

Universidade Federal de Alfenas

Everton de Melo Dias

**Alternativas para a redução de umidade
em minério de alumínio. Estudo de Caso:
Votorantim Metais/ Poços de Caldas / MG**

Poços de Caldas/MG
2014

Everton de Melo Dias

**Alternativas para a redução de umidade
em minério de alumínio. Estudo de Caso:
Votorantim Metais/ Poços de Caldas / MG**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos
requisitos para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de
Minas pela Universidade Federal
de Alfenas.

Área de concentração: Tratamento
de Minérios.

Orientador: Prof. Ms. Maurício
Guimarães Bergerman.

Poços de Caldas/MG
2014

D541a Dias, Everton de Melo..

Alternativas para redução de umidade em minério de alumínio. Estudo de caso:

Votorantim Metais-Poços de Caldas-MG ./Everton de Melo Dias;

Orientação de Ms. Maurício Guimarães Bergeman. Poços de Caldas:

2014.

41 fls.: il.; 30 cm.

Inclui bibliografias: f. 41

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de minas) –
Universidade Federal de Alfenas– Campus de Poços de Caldas, MG.

1. Bauxita. 2. Secagem. 3. Mineração. I. Bergeman, Maurício Guimarães (orient.). II. Universidade Federal de Alfenas - Unifal.
- III. Título.

CDD 553.4

Alternativas para a redução de umidade em minério de alumínio. Estudo de Caso: Votorantim Metais/ Poços de Caldas / MG

A banca abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Alfenas.

Área de concentração: Tratamento de Minérios.

Orientador: Prof. Ms. Maurício Guimarães Bergerman.

Aprovada em: 23 DE JANEIRO DE 2014

Profº: MAURÍCIO GUIMARÃES BERGERMAN

Instituição: UNIFAL - MG

Assinatura:



Profº: DANIELA GOMES HORTA

Instituição: UNIFAL - MG

Assinatura:



Profº: Edmo da Cunha Rodovalho

Instituição: UNIFAL - MG

Assinatura:



AGRADECIMENTOS

À Deus por ter aberto os caminhos e me dar sabedoria para chegar até aqui.

Ao professor Ms. Maurício Guimarães Bergerman, pelo excelente professor que é e por ter me direcionado e oferecido diversas oportunidades durante o decorrer de minha formação acadêmica.

À minha família, pela criação, amor e todo o incentivo para conseguir essa conquista.

À Votorantim Metais, Negócio Alumínio, em nome de toda a equipe, por serem fundamentais para a realização deste trabalho.

À todos os professores do departamento de engenharia de Minas, que contribuíram em minha formação como Engenheiro.

E a todos que de alguma forma contribuíram e acreditaram que essa conquista fosse possível.

RESUMO

Constantemente a umidade é um item de controle bastante problemático para a indústria mineral, pois pode gerar diversos transtornos quanto ao carregamento e descarregamento do minério, transporte e no processo metalúrgico. Logo, faz-se necessário a utilização de métodos de secagem que podem ser secagens naturais, a utilização de equipamentos ou sistemas destinados industrialmente para esse fim. A unidade de Poços de Caldas da Votorantim Metais tem se deparado com uma umidade em seu material embarcado com até 27%, que acarreta um elevado custo adicional no frete e ainda com o vapor utilizado para a secagem da bauxita antes do processo Bayer que produz a alumina e posteriormente o alumínio metálico. Para solução do problema foram estudados métodos de secagem de minérios como secagem natural com o revolvimento periódico das pilhas de minério, lavagem do minério, avaliação de sistemas de secagem com gerador de gás quente em leito fluidizado e britador secador de martelos. Analisado a viabilidade econômica diante de cada procedimento diante a realidade da Unidade Produtora de Bauxita da CBA em Poços de Caldas o método utilizado para aprofundamento de estudos foi o de secagem natural com o revolvimento periódico das pilhas alcançando reduções de até 9% na umidade em testes manuais e 2,4% nos testes em escala piloto.

Palavras chave: Umidade. Secagem. Bauxita.

ABSTRACT

Constantly the humidity is a problematic control point to the mining industry, because it can generate several disorders as the loading and unloading of ore, transportation and even the metallurgical process. Therefore it is necessary to use drying methods that can be since natural drying until industrial equipment's or systems. The Pocos de Caldas unit of Votorantim Metais has been faced the humidity on your shipped stuff with up to 27%, which implies a high surcharge on freight and with the steam used for drying the bauxite before the metallurgical process. To solve the problem of ore drying methods were studied and analyzed among which the methods natural drying with periodic stacks of ore tumbling, drying systems with hot gas generator, fluidized bed dryer and dryer hammer crusher. Analyzing the economic viability for each method against the reality of the Bauxite Production Unit from CBA at Pocos de Caldas the used method for further studies were the natural drying with periodic stacks of ore tumbling achieving reductions of up to 9% in the manual tests and 2,4% in the pilot scale test.

Key words: Humidity. Drying. Bauxite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Jazida de serra da bauxita de Poços de Caldas.	15
Figura 2 - Jazida de campo da bauxita de Poços de Caldas (MG).	15
Figura 3 - Perfis esquemáticos do manto mineralizado das Jazidas de bauxita na Região de Poços de Caldas.	16
Figura 4 - Localização da cidade de Poços de Caldas.	17
Figura 5 - Fluxograma do beneficiamento de Poços de Caldas.	18
Figura 6 - Esboço do ensaio de lavagem.	20
Figura 7 - Fluxograma do processo de secagem.	21
Figura 8 - Britador secador de martelos.	22
Figura 9 - Dimensões das pilhas utilizadas no ensaio.	27
Figura 10 - Pontos de Coleta.	28
Figura 11 - Processo de coleta da amostra.	28
Figura 12 - Revolvimento do material.	29
Figura 13 - Disposição das pilhas de minério beneficiado no segundo ensaio.	29
Figura 14 - Dimensões da Pilha	30
Figura 15 - Pilha já construída.	30
Figura 16 - Caminhão basculante.	32
Figura 17 - Retroescavadeira CAT 416E realizando o espalhamento da bauxita.	32
Figura 18 - Ilustração dos pontos de coleta das amostras.	33
Figura 19 - Preparação das amostras.	33
Figura 20 - Homogeneização na lona.	34
Figura 21 - Trator Valtra PCA 800 revolvendo com o arado.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Custo por tonelada de água.....	26
Tabela 2 - Custos com a umidade de janeiro a maio de 2013.....	26
Tabela 3 - Resultado do primeiro ensaios de redução da umidade por revolvimento.	35
Tabela 4 - Resultados do segundo ensaio de revolvimento.....	36
Tabela 5 – Comparação de CO diário para intervalos de 2 e 4 horas entre revolvimentos	36
Tabela 6 - CO Mensal.	37
Tabela 7 – Simulação de economia com umidade após redução de 9%.	37
Tabela 8 - Resultado dos ensaios piloto de redução de umidade por revolvimento.	39
Tabela 9 - Gastos com o trator agrícola para o método do revolvimento. *Valor cotado 100 h/Mês	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Redução da umidade após lavagem do minério.	20
Gráfico 2 - Ensaio de normalidade e análise histórica da umidade: ROM, Beneficiado e Embarcado.	24
Gráfico 3 - Correlação umidade do minério x milímetros de chuva.	25
Gráfico 4 - Gráfico da evolução total da umidade durante os dias de ensaio.	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	BAUXITA	14
3.2	VOTORANTIM METAIS (CBA).....	16
3.3	LOCALIZAÇÃO E ACESSO	17
3.4	BENEFICIAMENTO NA UNIDADE DE POÇOS DE CALDAS	18
3.5	PROCESSOS DE SECAGEM DE SÓLIDOS	18
3.6	SECAGEM NATURAL COM REVOLVIMENTO	19
3.7	LAVAGEM DO MINÉRIO	19
3.8	SECADOR INDUSTRIAL	20
3.9	BRITADOR SECADOR DE MARTELOS	22
4	SITUAÇÃO ATUAL	24
4.1	DADOS DA UMIDADE	24
4.2	GASTOS GERADOS PELA UMIDADE	25
5	MATERIAIS E MÉTODOS	27
5.1	REVOLVIMENTO PERIÓDICO DO MINÉRIO EM PILHAS LONGAS (PROCESSO MANUAL)	27
5.2	REVOLVIMENTO PERIÓDICO DO MINÉRIO EM PILHAS LONGAS (PROCESSO PILOTO)	30
5.2.1	ATIVIDADES DE CONSTRUÇÃO DA PILHA	31
5.2.2	AMOSTRAGEM, HOMOGENEIZAÇÃO E REVOLVIMENTO	32
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
6.1	ENSAIO COM REVOLVIMENTO MANUAL.....	35
6.2	ENSAIO PILOTO.....	37
7	CONCLUSÃO	41
8	BIBLIOGRAFIA	42

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é conhecidamente um dos maiores produtores de bauxita (13% da produção mundial) e apresenta reservas estimadas em 3,6 bilhões de toneladas. A produção anual gira em torno de 31,8 milhões de toneladas o que lhe garante a terceira posição no cenário mundial atrás apenas de China com 46 milhões e Austrália com R\$ 67 milhões (DNPM/DIPLAM , 2011).

