

DIMENSIONAMENTO DOS BRITADORES DA COOPERATIVA DOS GARIMPEIROS DE PEDRA LAVRADA-PB

¹ Gerson Ferreira da Silva, Doutorando (UFRGS), email: gmineracao@hotmail.com
Elberth Valdiviezo Vieira, Prof. Titular (UFCG), email: elberthvaldiviezo@hotmail.com

Resumo: O processo de cominuição é dividido em dois estágios, britagem e moagem. A etapa de britagem era entendida pela fragmentação de material acima de 25 mm, mas na atualidade os britadores têm apresentado eficiência na cominuição de granulometrias mais finas. Os britadores fazem parte da primeira etapa do processo de cominuição, onde ocorre a redução de tamanho de material de até 8:1. A realização de um estudo e controle desta fragmentação, possibilita melhorar a qualidade e eficiência das técnicas empregadas para obtenção da granulometria do material desejado. Esta pesquisa realiza um redimensionamento dos equipamentos de britagem da cooperativa dos pequenos mineradores do município de Pedra lavrada – PB (COOMIPEL). Os cálculos foram determinados a partir do método desenvolvido pelo fabricante Metso, que é feito com auxílio de curvas e tabelas de operação, em conjunto com o critério de Taggart. O estudo identificou que o britador de mandíbulas primário opera com uma razão de redução de 2:1, estando trabalhando de forma ineficiente, e permitiu sugerir um ajuste desta máquina da razão de redução (R) de 5:1 para otimização do britador. Já o rebitador é necessário um ajuste nas dimensões da boca de descarga, para um APA = 18,0 mm e um APF = 6,0 mm, e esse ajuste irá produzir um material com 42% de sua granulometria $\leq 4,0$ mm. Essas alterações nos equipamentos permitem sugerir modificações no fluxograma do processo de cominuição da COOMIPEL.

Palavras-chave: Britadores, Cominuição, Coomipel, Redimensionamento.

DIMENSIONING OF CRUSHERS IN THE COOPERATIVE OF GARIMEPEIROS DE PEDRA LAVRADA-PB

Abstract: The comminution process is divided in two stages, crushing and grinding. The crushing stage was understood by the fragmentation of the material above 25 mm, but nowadays the crushers had presented efficiency in comminution of more final granulometries. The crushers are part of the first stage of comminution process, where occurs material size reduction up to 8:1. The realization of a study and a control of this fragmentation, make it possible to improve the efficiency of the techniques used to obtain the granulometry of the desired material. This research performs a resizing of the cooperative of the small miners in the municipality of Pedra lavrada PB (COOMIPEL) crushing equipments. The calculations were determined from the method developed by the metso manufacturer, that it is done with the help of curves and operation tables together with the Taggart criterion. The study identified that the primary jaw crusher operates at a ratio of 2:1, since that it was working in a ineficient way it was allowed to suggest an adjustment of this machine by a reduction ration (R) of 5:1 for crusher optimizion. But in the rebriter is necessary an adjust in the dimensions of the discharge port, for an APA = 18,0 mm and an APF = 6,0 mm, and this adjust wil produce a material with 42% of its granulometry $\leq 4,0$ mm. These changes in equipment allow us to suggest changes in the flowchart of the COMIPEL comminution process.

Key words: Crushing, Comminution, Coomipel, Resizing.

1. Introdução

No Estado da Paraíba, as atividades mineiras que ocorrem nas cidades de Pedra Lavrada e Nova Palmeira, concentram-se principalmente na extração e beneficiamento de minerais de pegmatitos, que vêm sendo exploradas na região desde meados do século passado, sem orientação técnica. Na execução da lavra nos garimpos, e nos processos de beneficiamento, são gerados resíduos em grande quantidade, apresentando um enorme desperdício de material e degradação ambiental. Como é de regra, esses resíduos poderiam ter outros destinos, como aplicações especiais nas diversas indústrias de transformação (LUZ; LINS, 2008).

A COOMIPEL (Cooperativa de Pequenos Mineradores de Pedra Lavrada), localizada no município de Pedra Lavrada-PB, Estado da Paraíba foi selecionada para este trabalho devido a sua importância para economia da região, e porque sua unidade de beneficiamento representa o processo empregado para o beneficiamento desses pegmatitos, em particular o mineral feldspato.

As indústrias de vidro e de cerâmica são as principais consumidoras de feldspato. Essas demandam especificações físicas e químicas e certo grau de uniformidade no suprimento do produto.

Esta pesquisa tem por finalidade realizar inicialmente uma análise dos equipamentos de britagem que constitui o circuito de beneficiamento da Cooperativa de Mineradores do município de Pedra Lavrada-PB. E posteriormente, fazer o redimensionamento dos britadores de mandíbulas primário e secundário, e da peneira vibratória, que faz parte do processo de beneficiamento do feldspato potássico.

Esse estudo visa o melhoramento do funcionamento dos britadores de mandíbulas para o aproveitamento do feldspato potássico, dentro das especificações requeridas para os diferentes segmentos industriais, destacando-se os setores da cerâmica e de vidros. O resultado do dimensionamento dos equipamentos servirá para melhoria do processo de obtenção de produtos para atender o setor em termos de qualidade e quantidade. Este estudo também contribuirá para otimização do circuito de beneficiamento, e assim, irá agregar valor, e poderá servir de referência para outras cooperativas.

A colocação em prática dos resultados deste trabalho poderá fornecer valiosos subsídios e ganhos significativos aos cooperados da região, desde que sejam aplicados corretamente em cada etapa do processo.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Província Pegmatítica da Borborema (ppb)

A Província Pegmatítica da Borborema (PPB) está inserida entre os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, tendo como coordenadas geográficas $5^{\circ}30'S$ e $7^{\circ}15'S$ de latitude e $35^{\circ}45'W$ e $37^{\circ}15'W$ de longitude, correspondendo a parte oriental da Faixa de Dobramento Seridó.

Conforme DA SILVA (1995) a área aproximada de concentração dos pegmatitos da PPB é de $75 \times 150 \text{ km}^2$, no Sudeste da Faixa de dobramentos Seridó, localizada entre os estados do RN e da PB, sendo estas rochas, majoritariamente, encaixadas em micaxistos, quartzitos e gnaisses do Grupo Seridó e, em número menor, nos gnaisses e migmatitos do Complexo Gnáissico-Migmatítico (LUZ; LINS, 2003).

