

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
Faculdade de Engenharia
Graduação em Engenharia de Minas

Trabalho de Conclusão de Curso

**ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO DE BRITADORES DE MINERAÇÃO EM
PEQUENA ESCALA**

Autor: Helberte Braz Santos Pereira
Orientadora: Prof. Dra. Ana Cláudia Franca Gomes

Cuiabá
Dezembro/2022

Helberte Braz Santos Pereira

**ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO DE BRITADORES DE MINERAÇÃO EM
PEQUENA ESCALA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Faculdade de Engenharia (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Universitário de Várzea Grande (CUVG), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Cláudia Franca Gomes

Cuiabá
Dezembro/2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

P436a Pereira, Helberte Braz Santos.

Análise de Dimensionamento de Britadores de Mineração em Pequena Escala [recurso eletrônico] / Helberte Braz Santos Pereira. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 54 f., il. color., pdf). -- 2022.

Orientadora: Ana Cláudia Franca Gomes.

TCC (graduação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Engenharia, Várzea Grande, 2022.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Calcário Agrícola. 2. Software Split Desktop. 3. Critério de Taggart. 4. Processamento Mineral. I. Gomes, Ana Cláudia Franca, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

DEDICATÓRIA

“E Jesus, respondendo, disse-lhes: Tende fé em Deus;

Porque em verdade vos digo que qualquer que disser a este monte: Ergue-te e lança-te no mar, e não duvidar em seu coração, mas crer que se fará aquilo que diz, tudo o que disser lhe será feito.”

Marcos 11:22,23

À Deus, cuja infinita sabedoria é o verdadeiro guia da minha jornada, e a minha mãe, Chiquinha, pelo exemplo de vida, força, determinação e coragem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por nunca me desamparar mesmo nos momentos de pouca Fé.

Agradeço a minha mãe, Chiquinha, por ter insistido na minha educação (mesmo com todos empecilhos no caminho) e sempre acreditar que a educação é essencial à vida.

Agradeço ao meu pai, Zé Braz, por toda ajuda necessária nessa fase de graduação.

Agradeço aos meus irmãos, em especial ao mais novo, Gustavo, por estar sempre comigo nessa caminhada.

Agradeço a minha avó materna, Benedita (*in memorian*), pelo apoio que me deu em vida.

Agradeço aos meus familiares e amigos que me ajudaram a chegar até aqui. Em especial, agradeço a Amanda, Bruna, Cássio, Emeson, Gilceli, Gildete, Gisele, Iara, Tainã, Taís e Yuri, que me ajudaram nos momentos em que mais precisei.

Agradeço ao engenheiro Hugo pelo suporte que me deu para a realização desse trabalho.

Agradeço também a minha orientadora, Ana Cláudia, por toda paciência e orientação nesse projeto, e por sempre se mostrar solícita.

Por fim, sou grato a todos que passaram pela minha vida e somaram na minha trajetória.

RESUMO

A mineração é uma das atividades mais antigas do mundo e está diretamente relacionada ao desenvolvimento da economia. O aumento da atividade agrícola provocou uma alta demanda para a indústria de corretivos de solos. Como resultado, a extração do calcário aumentou significativamente. Segundo a Agência Nacional da Mineração (ANM), 70% do solo brasileiro é considerado ácido. A correção dessa acidez com calcário agrícola é considerada a técnica mais eficaz. Com o tempo, as técnicas de extração mineral, bem como a forma de uso, foram aprimoradas, utilizando atualmente tecnologia mais avançada para extração e processamento. Diante desses pontos associados ao crescimento da extração de calcário e melhorias na tecnologia do beneficiamento mineral, este estudo teve como objetivo analisar o dimensionamento dos britadores instalados em uma mina de calcário localizada no estado de Mato Grosso afim de observar se a mineradora opera com equipamentos recomendados ou não. Para compor esse estudo, foi feito o fluxograma de operação da mineradora, as análises granulométricas (pelo software Split Desktop) do ROM e dos materiais resultantes da saída dos britadores primário e secundário, além dos cálculos de dimensionamento dos britadores (Condição de recepção, critério de Taggart, condição de processo, densidade aparente e Relação de Redução). A partir da caracterização do minério, foi calculada a densidade aparente, além da construção de curvas granulométricas que mostraram um valor de grau de redução no britador primário de 1,51, e 2,03 para o britador secundário. Uma avaliação do dimensionamento dos britadores primários e secundários através das equações propostas, mostrou que, devido à grande capacidade da planta, o britador primário escolhido deveria ser um cônico, e não de mandíbulas, como o adotado pela mineradora. E o britador primário tem abertura do gape 2 vezes maior que o valor indicado em teoria, já o britador secundário não supre a necessidade.

Palavras-chave: Calcário Agrícola, Software Split Desktop, Critério de Taggart, Processamento Mineral.

SIZING ANALYSIS OF SMALL-SCALE MINING CRUSHERS

ABSTRACT

Mining is one of the oldest activities in the world and is directly related to the development of the economy. Increased agricultural activity has led to high demand for the soil amendment industry. As a result, limestone extraction has increased significantly. According to the Agência Nacional da Mineração (ANM), 70% of Brazilian soil is considered acidic. The correction of this acidity with agricultural limestone is considered the most effective technique. The correction of this acidity with agricultural limestone is considered the most effective technique. Over time, mineral extraction techniques, as well as the way of use, have been improved, currently using more advanced technology for extraction and processing. Given these points associated with the growth of limestone extraction and improvements in mineral processing technology, this study aimed to analyze the sizing of crushers installed in a limestone mine located in the state of Mato Grosso in order to observe whether the mining company operates with recommended equipment or not. To compose this study, the mining operation flowchart, granulometric analyzes (by Split Desktop software) of the ROM and of the materials resulting from the output of the primary and secondary crushers, in addition to the sizing calculations of the crushers (reception condition, criterion of Taggart, process condition, bulk density and Reduction Ratio). From the characterization of the ore, the apparent density was calculated, in addition to the construction of granulometric curves that showed a reduction degree value of 1.51 in the primary crusher and 2.03 in the secondary crusher. An evaluation of the sizing of the primary and secondary crushers through the trials showed that, due to the large capacity of the plant, the primary crusher should be a conical one, and not a jaw crusher, as adopted by the mining company. And the primary crusher has a gap opening 2 times greater than the value indicated in theory, while the secondary crusher does not meet the need.

Keywords: Agricultural Limestone, Split Desktop Software, Criterion of Taggart, Mineral Processing.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRACAL - Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola

CUVG – Campus Universitário de Várzea Grande

FAENG – Faculdade de Engenharia

FEPAGRO - Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MT – Mato Grosso

PN – Poder de Neutralização

PRNT – Poder Relativo Neutralizante Total

ROM – *run-of-mine* (alimentação na usina de tratamento)

