

Mayo 2019 - ISSN: 1696-8352

ESTUDO DE CASO - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO MINÉRIO DE FERRO NO PROCESSO DE BRITAGEM

Júnia Soares Alexandrino¹

Universidade Estadual de Minas Gerais UEMG - Minas Gerais, Brasil

Eduardo Augusto Malta²

Universidade Estadual de Minas Gerais UEMG - Minas Gerais, Brasil

Fernanda da Fonseca Diniz³

Universidade Estadual de Minas Gerais UEMG - Minas Gerais, Brasil

Adriano Jose de Barros⁴

Universidade Estadual de Minas Gerais UEMG - Minas Gerais, Brasil

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Júnia Soares Alexandrino, Eduardo Augusto Malta, Fernanda da Fonseca Diniz y Adriano Jose de Barros (2019): "Estudo de caso - influência da temperatura do minério de ferro no processo de britagem", Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana (mayo 2019). En línea

<https://www.eumed.net/rev/oel/2019/05/temperatura-minerio-ferro.html>

RESUMO

A mineração é caracterizada pela vultuosa dimensão dos empreendimentos e pela gigantesca movimentação de capital financeiro. Sempre motivada pelo desenvolvimento de novas tecnologias, novas ciências, novos avanços, a fim de cada vez mais aprimorar seus métodos e técnicas e sempre aproveitar mais e melhor gastando cada vez menos. A lavra de um mineral pode ser executada de diversas maneiras, sendo levado em consideração fatores como: regionalidade, localização, disposição do material, valor do bem, viabilidade econômica e etc. Quando o minério é enfim extraído ele passa por inúmeras etapas que podem variar de acordo com as especificações do material. Basicamente são: desmonte, transporte, cominuição e beneficiamento. Na cominuição o minério será britado até chegar em uma granulometria previamente estabelecida. Um fator que pode ou não influenciar no processo de cominuição é a temperatura que o minério se encontra. De acordo com a agitação das partículas, o material pode fragmentar mais ou menos facilmente. Este estudo visa avaliar o quanto a temperatura influencia na cominuição. Utilizando-se de pesquisas bibliográficas, reuniu-se todo um aparato acadêmico para que o mesmo embasasse este estudo e fazendo uso da prática empírica, organizou-se uma metodologia para enfim saber se a temperatura influencia e se sim, o quanto influencia em processos de cominuição. Com a metodologia enfim estabelecida e executada, obteve-se resultados (do ponto de vista do autor) muito positivos, em que o mesmo constatou que a temperatura em que o minério se encontra no ato da britagem influencia muito em sua cominuição.

Palavras chave: Mineração. Cominuição. Britagem. Temperatura.

ABSTRACTO

La minería se caracteriza por la voluminosa dimensión de los emprendimientos y por el gigantesco movimiento de capital financiero. Siempre motivada por el desarrollo de nuevas tecnologías, nuevas ciencias, nuevos avances, a fin de cada vez más perfeccionar sus métodos y técnicas y siempre aprovechar más y mejor gastando cada vez menos.

1 Doutorado em Tecnologia Mineral pela UFMG, professora UEMG. E-mail: juniaalexandrino@yahoo.com.br

2 Graduando em Engenharia de Minas, UEMG. E-mail: eduardo.maltaa@gmail.com

3 Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, professora UEMG. E-mail: fernanda.fda@hotmail.com

4 Doutorando em Geografia e Tratamento de Informação Espacial- PUC MINAS, Mestre em Educação e Desenvolvimento Local, professor UEMG. E-mail: adrianojosebarros@yahoo.com.br

La labranza de un mineral puede ser ejecutada de diversas maneras, teniendo en cuenta factores como: regionalidad, localización, disposición del material, valor del bien, viabilidad económica, etc. Cuando el mineral es finalmente extraído, pasa por innumerables pasos que pueden variar de acuerdo con las especificaciones del material. Básicamente son: desmonte, transporte, cominución y beneficiamiento. En la cominución el mineral será triturado hasta llegar a una granulometría previamente establecida. Un factor que puede o no influir en el proceso de cominución es la temperatura que el mineral se encuentra. De acuerdo con la agitación de las partículas, el material puede fragmentar más o menos fácilmente. Este estudio pretende evaluar cuánto la temperatura influye en la cominución. En el caso de las investigaciones bibliográficas, se reunió todo un aparato académico para que el mismo basara este estudio y haciendo uso de la práctica empírica, se organizó una metodología para finalmente saber si la temperatura influye y si sí, cuán influye en los procesos de trituración. Con la metodología en fin establecida y ejecutada, se obtuvieron resultados (del punto de vista del autor) muy positivos, en que el mismo constató que la temperatura en que el mineral se encuentra en el acto de la trituración influye mucho en su cominución.

Palabras clave: La minería. La trituración. Aplastamiento. Temperatura.

ABSTRACT

Mining is characterized by the large scale of entrepreneurship and the gigantic movement of financial capital. Always motivated by the development of new technologies, new sciences, new advances in order to increasingly improve their methods and techniques and always enjoy more and better spending less and less. The mining of a mineral can be performed in several ways, taking into account factors such as: regionality, location, disposal of material, value of the good, economic viability and so on. When the ore is finally extracted it goes through numerous steps that may vary according to the specifications of the material. Basically they are: dismantling, transportation, comminution and beneficiation. At the commencement the ore will be crushed until it reaches a previously established granulometry. One factor that may or may not influence the comminution process is the temperature of the ore. According to the agitation of the particles, the material can fragment more or less easily. This study aims to evaluate how much temperature influences the comminution. Using a bibliographical research, a whole academic apparatus was assembled to support this study and using empirical practice, a methodology was organized to finally know if the temperature influences and if so, how much it influences in processes of comminution. With the methodology finally established and executed, very positive results (from the point of view of the author) were obtained, in which it found that the temperature at which the ore is at the time of the crushing influence greatly in its comminution.

Keywords: Mining. Cominuição. Crushing. Temperature.