Na Formação Seridó existem mais de 1.500 pegmatitos produtores de metais raros (Be, Ta-Nb, Li e Sn), de gemas e de minerais industriais (feldspato, caulim e quartzo), em uma área de ocorrência de cerca de 10.000 km^2 (SILVA; CROSTA, 2011). A Figura 1 mostra a área pegmatítica da PPB.

Os pegmatitos mineralizados principalmente em Ta-Nb, Be, Sn, Li, minerais industriais e minerais gemas desta província, ocorrem nos municípios de Parelhas, Equador e Carnaúba dos Dantas, no Estado do Rio Grande do Norte, e nos municípios da Paraíba em Picuí, Frei Martinho, Nova Palmeira, Pedra Lavrada, Juazeirinho e Junco do Seridó.

No período da II Guerra Mundial ocorreu um aumento no preço e na busca intensa por matérias primas e minerais estratégicos, como berilo e tantalita para atender as necessidades dos países aliados. De acordo com ROLFF (1946), o município de Picuí na Paraíba chegou a produzir, neste período, 20% da produção mundial de tantalita, e 8 a 10% da produção mundial de berilo. Neste período foram lavradas simultaneamente cerca de 450 pegmatitos em toda região.

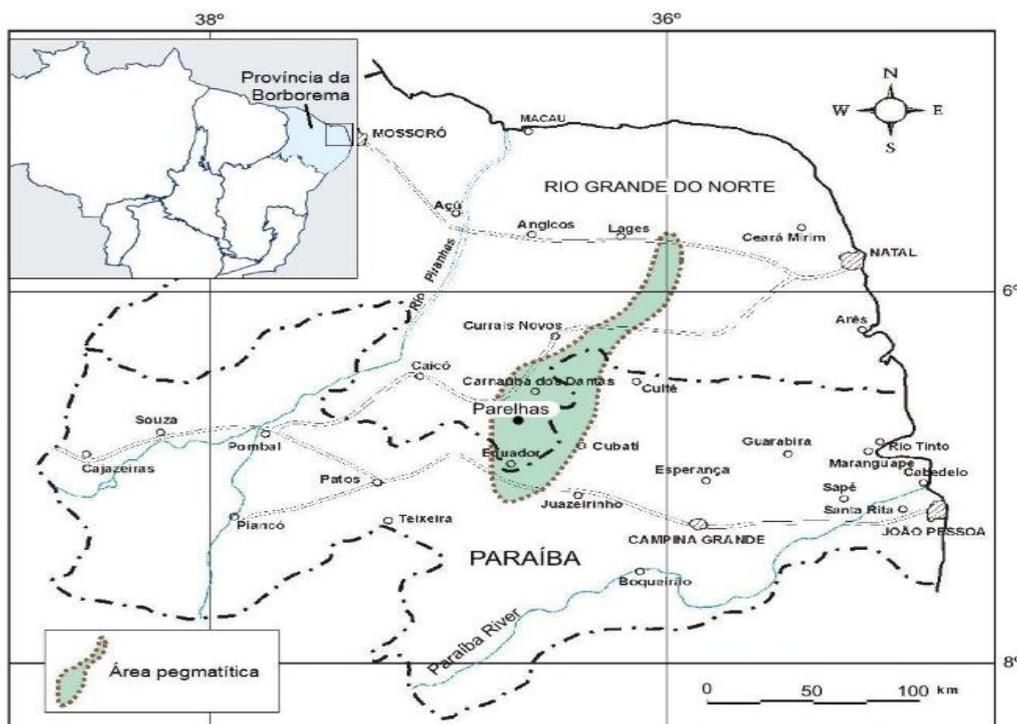


Figura 1 – Mapa de localização da área pegmatítica nos Estados do RN e PB.

Fonte: ARAÚJO (2016).

2.1.1 Classificação dos Pegmatitos da Borborema

Para a província Pegmatítica da Borborema, os pesquisadores propuseram classificações desses pegmatitos, de acordo com alguns critérios. Dentre os autores estão SCORZA (1944), JOHNSTON Jr (1945), ROLFF (1945,1946) agrupou os pegmatitos da região, de acordo com a presença de minerais de valor econômico, como: cassiterita, berilo, tantalita e columbita, em:

- a) Pegmatitos que contêm cassiterita.
- b) Pegmatitos que contêm minérios de cobre.
- c) Pegmatitos que não contêm cassiterita nem minerais de cobre.

De acordo com JOHNSTAN Jr (1945) classificou-os em homogêneos e heterogêneos, tendo como base a estrutura interna dos pegmatitos. Enquanto ROLFF (1945) classificou-os em homogêneos, heterogêneos e mistos (Figura 2).

a) Pegmatitos Homogêneos

- Constituídos principalmente por quartzo, feldspatos, e moscovita, biotita, schorlita e almandina.
- Às vezes podem conter um pouco de berilo, columbita-tantalita, e cassiterita.
- Suas dimensões variam entre 1 a 2 m de espessura, com extensão de até centenas de metros.
- São mais abundantes que os pegmatitos heterogêneos.

b) Pegmatitos Heterogêneos

- Constituídos principalmente por quartzo, feldspatos e micas, podendo ter grandes quantidades de tantalatos, berilos, cassiterita e espodumênio, granada e turmalina negra.
- Podem conter grandes cristais (métricos) de berilo, feldspato, espodumênio, entre outros.
- Tem dimensões que chegam a 600m de comprimento por 150m de espessura, em afloramento.
- São economicamente mais importante que os pegmatitos homogêneos.

c) Pegmatitos Mistos

- São Pegmatitos intermediários entre os homogêneos e os heterogêneos, essa nomenclatura foi proposta por ROLFF (1945).
- São de granulação equidimensional, exceto alguns pontos onde ocorre gigantismo de minerais, geralmente rodeados por massas de quartzo.
- Ocorrem em pequeno número.

2.2 Mineralogia dos Feldspatos

A associação dos produtores de feldspato da comunidade Européia-Eurofel, cita que os principais depósitos em exploração no mundo são depósitos do tipo nefelina sienito. Esses são rochas constituídas por feldspatóides, principalmente nefelina. Os principais depósitos em exploração estão situados no Canadá e na Noruega (COELHO, 2009).

