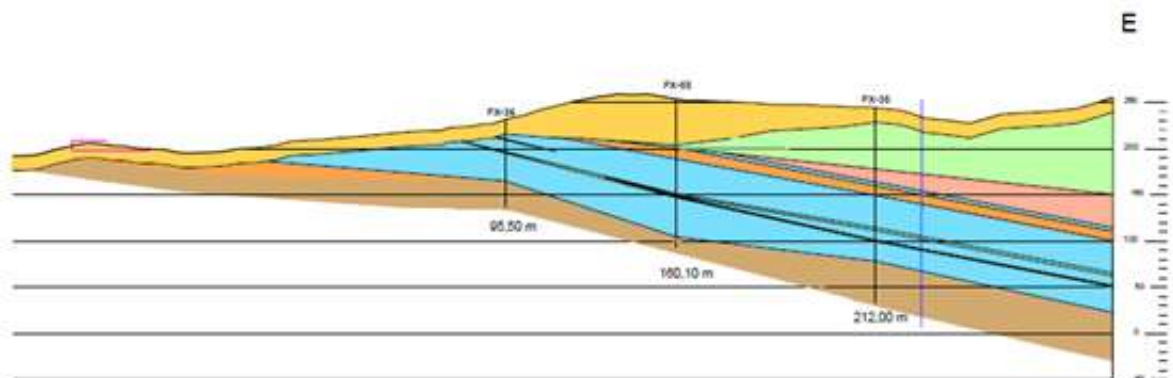


Figura 11: Perfil geológico de uma seção. ■ Solo; ■ Metacalcário Calcítico; ■ Quartzo-muscovita-biotita xisto com ou sem granada; ■ Metacalcário Calcítico intercalado com metadolomito; ■ Metadolomito; ■ Quartzo-muscovita-clorita-biotita xisto com sulfetos.

Fonte: Adaptado de PETRUS CONSULTORIA GEOLÓGICA LTDA, 2008.

3. METODOLOGIA

Barros e Lehfeld (2000, p. 2) dizem que a metodologia visa encontrar a melhor maneira de apresentar os problemas atuais conhecidos. “A metodologia não procura soluções, mas escolhe as maneiras de encontrá-las, integrando os conhecimentos a respeito dos métodos e vigor nas diferentes disciplinas científicas ou filosóficas”.

A metodologia é entendida como uma disciplina que se relaciona com a epistemologia. Consiste em estudar e avaliar os vários métodos disponíveis identificando suas limitações ou não em nível das implicações de suas utilizações. A metodologia, em um nível aplicado, examina e avalia as técnicas de pesquisa, bem como a geração ou verificação de novos métodos que conduzem à capacitação e processamento de informações com vistas à resolução de problemas de investigação (BARROS; LEHFELD, 2000, p. 1).

Segundo Rampazzo (2005), metodologia é o estudo dos métodos, “[...] aquela disciplina que ensina o caminho, quer dizer, as normas técnicas que devem ser seguidas na pesquisa científica”.

Entende-se que além de ensinar e indicar o caminho a ser seguido, a metodologia científica estuda, descreve, explica, interpreta, compreende e avalia os métodos utilizados na pesquisa científica.

1.10 Tipos de Pesquisas

Para Cervo (2007, p. 57), “A pesquisa é uma atividade voltada para investigação de problemas teóricos ou práticos por meio do emprego de processos científicos”. Com o objetivo de encontrar a solução ou resposta, a pesquisa parte de uma dúvida ou problema levantado que é trabalhado com uma metodologia científica.

1.10.1 Pesquisa qualitativa

Segundo Marconi e Lakatos (2010, p. 269) “a metodologia qualitativa preocupa-se em analisar e interpretar aspectos mais profundos, descrevendo a complexidade do comportamento humano.” Proporciona análise mais minuciosa sobre as investigações, hábitos, atitudes e tendências de comportamento.

Godoy (1995) explicita algumas características principais de uma pesquisa qualitativa:

Considera o ambiente como fonte direta dos dados e o pesquisador como instrumento chave; possui caráter descritivo; o processo é o foco principal de abordagem e não o resultado ou o produto; a análise dos dados foi realizada de forma intuitiva e indutivamente pelo pesquisador; não requereu o uso de técnicas e métodos estatísticos e, por fim, teve como preocupação maior a interpretação de fenômenos e a atribuição de resultados (GODOY, 1995, p.58).

1.10.2 Pesquisa Descritiva

Andrade (2010) define a pesquisa descritiva como fatos, que são observados, registrados, analisados, classificados e interpretados, sem que o pesquisador interfira neles, ou seja, o pesquisador não manipula os fatos. Uma de suas características básicas é a técnica padronizada da coleta de dados, realizada na maioria das vezes por questionários e observação sistemática.

Em concordância com Andrade (2010), Chinazzo (2009) entende que esse tipo de pesquisa busca entender e explicar as relações sociais e culturais de uma determinada sociedade.

1.10.3 Pesquisa Exploratória

No entendimento de Hair Jr. et al. (2003), quando o pesquisador dispõe de poucos dados e informações a pesquisa exploratória é a mais indicada, por ser instruído para a descoberta, seus planos não visam testar as hipóteses específicas de pesquisa.