1 Introdução

A atividade de mineração é necessária para o desenvolvimento das sociedades em seus mais diversos setores produtivos, sendo ao longo dos anos, um dos sustentáculos dos poderes econômico e político (PONTES, 2013). Desde muito tempo, a extração mineral é uma atividade importante para o desenvolvimento social e econômico. Base da formação da cadeia produtiva, do processo de transformação de minérios até os produtos industrializados e, na medida em que as cidades crescem, criam-se demandas por infraestrutura e serviços, o que induz a instalação de indústrias de transformação (SILVA, 2010). Neste contexto, a mineração é reconhecida internacionalmente como atividade propulsora do desenvolvimento, tendo grande participação no desenvolvimento econômico de muitas das principais nações do mundo (PINTO, 2006). Suas aplicações são fundamentais, reforçando ainda mais a sua importância ao longo da história. Ao mesmo tempo que é necessária é também uma atividade que demanda grande investimento financeiro com retorno a longo prazo. Pois envolve aspectos estruturais, geopolíticos e ambientais, caracterizando-se pela grandiosa dimensão de seus empreendimentos e movimentação de capital (SILVA, 2016). Desenvolvendo-se cada vez mais com enormes investimentos, a fim de se obter uma produção cada vez mais elevada e eficiente.

Os minérios podem ser extraídos da natureza por meio de duas maneiras básicas: minas a céu aberto e minas subterrâneas, ocorrendo em sua grande maioria no Brasil, as minas a céu aberto. A lavra a céu aberto se justifica tanto econômica como tecnologicamente, quando são identificados depósitos de rochas ou minerais com viabilidade de comercialização e são identificados em profundidade relativamente pequena em relação à superfície. A lavra de mina subterrânea se justifica pela morfologia do corpo, na distribuição desse material, nas propriedades mecânicas da rocha e do minério, na disponibilidade financeira iniciais e subsequentes (LOPES, 2016).

Para que o produto chegue em seu estado de venda (ao consumidor), é necessário que passe por uma série de etapas que vão desde o planejamento de como extrair o bem até a melhor maneira de beneficiá-lo.

Segundo Lopes (2016), o minério passa por várias operações unitárias (perfuração, desmonte, escavação e carga, transporte, cominuição, beneficiamento), e dentre elas pode-se destacar o processo de cominuição. A cominuição consiste em reduzir o tamanho das partículas para que as mesmas se adequem

às operações posteriores. Esse processo pode ser dividido em: britagem e moagem. Um fator que pode (ou não) influenciar nesses processos de cominuição é a temperatura que o material se encontra (ARAÚJO, 2015). É sabido pela ciência que o calor promove uma agitação na estrutura interna de um material (agitação de partículas) e tal processo pode acarretar diferentes comportamentos sejam eles de maleabilidade ou dureza (BISQUOLO, 2013).

Os objetos na natureza são constituídos de moléculas que estão em constante estado de agitação, no caso dos sólidos, ou de movimentação, como ocorre em líquidos ou gases. Essa situação não é constante, elas podem estar mais ou menos agitadas, dependendo do estado energético em que elas se encontram. Observa-se que quanto mais quente está o corpo, maior é a agitação molecular e o inverso também é verdadeiro, ou seja, a temperatura é uma grandeza física que está associada de alguma forma ao estado de movimentação ou agitação das moléculas (BISQUOLO, 2013).

O clima é diferente em diversas partes do mundo. Pode-se citar como exemplos o Brasil, que tem um clima extremamente tropical e quente, e o Canadá, que tem um clima bastante frio, e ambos são países considerados potências na mineração. A temperatura das rochas pode ser um fator que influencia diretamente na resistência das mesmas, e essa temperatura pode apresentar enormes variações, levando-se em consideração fatores como resistência inicial da rocha, umidade, região, clima da região, tipo de rocha nas proximidades, etc. (ARAÚJO, 2015).

Os parâmetros elásticos e de resistência das rochas, determinados em laboratório e largamente utilizados nos estudos de reservatórios de petróleo, são obtidos à temperatura ambiente (22° a 28°C). Essa condição não está de acordo com aquela encontrada na natureza, pois a profundidades entre 500 a 3000m as temperaturas normais, obtidas a partir do gradiente geotérmico, situam-se numa faixa entre 50° e 150°C (ARAÚJO, 1995). Em regiões onde o clima é mais frio, essa temperatura média das rochas pode cair, e em regiões onde o clima é mais quente, essa temperatura pode subir. Utilizando um material parcialmente fragmentado (granulometria adequada para o experimento) de minério de ferro itabirítico proveniente do Quadrilátero Ferrífero - MG, esse estudo desenvolveu uma análise entre os testes de temperatura, avaliando assim se a mesma influencia ou não nos processos de cominuição, e se avaliou o quanto influencia, podendo também determinar um parâmetro para uma melhor fragmentação do material designado. Os testes foram executados de acordo com os índices pré-selecionados e estabeleceu-se um gráfico comparativo entre eles. O estudo obteve resultados positivos quanto a influência da temperatura no processo de britagem. Utilizando-se de metodologia adequada, fez-se os devidos testes empíricos e os mesmos indicaram que a temperatura influencia diretamente em quanto o minério de ferro se fragmentará.

2 Metodologia

Este estudo possui metodologia baseada em pesquisa aplicada, pois investigou por meio de prática empírica em que os conhecimentos gerados terão aplicações práticas e solucionarão problemas relativos à britagem. Foram identificados experimentalmente o comportamento de amostras submetidas à diferentes tratamentos térmicos e à imediata britagem, afim de analisar o impacto da temperatura no material processado. Quanto aos procedimentos técnicos, a metodologia é baseada em pesquisa experimental. Foram analisados experimentalmente em laboratório os aspectos comportamentais da britagem do minério de ferro com variância de temperatura. Os resultados foram analisados numericamente e comparados nos cenários pré-estabelecidos. Os estudos visaram analisar se existe influência da temperatura das amostras de minério de ferro nos procedimentos de britagem.

A pesquisa contou com uma abordagem quantitativa pois utilizou instrumental matemático para tratar os dados gerados pelos ensaios e elaborar uma análise comparativa através das relações entre suas variáveis demonstradas graficamente. Tais gráficos são de suma importância para o embasamento técnico da pesquisa, pois permitiram a comparação entre os parâmetros dos aspectos estudados elegendo a faixa de temperatura ideal para o processo de britagem.