RR - Parâmetro Relação de Redução

UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
CAPÍTULO 2: OBJETIVOS	15
CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. CALCÁRIO	16
3.1.1. APLICAÇÕES DO CALCÁRIO	17
3.1.2. IMPUREZAS DO CALCÁRIO	18
3.2. MINERAÇÃO DO CALCÁRIO	18
3.3. BENEFICIAMENTO DO CALCÁRIO	19
3.4. BRITAGEM.....	20
3.4.1. BRITAGEM PRIMÁRIA.....	21
3.4.2. BRITAGEM SECUNDÁRIA	25
3.4.3. BRITAGEM TERCIÁRIA E QUATERNÁRIA.....	27
3.5. MOAGEM.....	27
3.6. PENEIRAMENTO.....	31
3.7. ÁREA DE ESTUDO.....	32
CAPÍTULO 4: METODOLOGIA	34
CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1. CONSTRUÇÃO DO FLUXOGRAMA DO BENEFICIAMENTO MINERAL ADOTADO	37
5.2. CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO BENEFICIADO.....	39
5.3. DIMENSIONAMENTO DOS BRITADORES	40
5.3.1. DIMENSIONAMENTO DO BRITADOR PRIMÁRIO.....	40
5.3.2. DIMENSIONAMENTO DO BRITADOR SECUNDÁRIO.....	42
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS.....	46
ANEXOS	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (1) Movimento dos blocos durante a fragmentação no britador de mandíbulas de um eixo(Dodge); (2) Britador de mandíbulas de dois eixos (Blake); (3) Esquema do movimento do britador de mandíbulas de dois eixos(Blake); Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.....	23
Figura 2: (1) Britador Giratório; (2) Esquema do movimento do britador giratório. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.	24
Figura 3: Britador de Impacto. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.	24
Figura 4: Britador de rolo dentado. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.	25
Figura 5: (1) Britador cônico; (2) Esquema do movimento do britador cônico; Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2020.	26
Figura 6: Britador de rolos. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2020.	27
Figura 7: Moinho de martelos. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.	29
Figura 8: Moinho de discos. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.	30
Figura 9: Moinho vibratório (1) corte lateral; (2) moinho vibratório. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.	31
Figura 10: Mapa de Localização. Fonte: Autoral.	32
Figura 11: Exemplo de fotografia para a análise de distribuição de tamanhos no software Split Desktop.....	34
Figura 12: Exemplo de fotografia ampliada para a análise de distribuição de tamanhos no software Split Desktop.	35
Figura 13: Fluxograma do processo de beneficiamento no empreendimento.	38
Figura 14: Distribuição Granulométrica das operações de britagem.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores do poder de neutralização (PN), soma dos óxidos (%CaO + %MgO) e PRNT	17
Tabela 2: Classificação dos estágios de britagem.....	21
Tabela 3: Distribuição Granulométrica.....	40
Tabela 4: Especificações Técnicas dos britadores de mandíbulas.....	40
Tabela 5: Capacidade em m ³ /h (t/h) - Britadores de Mandíbulas	41
Tabela 6: Capacidade em m ³ /h (t/h) – Modelo CC1400 XP - Britador Cônico.....	42
Tabela 7: Capacidade em m ³ /h (t/h) - Britadores Cônicos.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características dos britadores primários	21
--	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Relação de Redução:.....	35
Equação 2 – Condição de Recepção:	35
Equação 3 – Critério de Taggart:	36
Equação 4 - Condição de Processo:	36
Equação 5 - Densidade Aparente:	36

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Um dos ramos mais fortes do setor mineral no Estado de Mato Grosso (MT) é a extração de calcário agrícola, que atende, diretamente, a produção extensiva do agronegócio. Esse bem mineral é comumente utilizado na calagem, tecnologia que corrige a acidez do solo e, portanto, melhora a fertilidade e a produtividade das lavouras de grãos. Atualmente, existem mais de 40 indústrias de mineração de calcário operando no Estado de Mato Grosso (ABRACAL, 2022).

Em um levantamento, a Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (ABRACAL) apontou que 54 milhões de toneladas desse bem mineral foram produzidas em todo o Brasil em 2021. Mato Grosso se destacou como o maior produtor de calcário para esta finalidade (ABRACAL, 2022).

O calcário é uma rocha sedimentar que contém mais de 30% de minerais de carbonato de cálcio. O processo de extração de calcário inicia-se na lavra onde acontece a extração das rochas. Da lavra, o material, ainda bruto, segue para o processo de britagem onde são gradualmente reduzidos até atingir o tamanho ideal para serem comercializados (LUZ e ALMEIDA, 2012).

Os minérios/minerais têm muitas aplicações no nosso dia a dia, visto que da mineração são extraídos os insumos metálicos necessários para a fabricação de carros, computadores, celulares, não metálicos para construções, fertilizantes para uso em agricultura, entre outros exemplos. Esses minérios são extraídos da crosta terrestre (por lavra a céu aberto ou subterrânea), e, para chegar ao usuário final, ou consumidor, são necessárias etapas de processamento, ou beneficiamento mineral.

No beneficiamento mineral, a britagem é considerada a primeira etapa da fragmentação e tem o objetivo de adequar a granulometria do material que foi extraído em pequenas partículas, através de equipamentos denominados britadores. Comumente, a britagem se classifica em primária e secundária, podendo (dependendo do fluxograma de processos) chegar a terciária e quartenária (WILLS e NAPIER – MUNN, 2006; FIGUEIRA, LUZ e ALMEIDA, 2010).

A moagem é a segunda operação unitária da fragmentação. A britagem é responsável pelo processo mais grosseiro, por assim dizer, enquanto a moagem, por sua vez, é a responsável pela produção de finos, através dos moinhos (equipamentos) (STEIN *et al.*, 2022).

A importância do correto dimensionamento de equipamentos de fragmentação vem do fato da distribuição granulométrica de partículas minerais afetar o desempenho de todas as operações subsequentes; sendo, em muitos casos, uma característica que se busca para a adequação de produtos comercializáveis. Em adição, equipamentos bem dimensionados produzem a quantidade desejada de material, evitam o desperdício de energia e o custo associado, maximizando assim, uma maior rentabilidade (WILLS e NAPIER – MUNN, 2006). Com uma explicação mais prática: Investir em um britador que não produz a quantidade pretendida de material significa perda financeira, pois a produção pode não

cobrir o custo do investimento ou o lucro será inferior ao desejado. De modo análogo, um britador com capacidade maior do que a requerida tampouco é viável, visto o maior investimento inicial do projeto, e o maior tempo necessário para a recuperação do montante aplicado.

Dessa forma, o presente trabalho avalia o dimensionamento dos equipamentos de fragmentação de uma mineradora de calcário no município de Nobres-MT.

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS

O objetivo global deste estudo foi avaliar o dimensionamento dos equipamentos de fragmentação de uma mineradora de calcário no município de Nobres-MT. Os objetivos específicos indicados a seguir estão associados ao conhecimento/caracterização do minério beneficiado e ao estudo dos parâmetros empregados nos britadores primário e secundário:

- a) Construir fluxograma do beneficiamento do mineral adotado.
- b) Caracterizar o minério beneficiado.
- c) Estudar os parâmetros empregados nos equipamentos de britagem primária e secundária.
- d) Propor novos equipamentos como substituição e/ou redimensionamento dos atuais.

CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CALCÁRIO

O calcário é uma rocha sedimentar composta principalmente de carbonato de cálcio e originária de substâncias precipitadas por agentes químicos e orgânicos. O cálcio é um dos elementos químicos mais comuns, representando cerca de 3-4% da crosta terrestre, no entanto, quando é um componente do calcário, é derivado de rochas ígneas. Por meio de atividades erosivas e corrosivas, incluindo soluções de ácido carbônico ou de outra origem mineral, a rocha é quebrada e o cálcio em solução é transportado para o mar por meio da drenagem das águas. Depois de atingir o oceano, parte do carbonato de cálcio dissolvido irá precipitar devido à sua baixa solubilidade na água do mar. A evaporação e as mudanças de temperatura reduzem a quantidade de dióxido de carbono contido na água, fazendo com que o carbonato de cálcio precipite devido às condições saturadas. O carbonato de cálcio depositado, de acordo com este procedimento, produz calcário de elevada pureza química. Além disso, através do processo químico de deposição, é comum a formação de calcários como: estalactites, estalagmites, turfa calcária e travertino, em cavernas (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

Até 2016, o calcário era segmentado de acordo com seu teor de magnésio e cálcio em:

- Calcário Calcítico: <5% de $MgCO_3$;
- Calcário Magnesiano: 6-12% de $MgCO_3$;
- Calcário Dolomítico: >12% de $MgCO_3$.

A atual classificação do calcário agrícola no Brasil é dada pela Instrução Normativa SDA Nº 35, de 4 de julho de 2006, e seus anexos, da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) que estabeleceu uma nova classificação quanto aos valores do Poder de Neutralização (PN), soma dos óxidos (%CaO + %MgO) e o Poder Relativo Neutralizante Total (PRNT).

O PRNT de um corretivo agrícola está intimamente ligado à sua qualidade, sendo definido como o “Poder Relativo de Neutralização Total”. O PRNT é uma medida da qualidade dos corretivos, o qual é avaliado pelo valor de neutralização e pelo tamanho das partículas. Assim, quanto maior o PRNT, melhor a qualidade do calcário e, conseqüentemente, mais rápida é a reação no solo (EMBRAPA,2021).

