

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE BRITADORES PRIMÁRIOS PARA MINÉRIO DE FERRO

VARELA, J.J.¹

¹Dr.-Ing., Gestor de Tecnologias de Britagem e Peneiramento, ThyssenKrupp Fördertechnik Latino Americana, Rua Ceará, 1566, Belo Horizonte-MG, 30.150-311, e.mail: james.varela@tkfla.com.br

RESUMO

Há décadas o minério de ferro ocupa posição de destaque na economia brasileira, notadamente na pauta das suas exportações. O processamento mineral no Brasil tem evoluído gradativamente desde o século XVI, onde as operações artesanais, em pequena escala, relacionadas aos processos de lavagem, classificação e concentração de minérios têm sido substituídas por tecnologias de alta capacidade e eficiência. Com a mecanização trazida pela revolução industrial verificou-se também uma nova era para o processo de cominuição. Neste sentido, os britadores desenvolvidos há mais de dois séculos têm evoluído nas últimas décadas tanto em seus conceitos quanto em suas características construtivas e sistemas auxiliares (automação, lubrificação e de segurança). Levando-se em consideração as distintas características físicas do minério de ferro, os britadores primários mais utilizados são os do tipo mandíbulas, giratórios e rolo duplo/sizer. Neste trabalho serão discutidos os princípios de funcionamento destes principais modelos de britadores primários, levando-se em conta ainda a crescente demanda nacional e internacional por minério de ferro, atualmente destinado especialmente à produção de aço chinesa, e a busca por equipamentos de baixo custo.

PALAVRAS-CHAVE: britador; minério de ferro; projeto; avaliação e operação de equipamento.

ABSTRACT

Since decades the iron ore occupies a prominent position in the Brazilian economy, especially regarding its exports. Mineral processing in Brazil has gradually evolved since sixteenth century where small-scale artisanal operations, related to ore washing, sorting and concentration processes has been replaced by high capacity and efficient technologies. With mechanization coming after industrial revolution there was also a new era for comminution process as well. In this way, crushers developed over two centuries have been developed, especially over recent decades, in terms of concepts, construction features and auxiliary systems (automation, lubrication and safety). Considering different physical characteristics of iron ore, most used primary crushers are jaws type, gyratory and double roll/sizer. This paper will discuss operation principles of these major primary crusher models, taking into account also national and international growing demand for iron ore, currently required especially by Chinese steel producers and the search for lower cost equipment.

KEYWORDS: crusher; iron ore; equipment's design; evaluation and operation.

1. A IMPORTÂNCIA DO MINÉRIO DE FERRO NA ECONOMIA

Praticamente toda a produção de minério de ferro é destinada à produção de aço, empregado, principalmente, no setor de bens de capital e de consumo e na indústria de construção civil. O consumo de aço por habitante é um importante índice de quantificação do desenvolvimento de um país. No Brasil, o consumo *per capita* de aço é da ordem de 130 kg/habitante, índice modesto, se comparado a outras nações desenvolvidas, onde se supera os 400 kg/habitante (CNI, 2012). Neste contexto, percebe-se a enorme importância do minério de ferro para a economia de uma nação e o inegável crescimento da produção deste minério no Brasil, que praticamente duplicou na última década, chegando a 400 milhões de toneladas em 2011, graças à sua qualidade. A produção de minério de ferro influencia diretamente a balança comercial brasileira, gerando emprego e negócios diretos e indiretos e, por conseguinte, impostos (Quaresma, 2002; Jones *et al.*, 2011). A complexidade envolvida na implantação de um projeto de minério de ferro, seus aspectos técnico-econômicos (o método de lavra, a rota de processo, a logística para sua comercialização, infraestrutura), sociais, ambientais e de sustentabilidade, além da qualidade do produto, entre outros que afetam os custos e riscos de produção, definem o preço do produto no mercado internacional. Por conta de tantas variáveis, é possível observar uma enorme oscilação no preço do minério de ferro. Exemplo disso é a recente variação registrada entre o terceiro trimestre de 2012 (abaixo de US\$ 100/t) e o primeiro trimestre de 2013 (acima de US\$ 150/t). Entretanto, indiscutível é a supervalorização deste produto, que era cotado FOB, na última década, a US\$ 16/t.