A pesquisa foi explicativa e descritiva, uma vez que fez uso de realização de experimentos em laboratório identificando a variância da temperatura como fator determinante para a otimização dos processos envolvendo britadores. Possui caráter descritivo pois caracteriza os processos de britagem e estabelece relações entre os diferentes resultados obtidos nos ensaios.

3 Minério de Ferro

Industrialmente, a única forma pela qual se obtém o ferro (Fe) é a partir de substâncias minerais. O metal é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre, de cuja composição participa com 4,5% em massa, superado apenas pelo oxigênio, o silício e o alumínio. Embora faça parte da composição de vários minerais, apenas alguns destes podem ser economicamente explorados para a obtenção do ferro, quer pela quantidade desse elemento nesses minerais, quer pela concentração ou distribuição desses minerais nas rochas que constituem os corpos de minério (CARVALHO; SILVA et al., 2014). No Brasil, o minério de ferro assume papel imprescindível na mineração, representando grande parcela da economia advinda do setor. Ainda segundo os mesmos autores, as principais regiões produtoras de minério de ferro no Brasil são o Quadrilátero Ferrífero, a Província Mineral de Carajás e a região de Corumbá, que contêm depósitos em rochas constituintes de FFB, chamadas no país de itabirito. A metodologia adotada para se extrair o minério de ferro (bem como a de outro mineral com características semelhantes) é aquela que apresenta o menor custo unitário, considerando-se todos os condicionantes operacionais. Embora seja possível destacar os métodos de lavra a

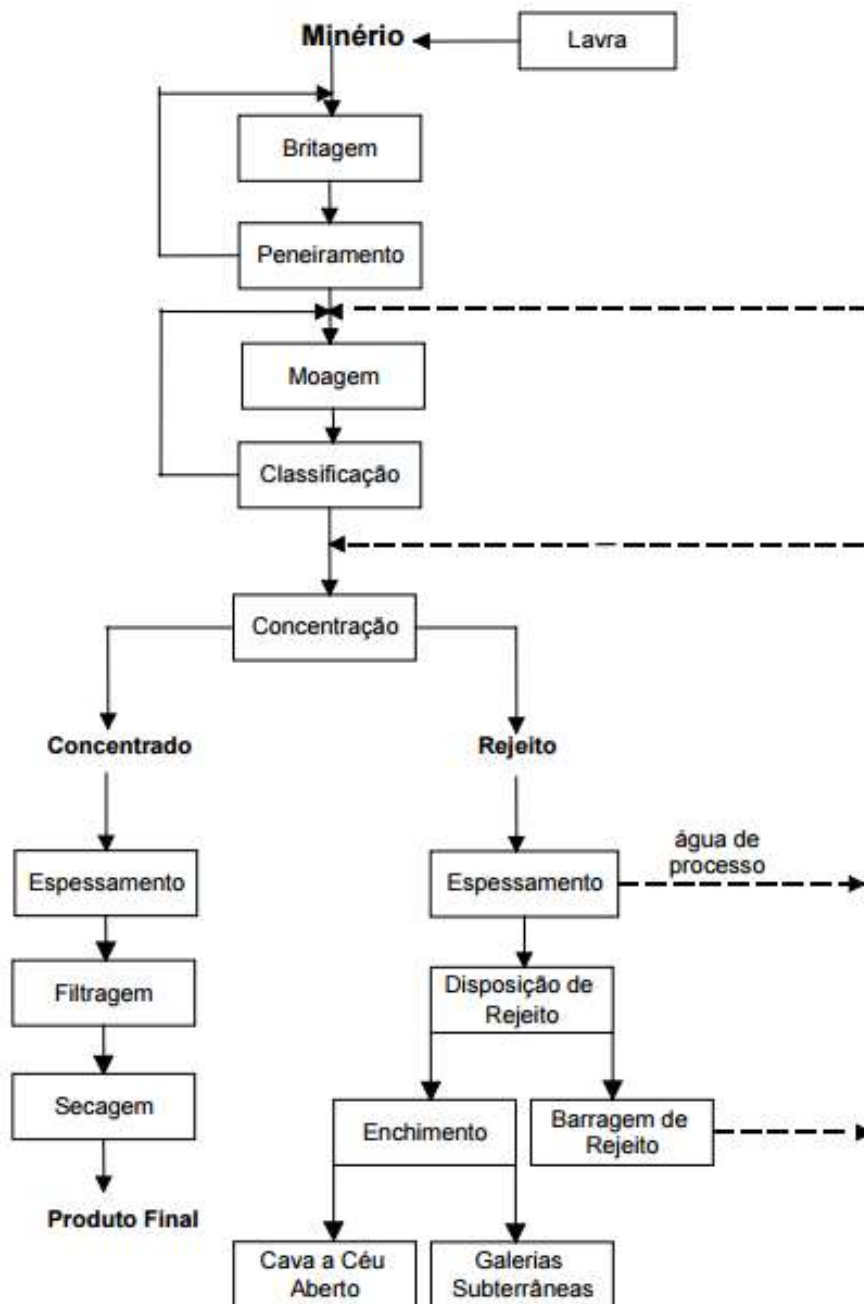
céu aberto e subterrânea como principais, tem-se ainda a garimpagem e a dragagem. Provavelmente existem mais de trezentas variações dos métodos tradicionais. A definição entre os métodos a céu aberto ou subterrâneo se baseia sobre o critério econômico (REMACRE, 2011).

Outro processo da cadeia de produção de minérios é o tratamento ou beneficiamento, que, segundo Luz e Linz (2004), consiste de operações (aplicadas aos bens minerais) visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem, contudo, modificar a identidade química ou física dos minerais. Há, no entanto, autores que defendem um conceito mais amplo para o tratamento, como sendo um processamento no qual os minerais podem sofrer até alterações de ordem química, resultantes de simples decomposição térmica ou mesmo de reações típicas geradas pela presença do calor. A aglomeração (sinterização e pelotização) de minérios finos, ustulação e calcinação são consideradas, dentro desse conceito, como tratamento de minérios. (LUZ; LINS, 2004).