A composição da bauxita brasileira apresenta como mineral de interesse a gibbsita, predominante em bauxitas de regiões tropicais e conta com impurezas como sílica, óxido de ferro e titânio (VOTORANTIM METAIS, 2013).

No total da bauxita comercial produzida mundialmente, cerca de 90% é voltada para a produção metalúrgica do alumínio sendo os outros 10% divididos em materiais refratários, abrasivos, cimentos argilosos, indústria química e outros (CETEM).

A Votorantim metais (CBA) foi a primeira indústria de alumínio do Brasil quando iniciou suas operações no ano de 1955 produzindo cerca de 10 ton/ano (VOTORANTIM BRASIL, 2005). Atualmente é a líder em produção interna de alumínio com capacidade de produção em 475.000 toneladas por ano. A bauxita beneficiada pela companhia é produzida em três unidades produtoras nas cidades de Poços de Caldas, Itamarati de Minas e Mirai, todas no estado de Minas Gerais.

No beneficiamento de minérios, são vários os parâmetros que devem ser cumpridos mediante necessidade técnica para seqüência do tratamento e futura metalurgia do material de interesse. Um desses parâmetros é a umidade, que freqüentemente deve ser passada por uma secagem no intuito de atender especificações de contrato entre as partes envolvidas.

Na unidade de Poços de Caldas da Votorantim Metais, o minério possui uma umidade natural advinda das condições geológicas próprias de seu ambiente de formação; este valor pode alcançar até 27% da massa do produto final e torna essa especificação um grave problema para a companhia, gerando dispêndios bastante expressivos quando relacionados ao frete do minério e metalurgia do alumínio.

Para o Processo Bayer a água é um agente que acarreta grandes custos, isso porque é necessário retirá-la por meios caloríficos e a sua presença ainda dilui a concentração de hidróxido de sódio nas etapas de moagem e digestão.

Essa situação também produz impactos no transporte do minério, por ferrovias, até a refinaria. Um quarto do material que é transportado por vagões de 60 toneladas é composto por água, o que representa um gasto extra no pagamento do frete. Somando os dois fatores principais, frete e gastos no processo Bayer, a cada por cento de umidade baixado é possível ter uma redução de 4% nos custos totais gerados por essa adversidade.

No pátio de minério beneficiado, o minério é disposto em pilhas cônicas, e sua secagem natural nessas condições independente do clima é extremamente demorada e inviável devido ao predomínio de material essencialmente fino em sua composição.

Observado o problema foi necessário um projeto em que foram realizados estudos de diferentes métodos de secagem de minério que poderiam ser aplicados em escala industrial, onde está exposto o estudo comparativo de eficiência e viabilidade econômica, operacional e temporal dos métodos: secagem a céu aberto com revolvimento periódico de pilhas alongadas, secagem com secadores industriais, britador secador de martelos e lavagem do minério para desagregação de argilas.

2 OBJETIVOS

- Analisar as principais características do minério de bauxita de Poços de Caldas e observar sua influência na umidade;
- Elaborar rotas possíveis de secagem para a bauxita;
- Escolher o método mais viável levando-se em consideração a realidade atual da Planta de Poços de Caldas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BAUXITA

Seu nome foi criado por Dufrenoy em 1837, e é referente a cidade de Les Baux na França, onde foi descoberta em 1821 por Berthier (BÁRDOSY; ALEVA, 1990).

É uma rocha de coloração branco avermelhada podendo variar de acordo com o teor de óxido de ferro presente. Rica em alumínio, apresenta teores de até 60% de Al_2O_3 (alumina) em sua composição que é formada a partir de uma mistura de minerais como a gibbsita $Al(OH)_3$, diásporo $AlO(OH)$, boehmita $AlO(OH)$ e seus contaminantes dentre os quais estão a sílica, óxidos de ferro e titânio.

No Planalto de Poços de Caldas, a bauxita ocorre sob a forma de corpos superficiais, podendo-se distinguir dois tipos de minério: um mais superficial, apresentando-se como nódulos de bauxita imersos em matriz argilo-terrosa, com alta incidência de matéria orgânica, e outra mais porosa, situada abaixo da bauxita nodular (VOTORANTIM METAIS, 2008).

Sua composição mineralógica básica inclui gibbsita, argilo-minerais (caolinita e halloysita), óxidos e hidróxidos de ferro (goethita e magnetita) e anatásio, podendo ocorrer, localmente, claquita, boehmita e litioforita (VOTORANTIM METAIS, 2008).

Os jazimentos de bauxita dentro do maciço alcalino de Poços de Caldas apresentam características que permitem classificá-los em dois tipos básicos (VOTORANTIM METAIS, 2008):

a) Jazidas “de serra”:

Foram formadas pela decomposição das rochas alcalinas do dique anelar que delimita o Planalto, localizando-se em quase sua totalidade nas serras de Poços de Caldas, de São Domingos, do Selado e do Maranhão (porção norte da intrusão). São jazidas homogêneas e de grande espessura (por vezes superior a 10 m), porém com menor distribuição em área que os depósitos situados no interior do Planalto, conforme observado na Figura 1 (VOTORANTIM METAIS, 2008).



Figura 1 - Jazida de serra da bauxita de Poços de Caldas.

b) Jazidas “de campo”:

São as jazidas formadas no interior do planalto, mostrando corpos descontínuos de minério, interrompidos lateralmente, quer pelas depressões topográficas quer pela presença de zonas de baixo teor ou faixas de argila pura conforme é mostrado na Figura 2. O minério apresenta aspecto semelhante ao “de serra”, ocorrendo, porém, quase sempre, em matriz argilosa. A espessura média da camada de bauxita situa-se em torno de 2 a 3 m, embora, excepcionalmente, possa atingir mais de 6 m. Capeando a maioria dos depósitos ocorre uma camada de bauxita nodular misturada com terra e matéria orgânica, com espessura ao redor de 0,50 m (VOTORANTIM METAIS, 2008).

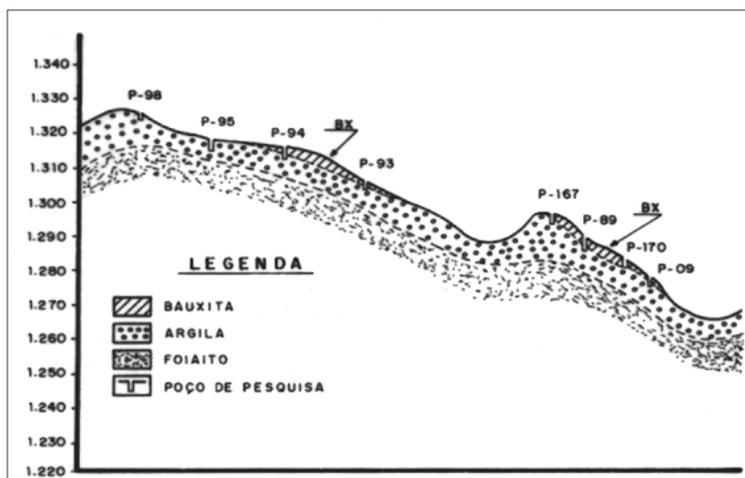


Figura 2 - Jazida de campo da bauxita de Poços de Caldas (MG).

Na Figura 3 podem-se observar perfis esquemáticos do manto mineralizado das Jazidas de bauxita na Região de Poços de Caldas.

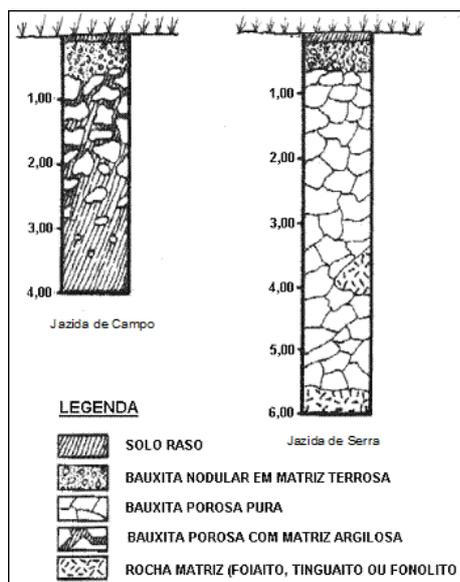


Figura 3 - Perfis esquemáticos do manto mineralizado das Jazidas de bauxita na Região de Poços de Caldas.