A pesquisa exploratória não requer a elaboração de hipóteses a serem testadas no trabalho, restringindo-se a definir objetivos e buscar mais informações sobre determinado assunto de estudo. Tais estudos têm por objetivo familiarizar-se com o fenômeno ou obter uma nova percepção dele e descobrir novas ideias (CERVO, 2007, p. 63).

1.11 Objeto de Estudo

1.11.1 Xambioá-TO

Xambioá é um município do estado do Tocantins desde 01/01/1989 com uma população, em 2010, de 11.484 habitantes, localizado na latitude 6° 24' 49" Sul e longitude 48° 32' 19" Oeste a uma atitude de 135m, com uma área de 1.186,428 km² (IBGE, 2013).



Figura 12: Localização do município de Xambioá-TO
Fonte: WIKIPÉDIA, 2013.

1.11.2 VOTORANTIM CIMENTOS

A Votorantim Cimentos está entre os dez maiores produtores globais de cimento, concreto e agregados. No Brasil, mantém a liderança de mercado, com 20,7 milhões de toneladas. Possui 60 unidades de produção em praticamente todos os estados brasileiros e 100 centrais de concreto. Comercializa mais de 40 produtos, com destaque para as marcas Votoran, Itaú, Poty, Tocantins, Aratu, Votomassa e Engemix. Na América do Norte, opera 6 fábricas de cimento, 150 unidades de agregados e concreto e possui ainda participações acionárias na Bolívia, Chile, Argentina, Uruguai, Paraguai, Portugal e Peru.

Abaixo segue os dados do empreendimento mineiro obtidos no Relatório Anual de Lavra 2013 disponível na Empresa:

Empresa: VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S/A

Atividade principal: Indústria Extrativa – Extrativa Mineral

Endereço: Rodovia Xambioá, Km 12

Município: Xambioá

UF: TO

Bairro: Chapada

Quadro 2: Dados da Mina do Zuza

Dados da Mina do Zuza	
Localização	Situada na Bacia do Córrego do Zuza, a 1 km das instalações de britagem da Votorantim Cimentos N/NE SA
Posicionamento Geopolítico	Zona rural
Município Principal	Xambioá – TO
Coordenadas – Latitude	6°26'25" S 48°25'10" W
Início da operação	01/2009
Faz uso de Explosivos	Sim
Vida útil restante da Jazida/Mina	60 Anos
Capacidade total instalada ROM	2.500.000,00 t
Relação Estéril/Minério	0,80 / 1,00
Profundidade atual da Mina	95 m
Profundidade projetada da Mina	216 m
Previsão do Uso da área após o fechamento da mina	Ainda não definido
Minérios existentes nesta mina	Calcário Calcítico e Dolomita
Reserva Lavrável de Calcário Calcítico	113.951.769,40 t
Reserva Lavrável de Dolomita	19.975.088,00 t
Produção de Calcário Calcítico em 2012	1.404.369,97 t
Produção de Dolomita em 2012	14.133,44 t
Características Químicas do Calcário Calcítico	CaO: 52%, MgO: 2,5%
Características Físicas do Calcário Calcítico	Rocha clara de textura sacaroide e granulação média a grossa
Características Químicas da Dolomita	CaO: 33,5%, MgO: 16,5%
Características Físicas da Dolomita	Rocha clara de textura sacaroide e granulação fina a média
Volume de estéril gerado em 2012	1.824.947 t

Fonte: RELATÓRIO ANUAL DE LAVRA, 2013.

Planejamento da Mina do Zuza

A mina do Zuza possui dimensões aproximadas de 500 m x 600 m, com a cota do último pit de 131 m. Da cota 225 à 185 na parte leste da cava, encontra-se um material argiloso usado na fabricação do cimento. Na parte sul, a cava irá expandir poucos metros, pois a ocorrência do minério encontra-se para norte. A figura 21, gerada pelo software Datamine Studio 3®, simula a cava como imagem tridimensional da situação real.