Para um minério ser concentrado, é necessário que os minerais estejam fisicamente liberados. Isto implica que uma partícula deve apresentar, idealmente, uma única espécie mineralógica. Para se obter a liberação do mineral, o minério é submetido a uma operação de redução de tamanho - cominuição, isto é, britagem e/ou moagem - que pode variar de centímetros até micrometros. Como as operações de redução de tamanho são caras (consumo de energia, meio moedor, revestimento etc.), deve-se fragmentar só o estritamente necessário para a operação seguinte. Para evitar uma cominuição excessiva, faz-se uso de operações de separação por tamanho ou classificação (peneiramento, ciclone etc.), nos circuitos de cominuição. Uma vez que o minério foi submetido à redução de tamanho, promovendo a liberação adequada dos seus minerais, estes podem ser submetidos à operação de separação das espécies minerais, obtendo-se, nos procedimentos mais simples, um concentrado e um rejeito (LUZ; LINS, 2004, p.3).

Segundo Luz e Lins (2004), o termo concentração significa, geralmente, remover a maior parte da ganga, presente em grande proporção no minério. A purificação, por sua vez, consiste em remover do minério (ou pré-concentrado) os minerais contaminantes que ocorrem em pequena proporção. Na maioria das vezes, as operações de concentração são realizadas a úmido. Antes de se ter um produto para ser transportado, ou mesmo adequado para a indústria química ou para a obtenção do metal por métodos hidro-pirometalúrgicos (áreas da Metalurgia Extrativa), é necessário eliminar parte da água do concentrado. Estas operações compreendem desaguamento (espessamento e filtragem) e secagem e, geralmente, na ordem citada, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Fluxograma típico de tratamento de minério



Fonte: Luz e Lins (2004)

4 Temperatura

A temperatura foi variável preponderante no processo inicial de criação do universo. Manteve-se nesta condição pelos milênios que antecederam aos tempos atuais e continua a influir em todos os processos naturais e em todas as atividades humanas. Embora seja uma grandeza de convívio humano, percebida nas sensações do quente e do frio, temperatura é uma grandeza difícil de ser definida. Apresenta uma concepção macroscópica na termodinâmica e outra,

microscópica, na física estatística. Embora não seja uma medida direta da quantidade de calor, é condicionada pela quantidade de calor num objeto. Exceto em pontos notáveis em que ocorrem mudanças de propriedades de estado ou de propriedades, as temperaturas dos objetos crescem ou diminuem com a absorção ou liberação de calor, em taxas que dependem de suas capacidades térmicas. Em conformidade com a lei zero da termodinâmica, “se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, então eles estão em equilíbrio térmico entre si”. Como corolário, vale dizer que “se dois objetos com temperaturas diferentes forem colocados em contato térmico, o calor fluirá do mais quente para o mais frio, infinitamente, até que suas temperaturas se tornem iguais”. Isso levou Rankine, em 1853, a definir como tendo temperaturas iguais duas porções de matéria que não tentam transferir calor entre si. Isso significa que, quando os corpos estão em equilíbrio térmico, não há uma diferença de energia térmica entre eles, e, portanto, não ocorre transferência de calor (SILVA, 2013).

4.1 Agitação das partículas

Segundo Callister (1991) uma molécula pode ser definida como um grupo de átomos que estão ligados entre si por fortes ligações primárias. Dentro deste contexto, todo o conjunto das amostras sólidas ligadas iônica ou metalicamente pode ser considerado como uma molécula simples. O mesmo autor afirma que cada átomo num material sólido está vibrando muito rapidamente ao redor de sua posição na rede dentro do cristal. Num certo sentido, estas vibrações podem ser pensadas como imperfeições ou defeitos. Em qualquer instante de tempo nem todos os átomos vibram com a mesma frequência e amplitude, nem com a mesma energia.

Numa dada temperatura existirá uma distribuição de energias para os átomos constituintes ao redor de uma energia média. Ao longo do tempo, a energia vibracional de qualquer específico átomo variará também de uma maneira randômica. Com a elevação da temperatura, esta energia média aumenta e, de fato, a temperatura de um sólido é realmente justo uma medida da atividade vibracional média de átomos e moléculas. Muitas propriedades e processos em sólidos são manifestações deste movimento atômico vibracional. Por exemplo, fusão ocorre quando as vibrações são suficientemente vigorosas para romper grande número de ligações atômicas, (CALLISTER, 1991)

4.2 Temperatura das Rochas

Os parâmetros elásticos e de resistência das rochas, determinados em laboratório e largamente utilizados nos estudos de mineração, são obtidos à temperatura ambiente (22° a 28°C). Esta condição não está de acordo com aquela encontrada na natureza pois a profundidades entre 500 e 3000m as temperaturas normais, obtidas a partir do gradiente geotérmico, situam-se numa faixa entre 50° e 150°C (ARAÚJO, 1995).

Ainda segundo Araújo (1995), a temperatura que a rocha se encontra influencia diretamente na resistência da mesma, seja para perfuração, seja para fragmentação.