De acordo com a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro, 2013) a recomendação do calcário a partir da análise do solo, considera um produto com PRNT de 100%. Somente alguns produtos especiais atingem esse PRNT, ou mais. Os calcários dolomíticos que se encontram no mercado possuem PRNT entre 50 e 70%. Quando a análise do solo, por exemplo, recomenda aplicar 3 t/ha de calcário para corrigir a acidez do solo ao nível desejado (em geral, pH 5,5 no caso do plantio direto consolidado e 6,0 no plantio convencional) está considerando um calcário com PRNT de 100%. Se o produto utilizado apresentar um PRNT de 70% (mínimo exigido para o PECS, de acordo com o Manual Operativo), em vez de 3t/ha, a quantidade a aplicar será de 4,3t/ha. É muito importante assim, conhecer-se o PRNT do calcário que se compra, ou pelo menos ter uma

garantia de PRNT mínimo para proceder-se à devida correção na quantidade do produto a ser aplicado na lavoura.

Já PN indica a capacidade potencial do corretivo para neutralizar a acidez do solo. Depende do teor e natureza química do neutralizante presente no corretivo (PRIMAVESI *et al.*, 2004).

Na Tabela 1 é possível conferir a atual classificação do calcário agrícola no Brasil.

Tabela 1: Valores do poder de neutralização (PN), soma dos óxidos (%CaO + %MgO) e PRNT

MATERIAL CORRETIVO DE ACIDEZ	PN (% ECaCO ₃) Mínimo	SOMA % CaO + % MgO Mínimo	PRNT Mínimo
Calcário agrícola	67	38	45
Calcário calcinado agrícola	80	43	54
Cal hidratada agrícola	94	50	90
Cal virgem agrícola	125	68	120
Parâmetros de referência para outros corretivos de acidez	67	38	45

Fonte: MAPA, 2022.

3.1.1. APLICAÇÕES DO CALCÁRIO

Em termos de uso, o calcário é sem dúvida um dos bens minerais mais utilizados na indústria. Por exemplo: produção de cimento, de cal, produção de brita, indústria metalúrgica, fabricação de vidro, adubação química, indústria de tintas e bem como na produção de corretivos de acidez do solo (FERREIRA e FONSECA JUNIOR, 2012).

Na agricultura, o calcário moído é aplicado no solo agindo na acidez e fornecendo os macronutrientes cálcio (CaO) e magnésio (MgO), como consequência, auxiliando no crescimento das plantas (MORAES, 2020).

O cimento, outro derivado do calcário, conhecido como cimento Portland, é um aglomerado hidráulico produzido por calcinação e uma mistura medida de materiais calcários e argilosos mais água (ANEPAC, 2012).

A composição do principal componente do cimento, o clínquer, é cerca de 76% de calcário e 24% de rochas argilosas, sendo a especificação média dos calcários destinados à fabricação de cimento, 75% carbonato de cálcio (CaCO₃), menos de 3% de monóxido de magnésio (MgO) e menos de 0,5% de pentóxido de difósforo (P₂O₅) (ROBERTO, 2001).

O consumo per capita de cimento Portland no Brasil em 2017 foi de 254 kg, próximo da mediana mundial (ANUÁRIO ESTATÍSTICO, 2019). Para cada tonelada de cimento produzida, são necessárias 1,4 toneladas de calcário. Em 2003, o Brasil consumiu cerca de 50 milhões de toneladas de calcário na indústria de cimento, respondendo por 70% da produção nacional de calcário (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

3.1.2. IMPUREZAS DO CALCÁRIO

Os tipos e quantidades de impurezas no calcário variam muito. No entanto, vale a pena observá-los do ponto de vista econômico, como afetam o uso da rocha. Essas impurezas acompanham a deposição de CaCO_3 ou ocorrem em fase de pós-deposição. Essas impurezas podem ser fatores limitadores ao uso econômico do calcário (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008; FERREIRA e FONSECA JUNIOR, 2012; MORAES, 2020).

Sampaio e Almeida (2008) discutem que talvez a impureza mais comum em rochas carbonatadas no mundo inteiro seja a argila. Os argilominerais - principalmente caulinita, illita, clorita, esmectita e outros tipos de mica – podem estar possivelmente espalhadas pela rocha, ou ainda concentradas em finas camadas em seu interior. Neste caso, alumina e sílica, encontram-se no calcário na forma de argilominerais, embora outros aluminossilicatos, em forma de feldspato e mica, podem ser encontrados. Quando aparecem em abundância, a argila converte o calcário com alto teor de cálcio em marga (rocha argilosa). Este tipo de calcário, quando calcinado, produz cal com propriedades hidráulicas. Calcário com 5% a 10% de material argiloso, a produção de cal hidráulico é fraca, no entanto, cal contaminado entre 15% e 30%, tem uma produção de cal hidráulica elevada.

3.2. MINERAÇÃO DO CALCÁRIO

Para projetos de lavra de calcário, estudos geotécnicos preliminares são muito importantes. Em geral, as minas extraem o calcário através de lavra a céu aberto e são conhecidas comumente como pedreiras. Apesar de que em algumas áreas por motivos técnicos e/ou ambientais, utilize-se o método de lavra subterrânea para produção do mesmo (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008; LUZ e ALMEIDA, 2012).

As principais etapas da mineração de calcário a céu aberto incluem: remoção do capeamento, perfuração, desmonte e transporte para a planta de processamento. A seleção de equipamentos varia em função da especificidade de cada operação, capacidade de produção, tamanho e forma do armazém, distância de transporte, vida útil estimada da mina, localização em relação ao centro urbano e fatores socioeconômicos. Além disso, outros fatores são considerados também, por exemplo, valor do produto e condições ambientais (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008; LUZ e ALMEIDA, 2012).

A terceirização é comum entre as grandes mineradoras nas operações de lavra e transporte de calcário. A remoção do capeamento é um fator chave nos custos de mineração a céu aberto. Para cada operação ou situação, há uma razão estéril/minério economicamente viável. (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

Geralmente as operações de calcário no Brasil se iniciam com a sondagem, onde o depósito de calcário será identificado. Em seguida, é retirado o capeamento do solo (toda a camada de material estéril superior a jazida mineral). Depois da decapagem, vem a fase de perfuração. A perfuração de rocha é extremamente importante no sucesso do desmonte de rocha com explosivos. Uma perfuração incorreta no maciço pode acarretar uma série

de problemas, tais como fragmentação deficiente, excesso de vibrações, excesso de ruídos, ultra lançamento entre outros (QUAGLIO, 2003).

Nesta fase perfura-se o solo, em furos distanciados de maneira estagiada, com tipo de malha de perfuração conhecida comumente como malha "pé de galinha". A perfuração é feita pela perfuratriz pneumática. (PEDROSA, 2014; CURI, 2017).

Durante a perfuração, geralmente ocorrem desvios. Segundo Quaglio (2003) a posição final do fundo de um furo, será em função de três parcelas:

- O erro de emboque: devido à falta de atenção do operador da perfuratriz, sua inexperiência ou ainda a dificuldade de ajuste do equipamento de perfuração.
- O erro relacionado à falta de alinhamento: influenciado pela estrutura da rocha possivelmente está presente;
- O erro de deflexão: ocorre devido à tendência de a coluna de perfuração fletir no interior do furo. A flexão pode se originar de falta de rigidez da coluna quando o diâmetro da coroa é bem maior do que o diâmetro das hastes empregadas.

Após a perfuração, o estágio seguinte é o desmonte por explosivos (necessário à fragmentação da rocha). Nesta etapa, é realizada a detonação, onde explosivos são colocados dentro das perfurações e são acionados. A dureza do calcário torna impossível removê-lo apenas por meios mecânicos, demandando perfuração de rochas e uso de explosivos para facilitar o fraturamento e detonação da rocha para a produção do minério. Assim, o sucesso da detonação facilita uma melhor continuidade dos processos subsequentes, como carregamento, transporte e beneficiamento mineral. (CURI, 2017; CARMAGOS, 2020)

O carregamento pode ser entendido como o enchimento da caçamba e descarga do material sobre uma unidade transportadora. Geralmente é feito por meio de carregadeiras, que pegam o calcário e o carregam em caminhões. Terminada a fase de carregamento, inicia-se a fase de transporte do minério para a usina de processamento onde ocorrerá o beneficiamento mineral (SCHIMIDT 2015; CURI, 2017).