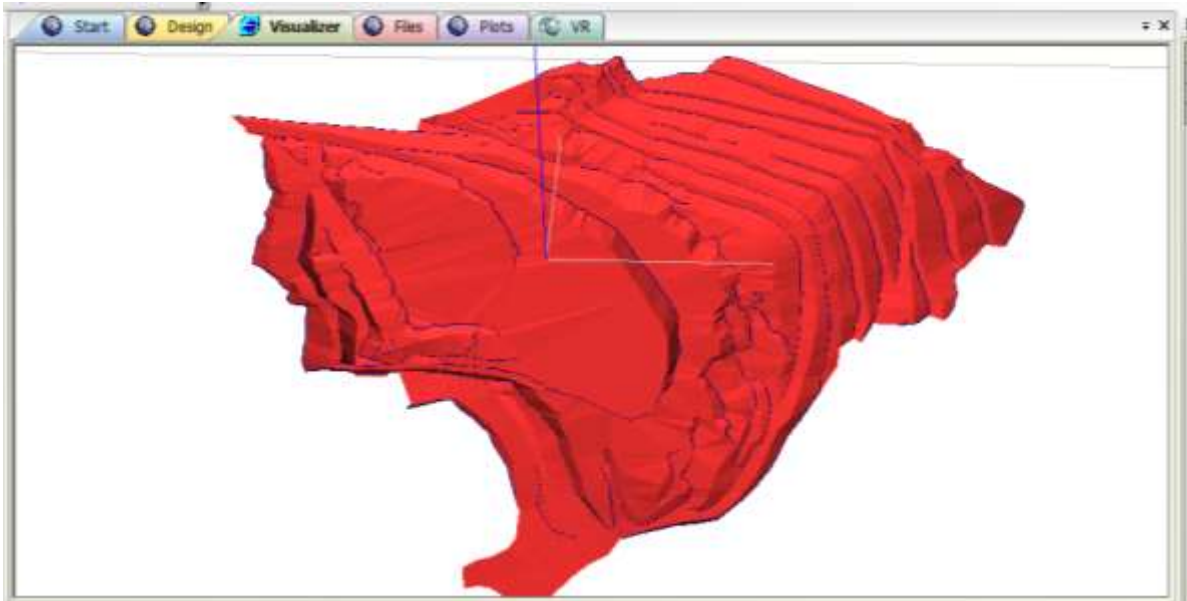


Figura 13: Imagem do software *Datamine Studio 3®* representando a Mina do Zuza
Fonte: *Datamine Studio 3®, 2013.*

Chiavenato (2002) diz que o planejamento é a primeira função administrativa, pois serve de base para as demais funções e determina, antecipadamente, quais são os objetivos que devem ser atingidos e como se deve fazer para alcançá-los através do detalhamento dos melhores planos.

Os planejamentos de curto, médio e longo prazo são feitos pelo Engenheiro de Planejamento de Mina com o auxílio do software *Datamine Studio 3®*. É necessário que a topografia trabalhe em conjunto com o planejamento para obter um resultado eficiente.

O software permite ao Engenheiro definir as áreas de avanço, planejar rampas de acesso especificando a inclinação e distâncias, realizar cubagens de polígonos gerando o volume e tonelagem, plotar os planos, planejar ângulos de talude, definir a menor distância média de transporte, gerar croqui da situação desejada da mina, definir frentes com melhores teores, criar imagem tridimensional da cava e várias outras funções desejadas.

O planejamento estratégico de lavra representa o processo para determinar o melhor projeto e sequenciamento da lavra, baseado numa estratégia previamente estabelecida, visando alcançar os objetivos de longo prazo, maximizando os valores econômicos do empreendimento e obedecendo as restrições técnicas, operacionais, ambientais e de segurança. Portanto, um planejamento estratégico de lavra eficiente

é fundamental para extrair o maior rendimento do potencial apresentado garantindo o maior retorno e solidez de todo o investimento aplicado (SILVA, 2008).

O planejamento de curto prazo é influenciado pelas condições climáticas, pela disponibilidade de equipamentos, pela necessidade da fábrica, pela exigência do controle de qualidade, etc. É baseado em um plano anual de produção que visa o atendimento das metas estabelecidas, como: controle de qualidade do material lavrado, controle de custos, utilização de equipamentos e produtividade operacional.

O objetivo do Engenheiro de Planejamento é projetar a lavra e aperfeiçoar seu sequenciamento, de modo a assegurar a minimização da remoção do estéril, garantir a segurança necessária dos operadores e equipamentos, além de maximizar o valor presente líquido do minério lavrável.

1.12 Procedimentos

A etapa inicial do projeto foi voltada para o levantamento bibliográfico dos temas relacionados. Foram feitas visitas ao local para obter informações a respeito da política da empresa, exigências do controle de qualidade, compreender as etapas do processo produtivo do cimento, verificar quais impactos causados na qualidade do produto final, caso o teor de óxido de magnésio varie com muita frequência e realizar conversas com os gestores da área.

Para maior confiabilidade da técnica a ser implantada, foi feito um estudo petrográfico macroscópico das frentes de lavra para observar a variação mineralógica, a respeito da cor e granulometria dos minerais.

As informações privadas da empresa a respeito das características químicas e físicas da jazida foram obtidas pelo planejamento de lavra, boa parte fornecida pelo software *Datamine Studio 3®*, assim como informações do histórico dos teores de óxido de magnésio do minério processado.

O controle de qualidade informou os resultados das análises provenientes das amostras do pó da perfuração e do material que está alimentando a planta, para verificar se está conforme o exigido e planejado.

Considerando a necessidade de uma técnica confiável para embasamento nas tomadas de decisões referentes à blendagem e com base em equações matemáticas foi criada uma planilha no Software Excel que fornece resultados de

viabilidade da blendagem e opções para tornarem o carregamento e transporte do material das frentes de lavra mais eficientes.

A planilha foi apresentada ao gestor da Votorantim Cimentos com objetivo de mostrar suas funções e como utilizá-la.

Resultados das análises do laboratório do minério blendado serão comparados aos resultados da planilha, comprovando sua eficiência. Caso houver discrepâncias nos resultados, serão calculados o desvio padrão e a variância, sendo apresentados em forma de gráfico, e será informado pelo controle da qualidade qual impacto negativo tais discrepâncias podem causar no processo produtivo.

1.13 Microsoft Excel

De acordo com a Microsoft (2010), Excel é um programa de planilhas do sistema Microsoft Office. Pode ser usado para criar e formatar pastas de trabalho (um conjunto de planilhas) para analisar dados e tomar decisões de negócios mais bem informadas. Especificamente, o Excel pode ser usado para acompanhar dados, criar modelos de análise de dados, criar fórmulas para fazer cálculos desses dados, organizar dinamicamente os dados de várias maneiras e apresentá-los em diversos tipos de gráficos profissionais.