De uma maneira geral, pode-se dizer que as composições químicas dos feldspatos permitem classificá-los em:

- Ortoclásio / Microclina (KAlSi_3O_8);
- Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$);
- Anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

O grupo do feldspato é subdividido em dois subgrupos em função das diferenças dos tipos de álcalis predominantes e estrutura cristalina (DEER; HOWIER; ZUSSMAN, 1966). São eles:

1. Feldspatos alcalinos ou álcali-feldspatos: são os constituintes entre o feldspato potássico (KAlSi_3O_8) e a albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$);
2. Plagioclásios ou feldspatos sódico-cálcicos: membros com composições químicas entre anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$).

Porém, para um bom entendimento da relação entre os minerais do grupo do feldspato, além da caracterização química e mineralógica, é importante caracterizá-los também em relação à temperatura de cristalização, pois, os feldspatos preservam em suas estruturas cristalinas as características da temperatura na qual foram formados.

2.3 Aspectos Teóricos da Cominuição

As operações de cominuição compreendem diversos estágios que se aplicam ao minério, desde a mina, até sua adequação ao processo industrial subsequente. Na etapa de lavra, o desmonte do minério ou rocha, com o auxílio de explosivo pode ser visto como um primeiro estágio de fragmentação, onde são produzidos blocos volumosos, mas de um tamanho que permite alimentar os equipamentos de britagem (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

A britagem é a operação que fragmenta os blocos obtidos na lavra, podendo ser repetida diversas vezes por diferentes tipos de equipamentos, até se obter um material adequado à alimentação da moagem. A moagem é a operação de fragmentação fina obtendo-se nela um produto adequado à concentração ou a qualquer outro processo industrial, como a pelotização, lixiviação e combustão (FIGUEIRA; ALMEIDA; LUZ, 2004).

A britagem é o primeiro estágio mecânico de cominuição na qual o principal objetivo é a liberação das partículas dos minerais úteis dos minerais de ganga e permitir sua separação, através dos processos de concentração, em concentrados, rejeitos e produtos intermediários (WILLS; NAPPIER, 2006).

Normalmente, para haver uma liberação satisfatória do mineral valioso, é necessário que o minério seja reduzido a uma granulometria fina. Nessas condições, a fragmentação desenvolve-se por meio de três estágios, isto é, grossa, intermediária e fina ou moagem. Nos dois primeiros estágios, a fragmentação é realizada em britadores e no último estágio, em moinhos (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

2.3.1 Equipamentos de Britagem

Para uma correta escolha do britador, além das características do material processado, outras premissas do projeto devem ser levadas em consideração. Alguns aspectos técnicos limitam e definem qual o tipo de equipamento a ser utilizado no processo. Entre esses fatores, ressaltam-se os parâmetros físicos, mecânicos e operacionais intrínsecos de cada tipo de equipamento, e outros como a energia requerida, as forças envolvidas, o desgaste de componentes, a disponibilidade física e a capacidade de produção máxima. Na Tabela 1, são listados alguns dos principais tipos de britadores e suas respectivas características.

Tabela 1 – Principais tipos de britadores e suas características.

Tipo de Britador	Mandíbulas	Giratório	Cônico	Impacto	Martelos	Sizer	Rolos Dentados
Serviço	Britagem 1° e 2°	Britagem 1°	Britagem 2°, 3° e 4°	Britagem 1°, 2°, 3° e 4°	Britagem 1°, 2°, 3°	Britagem 1°, 2°, 3°	Britagem 1° e 2°
Grau de Redução	5:1 (4:1 a 9:1)	8:1 (3:1 a 10:1)	3:1 a 7:1	6:1 a 40:1	20:1 a 100:1	3:1 a 6:1	2:1 a 6:1
Capacidade Proc. (t/h)	Baixa a média 1300	Baixa a alta até 10000	Baixa a média até 2400	Baixa a média até 2400	Baixa a média até 2800	Média a alta até 1000	Média a alta até 12000

Tamanho Máx. alimentação (mm)	Grandes tamanhos até 1500	Grandes tamanhos até 1600	até 500	até 1500	até 1500	até 2000	Limitado a distância entre rolos até 2500
Granul. do produto	Poucos finos. Top size alto p/ Lamelares.	Poucos finos. Top size menor que mandíbulas.	Distribuição uniforme, formato cúbico.	Muitos finos, formato cúbico ou arredondado.	Muitos finos, e formas cúbica.	Poucos grossos e teor de finos menor que outros equip.	Tamanho médio a fino.
Aplicação	Duro e abrasivo, Com sílica <30% e umidade <10% Pouco indicado p/ minerais coesivos e tendência a produzir partículas lamelares.	Abrasivo, umidade <5% e com tendência a produzir partículas lamelares, pouco indicado para minerais coesivos.	Duro e abrasivo, e para umidade <8%. Pouco indicado para minerais coesivos.	Abrasivo com sílica+óxido Metálicos <15%, umidade <8%, alto teor de argila com tendência a produzir partículas lamelares. Limitado a rochas frágeis ou elástica.	Dureza baixa a moderada, pouco abrasivo e sílica <3-8% e umidade <15-20%	Dureza média com sílica <10% p/ umidade <30% e minerais coesivos pegajosos.	Dureza baixa e média, pouco abrasivo com sílica <10% e umidade <30%.
Resis. Compressão (Mpa)	< 500	< 400	< 400	< 300	< 200	< 130	<180

Fonte: CARVALHO (2012).

2.4 Lavra e Beneficiamento de Feldspato

Na região da Paraíba, Rio Grande do Norte, e norte de Minas Gerais localizam-se as principais províncias pegmatíticas do País, e de modo geral, os métodos de exploração e lavra adotados, são empíricos, predatórios, e ausente de orientação técnica da Engenharia de Minas.

Uma grande parte da produção de feldspato no Brasil é realizada em pequenas minas, por garimpeiros, inclusive o pegmatito Alto Serra Branca, situado no município de Pedra Lavrada-PB, que fornece material para a COOMIPEL. Nesses pegmatitos são usados métodos e equipamentos rudimentares, com pouca mecanização.

As etapas do processo de beneficiamento do feldspato na cooperativa constituem-se de dois percursos distintos no processo de cominuição, a depender do feldspato a ser trabalhado. Na linha de britagem (Figura 2), são fragmentados tanto o feldspato albita como o potássico, apenas na etapa de moagem que seguem caminhos diferentes. A albita é moída no moinho de bolas de seixos, enquanto o feldspato potássico é moído no moinho de martelos (Figura 3).