A produção mundial de minério de ferro é da ordem de 3 bilhões de t/ano e praticamente triplicou no período de 2000-2012, tendo a China como principal produtor e consumidor mundial. Estima-se que em 2012 a produção chinesa tenha superado 1,2 bilhões de toneladas e que 60% das exportações mundiais desta substância mineral tenham sido destinadas à China. O segundo maior produtor de minério de ferro é a Austrália, cuja produção em 2012 superou 500 milhões de toneladas. Interessante notar que tanto na Austrália quanto no Brasil, a produção de minério de ferro está concentrada em poucas mineradoras. Na Austrália, as empresas BHP, Fortescue Metals Group e Rio Tio produzem cerca de 470 milhões de minério de ferro, enquanto a Vale e suas controladas representam aproximadamente 81% da produção brasileira (Reuters, 2013; Jesus, 2012). A demanda mundial por minério de ferro resultou em uma verdadeira corrida por novos investimentos, promovida principalmente por empresas multinacionais asiáticas, australianas e brasileiras. No plano nacional, a concretização de muitos projetos pelas principais mineradoras e os chamados novos “players” deverá proporcionar um contínuo e extraordinário crescimento deste setor, como se verifica pelos inúmeros estudos e projetos em fase de licenciamento ambiental e análise de viabilidade para o aproveitamento de depósitos, incluindo os de baixo teor de ferro (< 30%). O principal investimento da história no setor de mineração brasileiro é o Projeto Serra Sul (S11D) da Vale, localizado na Floresta Nacional da Serra dos Carajás-Pará, contando com um investimento da ordem de US\$ 20 bilhões para uma produção de 90 milhões de t/ano.

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO MINÉRIO FERRO

Se entende por minério de ferro a rocha enriquecida por minerais de ferro, especialmente óxidos e hidróxidos. Algumas características dos principais minerais de ferro, a saber, hematita, magnetita, goetita, limonita, são apresentadas na tabela 1. Percebe-se que a hematita e a magnetita são os minerais que possuem a maior quantidade de ferro em relação à goetita e limonita, estes minerais de ferro hidratados resultantes do processo de intemperização. Associados ao minério de ferro se encontram elementos contaminantes como manganês, alumínio, fósforo e o principal deles, o quartzo (SiO₂) e rochas estéreis (rejeito da lavra), como por exemplo filitos e dolomitos.

Tabela I. Características dos minerais de ferro.

Mineral	Composição química	Teor (% aprox.)		Dureza (Mohs)	Densidade (g/cm ³)	Susceptibilidade magnética
		Ferro	Oxigênio			
Magnetita	Fe ₃ O ₄	72,4	27,6	5,5 a 6,0	5,1 a 5,2	muito alta
Hematita	Fe ₂ O ₃	69,9	30,1	5,0 a 6,5	4,9 a 5,3	fraca
Goetita	FeO.OH	62,9	36,0	5,0 a 5,5	3,3 a 4,3	fraca
Limonita	FeO.OH.nH ₂ O	Variável *		4,0 a 5,5	2,7 a 4,3	fraca

* dependendo do grau de hidratação, hidroxilação e estado catiônico

A jazida de Carajás é a maior reserva mundial de minério de ferro de alta qualidade atualmente em exploração, constituída principalmente por hematita, magnetita e goetita. No início das operações o minério de Carajás possuía um teor de ferro da ordem de 67%, SiO₂ 0,74%, P 0,049%, Al₂O₃ 1,06% e Mn 0,37% (Sampaio *et al.*, 2002). Provavelmente, a única reserva ainda inexplorada de proporções similares à de Carajás seja a de Simandou localizada na Guiné/África. Outras importantes províncias de ferro de grandes proporções encontram-se na região de Pilbara/Austrália e no Quadrilátero Ferrífero, Estado de Minas Gerais/Brasil. Neste último, os minérios de ferro lavrados são formados principalmente por itabiritos, uma rocha constituída de camadas alternadas de quartzo e óxidos de ferro (teor de ferro < 50%). Dependendo do grau de intemperização, os itabiritos podem ser classificados segundo a sua compactidade e apresentar diferenças na resistência a compressão desde < 50 MPa (friável) até valores superiores a 300 MPa (compactos) (Varela, 2012). Algumas vezes a tipologia do itabirito também pode fazer menção ao teor de ferro, conteúdo de argila (contaminante) e tipo de mineral de ferro predominante, como por exemplo, itabirito friável rico, itabirito argiloso pobre e itabirito goetítico. Destaca-se ainda o minério de ferro explotado na região centro-oeste do Brasil, como por exemplo, o Morro do Urucum, próximo a cidade de Corumbá no Estado do Mato Grosso do Sul, a partir de depósitos eluviais e coluviais, os quais geram grande quantidade de granulado com alto conteúdo metálico e elevado valor comercial.

3. PROCESSAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO

As plantas para processamento do minério de ferro são projetadas levando-se em consideração as características específicas do material alimentado ROM (*Run Of Mine*) e do produto a ser comercializado para atender as exigências do mercado. Historicamente, os custos de processamento de minério de ferro têm aumentado por força da adoção de extensivas etapas de cominuição e concentração mineral, ante a escassez de minérios de alto teor de ferro (> 60%), estes submetidos apenas à britagem, classificação, desaguamento e filtragem, com recuperação mássica das usinas alcançando valores superiores a 95%, dependendo da qualidade do minério. Inúmeros estudos têm sido realizados visando ao processamento de minérios de ferro itabiríticos com baixos teores de ferro, reportando-se, em sua maioria, ao baixo grau de liberação dos minerais de ferro e minerais de ganga (contaminantes) nas frações grossas e a necessidade de aplicação da moagem (Ferreira, 2011, Lage, 2010, Cabral e Peres, 2011, Souza, 2010). Atualmente, as principais tecnologias utilizadas para a recuperação de partículas grossas (0,1-10 mm) são a separação por gravidade (jigagem e espirais) e a separação magnética. O processamento de partículas grossas, quando aplicável tecnicamente, tem como principal vantagem o baixo investimento em equipamentos de cominuição e, por consequência, uma economia significativa de energia. Já a flotação reversa em célula ou coluna é processo mais empregado para concentrar as partículas finas a ultrafinas de minério de ferro (-0,150 mm), resultando em um produto com teor de SiO₂ abaixo de 2% e alto teor de ferro (> 65%). O reaproveitamento dos grandes volumes de água, normalmente em tanques clarificadores, é fundamental para o desempenho eficiente destes processos, contribuindo para operações de baixo

custo e mínimo impacto ao meio-ambiente. Alguns projetos têm utilizado o bombeamento para o transporte de produtos, ao contrário do uso de trens, como, por exemplo, as operações da Samarco que contemplam 2 minerodutos paralelos de aproximadamente 400 km; assim como o Projeto Minas-Rio de empresa AngloAmerican que contempla a implantação do maior mineroduto de minério de ferro do mundo (aproximadamente 515 km de comprimento), ligando as cidades de Conceição do Mato Dentro-MG e São João da Barra-RJ. O bombeamento é notadamente utilizado para a disposição dos rejeitos finos (lamas) em barragens. Tipicamente, a recuperação mássica de plantas de concentração de minérios itabiríticos é da ordem de 50%. Em termos de tamanho de partícula, os produtos de minério de ferro são divididos em *lump* (6- 32 mm), *sinter feed* (0,1-6 mm) e *pellet feed* (-0,1 mm), sendo o granulado aplicado diretamente em alto forno e as outras duas frações submetidas a processos de aglomeração (sinterização e pelletização) anteriores a produção de aço. Ao longo dos últimos anos as mineradoras de minério de ferro no Brasil produziram 10-15% de granulado e 85-90% de finos (*sinter feed* - aprox. 55-60% e *pellet feed* - aprox. 25-30%) (Quaresma, 2002 e Jesus, 2012). Nos EUA, 95% do minério processado e utilizado pela indústria siderúrgica encontra-se na forma de pelotas, com teor médio de 63% de ferro (EPA, 1995).