1.14 Datamine

O software *Datamine Studio 3®* é a solução integral de uma parte do *Datamine's Solution Footprint*, padronizado internacionalmente para interpretação física da geologia e mineralização do recurso podendo ser analisado, definido, visualizado e quantificado, e então utilizando os parâmetros de mineração apropriados, transformá-lo em reserva. Possui ferramentas para análise, visualização, modelagem, revisão e manipulação de todos os tipos de dados geológicos para prover a melhor interpretação geológica possível de um depósito independente de sua complexidade. Foi redesenhado para permitir uma íntima conexão com provedores de dados externos e outras aplicações mineiras, constituído por um conjunto de componentes padrões que podem ser configurados para gerar soluções mais compreensivas para qualquer atividade de exploração ou mineração (DATAMINE, 2005).

1.15 Técnica de Otimização

1.15.1 Desafio do Planejamento de Lavra

Um dos problemas enfrentados pelo planejamento é relacionado ao teor de Óxido de Magnésio da rocha. A fábrica, para manter o padrão de qualidade do produto, exige que a planta seja alimentada com um material que tenha no máximo 3% de MgO. Na mina do Zuza há diversas frentes que o material está contaminado por xisto ou por calcário com alto teor de MgO (dolomita). Para não tornar a lavra ambiciosa é necessário que a dolomita, também, seja extraída. O processo de mistura de materiais diferentes para obter um material homogêneo de saída, cujo teor resultante será a média ponderada dos teores, é chamado de blendagem.

Um problema muito comum em minas a céu aberto que operam com diversas frentes de lavra simultâneas é determinar o ritmo de lavra de cada frente para que uma blendagem ou mistura de minérios seja feita de maneira a satisfazer as exigências de qualidade e quantidade de um cliente, já que cada frente de minério possui características químicas, físicas e granulométricas diferentes (MORAIS et al., 2006).

O objetivo do problema de blendagem em mineração é manter o teor do minério em um nível quase constante obedecendo a meta do controle da qualidade (GERSHON, 1982 *apud* PINTO, 2007). Pinto (2007) afirma ainda que uma blendagem de minério apropriada pode ampliar a base de reserva, na medida em que o minério abaixo do teor de corte não é considerado estéril, mas pode ser utilizado e misturado com material de alto teor.

Durante o carregamento da frente desmontada pode haver incidência de minério com alto teor de óxido de magnésio (dolomita), o que é inapropriado para fabricação do cimento. Quando detectado a ocorrência, o operador é instruído pelo técnico da mina a bascular o material em uma pilha provisória de estoque: pilha de minério dolomítico.

Existem duas pilhas de minério dolomítico. Com o apoio da topografia, o volume medido da pilha de minério leste foi de 15.743,215 m³. Considerando que o basculamento na pilha é feito de forma aleatória sem o controle de teor e volume, há necessidade de aproveitar o material estocado como forma de aumentar a vida útil da mina e liberar a área onde a pilha se encontra, já que futuramente a mina avançará no sentido das mesmas.

1.15.2 Planilha de Otimização da Blendagem

Diante dessas considerações, foi desenvolvido uma Planilha de Otimização para auxiliar os gestores, supervisores e técnicos da mina nas tomadas de decisões a respeito da blendagem das frentes de lavra. A Planilha de Otimização em formato .xls, é baseada no teor máximo de óxido de magnésio, determinado pela equipe responsável em manter a qualidade do minério, dando um resultado preciso, rápido, confiável e sem custo operacional. Fornece informações de viabilidade da blendagem e, caso seja constatado inviabilidade na blendagem, há duas opções para viabilizar a blendagem.

Abaixo segue a figura da Planilha de Otimização.


		OTIMIZAÇÃO DA BLENDAGEM DE CALCÁRIO DA VOTORANTIM CIMENTOS EM XAMBIOÁ-TO			
		TEOR DA META			
FRENTE CALCÍTICA				FRENTE DOLOMÍTICA	
VOLUME CALCÍTICO	TEOR DE MgO	VOLUME DOLOMÍTICO	TEOR DE MgO		
		TEOR DA BLENDAGEM			
		#DIV/0!			
		#DIV/0!			
		#DIV/0!			
		RELAÇÃO DE CARREGAMENTO			
		#DIV/0!	#DIV/0!		
PARA VIABILIZAR A BLENDAGEM (ATINGIR A META)					
CARREGANDO TODA FRENTE CALCÍTICA			CARREGANDO TODA FRENTE DOLOMÍTICA		
#DIV/0! m ³	DE DOLOMÍTICO (máx)	#DIV/0! m ³	DE CALCÍTICO (mín)		
LEGENDA					
VALORES INSERIDOS					
BLENDAGEM SATISFATÓRIA					
BLENDAGEM INSATISFATÓRIA					

Figura 14: Imagem da Planilha de Otimização em formato .xls

Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

As células preenchidas na cor azul claro correspondem aos valores inseridos. Os valores são relacionados aos volumes e teores de óxido de magnésio das frentes calcítica e dolomítica. Os volumes das frentes de lavra são determinados pela topografia e os teores são determinados pelo planejamento de mina, através dos modelos de blocos, que são, posteriormente, confirmados pelas análises laboratoriais do pó de perfuração do controle da qualidade.