Figura 2 – Britador de mandíbulas primário e secundário da COOMIPEL.

O processo de beneficiamento do feldspato potássico (Figura 3) na unidade da COOMIPEL, inicia-se com as etapas de britagem primária e secundária, posteriormente o material britado vai para pilha e depois segue para o moinho de martelos.

Na Figura 4, observa-se o moinho de martelos e a peneira, o qual é alimentado pelo material proveniente das etapas de britagem (primária e secundária). Desse circuito, é separado o feldspato potássico com granulometria $\leq 1,68$ mm para comercialização.



Figura 3 – Moinho de martelos e peneira da COOMIPEL.

O produto do moinho de martelos apresenta uma granulometria ≤ 10 mm, e é despejado em uma correia transportadora e conduzido a uma peneira vibratória. O material retido na peneira de 12 malhas ($\geq 1,68$ mm) é repassado por gravidade, em circuito fechado, para o moinho de martelos. O passante da peneira, segue por gravidade, para formar a pilha de feldspato com granulometria $\leq 1,68$ mm, para comercialização atendendo potenciais clientes (Figura 4).

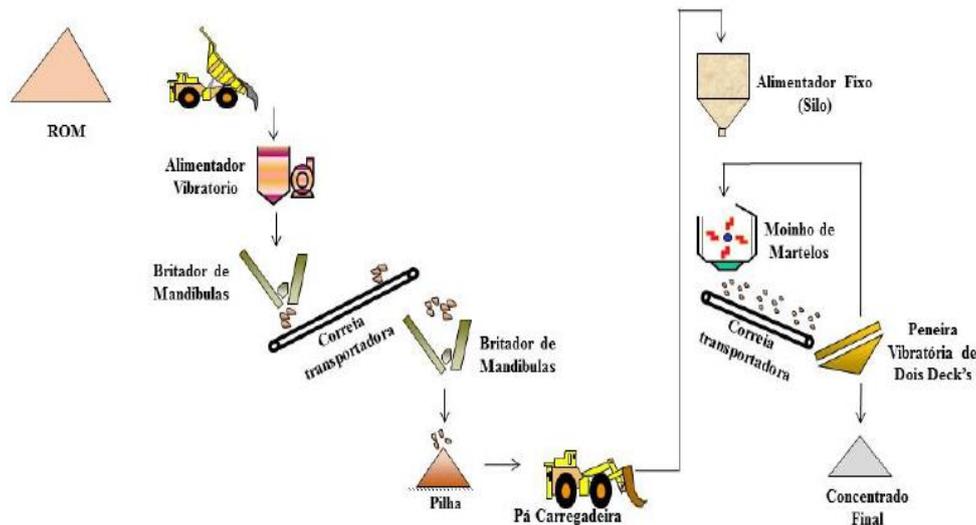


Figura 4 – Fluxograma do circuito de beneficiamento do feldspato potássico na cooperativa Coomipel. Fonte: VIERA; SILVA; VIDAL (2016).

3. Materiais e Métodos

3.1 Dimensionamento dos Britadores de Mandíbulas

Para selecionar um determinado britador com pretensão do seu uso em um dado serviço, este equipamento deve atender uma série de exigências.

Na realização do dimensionamento dos britadores primário e secundário, foi empregado: curvas granulométricas, aplicação das tabelas dos fabricantes dos equipamentos (manual da Metso), bem como as características próprias do material, e com esses dados foram determinadas algumas condições.

O procedimento adotado envolveu as seguintes etapas:

(a) Consulta às tabelas de especificação técnica definindo os equipamentos que estão dentro das condições exigidas (Tabela 2) ;(b) Verificação das capacidades de produção de cada equipamento selecionado, observando-se se os mesmos estão dentro das condições especificadas (Tabela 3) ;(c) Observação das curvas granulométricas do tipo de equipamento para definir melhor as condições de operação (Figuras 5) ;(d) Determinações das condições de recepção, de processo, e capacidade. O britador só brita partículas menores que 0,8 A. Então, o tamanho máximo da alimentação (*Top size*) é condicionado pela dimensão da boca de alimentação do equipamento (A_0).

Tabela 2 – Especificações técnicas de britadores de mandíbulas.

Modelos	Unid	Britadores de Mandíbulas						
		2015E	3020E	4230E	6240E	8013E	9026E	12040E
Boca	mm	200x150	300x200	420x300	620x400	800x130	900x60	1200x400
Peso	kg	545	1720	3000	7000	3350	5800	14500
Volante-diâmetro	mm	750	800	900	1075	850	900	1300

Rotação	rpm	380	350	350	280	350	300	280
Motor-1200 rpm	hp	10	15	25	40	25	40-50	75-100
Polia-diâmetro	mm	172	260	280	265	250	240	330
Correias V	Qte	4xB	5xB	4xC	5xC	4xC	5xC	8xD
Altura (h)	mm	680	1160	1370	1630	1065	1275	1855
Comprimento (L)	mm	750	1050	1300	1600	1200	1550	2230
Largura (B)	mm	760	1100	1250	1530	1710	1865	2500

Fonte: METSO (2005).

Tabela 3 – Capacidade em t.h⁻¹ (para material com densidade aparente de 1,6 t.m⁻³)

Máquina	Movimento do queixo	Abertura de saída-posição fechada APF – mm (pol.)									
		6 (1/4)	12 (1/2)	20 (3/4)	30 (1 3/16)	40 (1 5/8)	50 (2)	75 (3)	100 (4)	125 (5)	150 (6)
2015	1/2"	2 3	3 5	5 6,5	6 8	8 10					
3020	3/4"			8 10	9 13	14 16	17 22				
4230	3/4"				12 16	16 20	20 25	25 33			
6240	3/4"				25 35	35 45	45 58	65 85	70 88		
8013	1/2"	6 8	10 13	13 18	19 26						
9026	3/4"			25 33	28 36	40 50	60 76	75 95			
12040	1"					65 85	87 124	118 153	157 200	190 250	210 270

Fonte: METSO (2005).