A detonação realizada por meio de explosivos, o uso de tratores para raspagem (escarificação), rompedores hidráulicos e de mineradores contínuos nas operações de lavra a céu aberto são as primeiras etapas de fragmentação aplicadas ao minério. Em seguida, observa-se a adoção de sucessivos estágios de britadores. Caso seja necessário, outras etapas complementares de redução de tamanho de partícula também são empregadas, com a inclusão de circuito de moagem, que normalmente opera em via úmida, ao contrário dos britadores, que em sua maioria operam com o minério em sua umidade natural. O circuito de cominuição deve ser projetado tanto para atender às exigências de tamanho dos produtos quanto para a liberação do minério a ser concentrado. Em muitos casos a geração de partículas finas nos processos de britagem deve ser minimizada, evitando perdas no circuito. Estima-se que a cominuição consome atualmente 3% da energia consumida no mundo inteiro, representando 30% a 50 % de toda a energia gasta em uma planta de beneficiamento (Budke *et al.*, 2011; Carvalho, 2009). Para minérios de elevada dureza, abrasivos e/ou com liberação em frações muito finas este valor pode atingir patamares muito maiores, a exemplo da Erie Mining Co, em Minnesota (EUA), que processa minérios de ferro taconíticos, onde 80% da energia consumida na instalação (da ordem de 21 kWh/t, envolvendo as etapas de fragmentação, concentração, eliminação de rejeito e abastecimento de água) é utilizada nas etapas de cominuição produzindo um minério com 90% das partículas abaixo de 44 micrômetros (Figueira *et al.*, 2004).

4. BRITADORES PRIMÁRIOS APLICADOS EM USINAS DE MINÉRIO DE FERRO

As principais forças envolvidas tanto nos processos de britagem são impacto, compressão e cisalhamento. Nas primeiras etapas da cominuição (britagem primária) raramente acontece recirculação de material, diferentemente da maioria dos estágios de rebitagem que operam em circuito fechado com peneiras realizando o controle granulométrico do produto. Atualmente, um dos temas mais discutidos na indústria de mineração é a otimização do processo de cominuição, especialmente do ponto de vista de produtividade e custos envolvidos, trazendo um constante desafio para o desenvolvimento de novos equipamentos, simulação computacional de rotas e automação de processo, visando à máxima utilização dos britadores e maior eficiência energética de usinas. O uso eficiente da energia em circuitos de cominuição também está ligado a um forte apelo ambiental, auxiliando a melhorar a imagem das empresas junto à sociedade (Araújo, 2010). A energia consumida na redução do tamanho das partículas pode ser correlacionada à área da nova superfície produzida. Em geral o consumo de energia em britadores primários é da ordem de 0,1-1,0 kWh/t. Potências típicas de britadores de mandíbula de grande porte são em geral menores que 400 kW. No caso de britadores de grande porte do tipo giratório, rolo duplo e impacto/martelos, a potência instalada pode ser superiores a 1-1,5 MW. Além dos custos operacionais relacionados ao

consumo de energético, outros aspectos intrínsecos a manutenção e investimento dos britadores, como por exemplo, peças de reposição (componentes mecânicos estratégicos, peças de revestimento) e número de homens/horas revelam o custo total de instalações de britagem. Figueira *et al.* (2004) apresentam um quadro comparativo dos britadores primários mais utilizados na mineração, incluindo algumas características quanto à sua aplicação que serão comentadas neste trabalho, face o desenvolvimento das tecnologias motivado pelos constantes desafios do setor. Em uma comparação simples entre os britadores instalados em usinas antigas (implementados há mais de 3 décadas) e plantas atuais verifica-se, principalmente, um aumento no porte de equipamentos e o desenvolvimento de sistemas automáticos de controle (instrumentação e processadores lógicos que permitem monitoramento em tempo real dos processos), sistemas hidráulicos para regulação e proteção dos britadores, sistemas de lubrificação e acionamentos especiais, trazendo grandes vantagens relacionadas à operação, manutenção e segurança destes equipamentos.

Os principais critérios de escolha de um britador estão relacionados à caracterização física do material (dureza, abrasividade, umidade e coesividade) e aos fatores técnico-econômicos que influenciarão no seu desempenho, como a taxa de produção, razão de redução, energia consumida, desgaste, distribuição granulométrica e forma do produto requerido (Varela, 2011a). Também é essencial a correta simulação do processo aliada à experiência em avaliar pontos críticos envolvidos em toda a cadeia produtiva. Como regra geral o teor de sílica está relacionado à maior propensão ao desgaste nos britadores e a dureza/umidade/coesividade com a robustez e princípio de operação aplicado nestes equipamentos. A partir do final da década de 1960, as minas a céu aberto adotaram a britagens na cava, reduzindo o custo operacional e de investimento para transportar o material lavrado. Da mesma forma, muitas minas subterrâneas passaram a adotar a britagem no subsolo, inclusive para minério de ferro (Varela, 2011b, Silva e Luz, 2011). No Brasil todas as minas de ferro são a céu aberto e o uso de britagens de grande porte iniciou no final da década de 90 na Serra dos Carajás, município de Parauapebas no Estado do Pará (ThyssenKrupp, 2012). Neste ponto, as duas plantas com capacidade para 8.500 t/h cada, concebidas para a Mina de Carajás da Vale representam um marco no conceito de integração mina-usina. A implantação em 2013 de duas britagens totalmente móveis que integram o sistema contínuo de manuseio de estéril, desenvolvido para a Mina NE4, é outro projeto inédito na mesma região. No Complexo de Mineração de Alegria da Samarco, localizado no Quadrilátero Ferrífero, Estado de Minas Gerais, utiliza-se britagens que possuem uma grande limitação para o processamento de minério de ferro do tipo semi-compacto, especialmente devido ao porte do britador.