3.3. BENEFICIAMENTO DO CALCÁRIO

O processo de beneficiamento do calcário geralmente consiste em três operações unitárias: britagem, peneiramento e moagem. A britagem é realizada com britador de mandíbulas, peneiramento com peneiras de aberturas específicas e moagem através de moinhos. Este processo é realizado de forma a explicá-lo para os mais diversos ramos da indústria que utilizam esta rocha como matéria-prima. É importante ressaltar que o próprio calcário já é carbonato de cálcio, pois este é o principal constituinte desta rocha, a diferença entre os dois está principalmente no tamanho de suas partículas ainda quando rocha e após o processamento que ele acaba virando pó (LUZ e ALMEIDA, 2012; MOURA, 2014)

Figueira, Luz e Almeida (2010) discutem que a operação de fragmentação, no campo de beneficiamento de minérios, agrupa um conjunto de técnicas que tem por finalidade

reduzir, por ação mecânica externa e algumas vezes interna, um sólido, de determinado tamanho em fragmentos de tamanho menor.

A operação de fragmentação é executada em várias etapas. O desmonte de rochas com ajuda de explosivos pode ser visto como o primeiro estágio da fragmentação, produzindo blocos de grande volume, o suficiente para alimentar equipamentos de britagem. A britagem é a operação da fragmentação dos blocos obtidos na lavra, mas como existem muitos tipos de equipamentos, esta operação deve ser repetida várias vezes trocando o equipamento até obter o material adequado para alimentação da moagem. A moagem é uma operação de fragmentação fina, obtendo um produto adequado para concentração ou qualquer outro processo industrial (pelotização, calcinação, lixiviação, combustão, etc.) (WILLS e NAPIER – MUNN, 2006, VALADÃO e ARAÚJO, 2007).

A importância das operações de fragmentação é evidente em toda a sua magnitude, enfatizando o fato da fragmentação absorver a maior parte da energia gasta no processamento do minério. Isso nos leva a supor que maior parte dos custos operacionais de uma usina de beneficiamento de minério se deve à fragmentação (WILLS e NAPIER – MUNN, 2006, VALADÃO e ARAÚJO, 2007; CHAVES E PERES, 2012).

3.4. BRITAGEM

Figueira, Luz e Almeida (2010) definem britagem como conjunto de operações que objetiva a fragmentação de blocos de minérios vindos da mina, levando-os a granulometria compatíveis para utilização direta ou para posterior processamento.

A britagem é uma etapa do processamento do minério que utiliza equipamentos adequados para reduzir ao tamanho conveniente, ou para a liberação de minerais valiosos de sua ganga (CHAVES e PERES, 2012).

De acordo com Figueira, Luz e Almeida (2010), não existe um circuito padrão para britar os diferentes tipos de minério, geralmente a operação de britagem é feita dentro dos estágios convenientes.

Normalmente, para uma liberação satisfatória de minerais valiosos, é necessário reduzir o minério a uma granulometria fina. Sob estas condições, a fragmentação passa por três fases: grossa, média e fina ou moagem. Nas duas primeiras fases, a britagem ocorre em britadores e na última, ocorre em moinhos. Não há rigidez quanto aos estágios de britagem, porém, normalmente se usa a classificação mostrada na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação dos estágios de britagem

Estágio de Britagem	Tamanho Máximo de Alimentação (mm)	Tamanho Máximo de Produção (mm)
Britagem Primária	1000	100,0
Britagem Secundária	100	10,0
Britagem Terciária	10	1,0
Britagem Quaternária	5	0,8

Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.

3.4.1. BRITAGEM PRIMÁRIA

Os britadores utilizados são grandes e sempre operam no circuito aberto e sem expelir (descartar) a fração fina contida na alimentação. A britagem primária é feita a seco e tem uma relação de redução de aproximadamente 8:1. Os seguintes tipos de britadores são usados nesta fase: britadores de mandíbulas, britadores giratórios, britadores de impacto e britadores de rolos dentado. Na Quadro 1 estão as características dos britadores primários (FIGUEIRA, LUZ e ALMEIDA, 2010):

Quadro 1: Características dos britadores primários

Características Consideráveis	Britador de Mandíbulas	Britador Giratório
Capacidade	Adequada para capacidades baixas e média (1000 t/h)	Adequada para capacidades médias e altas
Granulometria do Produto	Recomendado quando é indesejável grande quantidade de finos no produto. O <i>top size</i> do produto é alto para materiais lamelares.	Idêntico ao de mandíbulas quanto a fino. Mas apresenta <i>top size</i> menor, para uma mesma abertura de saída, britando materiais lamelares.
Características Mecânicas da Rocha	Sem restrição	Sem restrição
Estratificação da Rocha	Pouco adequado para materiais com tendência a produzir partículas lamelares	É mais adequado que o de mandíbulas, para materiais com tendência a produzir partículas lamelares.
Materiais úmidos com Alto Teor de Argila	Mais adequado que o giratório e menos adequado que os de impacto e de rolo dentado	Pouco adequado
Teor de Minerais Abrasivos Altos	Adequado para material abrasivo	Adequado comparável com o de mandíbulas (2 eixos)

Grau de Redução, Valores Usuais Médios	Em torno de 5:1	Em torno de 8:1
Modo de Alimentação	Exige alimentador	Dispensa alimentador
Granulometria do Produto	Caracterizado por alta produção de finos	É o britador primário que produz menos finos. Apresenta <i>top size</i> do produto alto.
Características Mecânicas da Rocha	Uso limitado a rochas frágeis ou elásticas	Uso limitado a rochas de média fragmentação ou para minerais moles
Estratificação da Rocha	Altamente efetivo para materiais com tendência a produzir partículas lamelares	É efetivo para materiais com tendência a produzir partículas lamelares, mas o <i>top size</i> do produto é alto.
Materiais úmidos com Alto Teor de Argila	Como o britador do rolo, é altamente efetivo para este tipo de material	Altamente efetivo para este tipo de material
Características Consideráveis	Britador de Impacto	Britador de Rolo Dentado
Teor de Minerais Abrasivos Altos	Geralmente restrito a materiais com teor de sílica equivalente menos que 15%	Como o de impacto, é limitado a materiais pouco abrasivos
Grau de Redução, Valores Usuais Médios	Grande o suficiente para muitas vezes se fazer o trabalho de britagem primária e secundária em uma só máquina	Alto. Brita qualquer bloco que caiba na boca do britador. Todavia, a presença de blocos grandes limita bastante capacidade
Modo de Alimentação	Exige Alimentador	Exige Alimentador

Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.

- Britador de Mandíbula

Chaves e Peres (2012) relatam que 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 eixo excêntrico, que fornece o movimento de aproximação e afastamento entre essas duas partes. 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 (Figura 1.1) e dois eixos - tipo Blake (Figura 1.2). Nos britadores de dois eixos, a mandíbula móvel tem

movimento pendular (Figura 1.3), 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 1200mm, apresenta boca retangular com dimensões de 1.000 x 1.200mm (CHAVES e PERES, 2012)

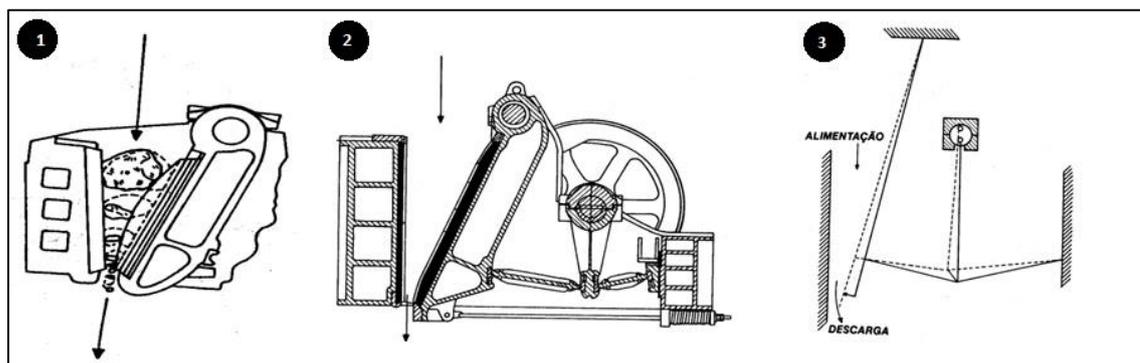


Figura 1: (1) Movimento dos blocos durante a fragmentação no britador de mandíbulas de um eixo(Dodge); (2) Britador de mandíbulas de dois eixos (Blake); (3) Esquema do movimento do britador de mandíbulas de dois eixos(Blake); Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.