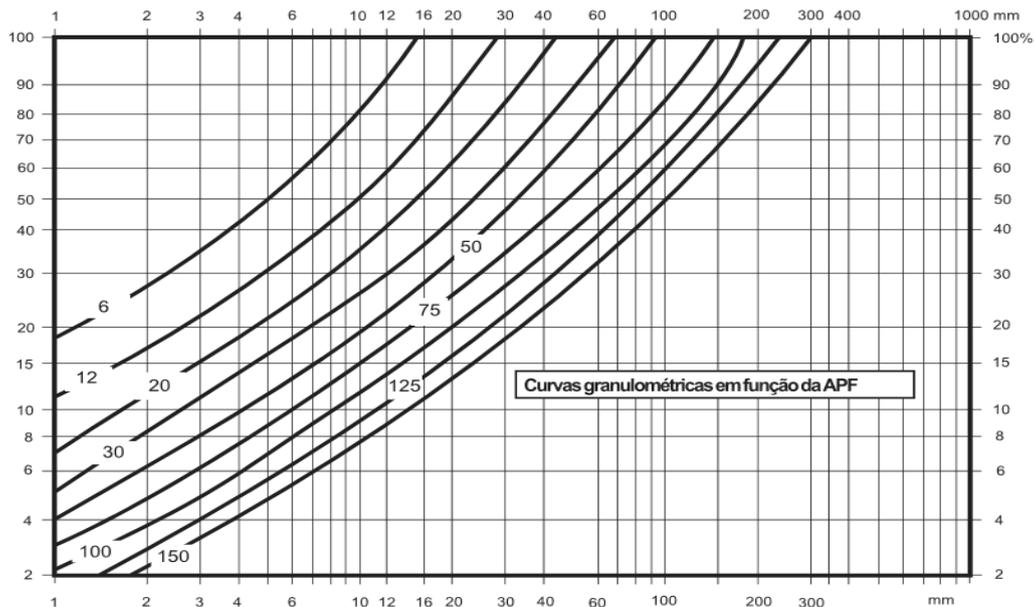


Figura 5 – Curvas granulométricas para britadores e rebitadores (% passante x granulometria, mm). Fonte: METSO (2005).

Para atender as exigências de seleção dos equipamentos, junto com a realização dos cálculos necessários para determinar as condições dos britadores, foram abordados os seguintes itens:

a) Condição de Recepção

A distância entre as duas mandíbulas na extremidade superior do britador é muito importante e é denominada gape.

$$\text{Gape} = \frac{\text{tamanho da maior partícula da alimentação}}{0,8 \text{ a } 0,85} \quad (1)$$

b) Critério de Taggart

O britador possui uma capacidade que varia com o seu tamanho e, para cada tamanho, com a abertura. Taggart estabeleceu um critério (x) para optar por britadores de mandíbulas ou giratórios.

$$x = \frac{\text{vazão em t/h}}{(\text{gape em polegadas})^2} \quad (2)$$

Se $x > 0,115$, sugere-se adotar britador giratório, caso contrário recomenda-se o britador de mandíbulas (CHAVES; PERES, 2003).

c) Condição de Processo

O britador de mandíbulas deve gerar uma distribuição granulométrica estabelecida pelo engenheiro responsável pela unidade de beneficiamento. No presente trabalho, a granulometria do material na alimentação do britador primário corresponde a 20 cm (200 mm), com uma razão de redução de 5:1.

d) Capacidade

O britador tem uma capacidade que varia com o seu tamanho e, com as dimensões da boca de alimentação (A_0). Devido a operação de carga e descarga dos caminhões, o

britador fica de tempo em tempo ocioso. Em consequência disso é necessário utilizar um fator de serviço, para que o britador possa atender à capacidade necessária. Esse Fator é 1,5 para os britadores primários e 1,25 para os demais. A determinação da capacidade do britador é dada por:

$$C = \frac{\text{Fator de serviço} \times \text{vazão de alimentação}}{\text{Densidade aparente}} \quad (3)$$

4. Resultados

4.1 Britador Primário

a) Condição de Recepção

O britador primário deve ter gape suficientemente ajustado para deixar passar o máximo de material na alimentação. O top size do material é de 20 cm (200 mm) e a vazão de alimentação de 10 t.h⁻¹.

Usando a equação (1) a seguir, tem-se:

$$\text{Gape} = \frac{\text{tamanho da maior partícula da alimentação}}{0,8 \text{ a } 0,85} = \frac{20 \text{ cm}}{0,8} = 25 \text{ cm}$$

As informações provenientes da condição de recepção, permitem definir uma distância entre as mandíbulas (gape) de aproximadamente 25,0 cm, e a granulometria máxima da alimentação (top size) de 20,0 cm, que vai alimentar o britador de mandíbulas primário, a fim de que não haja entupimento de material entre a mandíbulas fixa e móvel do equipamento.

b) Critério de Taggart (equação 2)

$$X = \frac{\text{vazão em t/h}}{(\text{gape em polegadas})^2} = \frac{10 \text{ t/h}}{(9,8)^2} = 0,104, \text{ esse valor é menor que } 0,115.$$

De acordo com Taggart, como o valor de $X < 0,115$, usa-se o britador de mandíbulas (CHAVES; PERES, 2003).

A determinação do critério de Taggart é muito importante para definição de qual tipo de britador deverá ser empregado. Neste caso, tem-se que o valor encontrado de $X = 0,104$, é menor que o estabelecido por Taggart. Assim, pode-se selecionar o britador de mandíbulas na britagem primária ao invés do britador giratório ou cônico.

c) Condição de Processo

Dado que o top size é de 20 cm e a razão de redução (R) é 5:1, considerando que:

$R = \text{Top size da alimentação} / \text{tamanho máximo do produto}$.

Então tem-se que o tamanho máximo do produto é de 40 mm,

Por outro lado, tem-se que:

$APF = APA - \text{Movimento do queixo}$.

Sendo que:

APF: abertura da boca do britador na posição fechada; mm.

APA: abertura da boca do britador na posição aberta; mm.

Assim:

$APF = (40 - 20) \text{ mm} = 20 \text{ mm}$;

Onde: movimento do queixo = 20 mm ($\pm 3/4''$ - ver Tabela 3)

De acordo com a Tabela 3, que apresenta a capacidade de britadores primários para várias APF, pode-se considerar a abertura da boca de saída do britador primário na posição fechada, no valor de $3/4''$ (20 mm). Com essas considerações técnicas pode ser selecionado o britador 3020E, que apresenta uma capacidade que varia de 8 - 10 t.h⁻¹.

Na Figura 6, a partir da curva referente a um APF de 20 mm, tem-se as faixas granulométricas do produto britado (Tabela 4).