Nas operações de minério de ferro, as partículas que alimentam o britador primário possuem diâmetros máximos da ordem de 1-2 m e são reduzidos a partículas entre 150-350 mm. Os britadores primários são máquinas robustas utilizadas para redução do minério natural ROM (*run of mine*), operando, normalmente, com uma etapa de escalpe (grelha vibratória ou fixa) de 100-250 mm (Andrade, 2010 e Sampaio *et al.*, 2002). Existem dois tipos principais de britadores primários aplicados para material de alta abrasividade e elevada dureza: mandíbula (um e dois eixos) e giratórios. O britador de mandíbulas é o tipo mais aplicado no mundo, inclusive na mineração de ferro, de projeto muito robusto, cujo princípio de britagem está baseado em forças de compressão. O material é britado entre uma mandíbula fixa e outra mandíbula móvel, por movimento de aproximação intermitente desta que também está integrada a um volante de inércia e escoia através da abertura de descarga inferior. O sistema de acionamento deste equipamento é realizado por polias e correia em V. Os maiores modelos de britadores de mandíbulas possuem uma boca de entrada da ordem de 2 m de largura e 1,5 m de profundidade, podendo pesar mais de 150 t. Dependendo das condições de operação, a capacidade deste tipo de britador supera 1.000 t/h. Alguns diferenciais no projeto deste equipamento são: rolamentos, espessura das placas de impacto, arranjo da câmara de britagem, tamanho do volante de inércia. Na Mina de Carajás operam

britadores de mandíbula de um e dois eixos com largura da boca de alimentação da ordem de 1,6 m, recebendo a fração grossa (aprox. 150 mm) do material ROM. Nesta Mina observa-se inúmeras vantagens do britador de mandíbula de dois eixos em relação ao de um eixo, especialmente devido ao baixo desgaste dos revestimentos (Varela, 2012).

Britadores giratórios consistem em um elemento móvel, o cone, e um elemento fixo, o manto. O cone tem um movimento excêntrico, se aproximando e afastando das paredes internas do manto. As variáveis que interferem na granulometria e produção da máquina são: velocidade e excentricidade do conjunto eixo-manto, tipo de revestimento e abertura do britador, que, na posição fechada (APF) é da ordem de 200-300 mm. Os britadores de mandíbulas e giratório operam comprimindo o material, contudo, nos modelos giratórios a cominuição ocorre durante todo o ciclo de movimento ao longo da seção circular, resultando em maiores capacidades de produção. Dependendo das condições de operação, este equipamento pode atingir taxas superiores a 10.000 t/h. O maior modelo de britador giratório em operação pesa aproximadamente 560 t, com a boca de abertura chegando a 1,6 m e diâmetro do cone de 2,9 m. Este tipo de equipamento permite a operação com material fino, porém deve-se avaliar a melhor relação custo/benefício resultante do mecanismo de abrasão mineral-mineral, bem como a possibilidade de instalação de uma grelha de escalpe, reduzindo a quantidade de material fino no britador e, conseqüentemente, o desgaste no britador, evitando problemas de entupimento por minerais coesivos e aumentando a capacidade da planta. A relação de redução do britador giratório é maior que o britador de mandíbulas. Dependendo das características do minério, a razão de redução destes britadores primários é da ordem 3:1 a 8:1. 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 da moagem. Uma característica importante do britador giratório é a geração de uma distribuição granulométrica do produto bastante uniforme. Ressalta-se também a aplicação de britador giratório do tipo mandíbula em uma mina subterrânea sueca com uma taxa de produção que pode chegar a 3.000 t/h para um minério alimentado com tamanho máximo de partícula de até 2 m e produto com P_{95} da ordem de 150 mm. Este tipo de britador, baseado no modelo giratório, possui uma geometria especial da boca de entrada, recebendo material unilateralmente. Algumas vantagens deste tipo de tecnologia são alta capacidade, elevado razão de redução e reduzida altura de instalação da planta.