Já as cores verde e vermelha mostram se o resultado da blendagem é viável ou inviável, respectivamente. Depois de inseridos os valores nas células azuis, se o teor da média da blendagem das duas frentes de lavra analisadas for menor ou igual ao teor da meta determinada pelo controle de qualidade, a blendagem será viável,

isto é, a blendagem poderá ser realizada, pois o resultado do teor de óxido de magnésio permanecerá dentro dos padrões de qualidade. Caso o teor médio da blendagem for maior que o teor da meta, a blendagem é inviável, ou seja, se a atividade for realizada o minério afetará negativamente a qualidade do Cimento Portland.

1.15.2.1 Blendagem viável

A figura 15 simula uma possível situação real das características das frentes de lavra dando como resultado uma blendagem viável.

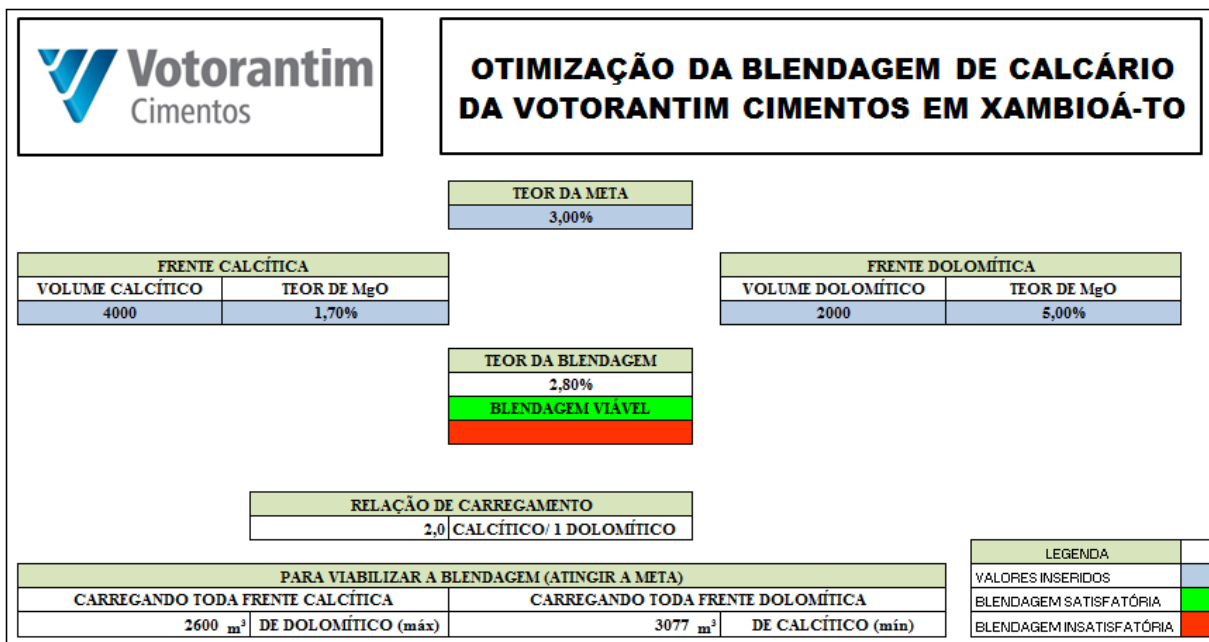


Figura 15: Simulação de uma blendagem viável
Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

O primeiro passo é inserir o valor da meta (percentagem máxima de MgO estipulada pelo controle de qualidade): 3% de MgO. Suponhamos que a frente de lavra calcítica possui um volume de 4000 m³ de material desmontado com teor médio de 1,70% de MgO e outra frente dolomítica com 2000 m³ de material livre com teor médio de 5% de MgO (teores determinados pelo software *Datamine Studio 3D* através do modelo de blocos e/ou pelos resultados das análises laboratoriais das amostras do pó da perfuração). Ao inserir os valores a planilha de Otimização diz que a blendagem é viável, pois o teor médio da blendagem está abaixo do teor da meta.

Este resultado foi determinado utilizando relações básicas da matemática, chegando a uma equação da média do teor da blendagem, onde o resultado é uma

média ponderada dos teores, isto é, a soma dos produtos dos teores e seus respectivos pesos, dividido pela soma dos pesos, considerando que os pesos são os volumes das frentes calculadas.

$$MB = \frac{VC.TC + VD.TD}{VC + VD}$$

Onde,

MB → Média do teor da blendagem

VC → Volume da frente Calcítica

VD → Volume da frente Dolomítica

TC → Teor da frente Calcítica

TD → Teor da frente Dolomítica

Portanto,

$$MB = \frac{4000 \cdot 1,7 + 2000 \cdot 5,0}{4000 + 2000}$$

$$MB = 2,80 \% \text{ de MgO}$$

(Blendagem viável)

Utilizando a *função SE* do Software Microsoft Excel, a célula de cor verde da planilha de otimização será destacada com a palavra “BLENDAGEM VIÁVEL” se o resultado do teor médio da blendagem for menor ou igual ao teor da meta (3% de MgO). Se o resultado da blendagem for acima do teor da meta, a célula vermelha será destacada com a palavra “BLENDAGEM INVIÁVEL”.