3.2 VOTORANTIM METAIS (CBA)

A Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) foi fundada em 1941, com o intuito de explorar as ricas jazidas de bauxita encontradas nas rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas. No entanto, devido à segunda guerra mundial e alguns problemas relacionados à falta de tecnologia e mão de obra especializada, o início formal de produção de alumínio metálico se deu em 1955 com produção anual aproximada em 10 toneladas ano. Atualmente é a líder em produção interna de alumínio com capacidade de produção em 475.000 toneladas por ano (VOTORANTIM BRASIL, 2005).

A bauxita beneficiada pela companhia é produzida em três unidades produtoras nas cidades de Poços de Caldas, Itamarati de Minas e Miraiá, todas no estado de Minas Gerais que oferecem seu minério exclusivamente para sua própria refinaria de alumínio localizada na cidade de Alumínio (SP).

Atualmente a reserva avaliada na Unidade de Poços de Caldas gira em torno de 9.000.000 de toneladas de minério bruto, com uma taxa de produção de 700.000 ton./ano, o que significa que as jazidas de Poços de Caldas apresentam até o momento pouco menos de 13 anos de vida útil.

3.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O material em questão é a bauxita produzida pela unidade de Poços de Caldas da Votorantim Metais (VM) com suas jazidas e planta de beneficiamento localizados na divisa entre os estados de Minas Gerais e São Paulo conforme a Figura 4, sendo sua maior área pertencente a Minas Gerais. O acesso pode ser feito pela BR-459 (MG-62), que interliga essa região a Belo Horizonte (461 km) e Rio de Janeiro (488 km), ou pela BR-146 (MG-20) e SP-342, que demandam a São Paulo (260 km). Todas estas rodovias são asfaltadas.



Figura 4 - Localização da cidade de Poços de Caldas.

A região conta ainda com a Ferrovia Centro Atlântica – FCA, ramal da antiga FEPASA, atual Vale Logística, de bitola estreita, e que se constitui na principal via de escoamento da bauxita produzida pela CBA.

Dentro dos perímetros de operação e produção da companhia, as estradas de acesso possuem largura média de 8 metros, com ótimas condições de tráfego em todas as épocas do ano. Nas regiões de mina, placas de sinalização aliadas às disciplinas estabelecidas pela empresa, servem para controlar o fluxo de veículos com segurança e eficiência. A bauxita é transportada diretamente da mina para a usina de beneficiamento da CBA através de caminhões terceirizados, e após beneficiado é carregada em vagões e transportadas por linha férrea até a cidade de Alumínio (SP) onde se encontra a fábrica de alumínio metálico da companhia.

3.4 BENEFICIAMENTO NA UNIDADE DE POÇOS DE CALDAS

O minério em Poços de Caldas é explotado em diferentes frentes de lavra de onde é transportado por caminhões de 16 toneladas até um pátio de estocagem de minério bruto (ROM). Então, o minério é carregado por pás carregadeiras ou caminhões para uma moega que possui grelha de abertura 41 x 26 cm, utilizada para a retirada de grandes fragmentos rochosos e raízes que eventualmente contaminem o minério.

Seguindo o processo, a bauxita é classificada e encaminhada para a britagem através de um alimentador de sapatas que conta com espaçamentos que retêm o material maior que 2" e então alimenta um britador de martelos Hammermills Bulldog da FLSmidth, cujo produto é 95% menor que 2". O minério britado, adicionado ao passante do alimentador cai em correias transportadoras e é distribuído em pilhas cônicas no pátio de minério beneficiado através de um staker.

O minério estocado é carregado por pás carregadeiras em trens com vagões de 49 e 59 toneladas que levam o minério beneficiado para a fábrica de produção de alumínio em Alumínio - SP. A Figura 5 ilustra o processo de produção

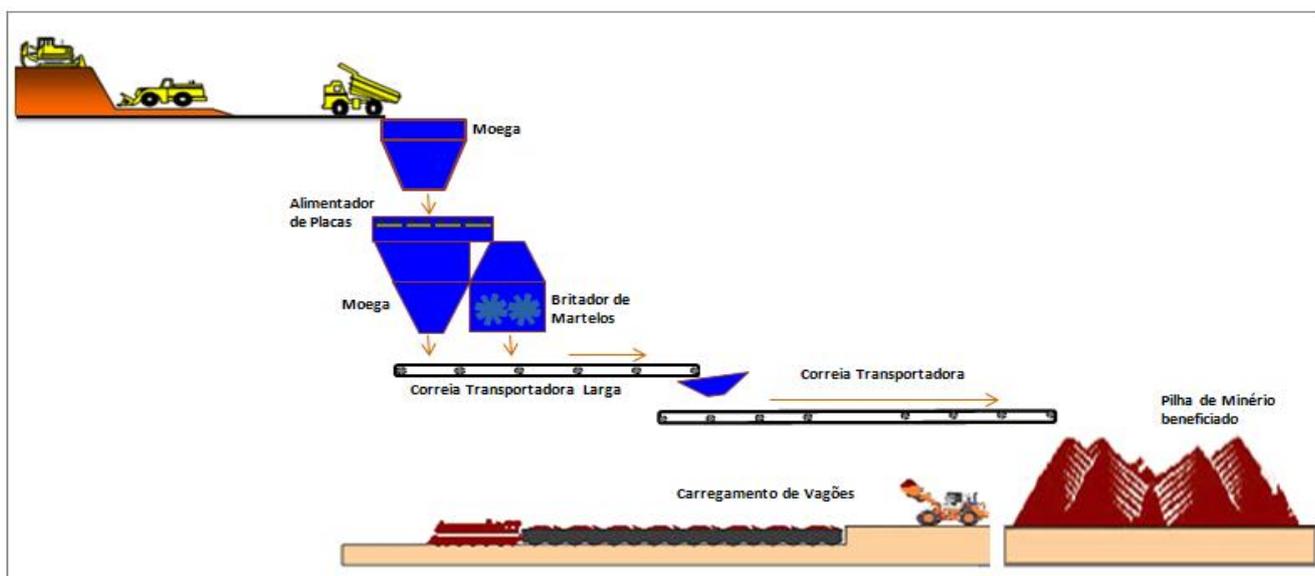


Figura 5 - Fluxograma do beneficiamento de Poços de Caldas.

3.5 PROCESSOS DE SECAGEM DE SÓLIDOS

Os processos de secagem podem ser classificados de variadas formas, contudo os mais habituais para sólidos, são baseados em trocas de calor. Segundo os

métodos de troca de calor, os processos de secagem podem ser divididos em diretos, indiretos, infravermelho e dielétricos (MAGALHÃES; RODRIGO, 2002).

Na secagem por métodos diretos, a troca de calor é ocasionada pelo contato direto entre o sólido úmido e os gases quentes e também pode ser chamado de secagem por convecção (MAGALHÃES; RODRIGO, 2002).

Nos métodos indiretos, o calor é transmitido através de uma parede. A eficiência da secagem depende do calor oferecido e do contato entre o material úmido e as superfícies quentes e também podem ser chamados de secagem a condução (MAGALHÃES; RODRIGO, 2002).

No processo de secagem por infravermelho ou calor radiante, a operação dos processos a calor radiante depende da geração, da transmissão e da absorção dos raios infravermelhos (MAGALHÃES; RODRIGO, 2002).

Os processos de aquecimento dielétrico operam com o princípio da geração de calor dentro do sólido mediante a colocação deste num campo eletromagnético de frequência elevada (MAGALHÃES; RODRIGO, 2002).

Nos processos industriais de mineração a secagem é praticamente toda aplicada através nos métodos direto e indireto.

3.6 SECAGEM NATURAL COM REVOLVIMENTO

Trata-se de um método natural de troca de calor que utiliza principalmente como fonte de energia a irradiação solar. Nesse processo, o material é disposto em pilhas espalhadas com dimensões pré-determinadas de acordo com características específicas do minério como densidade e umidade.

Para a secagem, as pilhas devem ser revolvidas periodicamente em tempos pré-determinados, ação essa que altera a superfície de contato direto com a fonte de calor e intensifica a eficiência de secagem.

3.7 LAVAGEM DO MINÉRIO

A bauxita da região de Poços de Caldas possui uma umidade natural advinda das condições geológicas de sua formação. Em média, 45% do material (argilo-minerais) possuem granulometria inferior a 100 mesh (0,15mm), fração a qual é considerada muito fina e possui uma matriz argilosa que eleva a umidade para até 27% da massa do produto final (VOTORANTIM METAIS, 2008).

Uma forma de diminuir essa umidade, seria contar com um circuito de beneficiamento que fizesse a lavagem desse minério, retirando o máximo do material fino de sua composição.