5 Britagem

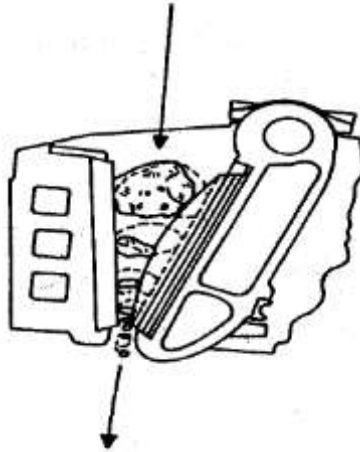
A Britagem é considerada (por muitos autores) o primeiro processo de fragmentação, e também o mais importante na cominuição de minérios pois é responsável por boa parte do que se entende por beneficiamento mineral. Logo, quando o minério é extraído (ROM), ele é levado ao britador para que seja submetido ao primeiro processo de cominuição. O tamanho dos blocos de minério e a granulometria final desejada serão essenciais para definição de que tipo de britador será utilizado. Há inúmeras variedades de britadores, sendo eles: giratório, mandíbulas, cônicos, rotativo, rolo, rolo duplo, de martelos, impacto, etc. Caso o minério não consiga chegar na granulometria desejada nesse primeiro estágio de britagem, pode ser submetido a um segundo estágio, em um britador de granulometria menor. Podendo ser ainda reduzido, ao ser submetido a um terceiro e quarto estágio, se necessário (LOPES, 2016). Após o processo de britagem, o material é encaminhado à moagem, que por sua vez, deixará o minério em um granulometria fina. É considerado o último estágio na redução granulométrica na cominuição de minérios. O material é cominuído utilizando-se de força de atrito e força de abrasão. Nessa operação de fragmentação fina obtém-se um produto adequado à concentração ou a qualquer outro processo industrial (pelotização, calcinação, lixiviação, combustão, etc. Pode ser utilizado dois tipos de moinhos: cilíndricos (barras, de bolas ou seixos) ou martelo, sendo os cilíndricos mais utilizados (FIGUEIRA; LUZ; ALMEIDA, 2010).

5.1 Britador de Mandíbulas

É o equipamento utilizado para fazer a britagem primária em blocos de elevadas dimensões/dureza e com grandes variações de tamanho na alimentação. Compõe-se basicamente de uma mandíbula fixa, e uma móvel ligada ao excêntrico (esta ligação pode ser feita direta ou indireta), que fornece o movimento de aproximação e afastamento entre essas. Desta maneira, o bloco de material alimentado na boca do britador vai descendo entre as mandíbulas, enquanto recebe o impacto responsável pela fragmentação. Os britadores de mandíbulas são classificados em dois tipos, baseando-se no mecanismo de acionamento da mandíbula móvel. Assim, tem-se britadores de um eixo, como mostra a Figura 2, e dois eixos - tipo Blake. Nos britadores de dois eixos, a mandíbula móvel tem movimento pendular, enquanto que os de um eixo, tem movimento elíptico. Em termos de custos de capital, britadores de dois eixos são cerca de 50% mais elevados que os de um eixo, sendo indicados para materiais mais abrasivos e de difícil fragmentação. A especificação dos britadores de

mandíbulas é dada pelas dimensões de abertura da alimentação. Por exemplo um britador com 1000 x 1200 mm, apresenta boca retangular com dimensões de 1.000 x 1.200 mm (FIGUEIRA; LUZ; ALMEIDA, 2010).

Figura 2: Britador de Mandíbulas de um eixo

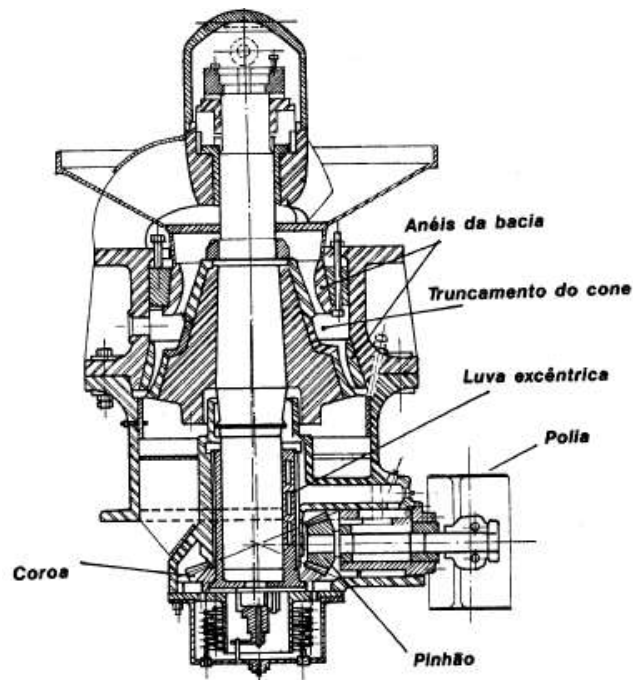


Fonte: Figueira, Luz e Almeida (2010)

5.2 Britador Giratório

É o equipamento de britagem primária utilizado quando existe uma grande quantidade de material a ser fragmentado, sendo mais operacional do que o britador de mandíbula, pois pode ser alimentado por qualquer lado, indistintamente, além de permitir uma pequena armazenagem no seu topo. O princípio de funcionamento do britador giratório consta do movimento de aproximação e distanciamento do cone central em relação à carcaça invertida, como pode ser observado na Figura 3. Este movimento circular (85 a 150 rpm) faz com que toda a área da carcaça seja utilizada na britagem, o que fornece ao britador uma grande capacidade de operação. Esse britador tem baixo custo operacional e grande seção de alimentação (FIGUEIRA; LUZ; ALMEIDA, 2010). Os mesmos autores dizem: o britador giratório possui algumas vantagens características, algumas delas são: alta capacidade, alta razão de redução na etapa de trituração secundária, quebra cúbica do material, necessidade de poucos reparos, rápida reposição das peças, longa durabilidade, baixos custos de operação e manutenção.

Figura 3: Britador Giratório



Fonte: Figueira, Luz e Almeida (2010)

5.3 Britador Cônico

O princípio de funcionamento do britador cônico é muito semelhante ao do britador giratório. Ambos se distinguem basicamente pelo seu porte e geometrias da câmara de britagem e inclinação do eixo cônico (com maior ou menor inclinação). O britador giratório, de dimensões maiores, é aplicado em britagem primárias, enquanto o britador cônico é utilizado em etapas de rebitagem (geração de produtos com menor tamanho de partícula). Basicamente, o processo de cominuição nestes tipos de britadores acontece em uma câmara constituída entre um cone de britagem com movimento excêntrico e um manto fixo de britagem (WOTRUBA, 2005). Britador giratório pesa aproximadamente 560 t. Este tipo de equipamento é utilizado para britar materiais de alta dureza e abrasividade, porém ele possui limitações com materiais coesivos. Dependendo das condições de operação, existem modelos de equipamento capazes de processar 600 a 14.000 t/h. Por outro lado, o britador giratório tipo mandíbula, com a boca de entrada de outro formato, dependendo das condições de operação, pode chegar a uma taxa de produção de até 3.000 t/h. Uma característica do britador giratório/cônico é a geração de uma distribuição granulométrica do produto bastante uniforme. A relação de redução do britador giratório é maior que o britador de mandíbulas. Outros aspectos a serem considerados na aplicação deste tipo de britador é a sua alta disponibilidade mecânica, elevada robustez, alívio de carga para o circuito de britagem secundário e aumento de capacidade do moinho. Existem

modelos de britadores cônicos capazes de produzir 1.500 t/h, dependendo do material processado e das condições operacionais (VARELA, 2011).