Normalmente as duas frentes de lavra analisadas terão volumes diferentes, assim como teores. Outro benefício e vantagem da Planilha de Otimização é o resultado da relação de carregamento das duas frentes de lavra. Para a situação acima, como o volume da frente calcítica é o dobro do volume da frente dolomítica, para haver a blendagem, necessariamente, os basculamentos dos caminhões no britador primário devem ocorrer proporcionalmente aos volumes, isto é, para cada duas viagens de caminhão carregado de minério calcítico é necessário uma viagem de minério dolomítico. Para atender tal necessidade, foi utilizada a *função SE* do Software Microsoft Excel, onde faz-se a relação do maior volume pelo menor volume, independente se seja calcítico ou dolomítico.

1.15.2.2 Blendagem inviável

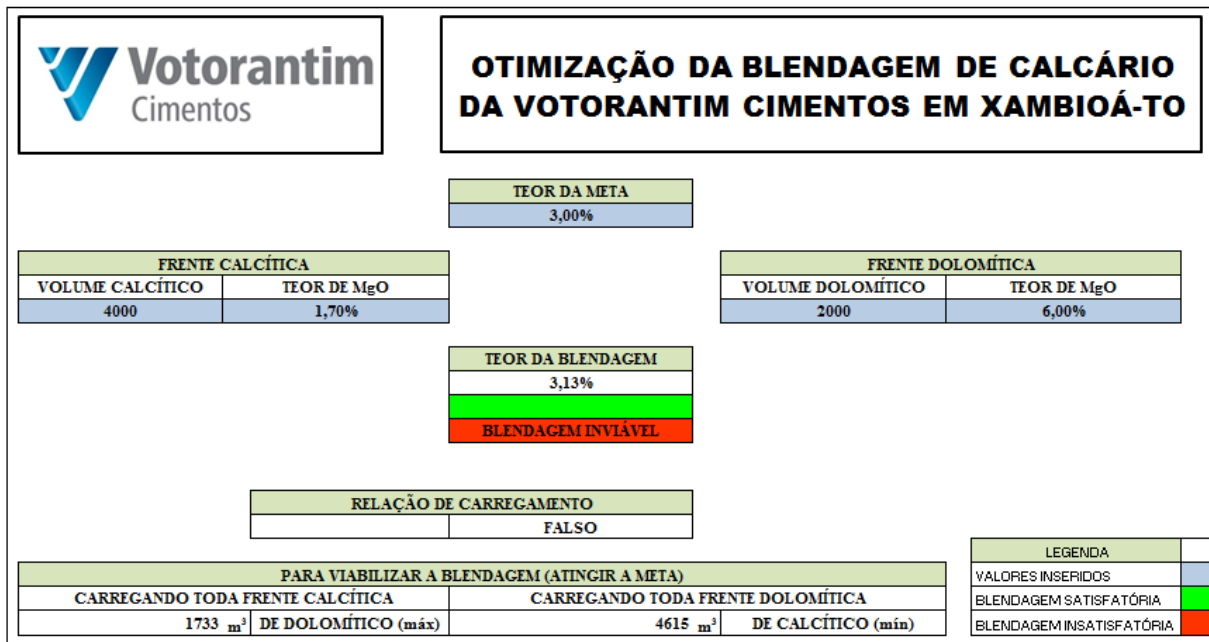


Figura 16: Simulação de uma blendagem inviável

Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Ao inserir os valores, e a média da blendagem do teor de óxido de magnésio permanecer acima da meta, o produto da blendagem ficará fora do especificado pelo controle de qualidade, caracterizando inviabilidade na blendagem, demonstrada na figura 14. A relação de carregamento não é fornecida, já que a blendagem das duas frentes de lavra referidas será inviável.

Como a blendagem é inapropriada, a Planilha de Otimização apresenta outro benefício: fornece duas opções para viabilizar a blendagem, isto é, atingir a meta. Para os valores de volumes e teores das frentes de lavra demonstradas na figura 14, caso a frente calcítica seja totalmente carregada, será necessário carregar, no máximo, 1733 m³ de material dolomítico para obter um teor máximo médio da blendagem de 3% de MgO. Se o planejamento de mina determinar que a frente dolomítica fosse totalmente carregada, é necessário, pelo menos, 4616 m³ de minério calcítico com teor de 1,7% de MgO, para que o teor médio da blendagem fique menor ou igual ao teor da meta: 3% de MgO.

Abaixo são apresentadas as equações que determinam o volume mínimo de material calcítico e o volume máximo de material dolomítico necessário para atingir a média do teor de MgO desejada, respectivamente. Ambas as equações foram derivadas da equação da média da blendagem.

$$MB = \frac{VC.TC + VD.TD}{VC + VD}$$

$$(VC + VD)MB = VC.TC + VD.TD$$

$$VC.MB + VD.MB - VC.TC = VD.TD$$

$$VC.MB - VC.TC = VD.TD - VD.MB$$

$$VC(MB - TC) = VD(TD - MB)$$

$$VC = \frac{VD(TD - MB)}{MB - TC}$$

(Volume mínimo de material calcítico necessário para atingir a meta desejada)

$$MB = \frac{VC.TC + VD.TD}{VC + VD}$$

$$(VC + VD)MB = VC.TC + VD.TD$$

$$VC.MB + VD.MB - VD.TD = VC.TC$$

$$VD.MB - VD.TD = VC.TC - VC.MB$$

$$VD(MB - TD) = VC(TC - MB)$$

$$VD = \frac{VC(TC - MB)}{MB - TD}$$

(Volume máximo de material dolomítico necessário para atingir a meta desejada)

4. ANÁLISE DOS DADOS

1.16 Entrevista com o Gestor

Para atender o objetivo geral do trabalho, que é criar uma técnica de otimização que demonstre a viabilidade ou inviabilidade da blendagem entre frentes de lavra, foi necessário obter informações através de questionário com o gestor da área para analisar a eficiência da Planilha de Otimização.