Resultados de ensaios encontrados na literatura mostram que, com a lavagem na malha de 14 mesh Tyler (1,18 mm), como mostrado na Figura 6, a umidade apresentou ao final de 3 dias, uma redução de 6,2% conforme pode ser observado no Gráfico 1 (VOTORANTIM METAIS, 2013).

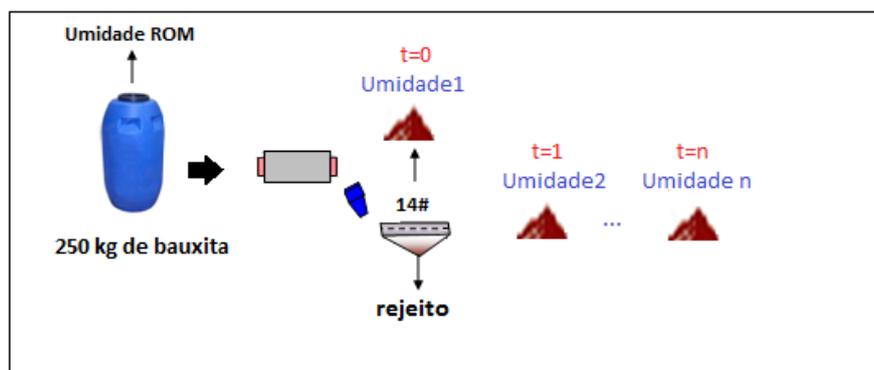


Figura 6 - Esboço do ensaio de lavagem.

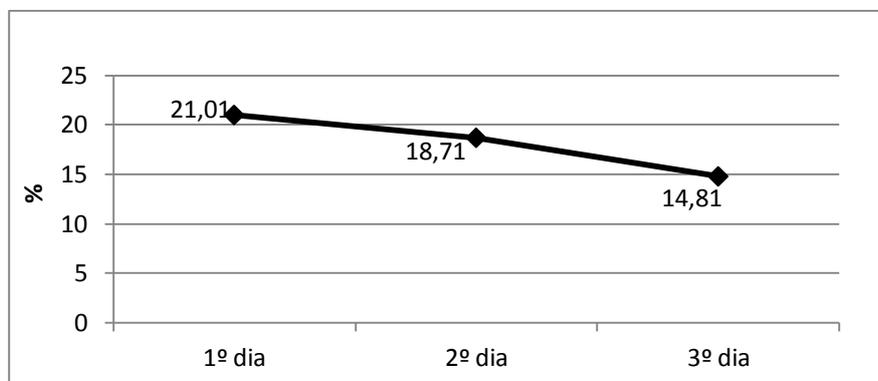


Gráfico 1 - Redução da umidade após lavagem do minério.

3.8 SECADOR INDUSTRIAL

Trata-se de um complexo circuito de secagem composto basicamente por um gerador de gás quente e um secador. O sistema descrito é um modelo industrial ofertado pela empresa "ICON MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS".

O Gerador de Gás Quente (GGQ), apresenta como possibilidades de combustível coque de petróleo ou carvão mineral com umidade de até 10% e

granulometria entre 1 e 6mm ou então gás GN (Gás Natural) e GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)

Em leito fluidizado a combustão ocorre por meio da fluidização, processo onde se mantêm o combustível a ser queimado em suspensão em corrente gasosa distribuída sobre a base desse leito, com velocidade controlada o suficiente, para manter em suspensão sem promover o arraste do combustível e a areia que compõe o leito.

A técnica de combustão em leito fluidizado é desenvolvida em diferentes países, principalmente pela grande vantagem de permitir a utilização de combustíveis sólidos com dificuldade de queima pelos meios tradicionais.

Quanto ao gás gerado em câmara de combustão à GN ou GLP, os gases se misturam ao ar atmosférico introduzido na câmara por aspiração gerando temperaturas controláveis que podem chegar a até 850°C. A câmara tem paredes duplas de modo que o ar induzido se encaminha pela parte externa, misturando-se aos gases no topo do gerador.

Depois de gerado o gás, ele necessita de um equipamento por onde o minério é colocado em contato com o calor oferecido, são os chamados secadores. O Secador Rápido Icon, Figura 7, é um equipamento elaborado para a secagem de compostos sólidos e pastosos com alta taxa de umidade (até 65%) (ICON MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 2013).

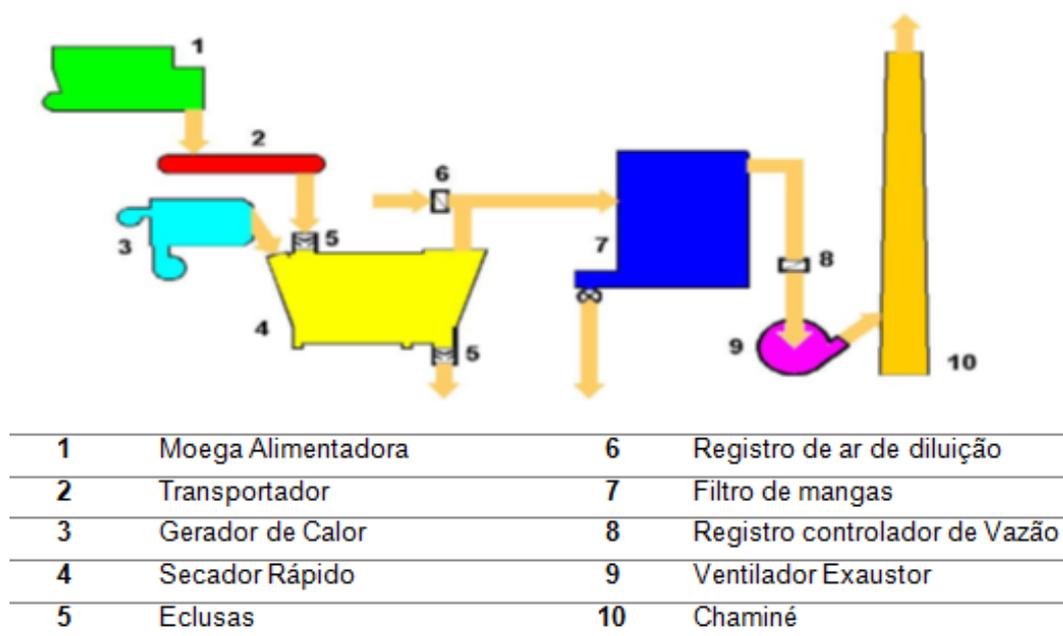


Figura 7 - Fluxograma do processo de secagem.

O tempo de residência do material no secador pode ser variado de acordo com a necessidade de secagem e segundo especificações do fabricante.

As propostas dos secadores industriais baseiam-se no uso de duas linhas de secagem paralelas com uma redução média de 10% da umidade.

A principal diferença entre as duas propostas está no tipo de combustível usado nos secadores; para a Proposta 1 a fonte calorífica seria o coque e o circuito final apresentaria um custo de R\$9.865.000,00 e para a Proposta 2 GLP avaliado em R\$8.000.000,00. Ambas são capazes de proporcionar o mesmo resultado de secagem e operam gerando gases de 850°. Porém a proposta 2 leva vantagem quanto ao espaço requerido para implantação do sistema, pois o secador a gás é mais compacto e apresenta estrutura mais simplificada. Além disso, o investimento inicial para aquisição dos equipamentos para a segunda alternativa seria 18,9% menor que a proposta 1.

3.9 BRITADOR SECADOR DE MARTELOS

O minério é alimentado no duto de entrada junto com o gás quente; com o giro do rotor e conseqüentemente o martelo a ele acoplado. É feita a cominuição do minério com o impacto do mesmo entre os martelos e a chapa de impacto; o gás quente, guiado pela chapa defletora, passa junto com o minério entre os martelos garantindo a eficiência de britagem e início da secagem conforme a Figura 8 (FLSMIDTH, 2012)

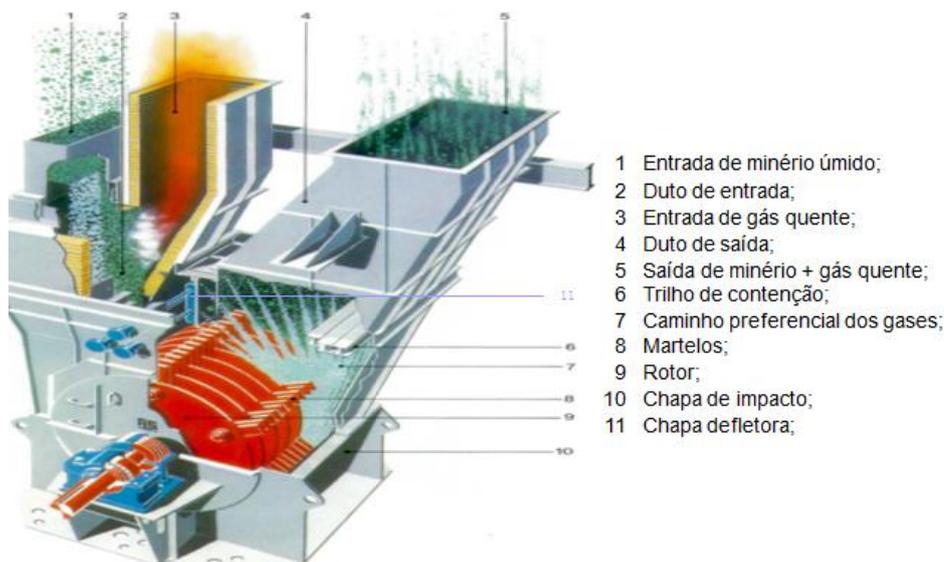


Figura 8 - Britador secador de martelos.