O princípio de operação do britador de duplo rolo e do tipo sizer combina forças de compressão, impacto e também de cisalhamento durante o processo de britagem (Schubert, 1989). Ambos consistem em dois eixos (rolos) paralelos inseridos em uma câmara de britagem em estrutura parafusada ou soldada. A alimentação do minério é realizada entre os rolos, cujo movimento em sentido contrário faz com que o material seja forçado a passar pela distância fixada entre eles, promovendo a fragmentação. O britador de duplo rolo distingue-se do britador tipo sizer, principalmente pela sua maior robustez e a aplicação de um 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 é exclusivamente na direção central e a velocidade de rotação é relativamente maior quando comparada com as utilizadas no britador sizer. Possui ainda característica particular relacionada ao sistema de pré-tensionamento hidráulico e alívio da pressão do rolo móvel. Os britadores primários sizer são projetados com dentes maiores, espaçamento entre dentes maior quando comparado com britadores e rolo duplo. A razão de redução média destes tipos de equipamentos varia entre 3:1 e 6:1, sendo a relação entre centros dos rolos e altura do dente da ordem de 10:1. As principais variáveis que influenciam o desempenho de britadores de duplo rolo e sizer são o diâmetro do rolo (chegando a 1,5 m para o sizer e até 2,6 m para o duplo rolo) e largura dos rolos (1,5 - 3,4 m), velocidade periférica dos rolos (2-3 m/s para o sizer e 5-6 m/s para o rolo duplo), tipo e características do revestimento antidesgaste, geometria dos dentes, fixação e qualidade do material e abertura entre os rolos (150-350 mm). Estes britadores podem processar grandes fragmentos de rocha (da ordem de 2 m ou maiores) e as potências instaladas podem variar de 400-1600 kW alcançando taxas de produção superiores a 5.000 t/h

(sizer) e 10.000 t/h (rolo duplo). Tanto o britador de rolo quanto o sizer minimizam a geração de finos e são indicados para o processamento de materiais coesivos, mas possuem limitações com rochas de elevada dureza, a exemplo do jaspelito. Estes britadores podem operar eficientemente com minério de baixa a média resistência à compressão, como ocorre na aplicação de britador sizer na Austrália (minério de baixo teor de ferro), assim como, os britadores de rolo duplo na Mina brasileira N4E da Vale em Carajás. Nesta última, com capacidades da ordem de 4.000 t/h, gerando produto com tamanho máximo de aproximadamente 350 mm (MMD, 2013; ThyssenKrupp, 2009).

5. CONCLUSÕES

O minério de ferro é o principal recurso mineral explotado mundialmente e têm uma enorme importância para a economia de uma nação, sendo que praticamente toda a sua produção é destinada à indústria siderúrgica. A sua valorização de preço, em particular devido a enorme demanda chinesa por produtos de alta qualidade, tem estimulado o desenvolvimento de soluções tecnológicas de alta capacidade para o processamento mineral. Os processos de cominuição, muitas vezes iniciados na frente de lavra, são operações unitárias fundamentais para um processamento eficiente e de baixo custo. Uma correta análise das características do minério de ferro, especialmente a dureza, abrasividade e umidade, assim como a taxa de produção e a relação de redução requerida são de suma importância para a determinação de um processo de britagem eficiente. Face à enorme disponibilidade de modelos de britadores, uma criteriosa avaliação das vantagens e limitações de cada tecnologia deve ser feita para o desenvolvimento do projeto de uma planta, especialmente visando à otimização dos custos de investimento, operação e manutenção. Além disto, outro critério de decisão é a disponibilidade física do britador, visando à maximização do seu tempo de operação. Do ponto de vista de consumo energético e ambiental, existem enormes desafios e oportunidades para o desenvolvimento das etapas de cominuição. Praticamente todas as etapas de britagem são realizadas com o minério em sua umidade natural, entretanto, verifica-se uma carência de estudos para o desenvolvimento de tecnologias e processos a seco para concentração de finos e ultrafinos. Uma complexa análise do ponto de vista de geração de finos, desgaste, desenvolvimento tecnológico, rota de processos, características do produto, custos de investimento e arranjo mecânico indicam um grande potencial de aplicação dos britadores giratório-mandíbulas e duplo rolo/sizer para os processos de alta capacidade requeridos pelas mineradoras de ferro, especialmente devido ao arranjo compacto e excelente custo-benefício destas tecnologias.