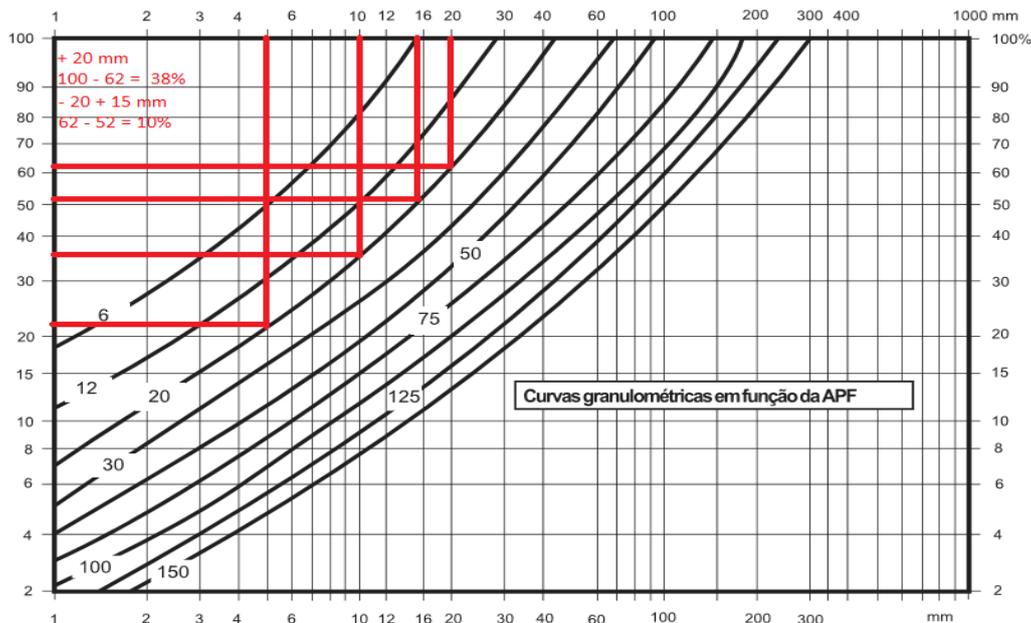


Figura 6 – Curvas granulométricas para diversos valores de APF de britadores primários.

Observou-se que 38% do material encontra-se acima de 20 mm, o que corresponde a 3,8 ton de material britado por cada 10,0 ton de alimentação. Tem-se que 10% do produto britado é menor que 20 mm e maior que 15 mm, isso representa 1,0 ton. Também se constatou que 16% do material produzido é menor que 15 mm e maior 10,0 mm, correspondendo a 1,6 ton. Ainda se tem que 14% é menor 10 mm e maior que 5 mm, com cerca de 1,4 ton. Por fim, tem-se que 22% do material britado apresenta granulometria menor que 5 mm, que corresponde a 2,2 ton. A soma de todas as percentagens das faixas granulométricas representa 100% do material alimentado (Tabela 4).

Tabela 4 – Distribuição granulométrica do britador primário (APF = 20 mm) considerando a capacidade do britador de 10 t.h⁻¹.

Faixa granulométrica (mm)	Peso (%)	Capacidade (t/h)
+ 20	38,0	3,8
- 20 + 15	10,0	1,0
- 15 + 10	16,0	1,6
- 10 + 5	14,0	1,4
- 5	22,0	2,2
Total	100,0	10,0

A partir da condição de processo, onde foi consultado o manual da Metso, da determinação do top size de 20 cm (ou 200 mm) que corresponde ao tamanho máximo da alimentação, da definição da razão de redução de 5:1, e com o ajuste da boca de saída (APA) de 40 mm, que foi baseado na Tabela 3. É recomendado a utilização do britador de mandíbulas de um eixo, modelo 3020E.

d) Capacidade real do britador (equação 3)

A capacidade real do britador primário é determinada com base nos seguintes dados:

Fator de serviço = 1,5 (britador primário)

Vazão de alimentação = 10 t.h⁻¹ (Valor estimado).

Densidade aparente do material = 1,6 (Valor estimado).

$C = \text{Fator serviço} \times \text{Vazão de alimentação (t.h}^{-1}\text{)} / \text{Densidade aparente}$

$$C = \frac{\text{Fator de serviço} \times \text{vazão de alimentação}}{\text{Densidade aparente}} = \frac{1,5 \times 10}{1,6} = 9,37 \text{ t.h}^{-1}.$$

A capacidade real do britador de mandíbulas primário foi de 9,37 t.h⁻¹, que pode ser atingida com um britador modelo 3020E. A faixa de produção desse modelo varia de 8,0 – 10,0 t.h⁻¹.

No processo de britagem atual, o britador primário da cooperativa apresenta na boca de alimentação as dimensões de 36 x 24 cm, e na abertura de saída o valor de 36 x 12 cm. O equipamento está operando para britar material com tamanho máximo (top size) de até 20 cm, e está produzindo um produto britado com tamanho máximo de até 12 cm. Nessas condições, está trabalhando com uma razão redução de aproximadamente 1,7. Essa razão de redução é inadequada já que evidencia uma subutilização do equipamento.

A razão de redução (R) desse britador deve ser reajustada em 5:1, quando usado na fragmentação de feldspato. O gape permanece em 24 cm, o top size em 20 cm. Por outro lado, as dimensões da boca de descarga deverão ser reajustadas, com um APA = 4,0 cm e um APF = 2,0 cm, aproximadamente. Esses ajustes melhorarão a eficiência do britador da cooperativa, em termos de um produto gerado com menores granulometrias.

5.4.2 Britador Secundário

a) Condição de Recepção

O britador secundário (rebritador) usado atualmente na cooperativa apresenta uma boca de alimentação com dimensões de 88 x 18 cm, e a boca de descarga com APF = 3,0 cm, e APA = 5,0 cm. Para este tipo de britador o movimento do queixo é de 2,0 cm ($\pm \frac{3}{4}$ " - ver Tabela 3). O gape deve estar suficientemente ajustado para deixar passar o máximo de material na alimentação. O top size do material é de 15 cm (150 mm) e considerando-se uma vazão de alimentação de 10 t.h⁻¹.