Para sua implantação seria necessária ampla alteração na estrutura atual da planta de beneficiamento, uma vez que as fundações e espaço disponíveis são insuficientes para sua aplicação.

A alimentação do equipamento deveria girar em torno de 200 ton/h e a umidade de 23% apresentaria um decréscimo de 20% alcançando umidades com até 3%. Essa redução de umidade é dificilmente controlada, e por ser tão drástica resultaria em outro problema com a geração de material particulado durante o transporte via ferrovia. Ainda o equipamento é avaliado em R\$7.000.000,00 mais os custos para realizar alterações físicas para adequação da planta.

4 SITUAÇÃO ATUAL

O capítulo a seguir apresenta os dados da situação do minério beneficiado pela unidade de Poços de Caldas da Votorantim metais, tratando da umidade, que atualmente gira em torno de 24%, e os custos que a mesma acarreta para a companhia.

4.1 DADOS DA UMIDADE

De posse da série histórica da umidade do ROM, do minério beneficiado e embarcado juntamente com os dados pluviométricos de Poços de Caldas, foi possível analisá-los e verificar possíveis variações e influências em determinado intervalo de tempo conforme é exibido no Gráfico 2.

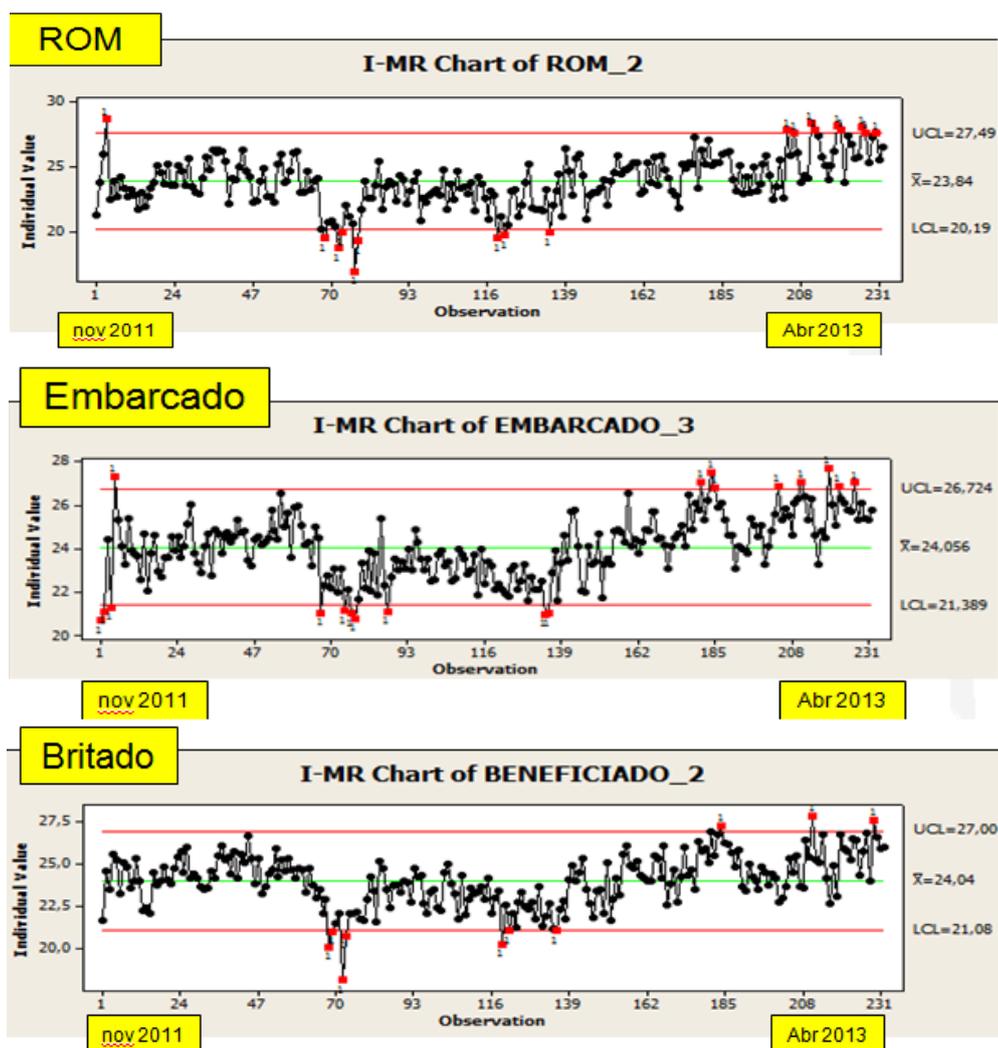


Gráfico 2 - Ensaio de normalidade e análise histórica da umidade: ROM, Beneficiado e Embarcado.

Através dos dados obtidos e correlacionando a umidade do ROM, minério britado e embarcado pela sazonalidade, praticamente todos apresentam o mesmo comportamento no decorrer dos dias. Dessa forma podemos deduzir que a umidade é advinda do material in situ (na frente de lavra) e não resultado de algum fator externo como chuva ou alguma etapa do beneficiamento, essa informação pode ser conferida no Gráfico 3, onde não é observado a elevação da umidade entre os períodos chuvosos.

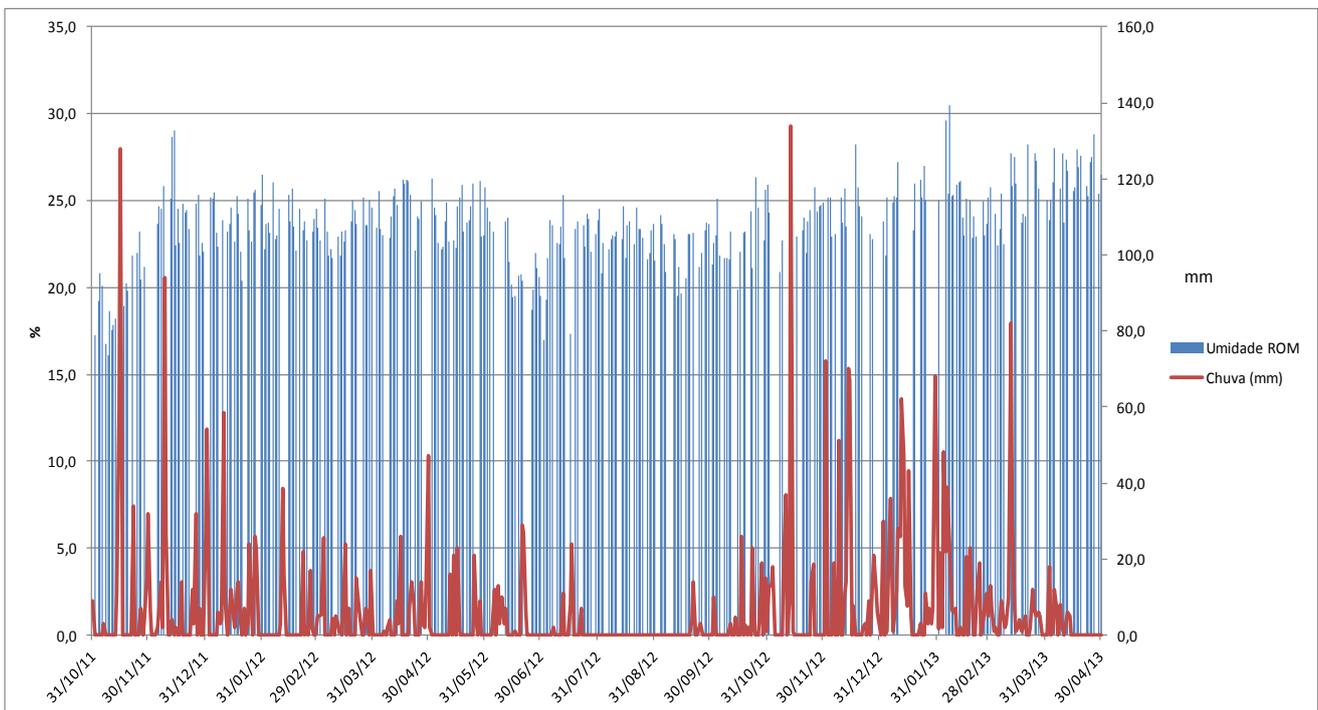


Gráfico 3 – Análise comparativa da umidade do minério x milímetros de chuva.