5.4 Britador Sizer e Britador de Rolo Duplo

O britador sizer e o britador de duplo rolo consistem em dois eixos inseridos em uma câmara de britagem em estrutura parafusada ou soldada. O britador sizer possui duas variações: o tipo central e lateral sendo a diferença relacionada com o sentido de rotação dos rolos. O tamanho e número de dentes também influenciam na sua aplicação. Em geral, na britagem primária utiliza-se dentes maiores (fator de 10:1 entre o diâmetro do eixo e altura do dente), espaçamento entre dentes maior e um número de dentes menor quando comparado com britagens secundária e/ou terciária. O britador de duplo rolo distingue-se do britador tipo sizer, principalmente pela sua robustez e volante de inércia que auxilia na energia transferida para o processo de britagem em um rolo fixo e outro móvel. Este tipo de britador possui rolos com diâmetros maiores, o sentido de rotação dos rolos é exclusivamente na direção central e a velocidade de rotação é relativamente maior quando comparada com as utilizadas no britador sizer (VARELA, 2011).

5.5 Britador de impacto e britador de martelos

Os britadores de impacto e britadores de martelos consistem de rotores robustos, cujo projeto otimizado resulta em alto momento de inércia e energia cinética. Dependendo das condições de operação, existem britadores de impacto que processam até 2.500 t/h. Uma característica especial deste tipo de britador é a possibilidade de inclusão de um sistema de proteção da câmara de britagem contra corpos metálicos estranhos. O princípio de cominuição do britador de martelos é a rotação de martelos entre o rotor e a bigorna e uma grelha posicionada na região de descarga do material (THYSSENKRUPP, 2010). O projeto da grelha define o tamanho de produto. O britador de impacto, ao contrário de martelos, possui barras fixas no rotor que projetam o material contra placas, respectivamente uma pista de britagem (VARELA, 2011).

5.6 Aspecto Geral

O processo de britagem é a primeira operação unitária em uma planta de processamento mineral. Uma correta análise das características dos materiais, especialmente a dureza, abrasividade, umidade, assim como a relação de redução, é de suma importância para a determinação de um processo de britagem eficiente. Existem inúmeros tipos de britadores e uma criteriosa avaliação das suas características também deve ser considerada no projeto, especialmente visando otimizar os custos de investimento, operação e manutenção. Sempre

que possível, busca-se pela simplificação do número de estágios de britagem, embora na maioria dos casos a adoção de vários estágios seja inevitável devido as premissas de cada aplicação e as garantias e/ou riscos envolvidos (VARELA, 2011).

6 Resultados e discussões da pesquisa

Uma vez que a amostra foi recolhida, o passo seguinte foi classifica-las de acordo com a granulometria adequada para a realização dos testes (granulometria condizente com a abertura do britador disponível). Essa classificação foi feita peneirando-se o material em 4 peneiras com abertura de 45,0 mm; 25,0 mm; 12,5 mm e 10,0 mm. Essa série de peneiras permitiu a retirada da grande maioria de finos e também uma concentração na faixa desejada, que foi a parte retida na peneira com abertura de 12,5 mm.

Figura 4 - Uma das pilhas de material



Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 5 - Série de peneiras utilizadas para classificar primariamente o material



Fonte: Arquivo Pessoal

Da classificação obteve-se 18 kg de material adequado para o teste e logo foi seguido para etapa de cominuição do material. Dos 18 kg de material adequado foram separados 12 kg para os testes pré-determinados e 6 kg de material reserva. Totalizando assim 6 testes de 2 kg e 3 testes suplentes. Cada teste foi composto de 2 kg de material como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Pesagem das alíquotas para os testes



Fonte: Arquivo Pessoal

Separadas as alíquotas de 2 kg e definidas a ordem de cominuição por temperatura, partiu-se para a etapa de britagem. O primeiro teste foi feito a temperatura ambiente, que foi demarcada em $26,5^{\circ}$ C. Britou-se o material e em sequência pesou-se (para constatar a perda de material por finos) e registrou-se uma perda de 0,04 g de material dos 2 kg iniciais. Feita essa pesagem, seguiu-se para a etapa de peneiramento do material. Este peneiramento final tem como objetivo encontrar as faixas que tiveram um maior acúmulo de material e quais faixas tiveram um menor acúmulo, bem como a concentração de finos no fundo. A série de peneiras foi composta por 7 peneiras + o fundo, sendo elas: 12,5 mm; 8,00 mm; 6,30 mm; 3,50 mm; 2,00 mm; 0,250 mm e 0,177 mm.

Os resultados obtidos do Teste 1 são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados do Teste 1

Teste 1	
Temperatura: Ambiente	
Peso Inicial: 2000 g	
Peso Final: 1960 g	
Abertura (mm)	Massas (g)
12,5	246,0
8,00	674,0
6,30	234,0
3,50	426,6
2,00	76,1
0,250	146,4
0,177	33,6
Fundo	182,7
Peso Total	1960

Fonte: Arquivo Pessoal

Há de se ressaltar que após a britagem houve perda de material e após o peneiramento também houve perda de material. Também se considerou (no peso final) o peso dos sacos plásticos somados: cerca de 8 g para cada saco. Esse mesmo peso dos sacos foi considerado e abatido de todos os testes. Um erro a ser considerado também é o erro de precisão das balanças usadas. Mesmo que seja o que menos afetará o experimento, faz-se necessário citá-lo. Quaisquer outros erros de operação, como em qualquer experimento, não são excluídos, sendo possível assim, um aprimoramento ou até mesmo uma continuidade deste estudo inicial. A seguir é apresentado as tabelas dos testes subsequentes, em ordem pré-determinada