O gestor Hiezus Rafael Mateo dos Santos Moreira de Oliveira, de 27 anos, graduado em Engenharia de Minas pela Universidade Federal da Bahia, MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas, ocupa o cargo de Engenheiro de Minas Pleno na Votorantim Cimentos N/NE S.A.

1.17 Frequência das blendagens das frentes

A blendagem das frentes desmontadas ocorre constantemente, uma vez que é necessário garantir que o minério na pilha pulmão, que alimentará a fábrica, não esteja acima do teor máximo de MgO, que, atualmente, é 3%.

Outro fator importante refere-se ao aproveitamento do minério dolomítico que, além de evitar uma lavra ambiciosa, garante um sequenciamento de lavra como planejado e permite uma reserva liberada de maior volume.

1.18 Controle do teor máximo de MgO

O controle do teor do minério é feito através das coletas de amostras retiradas sistematicamente da correia transportadora que alimenta a pilha pulmão.

1.19 Aplicabilidade da Planilha de Otimização

Como a Votorantim Cimentos em Xambioá necessita, rotineiramente, tomar decisões com relação à blendagem das frentes de lavra, a Planilha de Otimização é aplicável ao processo.

1.20 Rapidez, precisão e confiabilidade da Planilha de Otimização

Caso os valores inseridos na Planilha (volumes e teores) sejam confiáveis, pode-se considerar que os resultados são rápidos, precisos e confiáveis, pois se baseiam em equações matemáticas.

1.21 Flexibilidade da Planilha quanto à mudança de teor da meta

A Planilha de Otimização apresenta total flexibilidade quanto à alteração do valor máximo de MgO determinado pelo Controle da Qualidade. Pois os resultados dos cálculos obtidos na Planilha são dependentes do Teor da Meta, independente de qual valor seja ele.

1.22 Relação de carregamento e planejamento das operações mineiras

A parte técnica da mina trabalha em prol da eficácia das operações mineiras. Tendo um parâmetro da relação de carregamento entre as duas frentes de lavra determinado pela Planilha de Otimização chega-se a um carregamento e transporte ideal.

1.23 Eficiência das opções para viabilizar a blendagem

A possibilidade de optar por usar um volume máximo ou mínimo de minério dolomítico ou calcítico, respectivamente, oferece maior segurança nas decisões a respeito da blendagem.

1.24 Considerações sobre a Planilha de Otimização

“Ótima planilha de otimização da blendagem. Demonstrando os dados necessários para otimização em suas frentes de lavra e obedecendo as metas do controle de qualidade”. (Hiezus Mateo de Oliveira).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como principal objetivo a criação de uma técnica de otimização que demonstre a viabilidade ou inviabilidade da blendagem entre frentes de lavra da mina do Zuza.

A variabilidade mineralógica em uma mina é comum, sendo necessária uma equipe de planejamento bem estruturada e preparada para garantir que as informações técnicas e geológicas sejam confiáveis e adotar um sequenciamento de lavra ideal.

Para ampliar a base de reserva mineral, garantir um máximo aproveitamento do material desmontado e satisfazer as exigências de qualidade e quantidade de um cliente, adota-se uma prática muito comum em mineração: Blendagem. Isto é, garantir que os minérios com características químicas, físicas e granulométricas diferentes, possam ser beneficiados dentro dos padrões de controle de qualidade.

As blendagens ocorrem constantemente na mina do Zuza. O teor resultante é analisado por amostras coletadas sistematicamente na correia transportadora que alimenta a pilha pulmão. Para que o Cimento Portland, principal produto comercializado pela VOTORANTIM CIMENTOS, atenda as exigências do controle de qualidade do Laboratório da própria Empresa, o minério que alimenta a fábrica deve possuir no máximo 3% de Óxido de Magnésio em sua composição química.

Para atender tal condição, foi criada uma Planilha de Otimização para auxiliar os gestores, supervisores e técnicos da mina nas tomadas de decisões a respeito da blendagem das frentes de lavra. A planilha consiste em inserir valores das características das frentes de lavra e o teor da meta e obter um resultado da média do teor de MgO do minério blendado. Além de oferecer a relação de carregamento das frentes a serem lavradas, quando constatado viabilidade na blendagem, há duas opções para adequar o teor do minério blendado, caso a blendagem seja inviável.

Para confirmar a eficiência da Planilha de Otimização, o Engenheiro de Minas da Empresa, Hiezus Mateo de Oliveira, respondeu um questionário. Segundo ele, se os valores de volumes e teores a serem inseridos forem confiáveis, a Planilha de Otimização oferece um resultado rápido, preciso, confiável e sem custo operacional, sendo aplicável ao processo da Empresa. Quanto à mudança do teor da meta, a Planilha é totalmente flexível, pois o resultado é referente aos valores inseridos. A relação de carregamento oferece parâmetros ao técnico da mina para determinar um

transporte simultâneo ideal. Caso a blendagem seja inviável com os valores inseridos, outro benefício da Planilha de Otimização é a possibilidade de escolher duas opções para viabilizar a blendagem, isto é, garantir que o resultado do teor da blendagem não ultrapasse o teor da meta.