4.2 GASTOS GERADOS PELA UMIDADE

Para a sequência do processo metalúrgico do alumínio, a umidade é um agente que acarreta grandes custos, devido à necessidade de sua retirada por meios caloríficos que demandam um elevado custo de operação. Ainda, para o transporte, cerca de um quarto do material que é conduzido por vagões de 60 toneladas é composto pela água advinda da umidade, o que representa um gasto extra no pagamento do frete. Somando os dois fatores principais, frete e gastos nos processos mostrados na Tabela 1, a cada por cento de umidade baixado é possível ter uma redução de 4% nos custos gerados por essa adversidade.

Tabela 1- Custo por tonelada de água.

Custo	R\$/ton_(H2O)
Transporte	35.23
Fábrica	32.73
Total	67.96

Em simulação de custos, considerando a tonelagem mensal de minério embarcado e uma umidade média de 25%, desde o início do ano, pode-se perceber o custo da água no processo conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Custos com a umidade de janeiro a maio de 2013.

Data	Embarcado (t)	Umidade média (%)	Massa de água (t)	Valor (R\$)
Jan/13	24.942,00	25	6.235,50	423.764,58
Fev/13	24.090,00	25	6.022,50	409.289,10
Mar/13	51.075,00	25	12.768,75	867.764,25
Abr/13	61.581,00	25	15.395,25	1.046.261,19
Mai/13	64.430,00	25	16.107,50	1.094.665,70
Total	226.118,00	25	56.529,50	3.841.744,82

O valor de R\$ 3.841.744,82 corresponde ao custo total do frete mais os dispêndios no processo metalúrgico. Em média, foram gastos quase R\$ 800.000,00 por mês para transportar e secar a água.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme informado anteriormente, a unidade produtiva de Poços de Caldas apresenta uma vida útil de aproximadamente 13 anos de acordo com sua taxa de produtividade atual e a reserva medida de minério explorável. Sendo assim a empresa considera inviável investir um alto valor de projeto para a solução desse problema, estando dessa forma excluídas as possibilidades de compra e implantação dos sistemas de lavagem do minério, secadores industriais ou britador secador de martelos.

O único sistema aplicável no momento são os referentes ao revolvimento periódico das pilhas para secagem natural. Uma vez que demandam baixo investimento e podem apresentar eficientes resultados.

5.1 REVOLVIMENTO PERIÓDICO DO MINÉRIO EM PILHAS LONGADAS (PROCESSO MANUAL)

Com uma pá carregadeira o material foi transportado do pátio principal até o pátio secundário.

O minério separado foi espalhado em uma pilha retangular de 2,5 metros de comprimento por 1 metro de largura e 0,25 m de altura como pode ser observado na Figura 12.



Figura 9 - Dimensões das pilhas utilizadas no ensaio.

A partir daí, com as pilhas montadas, alíquotas foram coletadas com escavadeira manual em seis pontos da pilha como mostradas na Figura 10, e passadas para uma lona onde foram homogeneizadas e quarteadas, e então formadas as amostras, procedimento que pode ser observado na Figura 11.



Figura 10 - Pontos de Coleta.



Figura 11 - Processo de coleta da amostra.

O processo de coletas se deu início às 8 horas e 20 minutos na manhã do dia 21/05/2013, e seguiu de duas em duas horas até o fim do turno. Nos dias seguintes o período entre as coletas foi alterado para 4 horas.

Antes de cada coleta o material foi revolvido (misturado) como é mostrado na Figura 12, para aumentar a superfície de contato do minério com o sol, e assim aumentar a eficiência da secagem, sendo esse o princípio do método proposto na análise.



Figura 12 - Revolvimento do material.

Na noite do primeiro para o segundo dia de ensaios, o clima favoreceu e o material pernitoou descoberto. Já nos dias seguintes, ao ser coletada a última amostra, o material foi coberto por lona com a finalidade de impedir o contato direto com chuva.

Após as análises dessa primeira etapa, foi proposto e realizado um novo ensaio de dois dias (25/06 e 26/06), para determinação do melhor intervalo de tempo para o revolvimento. Três pilhas, nos mesmos moldes da anterior, foram alocadas lado a lado como pode ser observado na Figura 13, sendo que uma era revolvida de 2 em 2 horas, outra de 4 em 4 horas e a terceira permaneceu estática. A coleta de amostras ocorreu como no primeiro ensaio, e os incrementos foram coletados de 2 em 2 horas. As amostras ensacadas foram enviadas para laboratório com a finalidade de mensurar a umidade.



Figura 13 - Disposição das pilhas de minério beneficiado no segundo ensaio.

5.2 REVOLVIMENTO PERIÓDICO DO MINÉRIO EM PILHAS LONGADAS (PROCESSO PILOTO)

Depois de obtidos os resultados dos ensaios feitos com pilhas de pequeno porte e revolvidas manualmente, foi realizado um teste em escala semi industrial com a intenção de se verificar o comportamento do processo de secagem em pilhas de maior porte e revolvidas com trator munido de implemento.

Os ensaios seguiram os métodos aplicados anteriormente, com construção da pilha e então revolvidos periódicos para maior eficiência da secagem.

Foram utilizadas 135 toneladas de bauxita, valor esse estipulado de acordo com a dimensão determinada para a pilha, que apresentava formato retangular com 30 metros de comprimento por 9 metros de largura e 0,30 m de altura conforme é ilustrado na Figura 14 e mostrado na Figura 15.

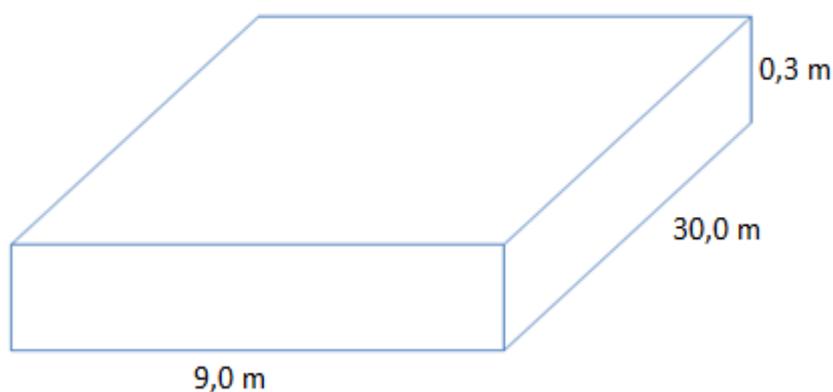


Figura 14 - Dimensões da Pilha.



Figura 15 - Pilha já construída.

O cálculo de volume deu-se conforme a equação:

$$V = C \times L \times E = 30,0 \text{ m} \times 9,0 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 81,0 \text{ m}^3$$

Sendo: C = Comprimento

L = Largura

E = Espessura

Em posse do volume de minério necessário, foi possível calcular a massa de minério necessária para formar a pilha. A massa em toneladas foi calculada multiplicando-se o volume pela densidade do minério, conforme a seguir. Sendo que a densidade média aparente do minério é de 1,5 t/m³ de acordo com dados da companhia.

$$M = V \times \rho = 81,0 \text{ m}^3 \times 1,5 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} = 121,5 \text{ t}$$

Sendo:

$M = \text{Massa (t)}$

$\rho = \text{Densidade aparente da bauxita } \left(\frac{\text{t}}{\text{m}^3}\right)$

$V = \text{Volume (m}^3\text{)}$

5.2.1 ATIVIDADES DE CONSTRUÇÃO DA PILHA

As operações iniciaram-se no dia 09/09/2013 às 08h50m, foram necessárias nove viagens do caminhão basculante de 3 eixos - 15 t, atendendo as especificações de massa pré calculadas (Figura 16).



Figura 16 - Caminhão basculante.

Após alcançar o montante calculado, iniciou-se o espalhamento do minério com retroescavadeira CAT modelo 416E (Figura17).



Figura 17 - Retroescavadeira CAT 416E realizando o espalhamento da bauxita.

5.2.2 AMOSTRAGEM, HOMOGENEIZAÇÃO E REVOLVIMENTO

As amostragens também foram realizadas de forma semelhante às aplicadas anteriormente nos ensaios de revolvimento manual, como mostrado na Figura 18. A amostragem ocorreu de 2 em 2h, sendo coletadas 6 alíquotas com escavadeira manual antes de cada revolvimento.