Figueira, Luz e Almeida (2010) indicam que a granulometria do produto é estabelecida pelo ajuste da descarga, sendo então definida pela razão de redução que deve ser em torno de 5:1.

- Britador Giratório

É o equipamento de britagem primária usados em operações de britagem em grande escala, sendo mais operacional do que o britador de mandíbula, como pode ser alimentado de ambos os lados, indistintamente, além de permitir uma pequena armazenagem no seu topo (CHAVES e PERES, 2012).

O princípio de funcionamento do britador giratório envolve o movimento de aproximação e afastamento do cone central em relação à carcaça invertida. Este movimento circular (85 a 150 rpm) significa que toda a área da carcaça seja utilizada para britagem, o que confere ao britador uma grande capacidade de trabalho. De acordo com Figueira, Luz e Almeida (2010) esse britador tem baixo custo operacional e grande seção de alimentação. Na Figura 2 é possível ter uma visualização desse equipamento:

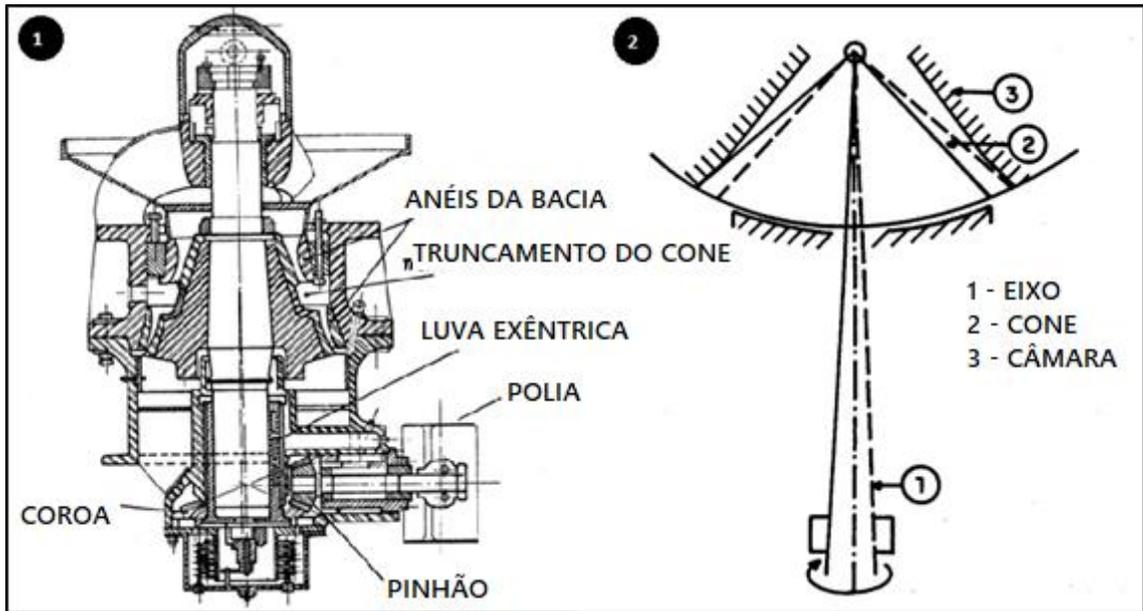


Figura 2: (1)Britador Giratório; (2)Esquema do movimento do britador giratório. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.

- Britador de Impacto

Diferente da trituração por pressão, o princípio de funcionamento do britador de impacto é trituração por impacto e golpe. Conforme mostra a Figura 3, durante este processo, o material triturado é recolhido por um rotor de movimento rápido que é muito acelerado e projetado contra uma parede de impacto fixa, o braço oscilante de impacto. A partir daí, volta a cair para dentro do alcance de impacto do rotor. Desta forma, o material impactado é triturado várias vezes até que possa passar pelo espaço entre o rotor e os braços oscilantes de impacto (VALADÃO e ARAÚJO, 2007; WIRTGEN GROUP, s. d.).

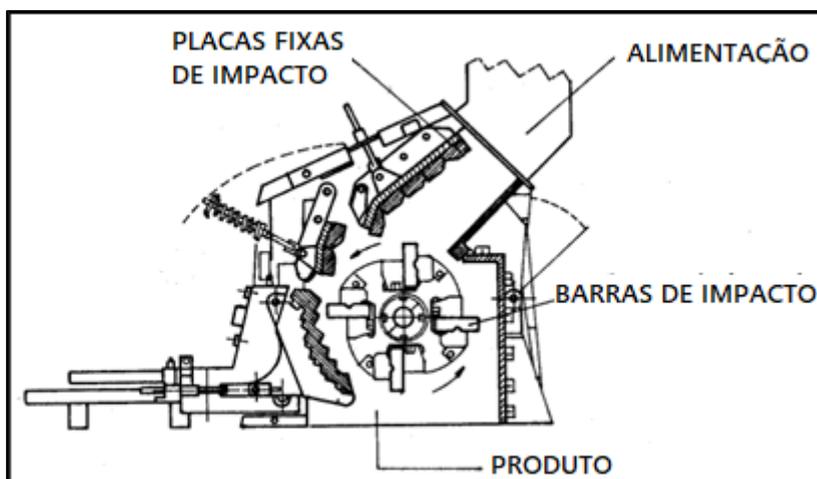


Figura 3: Britador de Impacto. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.

- Britador de Rolo Dentado

Segundo Chaves e Peres (2012) o equipamento consiste basicamente de um rolo dentado móvel e uma carcaça fixa, como está apresentado na Figura 4. O movimento giratório do rolo provoca a compressão e cisalhamento do material entre os dentes e a placa fixada à câmara.

Seu uso é limitado devido ao alto desgaste dos dentes, por ser sensível à abrasão. Sua aplicação é recomendada para rochas facilmente de serem fragmentadas e também indicada para britagens móveis, dada as pequenas dimensões do equipamento. Possui alta tolerância à umidade da alimentação, sendo na britagem primária o equipamento que produz menos finos (FIGUEIRA, LUZ e ALMEIDA, 2010).



Figura 4: Britador de rolo dentado. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.

3.4.2. BRITAGEM SECUNDÁRIA

Por britagem secundária entende-se geralmente todas as gerações de britagem após à primária. Sua finalidade, na maioria dos casos, é a redução do tamanho das partículas do material para a moagem. É comum na britagem secundária, retirar a fração fina na alimentação para aumentar a capacidade de produção. Esta operação é chamada de "escalpe" (FIGUEIRA, LUZ e ALMEIDA, 2010).

Segundo Chaves e Peres (2012) os equipamentos normalmente utilizados são: britador giratório secundário, britador de mandíbulas secundário, britador cônico, britador de martelos e o britador de rolos. Os britadores giratórios, mandíbulas e martelos são semelhantes àqueles empregados na britagem primária, apenas tendo dimensões menores.

- Britador Cônico

O princípio de funcionamento de um britador cônico (Figura 5) é o mesmo de um britador giratório. Ao contrário do que ocorre em um britador giratório, em um britador cônico, o manto e o cone possuem superfícies paralelas mais longas para garantir um maior tempo

de retenção das partículas nesta região. Em um britador giratório, a descarga é realizada por gravidade, enquanto em um britador cônico, a descarga depende do movimento do cone. O movimento vertical do cone, para cima e para baixo, controla a abertura de saída, para tal, utilizam-se dispositivos hidráulicos (FIGUEIRA, LUZ e ALMEIDA, 2010).