Usando a equação (1) a seguir, tem-se que:

$$\text{Gape} = \frac{\text{tamanho da maior partícula da alimentação}}{0,8 \text{ a } 0,85} = \frac{15 \text{ cm}}{0,8} = 18,8 \text{ cm}.$$

As informações provenientes da condição de recepção, permitem definir uma distância entre as mandíbulas (gape) de aproximadamente 19,0 cm, e a granulometria

máxima da alimentação (top size) de 15,0 cm, que vai alimentar o britador de mandíbulas secundário, a fim de que não haja entupimento de material entre a mandíbulas fixa e móvel do equipamento.

b) Critério de Taggart (equação 2)

$$X = \frac{\text{vazão em t/h}}{(\text{gape em polegadas})^2} = \frac{10 \text{ t/h}}{(7,6)^2} = 0,17, \text{ esse valor está próximo de } 0,115.$$

De acordo com Taggart, como o valor de X (0,17), está dentro do limite do indicado, usa-se o britador de mandíbulas ao invés do britador giratório (CHAVES; PERES, 2003).

c) Condição de Processo

Com um top size de 15 cm e um produto de material britado com tamanho máximo de 5 cm, o rebitador da cooperativa apresenta uma razão de redução de 3:1.

Visto que o top size é de 150 mm e a razão de redução (R) é 3:1, considerando-se que:

$R = \text{Top size da alimentação} / \text{tamanho máximo do produto}.$

Então tem-se que o tamanho máximo do produto é de 50,0 mm,

Por outro lado, tem-se que:

$APF = APA - \text{Movimento do queixo}$ (ver Tabela 3).

Assim:

$APF = (50,0 - 20,0) \text{ mm} = 30,0 \text{ mm};$

Como não foi encontrado esse modelo de rebitador empregado na cooperativa, nas tabelas dos equipamentos industriais, optou-se por se encontrar um outro modelo que seja o mais parecido. De acordo com a Tabela 3, que apresenta a capacidade de britadores secundários para várias APF, pode-se considerar a abertura da boca de saída do britador secundário (APF - posição fechada) no valor de $1\frac{3}{16}$ ou (30 mm). Com essas considerações pode ser selecionado o britador 8013E, que nesta condição apresenta uma capacidade que varia de 19 a 26 t.h⁻¹.

A seguir será realizado um novo redimensionamento do rebitador propondo-se variações do top size, tamanho máximo do produto, e dimensões da APA e da APF, respectivamente.

c) Condição de Processo

Tendo-se que o tamanho máximo do produto produzido pelo britador primário seria de 40,0 mm. Esse seria o top size do britador secundário.

Visto que o top size é de 40,0 mm e o tamanho máximo do produto é 18,0 mm (APA). Então a razão de redução (R) é de 2.2.

Por outro lado, tem-se que:

$APF = APA - \text{Movimento do queixo}$. ($\pm \frac{1}{2}$ - ver Tabela 3)

Assim:

$APF = (40,0 - 32,0) \text{ mm} = 8,0 \text{ mm}$

De acordo com a Tabela 3, que apresenta a capacidade de britadores secundários para várias APF, pode-se considerar a abertura da boca de saída do britador secundário (APF - posição fechada) no valor de $\frac{1}{4}$ " ou (6 mm). Com essas considerações técnicas

também poderá ser selecionado o rebitador 8013E, que apresenta nessa condição, uma capacidade que varia de 6 a 8 t.h⁻¹.

Na Figura 7, a partir da curva referente a um APF de 6,0 mm, tem-se as faixas granulométricas do produto britado (Tabela 5).

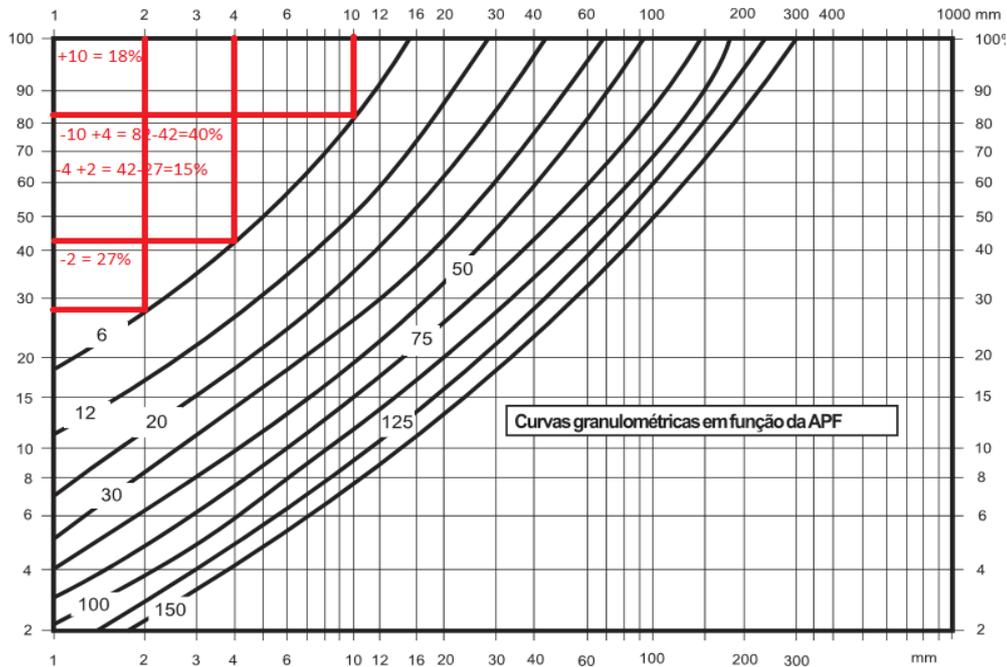


Figura 7 – Curvas granulométricas para diversos valores de APF de britadores primários.

Os resultados mostraram que 18% do material encontra-se acima de 10 mm, o que corresponde a 1,44 ton de material britado por cada 8,0 ton de alimentação. Observa-se que 40% do produto britado encontra-se em uma faixa de (- 10,0 + 4,0) mm, isso representa 3,20 ton. Também se constatou que 15% do material produzido corresponde à fração (- 4,0 + 2,0) mm, correspondendo a 1,20 ton. Por fim, tem-se que 27% do material britado apresenta granulometria – 2,0 mm, que corresponde a 2,16 ton. Observa-se que a fração - 4,0 mm corresponde a 42,0% do total (Tabela 5).

Tabela 5 – Distribuição granulométrica do rebitador (APF = 6 mm)
Considerando a capacidade do britador de 8,0 t.h⁻¹.