Tabela 2 – Resultados do Teste 2
Teste 2

Temperatura: 65° C	
Peso Inicial: 2000 g	
Peso Final: 1940 g	
Abertura (mm)	Massas (g)
12,5	151,4
8,00	607,3
6,30	252,7
3,50	460,0
2,00	98,7
0,250	182,2
0,177	38,5
Fundo	212,4
Peso Total	1936 g

Fonte: Arquivo Pessoal

Tabela 3 – Resultados do Teste 3
Teste 3

Temperatura: -1 ° C	
Peso Inicial: 2000 g	
Peso Final: 1999 g	
Abertura (mm)	Massas (g)
12,5	166,1
8,00	586,1
6,30	307,6
3,50	459,8
2,00	102,8
0,250	182,3
0,177	56,3
Fundo	180,0
Peso Total	1977 g

Fonte: Arquivo Pessoal

Tabela 4 – Resultados do Teste 4
Teste 4

Temperatura: -12 ° C	
Peso Inicial: 2000 g	
Peso Final: 1998 g	
Abertura (mm)	Massas (g)
12,5	223,9
8,00	688,3
6,30	249,2
3,50	402,8
2,00	79,0
0,250	141,7
0,177	82,6
Fundo	130,8
Peso Total	1934 g

Fonte: Arquivo Pessoal

Tabela 5 – Resultados do Teste 5
Teste 5

Temperatura: 118 ° C	
Peso Inicial: 2000 g	
Peso Final: 1995 g	
Abertura (mm)	Massas (g)
12,5	140,6
8,00	584,6
6,30	265,5
3,50	453,4
2,00	101,6
0,250	194,2
0,177	44,0
Fundo	213,6
Peso Total	1933 g

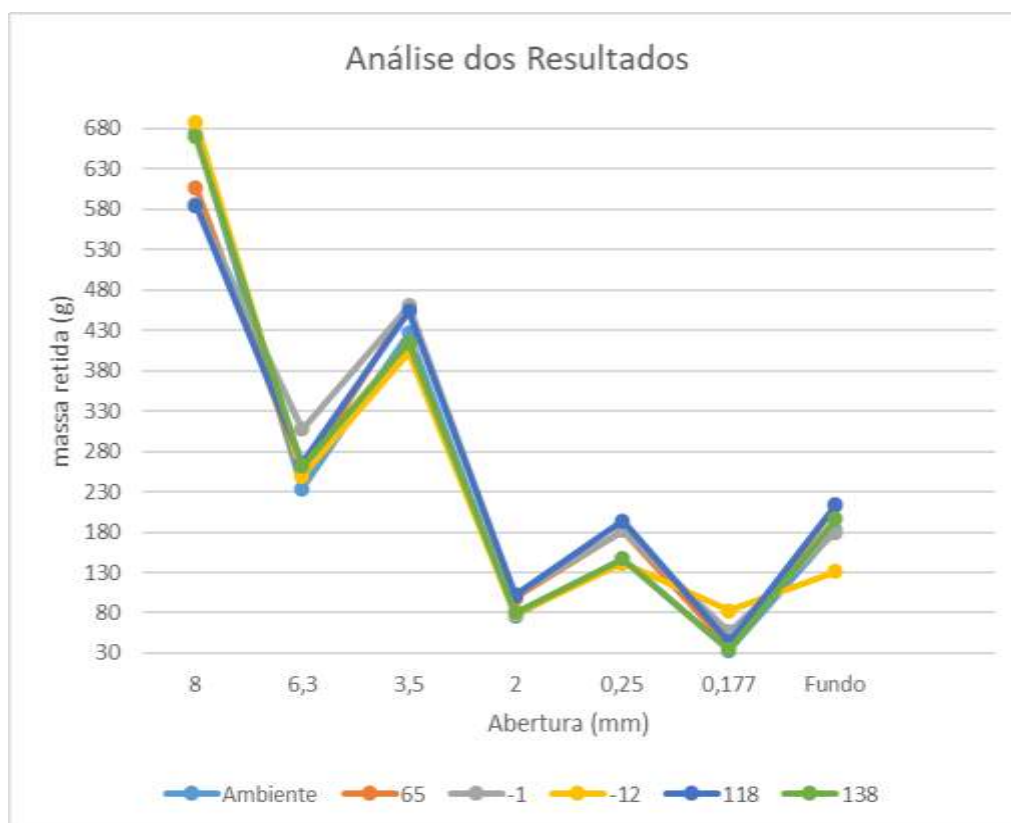
Fonte: Arquivo Pessoal

Tabela 6 – Resultados do Teste 6
Teste 6

Temperatura: 138 ° C	
Peso Inicial: 2000 g	
Peso Final: 1994 g	
Abertura (mm)	Massas (g)
12,5	173,5
8,00	669,7
6,30	261,6
3,50	414,5
2,00	80,3
0,250	146,7
0,177	33,9
Fundo	196,2
Peso Total	1912 g

Fonte: Arquivo Pessoal

Executado todos os testes e tendo todos os resultados computados, pôde-se fazer uma análise do todo em um único gráfico. A seguir é apresentado o gráfico que compilou todos os dados e nos permitiu uma análise mais conjunta do experimento:



Fonte: Arquivo Pessoal

Com os dados apresentados pelo Gráfico, pode-se perceber alguns fatores que serão abordados.

Os valores, no geral, apresentaram resultados muito similares quando analisados de ponto a ponto. O que é totalmente esperado, pois usou-se os mesmos maquinários e a mesma quantidade de amostra inicial. Mas o principal fato a ser analisado é a distância entre os pontos finais, que representam os fundos das peneiras, ou seja, o quanto de fino foi gerado. O ponto em que se teve a menor concentração de finos foi o ponto -12°C . Ponto esse que foi a menor temperatura alcançada no experimento. Já o ponto em que se teve a maior concentração de finos foi o ponto 118°C que foi a segunda maior temperatura alcançada. Os dois pontos que obtiveram a menor concentração de finos foram os dois pontos de menor temperatura e os que obtiveram a maior concentração de finos foram os dois de maior temperatura.