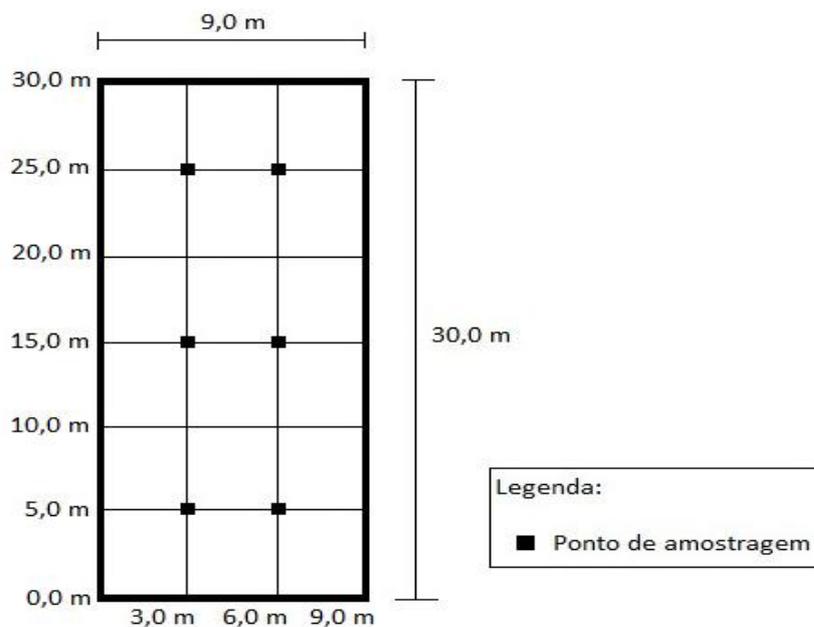


Figura 18 - lustração dos pontos de coleta das amostras.

As alíquotas foram misturadas e transferidas para uma lona, onde se realizou a homogeneização, o quarteramento e a formação da amostra final que foi destinada para análise de umidade. O procedimento pode ser observado nas Figuras 19 e 20.



Figura 19 - Preparação das amostras.



Figura 20 - Homogeneização na lona.

Para o revolvimento periódico das pilhas, foi utilizado trator Valtra PCA 800 implementado com arado agrícola conforme retratado na Figura 21.



Figura 21 - Trator Valtra PCA 800 revolvendo com o arado.

Anteriormente a cada coleta de amostra, o trator percorreu totalmente a pilha passando o arado e revolvendo-a com o intuito de expor a parte inferior do minério aos raios solares e assim aumentar a eficiência de secagem.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 ENSAIO COM REVOLVIMENTO MANUAL

Ao todo foram coletadas 12 amostras e enviadas para análise de umidade em laboratório e os resultados podem ser visualizados na Tabela 3 e no Gráfico 4:

Tabela 3 - Resultado do primeiro ensaios de redução da umidade por revolvimento

	Descrição	% Umidade	ΔU Diário (%)
21/05/2013	T.U 08:20	25,57	3,15
	T.U 10:20	24,72	
	T.U 12:20	23,82	
	T.U 14:20	23,33	
	T.U 16:20	22,42	
22/05/2013	T.U-1 08:20	21,27	2,28
	T.U-1 12:20	19,81	
	T.U-1 16:20	18,99	
23/05/2013	T.U-2 08:20	18,29	1,48
	T.U-2 10:20	17,56	
	T.U-2 12:20	16,81	
24/05/2013	T.U-3 08:20	16,19	
ΔU Total			9,38

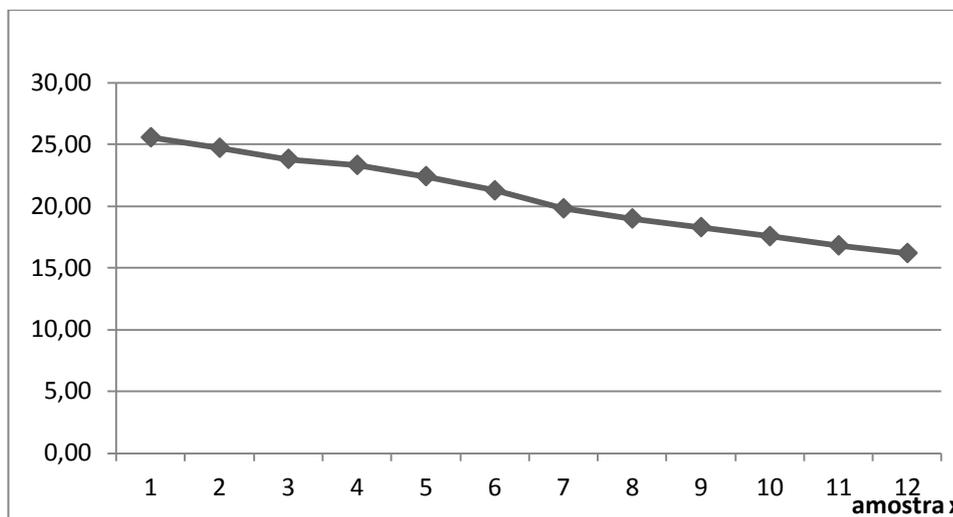


Gráfico 4 - Gráfico da evolução total da umidade durante os dias de ensaio.

A redução da umidade ocorreu de modo linear e após cada revolvimento o decréscimo foi em média de 1%, totalizando ao final de 3 dias uma redução de 9,38%.

O segundo experimento ocorreu em dois dias consecutivos, e foi realizado

para possibilitar a determinação do melhor intervalo de revolvimento. Para isso foi realizado um comparativo entre o custo operacional (CO) do método e o decréscimo da umidade com intervalos entre revolvimentos de 2 ou 4 horas, os resultados podem ser observados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Resultados do segundo ensaio de revolvimento.

	Pilha 1			Pilha 2			Pilha 3		
	Descrição	Umidade (%)	ΔU diário (%)	Descrição	Umidade (%)	ΔU diário (%)	Descrição	Umidade (%)	ΔU diário (%)
25/jun	TR-0 09hs	22,98		TR-2 09hs	23,20		TR-4 09hs	21,02	
	TR-0 11hs	23,12		TR-2 11hs	22,21		TR-4 11hs	23,19	
	TR-0 13hs	18,78		TR-2 13hs	21,91		TR-4 13hs	22,03	
	TR-0 15hs	22,56		TR-2 15hs	21,38		TR-4 15hs	21,95	
	TR-0 17hs	21,70	1,28	TR-2 17hs	21,13	2,07	TR-4 17hs	21,53	-0,51
26/jun	TR-0 08hs	21,73		TR-2 08hs	21,65		TR-4 08hs	21,78	
	TR-0 10hs	21,41		TR-2 10hs	20,00		TR-4 10hs	21,07	
	TR-0 12hs	21,43		TR-2 12hs	20,20		TR-4 12hs	20,58	
	TR-0 14hs	20,30		TR-2 14hs	19,47		TR-4 14hs	20,62	
	TR-0 16hs	21,70	0,56	TR-2 16hs	19,64	2,01	TR-4 16hs	20,46	1,32
	ΔU_1 total (%)	1,81		ΔU_2 total (%)	3,56		ΔU_3 total (%)	0056	

Tabela 5 – Comparação de CO diário para intervalos de 2 e 4 horas entre revolvimentos .

	Intervalo de Tempo	
	2 horas	4 horas
ΔU diário (%)	3,56	0,56
Consumo de Combustível (L)	16,88	10,13
Aluguel do Trator (R\$/h)	112,00	112,00
Horas Trabalhadas Trator	4,00	2,40
Horas Trabalhadas Amostristas	1,70	1,00
Custo com combustível (R\$/L)	2,31	2,31
Custo com Op. De Máquinas (R\$/h)	8,20	8,20
Custo dos Amostristas (R\$/h)	5,63	5,63
CUSTO OPERACIONAL DIÁRIO (R\$)	538,93	323,14

Considerando as pilhas analisadas no segundo dia de ensaio do primeiro teste, uma secagem de dois dias, com revolvimento de duas em duas horas, apesar apresentar CO 66,78% maior, apresenta redução de umidade 535,71% mais eficiente que a pilha com revolvimentos de 4 em 4 horas.

Com o primeiro ensaio de revolvimento da bauxita, em média, houve uma

redução de 9% da umidade. Economicamente, esse decréscimo seria significativo nos gastos com o processo, gerando importante economia para a empresa conforme detalhado na Tabela 7. Esses cálculos foram simulados para um minério com umidade de 16%, obtida após redução de 9% através do método do revolvimento com intervalos de 2 em 2 horas. Vale lembrar que o custo gerado pela umidade com frete mais secagem na fábrica é de R\$67,96 por tonelada de água e o CO mensal para o método no período analisado foi estimado e está exposto na Tabela 6.