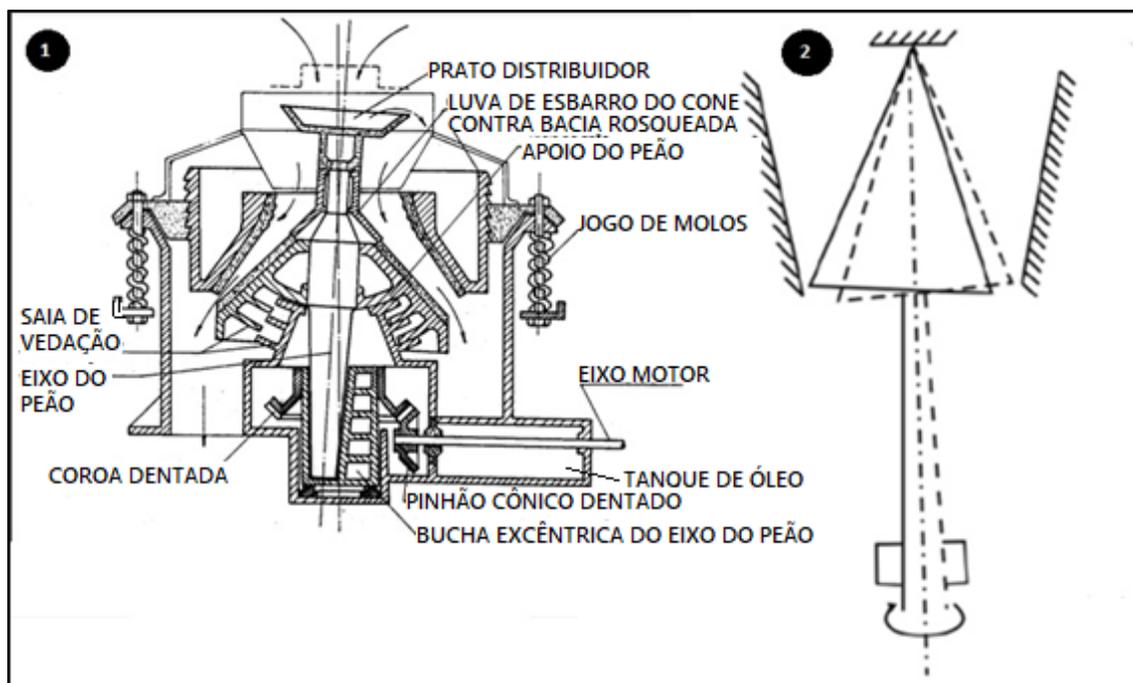


Figura 5: (1) Britador cônico; (2) Esquema do movimento do britador cônico; Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2020.

- Britador de Rolos

O equipamento consiste em dois rolos de aço (Figura 6) que giram simultaneamente à mesma velocidade, em direções opostas, mantendo uma distância definida entre elas. São destinados a materiais friáveis ou de fácil fragmentação (CHAVES e PERES, 2012).

De acordo com Figueira, Luz e Almeida (2010) a alimentação é feita, lançando-se os blocos de minério entre os rolos cujo movimento faz com que os mesmos sejam forçados a passar pela distância fixada, previamente, por parafusos de ajuste. Esta ação promove a fragmentação dos blocos. Este tipo de equipamento tem um grande limite no tamanho das partículas na alimentação, pois é limitada por uma distância fixada entre o rolo e o diâmetro do mesmo.

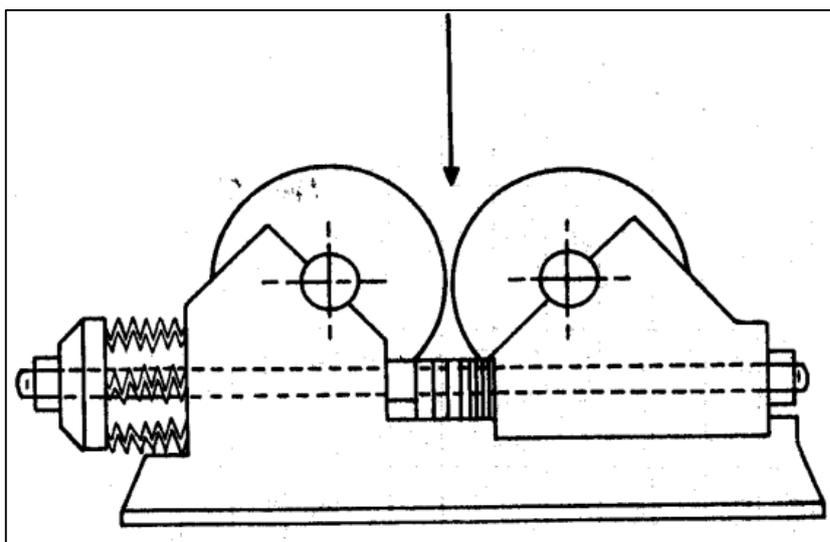


Figura 6: Britador de rolos. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2020.

3.4.3. BRITAGEM TERCIÁRIA E QUATERNÁRIA

Geralmente são as últimas etapas da britagem. Existem plantas com mais do que três etapas, cujo fato está relacionado às características de fragmentação do material ou com a granulometria do produto final. Os equipamentos geralmente utilizados nessa britagem são os britadores cônicos, onde o tamanho máximo da partícula do produto obtido está na faixa 25 a 3mm, com proporção 4:1 ou 6:1. Esses equipamentos requerem maior controle de operação, geralmente operando em circuito fechado (CHAVES e PERES, 2012).

3.5. MOAGEM

De acordo com Figueira, Luz e Almeida (2010), a moagem é o último estágio do processo de fragmentação. Neste, as partículas são reduzidas pela combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito, a um tamanho adequado à liberação do mineral de interesse, geralmente, a ser concentrado nos processos subsequentes. Cada minério tem uma malha ótima para ser moído, dependendo de muitos fatores, incluindo a distribuição do mineral útil na ganga e o processo de separação que vai ser usado em seguida.

Segundo STEIN *et al.* (2022), existem alguns pontos que também podem ser destacados como objetivos da moagem:

- Liberação das espécies minerais com vistas às outras operações de concentração subsequentes;
- Adequação de produtos específicos às especificações granulométricas industriais;
- Facilidade de transporte em minerodutos;
- Adequação à utilização subsequente;
- Aumento da área de superfície para facilitar a reação química em processos hidrometalúrgicos.

É importante entender que a moagem é a etapa mais cara no processo de cominuição. A moagem é feita por equipamentos chamados moinhos, que por sinal são de vários tipos. Esses equipamentos usam principalmente uma combinação de impacto, compressão e abrasão para reduzir o tamanho das partículas, e quanto mais material de granulação mais fina for necessário, maior será o consumo de energia do equipamento. Então, como mencionado anteriormente, por isso este é o processo mais caro (STEIN *et al.*,2022).

De acordo com a Stein *et al.* (2022), a moagem pode ser feita de dois modos, a depender do processo posterior que precisará sofrer.

- Moagem a seco: é mais utilizada para alguns minerais específicos que podem sofrer alguma alteração nas suas propriedades, caso seja feita a úmido. Alguns exemplos de materiais que precisam passar por esse tipo de moagem são: a argila e o talco.
- Moagem a úmido: esse é o tipo mais utilizado no tratamento de minérios, por diversos motivos na verdade, mas principalmente por ser a mais econômica e mais adequada para os processos seguintes.

Existem dois tipos de circuitos de moagem: circuito aberto e circuito fechado. Em um circuito aberto, o material no moinho é passado a uma velocidade que atinge o tamanho de partícula desejado em uma só passagem. No entanto, tal circuito não é muito usado porque não é possível um controle tão eficaz sobre a distribuição do tamanho do material. Nesse meio, não há classificação. A moagem em circuito fechado é a mais utilizada na indústria. Junto a ela, é utilizado um classificador ou peneira para que a parte mais grosseira do material seja retida e devolvida ao moinho. Durante este processo, as partículas podem passar pelo moinho várias vezes até que o tamanho de partícula desejado seja alcançado (VALADÃO e ARAÚJO, 2007).

Os equipamentos mais empregados na moagem são: moinho cilíndrico (barras, bolas ou seixos), moinho de martelos, entre outros (FIGUEIRA, LUZ e ALMEIDA, 2010).