De modo geral, pode-se afirmar que, por meio dos objetivos específicos descritos neste trabalho, alcançou-se o objetivo geral pré-estabelecido, com o apoio do referencial teórico que possibilitou o embasamento necessário para o entendimento e a criação da Planilha.

6. REFERÊNCIAS

- ABICHEQUER, Lucina Arnt. **Simulação Geoestatística aplicada ao Planejamento de Pilhas de Homogeneização**: um estudo de caso de reconciliação. 2010. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- ALBUQUERQUE, Éder Lima de; GOUVÊA, Adriana dos Reis; SERPA, Alberto Luiz. **Otimização Estrutural de Compósitos Laminados Simétricos**. In: XXVI Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering – CILAMCE. Guarapari-ES, 2005.
- ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. 10ª ed. São Paulo. Atlas, 2010.
- ARBIETO, Carlos Carrasco. **Incorporação de informações secundárias para gerenciar o risco geológico no planejamento de lavra de curto-prazo**. 2006. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Uma breve história do cimento Portland**. 2009. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>> Acesso em: 05 out. 2013.
- BARROS, Aidil Jesus da Silveira; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. **Fundamentos de Metodologia Científica**: Um guia para a iniciação científica. 2ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2000.
- CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Roberto da. **Metodologia Científica**. 6ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. 162 p.
- CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 6ª ed. Atlas: São Paulo, 2002.
- CHINAZZO Cosme Luiz; MATTOS Patrícia Noll de; WEBER Otávio José. **Instrumentalização científica**. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2009. 200 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Relatório Anual de Lavra**. Exercício 2013.
- FARIA JUNIOR, Agenor de. **Aprimoramento do controle de qualidade do minério no planejamento de lavra de curto prazo**: um estudo de caso. 2010. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, São Paulo, 2010.
- FLORES, Belizario Ascarza. **Planejamento de lavra estratégico e tático de Morro da Mina – Conselheiro Lafaiete/MG**. 2008. 132 p. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.

GAMBIM, Fernando. **Aperfeiçoamento da estratégia de homogeneização de Minérios utilizando simulação Geoestatística**. 2003. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

GODOY, A. S. **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades**. In: **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo: v.35, n.2, p. 57-63, abril 1995.

HAIR, Jr. Joseph F. et al. **Fundamentos de métodos de pesquisa em Administração**. Porto Alegre: Bookman. 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Xambioá-TO**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=172210&search=tocantins|xambioa|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>> Acesso em: 05 de out. de 2013.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas (ed). **Rochas e Minerais Industriais**. 2ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 990 p.

MACHADO, F.B.; MOREIRA, C.A.; ZANARDO, A; ANDRE, A.C.;GODOY, A.M.; FERREIRA, J. A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A.J.R.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F.de. **Atlas de Rochas. [on-line]**. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/rochas/sedimentares/calcarios.html>> Acesso em: 30 set. 2013.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa: Planejamento e execução de pesquisas, amostragem e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados**. 5ª Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MICROSOFT EXCEL. **Introdução ao Excel 2010**, 2010.

MORAIS, Edilaia Fernandes, et al. **Um modelo de programação matemática para otimizar a composição de lotes de minério de ferro da mina Cauê da CVRD**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 59, n. 3, p. 299-306, jul/set. 2006.

MOREIRA, Frederico Rafael. **Programação Linear Aplicada a Problemas da Área de Saúde**. In: Centro de Pesquisa Clínica do Hospital Israelita Albert Einstein - Estatística do Centro de Pesquisa Clínica do Instituto de Ensino e Pesquisa. São Paulo-SP, 2003.

PAIVA, Ely Laureano; TEIXEIRA, Rafael. *Trade-offs em serviços customizados e o ponto de vista do cliente*. **Revista de Administração Contemporânea**. Curitiba, v. 12, n. 2, 2008.

PERONI, Rodrigo de Lemos. **Introdução de variável Espectro-Colorimétrica no Modelamento e Planejamento de Jazidas de Caulim em comparação da seletividade produzida por Modelamentos de diferentes dimensões.** 1998. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

PETRUS CONSULTORIA GEOLÓGICA LTDA. **Relatório Final de Pesquisa Mineral:** Projeto Xambioá/TO Cava Central. 2008.

PINTO, Eduardo Barbosa. **Despacho de caminhões em mineração usando lógica nebulosa, visando ao atendimento simultâneo de políticas excludentes.** 2007. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

RAMPAZZO, Lino. **Metodologia Científica.** 3ª Ed. São Paulo: Edições Loyola, 2005.

STUDIO 3, Datamine. **Manual de Treinamento em Geologia do Studio 3,** 2005.

TOMANINI, Cláudio. **O propósito do negócio:** a importância da visão, missão e definição do negócio, 2010. Disponível em: <<http://www.tomanini.com.br/artigos.asp?ukey=40679162654MFWC5Q6>> Acesso em: 06 jun. 2013.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Perfil.** Disponível em: <<http://www.vcimentos.com.br/htms-ptb/Institucional/Perfil.htm>>. Acesso em: 03 Jun. 2013.

WHITTLE, David. **Strategic Mine Planning.** 8ª ed. GEMCOM. 2006.

WIKIPÉDIA. **Xambioá.** Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Xambio%C3%A1>> Acesso em: 05 de out. 2013.