Tabela 6 - CO Mensal.

Mês	Dias Trabalhados	CO
Jan/13	21	11.317,53
Fev/13	17	9.161,81
Mar/13	17	9.161,81
Abr/13	22	11.856,46
Mai/13	19	10.239,67

Tabela 7 – Simulação de economia com umidade após redução de 9%.

Data	Embarcado (t)	Massa de água (t)	Custo sem redução (R\$)	Valor Frete + Fábrica (R\$)	CO Revolvimento (R\$)	Economia (R\$)
jan/13	24.942,00	3.990,72	423.764,58	271.209,33	11.317,53	141.237,72
fev/13	24.090,00	3.854,40	409.289,10	261.945,02	9.161,81	138.182,27
mar/13	51.075,00	8.172,00	867.764,25	555.369,12	9.161,81	303.233,32
abr/13	61.581,00	9.852,00	1.046.261,19	669.607,16	11.856,46	364.797,57
mai/13	64.430,00	10.308,00	1.094.665,70	700.586,05	10.239,67	383.839,98
Total	226.118,00	36.177,12	3.841.744,82	2.458.716,68	51.737,28	1.331.290,86

Considerando apenas esses cinco primeiros meses do ano, isso significaria uma economia de 34,65% ou R\$1.331.290,86.

6.2 ENSAIO PILOTO

Para o ensaio em escala piloto foram coletadas 12 amostras e enviadas ao laboratório para análise de umidade.

As amostras foram identificadas indicando as siglas do teste de revolvimento (TR), o dia de teste contabilizado 1 como primeiro dia 2 como o segundo e assim consecutivamente e por final o horário da amostragem. O modelo padrão utilizado nas etiquetas foi:

$$TR - x - hh:mm$$

TR = Teste de Revolvimento

x = Teste x ésimo dia

hh:mm = Horário da coleta de amostra

Eventualmente durante as coletas ocorreram alguns imprevistos descritos abaixo. Contudo em vias gerais o ensaio ocorreu conforme previsto.

Dia 11/09/2013

TR – 1 – 09:00: A primeira coleta de amostra iniciou posteriormente à operação de espalhamento da bauxita, as 09h. Não houve revolvimento posterior devido a problemas de logística com o trator.

TR – 1 – 15:00: Dois revolvimentos: 1º para descompactar a bauxita antes da coleta e 2º para expor a camada inferior em contato com o sol, após a coleta.

Observações: Clima favorável para os ensaios, com sol o dia todo e sem incidência de nuvens.

Dia 12/09/2013

TR – 2 – 08:00: Procedimento normal.

TR – 2 – 10:00: Procedimento Normal.

TR – 2 – 12:00: Procedimento Normal.

TR – 2 – 14:00: Procedimento Normal.

TR – 2 – 16:00: Procedimento Normal.

Observações: Clima favorável para os ensaios, com sol o dia todo e sem incidência de nuvens.

Dia 13/09/2013

TR – 3 – 08:00: Procedimento normal.

TR – 3 – 10:00: Procedimento Normal.

TR – 3 – 12:00: Procedimento Normal.

TR – 3 – 14:00: Procedimento Normal.

TR – 3 – 16:00: Procedimento Normal.

Observações: Clima favorável para os ensaios, com sol o dia todo e sem incidência de nuvens.

Os resultados podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 8 - Resultado dos ensaios piloto de redução de umidade por revolvimento.

TAG	Data	Umidade (U) %	ΔU dia %	ΔU Global
TR1 - 09h00	11/set	18,3	0,7	
TR1 - 15h00	11/set	17,6		
TR2 - 08h00	12/set	17,8		
TR2 - 10h00	12/set	18,2		
TR2 - 12h00	12/set	17,6	1,3	2,4
TR2 - 14h00	12/set	16,9		
TR2 - 16h00	12/set	16,9		
TR3 - 08h00	13/set	16,8		
TR3 - 10h00	13/set	15,9		
TR3 - 12h00	13/set	16,1	1,2	
TR3 - 14h00	13/set	17,1		
TR3 - 16h00	13/set	16,2		

A existência de valores de umidade, que não seguem o padrão de decréscimo, está condicionada à própria coleta de amostras nas pilhas, ou seja, erros no momento de amostragem, pois na mesma pilha havia pontos com valores de umidade distintos entre si. Outra consideração importante é o clima; nos dias em questão o tempo estava nublado e bastante úmido.

A redução global foi de 2,4%, ante 9,38% alcançado com o revolvimento manual.

Uma das causas por esta menor redução se deve ser a altura da pilha. A altura determinada foi de 30 cm, e durante o processo de revolvimento foi constatado que essa medida está acima do alcance do arado agrícola utilizado durante os revolvimentos.

Para a implantação desse método na rotina da unidade, demandaria alguns fatores como:

- Aquisição de um trator agrícola;
- Contratação de um operador para o trator;
- Possível tratamento no piso do pátio com a construção de canaletas para auxiliar na drenagem;
- Lonas para cobertura das pilhas;

- Readequação da logística de estocagem e embarque do minério, de modo a usar os dois pátios existentes.

No caso do trator foram avaliadas as possibilidades de compra e aluguel do equipamento, isso porque essa prática é condicionada ao regime de pluviosidade anual. A relação comparativa entre valores para compra ou aluguel (já citada anteriormente) do equipamento pode ser observada na Tabela 8.

Tabela 9 - Gastos com o trator agrícola para o método do revolvimento. *Valor cotado 100 h/Mês.

Trator Agrícola	
Compra (R\$)	Aluguel (R\$)
R\$98.400,00 (sem imposto)	R\$112,00 por hora
R\$120.00,00 (com imposto)	

Considerando o valor cotado de 100 horas por mês, o valor mensal do aluguel seria em torno de R\$11200,00. Comparado ao valor de R\$120000,00 para aquisição do trator, em pouco mais de 10 meses de aluguel o valor para compra seria alcançado. No entanto custos com manutenção e problemas como disponibilidade do equipamento seriam de competência da empresa locadora.

7 CONCLUSÃO

Este estudo avaliou quatro opções de processos de secagem para a bauxita em análise. Devido à realidade atual da Unidade Produtiva de Poços de Caldas da CBA, os métodos que demandam alto investimento foram descartados, sendo assim o método escolhido para a realização dos ensaios detalhados o de revolvimento periódico das pilhas para secagem natural do minério.

Realizado com revolvimento manual, os resultados obtidos, com 9% de redução da umidade, foram bastante satisfatórios e tornaram plausível a continuidade dos ensaios em escala semi-industrial para avaliação do comportamento do decréscimo de umidade mediante práticas automatizadas de revolvimento.

No ensaio em escala piloto foi observada uma redução de umidade de 2,4% em 3 dias de secagem com 0,3%, 1,3% e 1,2% consecutivamente, sendo que durante sua aplicação pode-se observar que o revolvimento das pilhas não foi efetivo devido à altura da pilha mediante ao alcance do implemento agrícola utilizado. Deve-se ainda ser salientado que durante os dias de análise, o clima não favoreceu apresentando-se nublado e portanto sem incidência direta do sol.

Buscando ampliar a eficiência de secagem, é indicado diminuir-se o tamanho da pilha ou até mesmo trocar-se o tipo de implemento agrícola e refazer os ensaios em dias com maior incidência solar.

8 BIBLIOGRAFIA

BÁRDOSSY, G.; ALEVA, G.J.J. **Lateritic Bauxites. Developments in economic geology**. Amsterdam; New York: Elsevier, 1990.

CETEM. **Indústria do Alumínio**. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_sed/sed-22.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2013.

DNPM/DIPLAN. **Sumário Mineral 2011**. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=6350>

FERREIRA, Jaqueline do Carmo. **Estudos Sobre Drenagem e Redução de Umidade do Minério de Ferro de Carajás com a Utilização de Geossintéticos**. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado) - UnB, Brasília, 2009.

FLSMIDTH. **Folheto descritivo sobre Britador Secador de Martelos**. 2012.

GANCEV, Renata Kurusu. **Concentração de bauxita por flotação reversa**. 2009. Dissertação (Mestrado) - USP, São Paulo, 2009.

ICON MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS (Brasil). **Sistema de Secagem de Bauxita**. Criciúma, 2013.

MAGALHÃES, Rodrigo Silva. **Avaliação de Diferentes Processos de Secagem de Bauxita para Controle de Qualidade**. Outro Preto, 2002.

VOTORANTIM (Brasil). **Memorial CBA 50 Anos**. São Paulo, 2013.

VOTORANTIM METAIS (Brasil). **Documentos Internos**. Poços de Caldas, 2013.

VOTORANTIM METAIS (Brasil). **Geologia da Região de Poços de Caldas**. Poços de Caldas, 2008.