Um grande ponto a se observar também é a comparação direta entre os mais e menos concentrados na parcela de finos, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Comparação direta de finos



Fonte: Arquivo Pessoal

Do lado esquerdo da Figura 7 encontra-se o Teste 5 (que foi o teste que apresentou maior concentração de finos), e do lado direito da Figura 7 encontra-se o Teste 4 (que foi o teste que apresentou menor concentração de finos). Somente pela análise ocular dos dois materiais percebe-se uma grande geração de finos do Teste 5 quando comparado ao Teste 4. Mas o que impressiona é quando se analisa os dados: Teste 4 apresentou 130,8 g de finos enquanto que o Teste 5 apresentou 213,6 g de finos. São

82,8 g a mais no Teste 5, quase 40% a mais de finos gerados.

7 Considerações Finais

Entende-se que este estudo científico contribuiu de forma exponencial não só para avanços na área de cominuição e da mineração como um todo, mas contribuiu para o crescimento de seus autores.

Através dos resultados obtidos pôde-se (inicialmente) comprovar a ideia deste estudo, que foi evidenciar que a temperatura inicial do minério de ferro influencia diretamente em sua cominuição.

Mostrou-se através de gráfico e de comparações diretas o quanto a temperatura foi crucial para a cominuição final do minério de ferro, apresentando resultados muito positivos. A execução deste estudo demonstra não somente os números e cálculos que Engenheiros de Minas devem compreender, mas trazem também um conhecimento pouco explorado. Fato é que este primeiro estudo ainda é muito pouco para o que essa vertente necessita. Espera-se que a partir desse estudo, novas ideias surjam a fim de que novos conhecimentos sejam gerados nessa área. Certamente outros trabalhos do tema estão por vir e que assim os conceitos de pesquisa acadêmica e científica sejam exaltados pela grandiosa importância e contribuição que representam. Não só na mineração, mas em todas as áreas das engenharias, pequenos detalhes sempre farão a diferença e outras pesquisas como essa são de suma importância para a resolução de problemas. Portanto, a simples iniciativa de tocar o que jamais havia sido tocado (especificamente) já agrega um gigante valor ao mesmo.

Referências

Almeida, Fernando Flávio Marques. 1977. **O Craton de São Francisco**. Rev. Bras. Geociências, **7** (4): 349 – 364.

Araújo, Romero Gomes da Silva. **Determinação da Influência da Temperatura nos parâmetros elásticos e de Resistência em Rochas Reservatórios de Petróleo**. Mestre— [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 1995.

Araújo, Tarso. **Como são extraídos minerais de uma mina?**. Disponível em: <<http://mundoestranho.abril.com.br/ciencia/como-sao-extraidos-minerais-de-uma-mina/>>. Acesso em: 3 abr. 2017.

Carvalho, Pedro Sergio Landim de; Silva, Marcelo Machado; Rocio, Marco Aurélio Ramalho; Moszkowicz, Jacques. **Insumos Básicos: Minério de ferro**. 1. ed. [s.l.] BNDES, 2014. p. 197 - 234

Chaves, Arthur Pinto. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. 2. ed. São Paulo: Signus, 2002.

Chaves, Arthur Pinto. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. 2. ed. São Paulo: Signus, 2003.

Dorr, John. Van. Nostrand. 2nd. 1964. **Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil**. Econ. Geol., **59** (7): 1203 - 1240.

Farias, Carlos Eugênio Gomes.; Coelho, José Mario. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. Graduado—[s.l.] Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2002.

Figueira, Hedda Vargas.; Luz, Adão Benvindo da.; Almeida, Salvador Luiz Matos de. **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: [s.n.]. p. 143 – 211

Gasparini, Claudia. **10 frases geniais de Albert Einstein sobre inteligência e sucesso**: Einstein completaria em 14 de março de 2017 seu 138º aniversário. Viveu só 76 anos— mas foi tempo suficiente para ensinar muito à humanidade. 2017. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/carreira/10-frases-geniais-de-albert-einstein-sobre-inteligencia-e-sucesso/>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

Germany, Darcy José. **A Mineração no Brasil**. Graduado—[s.l.] Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2002.

ITABIRITOS E MINÉRIOS DE FERRO DE ALTO TEOR DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO – UMA VISÃO GERAL E DISCUSSÃO. Minas Gerais: Geonomos, v. 2, 2000. Semestral.

Luz, Adão Benvindo da.; Lins, Fernando Antonio Freitas. **Tratamento de Minérios**. 4. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2004. p. 3 – 16

Lopes, Marcos. **Cominuição de minérios: Etapas de britagem e moagem**. Disponível em: <<http://tecnicoemineracao.com.br/etapas-da-cominuicao-de-minerios-britagem-e-moagem/>>. Acesso em: 3 abr. 2017

Callister, Willian; Wiley, John. **MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING An Introduction**. New York, NY, 1991

Pontes, Julio Cesar de; Farias, Maria Sallydelândia Sobral de.; Lima, Vera Lúcia Antunes de. **MINERAÇÃO E SEUS REFLEXOS SOCIOAMBIENTAIS: ESTUDO DE IMPACTOS DE VIZINHANÇA (EIV) CAUSADOS PELO DESMONTE DE ROCHAS COM USO DE EXPLOSIVOS**. Polêmica! v. 12, n. 1, Capa, 2013.

Sabiá, José. **BRIGA NA SERRA AZUL**: Troca de acusações entre as mineradoras Emicon e MMX. 2011. Disponível em: <<http://www.revistaecologico.com.br/materia.php?id=36&secao=167&mat=190>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

ThyssenKrupp Foerdertechnik, **Catálogo de Britador de impacto**, 8p., 2010.

Varela, James. **CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE BRITADORES APLICADOS AO PROCESSAMENTO MINERAL**. Salvador: 2011. (Nota técnica).

Wotruba, Hermann. Zerkeinerungsprozesse und -maschinen, Capítulo 5, **Apostila de aula do Instituto de Processamento**, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, RWTH-Aachen, Alemanha, 2005.