- Moinho de Martelos

De acordo com Figueira, Luz e Almeida (2010) o moinho de martelos (Figura 7) consiste de um eixo girando em alta rotação e no qual ficam presos, de forma articulada, vários blocos ou martelos. O material é alimentado pela parte superior e as partículas sofrem o impacto dos martelos e são projetadas contra a superfície interna da câmara, fragmentando-se, para depois serem forçadas a passar por tela inferior que vai bitolar a granulometria da descarga. Os autores destacam que esse tipo de moinho tem pouca aplicação na concentração de minérios pois, sendo as gangas geralmente silicosas, desaconselha-se o seu uso devido ao grande desgaste da superfície interna, da tela e dos martelos. Entretanto, é largamente empregado na indústria química, cerâmica, cal, calcário, carvão mineral, onde os materiais são menos abrasivos.

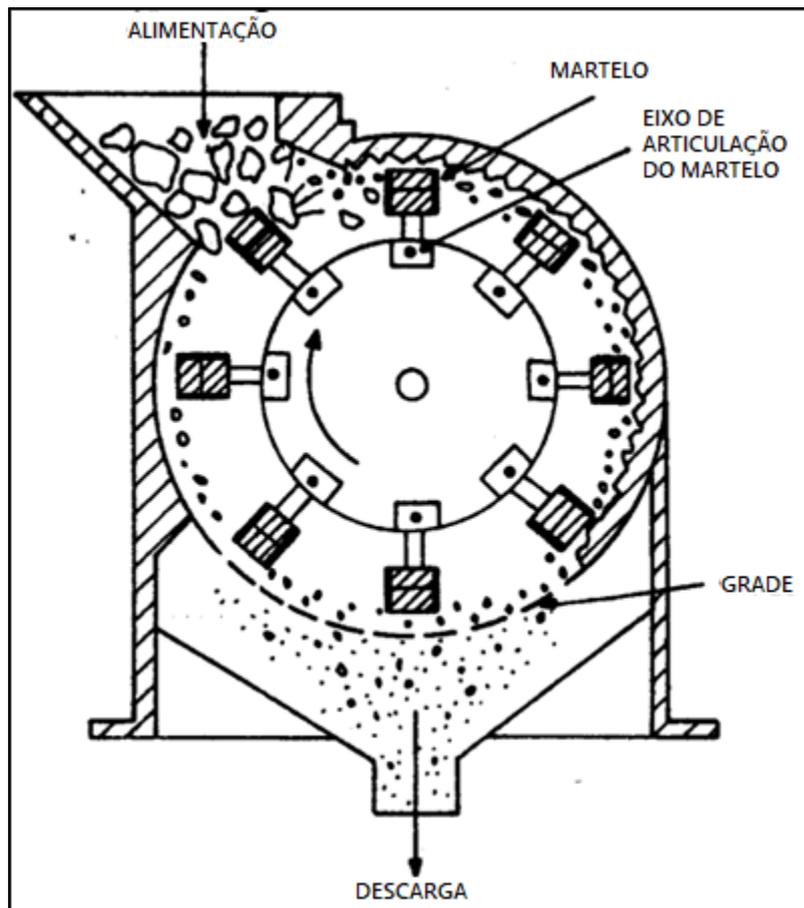


Figura 7: Moinho de martelos. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.

- Moinho de Discos

Chaves e Peres (2012) indicam que este tipo de moinho tem dois discos com ressaltos internos, sendo um fixo e outro móvel, dotado de movimento excêntrico (Figura 8). A alimentação vem ter ao centro dos discos através da abertura central do disco fixo e aí sofre o impacto e o atrito do disco móvel que com seu movimento excêntrico vai fragmentando e forçando o material para a periferia, caindo depois numa câmara coletora. A granulometria da descarga é dada pelo ajuste da abertura entre os discos na parte periférica, onde esses são lisos. O moinho de disco é empregado para pulverizar amostras, desde que a contaminação com ferro proveniente do desgaste dos discos não prejudique a sua utilização.

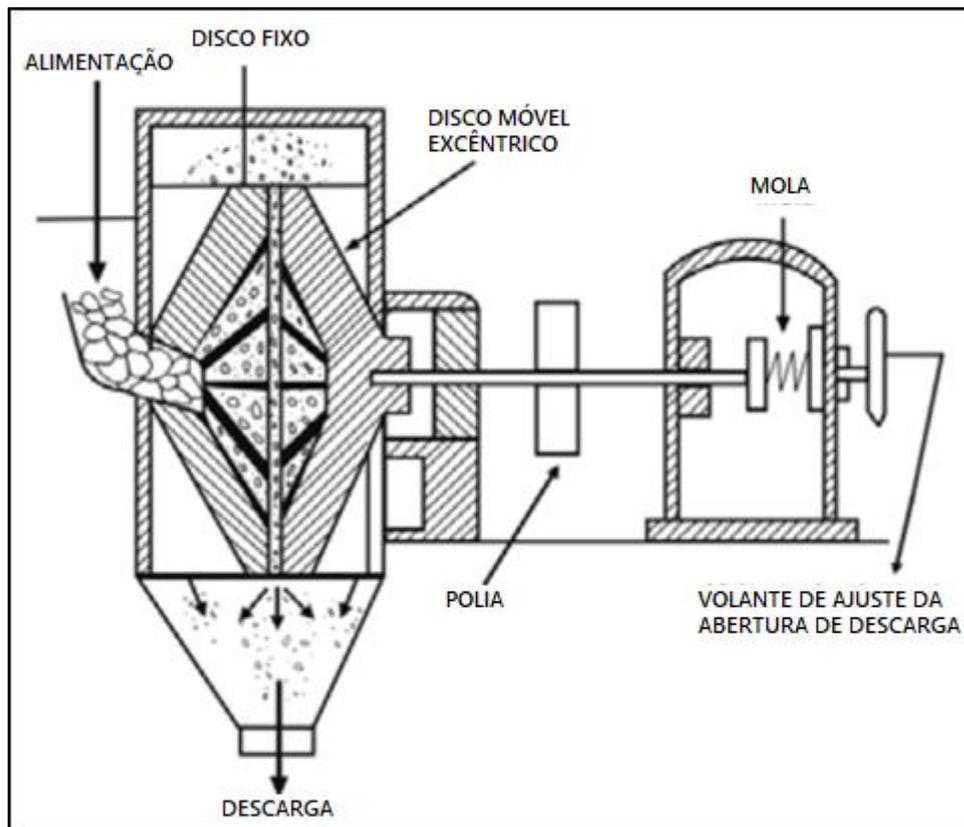


Figura 8: Moinho de discos. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.

- Moinho Vibratório

São moinhos para operações contínuas ou em batelada moendo o material em granulometria muito fina e operando a seco ou a úmido. São constituídos de dois tubos sobrepostos. Entre esses encontra-se um peso apoiado excêntricamente e conectado por uma junta universal flexível a um motor de 1.000 a 1.500 rpm. A rotação do excêntrico vibra os tubos produzindo uma oscilação circular de poucos milímetros (Figura 9) (VALADÃO e ARAÚJO, 2007).

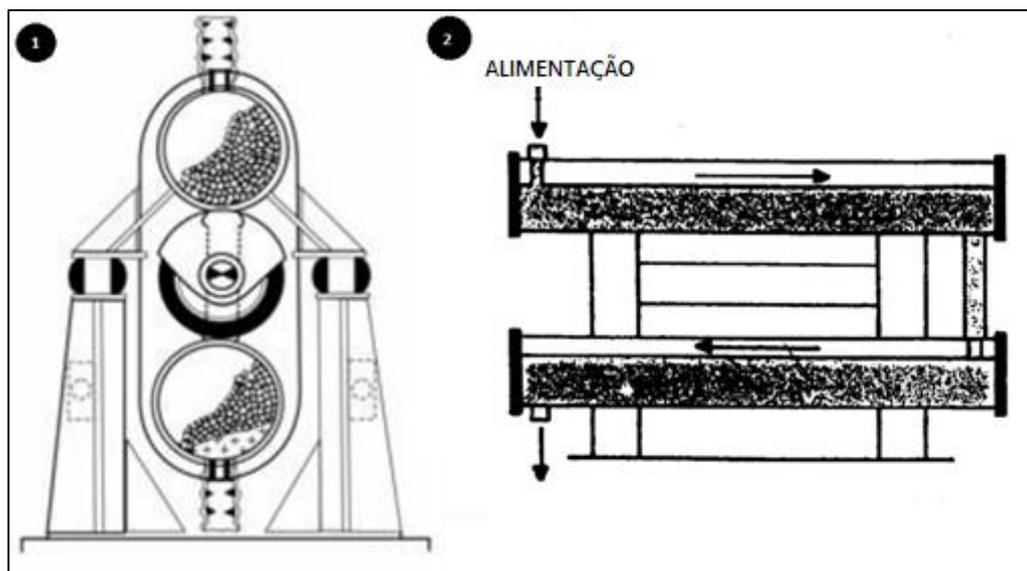


Figura 9: Moinho vibratório (1) corte lateral; (2) moinho vibratório. Fonte: Figueira, Luz e Almeida, 2010.