Faixa granulométrica (mm)	Peso (%)	Capacidade (t/h)
+ 10	18,0	1,44
- 10 + 4	40,0	3,20
- 4 + 2	15,0	1,20
- 2	27,0	2,16
Total	100,0	8,0

d) Capacidade real do britador secundário (equação 3)

A capacidade real (C) do rebitador é determinada com base nos seguintes dados:

Fator de serviço = 1,25 (britador secundário)

Vazão de alimentação = 10 t.h⁻¹ (Valor estimado).

Densidade aparente do material = 1,6 (Valor estimado).

C = Fator serviço x Vazão de alimentação (t.h⁻¹) / Densidade aparente

$$C = \frac{\text{Fator de serviço} \times \text{vazão de alimentação}}{\text{Densidade aparente}} = \frac{1,25 \times 10}{1,6} = 7,8 \text{ t.h}^{-1}.$$

A capacidade real do rebitador de mandíbulas, com as novas condições, seria de 7,8 t.h⁻¹, que pode ser atingida com um britador modelo 8013E. A faixa de produção desse modelo varia de 6,0 – 8,0 t.h⁻¹.

O rebitador empregado na Cooperativa de Pedra Lavrada está operando para rebitar material com tamanho máximo (top size) de até 15 cm, e está produzindo um produto britado com tamanho máximo de até 5 cm. Nessas condições, está trabalhando com uma razão redução de aproximadamente 3:1. Esse material (≤ 50 mm) iria alimentar o moinho de bolas de seixos.

Com o novo redimensionamento do rebitador, o top size passaria de 15,0 cm (150 mm) para 4,0 cm (40 mm). Essa recomendação de variação de top size foi considerada haja visto que, o tamanho máximo do produto gerado pelo britador primário 3020E é ≤ 40 mm. O gape permanece em 18 cm. Para isso, as dimensões da boca de descarga deverão ser reajustadas, com um APA = 18,0 mm e um APF = 6,0 mm, aproximadamente. A razão de redução (R) desse rebitador será de 2.2. Essas recomendações de ajustes proporcionariam uma redução no tamanho máximo do produto de 50 mm para 18 mm. Esse produto com menores granulometrias irá alimentar o moinho de bolas de seixos. Essa seria uma proposta técnica, que poderá ser implementada na cooperativa, no intuito de permanência do rebitador, atualmente usado, e evitando a sua substituição.

5. Conclusões

A realização do redimensionamento dos equipamentos de britagem, como o britador primário e secundário da cooperativa dos mineradores do município de Pedra Lavrada-PB (COOMIPEL), permitiu identificar através dos resultados obtidos, que o britador primário opera com uma razão de redução de aproximadamente 2:1, e está operando de forma ineficiente, ou seja, sendo subutilizado. O redimensionamento dessa máquina propõe um ajuste da razão de redução (R) de 5:1, com as dimensões da boca de descarga, com um APA = 4,0 cm e um APF = 2,0 cm. Essas modificações aumentarão a produtividade do britador da cooperativa, produzindo um produto com menores granulometrias.

O rebitador da cooperativa com dimensões de 88 x 18 cm, e boca de descarga com APF = 3,0 cm, e APA = 5,0 cm deverá ser ajustado nas dimensões da boca de descarga, para um APA = 18,0 mm e um APF = 6,0 mm. Essas modificações são possíveis neste equipamento que está em pleno funcionamento. Os resultados mostraram que o ajuste do rebitador irá produzir um material com 42% de sua granulometria $\leq 4,0$ mm. Esse tamanho de granulometria do feldspato albita torna-se adequado para alimentar o moinho de bolas.

Essas sugestões de modificações na configuração dos equipamentos que constituem o circuito de cominuição da COOMIPEL, baseadas na literatura específica, se implantadas e acompanhadas tecnicamente, possibilitará melhorias significativas na produção do feldspato potássico, e geração de emprego e renda, para comunidade e os cooperados da região.

Referências

CARVALHO, M. X. S. **Equipamentos de Fragmentação**. Monografia, Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 28p. 2012.

CHAVES, A.P.; PERES, A.E.C. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. 2ª edição, 425-563p, São Paulo, SP. 2003.

COELHO, J.M. **Perfil do Feldspato** - Ministério de Minas e Energia – Recife, PE. 2009.

DA SILVA, M.R.R. Borborema Pegmatitic Province: geological and geochemical characteristics. **Journal of South American Earth Sciences**, 8(3-4). p. 355-364. 1995.

DEER, W. A.; HOWIER R. A.; ZUSSMAN J. **Minerais Constituintes das Rochas: Uma Introdução**. Tradução. Ed. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. p. 547. 1966.

FIGUEIRA, H. V. O.; ALMEIDA S. L. M.; LUZ, A. B. **Cominuição**; In: Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia Mineral, capítulo 4. 2004.

FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de minérios: Práticas Laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM, Capítulo 9, páginas 221-233. 2007

JOHNSTON Jr., W. D. **Pegmatitos ambligonita-berilo-tantalíferos do Ceará, Nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM/ Divisão de Fomento da Produção Mineral, (Avulso, 66). 1945.

LIMA, M.P. **Aspecto da Lavra de Feldspato em Pegmatitos da Província da Borborema**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas – Universidade Federal de Campina Grande – CCT, Campina Grande, PB. 2002.

LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. **Pegmatitos do Nordeste: Diagnósticos sobre o Aproveitamento Racional e Integrado**. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, RJ. 2003.

LUZ, A.B; LINS, F.A.F. **Rochas e Minerais industriais**. 2ª edição, 990p, CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, RJ. 2008.

LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A. **Tratamento de Minérios** (5ª edição), 960 p, CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, RJ. 2010.

METSO. **Manual de Britagem**. 6ª Edição. 2005.

ROLFF, P. A. M. A. **Minerais de Pegmatitos da Borborema**. Rio de Janeiro: DNPM. 1946.

SCORZA, E.P. **Província Pegmatítica da Borborema**. DNPM/DGM (Boletim 112). Rio de Janeiro, 55p. 1944.

SILVA, S. M. P.; CRÓSTA, A. P. Mapeamento de pegmatitos da Faixa Seridó (FSe) com base na análise por componentes principais de imagens TM/Landsat-5 e Terra/ASTER e o apoio da espectroscopia de reflectância. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XV, Curitiba, INPE, p. 3597. 2011.

WILLS, B. A.; NAPPIER MUNN, T. J. Mineral Processing Technology. 2006.