6. REFERÊNCIAS

Andrade, E.P., Estudo da carga circulante elevada na britagem terciária na Planta de IB3 na Mina de Alegria (VALE), Monografia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 30 p., 2010.

Araújo, M.L., Avaliação de oportunidades de conservação de energia e, circuitos de britagem de minério de ferro, Monografia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 47 p., 2010.

Budke, R., Lima, M.P, Nunes, D.S., Moura, L.S., Efeito do tratamento térmico no índice de trabalho (WI) de amostras de quartzo, Anais XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e metalurgia Extrativa, Salvador-BA-Brasil, 2011.

Cabral, A.S. e Peres, A.E.C., Concentração magnética aplicada a minérios goethíticos, Anais XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e metalurgia Extrativa, Salvador-BA-Brasil, 2011.
Carvalho, R.M., Desenvolvimento de modelo matemático generalizado da cominuição, Dissertação (mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 118 p., 2009.

CNI, 2012, The Steel Industry in Brazil, Confederação Nacional da Indústria e Instituto Aço Brasil, Brasília, 50 p., 2012.

EPA, Taconite Ore Processing, AP 42 - V.I - C.11, Mineral Products Industry, 5a Ed., 19p., 1995.
Ferreira, D.H.O., Principais Etapas do Tratamento de Minérios Itabiríticos do Quadrilátero Ferrífero, Monografia, Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, 50 p., 2011.

Figueira, H.V.O., Almeida, S.L. M., Luz, A.B., Cominuição, CT2004-182-00, CETEM, Rio de Janeiro, p. 113-194, 2004.

Jesus, C.A.G., Sumário Mineral 2012, DNPM, Minas Gerais, 2 p., 2012.

Jones, A., Falco, M.B., Mereguetti, M., Stern, C. A mineração brasileira, Global Business Reports/Engineering & Mining Journal, 47 p., 2011.

Lage, E.A., Separadores magnéticos: experiência em minério de ferro na Herculano mineração, Monografia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 20p., 2010.

MMD, SIZER, Tackles High Clay Iron Ore, acesso a página da internet: <http://www.mmdsizers.com/news/articles/press/index.php>, em 16 de fevereiro 2013.

Quaresma, L.F., Sumário Mineral 2002, DNPM, Minas Gerais, p. 64-65, 2002.

Reuters, "China's iron ore miners cut output as prices fall", acesso a página da internet: <http://in.reuters.com/article/2012/09/11/china-ironore-cuts-idINL4E8JL1LK20120911>, em 10 de fevereiro 2013.

Sampaio, J.A, Julianelli, K.M, Penna, M.T., Ferro – Mina N5 – Carajás/CVRD, CT2002-159-00, CETEM, Rio de Janeiro, 11 p. , 2002.

Schubert, H. Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. Band I, 4. Ed., VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 363 p., 1989.

Silva, J.M. e Luz, J.A.M., Britagem em minas subterrâneas, Anais XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e metalurgia Extrativa, Salvador-BA-Brasil, 2011.

Souza, N.A.F, Análise crítica de rotas de processamento de minério de ferro itabiríticos, Trabalho de conclusão de curso, Escola Politécnica-UFRJ, 107 p., 2010.

ThyssenKrupp, Lista de referência de britagens móveis e semi-móveis, 8 p., 2012.

ThyssenKrupp, Sistema de manuseio de estéril - Mina de Carajás-Vale, Relatório interno de projeto, 2009.

Varela, J.J. Britadores aplicados ao processamento de minérios de ferro brasileiros, Relatório interno de projeto ThyssenKrupp, 2012.

Varela, J.J. Critérios de seleção de britadores aplicados ao processamento mineral, Anais XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e metalurgia Extrativa, Salvador-BA-Brasil, 8 p., 2011a.

Varela, J.J. Lista de referências de aplicações de britadores ThyssenKrupp, Relatório interno de avaliação de tecnologias de britagem, 11p. 2011b.