3.6. PENEIRAMENTO

O peneiramento é a separação de um material em duas ou mais classes, limitada a um superior e um inferior. No peneiramento a úmido, como o nome sugere, é adicionada água ao material que será colocado na peneira para facilitar a passagem dos finos; já o peneiramento a seco, refere-se a materiais que possuem pouca umidade natural ou foram previamente secos e, portanto, consistem em frações granulométricas de até 6mm. No entanto, apenas frações abaixo de 1,7mm podem ser peneiradas a seco com eficiência razoável (STEIN *et al.*, 2022)

Segundo Correia (2010), material retido na tela da peneira é denominado *oversize* e o passante, *undersize*, e os equipamentos utilizados no peneiramento podem ser divididos em três tipos:

- Grelhas - constituídas por barras metálicas dispostas paralelamente, mantendo um espaçamento regular entre si;
- Crivos - formados por chapas metálicas planas ou curvas, perfuradas por um sistema de furos de várias formas e dimensão determinada;
- Telas - constituídas por fios metálicos trançados geralmente em duas direções ortogonais, de forma a deixarem entre si "malhas" ou "aberturas" de dimensões determinadas, podendo estas serem quadradas ou retangulares.

Ainda de acordo com Correia (2010), esses equipamentos podem ser classificados de acordo com o seu movimento, em duas categorias:

- Fixas: a única força atuante é a força de gravidade e por isso esses equipamentos possuem superfície inclinada. Como exemplo temos grelhas fixas e peneiras DSM.
- Móveis: grelhas rotativas, peneiras rotativas, peneiras reciprocativas e peneiras vibratórias.

3.7. ÁREA DE ESTUDO

O empreendimento se localiza na área rural do município de Nobres-MT. O município de Nobres se localiza numa distância aproximada de 121 km da Capital Cuiabá. No mapa representado pela Figura 10 é mostrado a localização dos dois municípios aqui citados.

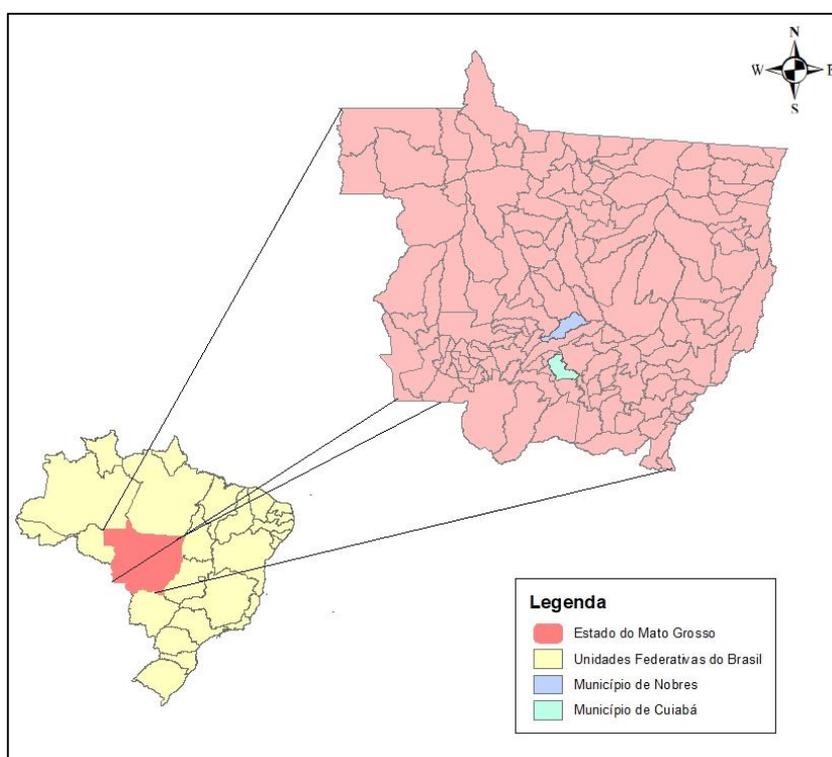


Figura 10: Mapa de Localização. Fonte: Autoral.

O município de Nobres apresenta grande variabilidade de solos, tendo sido identificado os seguintes grupos: Latossolos, Podzólicos, Hidromórficos Gleizados, Aluviais e Lateríticos indiscriminados. Entre os grupos, prevalece o Podzólico Vermelho-Amarelo. Nobres pertence ao Grupo Alto Paraguai e Formação Gorotide. Por ser uma região de grande concentração de calcário dolomítico são identificadas muitas grutas e cavernas. O relevo apresenta-se de um modo geral suavemente ondulado, com altitudes que variam de 150 a 640 m. (FIGUEIREDO, 2010).

A lavra realizada no empreendimento é a céu aberto e atualmente trabalha com 1 turno de produção. A operação é iniciada no decapeamento, que é a retirada do material estéril.

Logo após o processo de decapeamento, é iniciado o desenvolvimento com as operações de perfuração, que é feito pela perfuratriz pneumática ou hidráulica, em furos distanciados de maneira estagiada, tipo de malha que é conhecida comumente como pé de galinha. Após a perfuração, é iniciada a etapa de desmonte de rocha, realizado por meio de explosivos. Em seguida, inicia o carregamento e transporte do material desmontado por meio de escavadeiras hidráulicas e caminhões basculantes onde é feito o carregamento do *run-of-mine* (ROM) que segue para a planta de beneficiamento mineral.

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA

A metodologia adotada para a realização deste trabalho engloba:

- a) Construção do fluxograma do beneficiamento mineral adotado pelo empreendimento em questão.
- b) Caracterização do minério beneficiado através de análises granulométricas do ROM e saídas dos britadores primário (mandíbulas) e secundário (cônico), e determinação da densidade aparente.
- c) Avaliação do dimensionamento desses equipamentos de cominuição.
- d) Propor novos equipamentos como substituição e/ou redimensionamento dos atuais.

A construção do fluxograma de planta de beneficiamento foi possível após a visitas a mineração e a observação do processamento adotado.

As análises granulométricas, que constituem a caracterização do minério beneficiado, foram realizadas através da observação de fotografias tiradas do minério e tratamento das imagens no software Split Desktop 2.0 que faz uso de objetos de tamanho conhecido para mensurar o tamanho dos demais fragmentos. Foi utilizada uma trena de 70cm, disposta perpendicularmente ao eixo ótico, como escala. As imagens digitais adquiridas em campo foram analisadas e processadas para determinação da distribuição do tamanho das partículas de forma automática pelo *software* com ajustes manuais. Para a obtenção da curva granulométrica, foram identificados os pontos P_{20} (malha onde 20% das partículas é passante), P_{50} e P_{80} . As fotografias dos materiais foram tiradas do ROM e da saída dos britadores primário e secundário, para cada um desses materiais foram analisadas 10 fotos. O Anexo I contém exemplos das fotografias analisadas.

A Figura 11 ilustra, do lado esquerdo, uma fotografia do ROM com a trena em 70cm (escala), e, do lado direito, a delimitação da mesma imagem no software *Split Desktop 2.0* para determinação de tamanhos do material. De modo análogo, a Figura 12 ilustra uma fotografia que alimenta a britagem secundária.

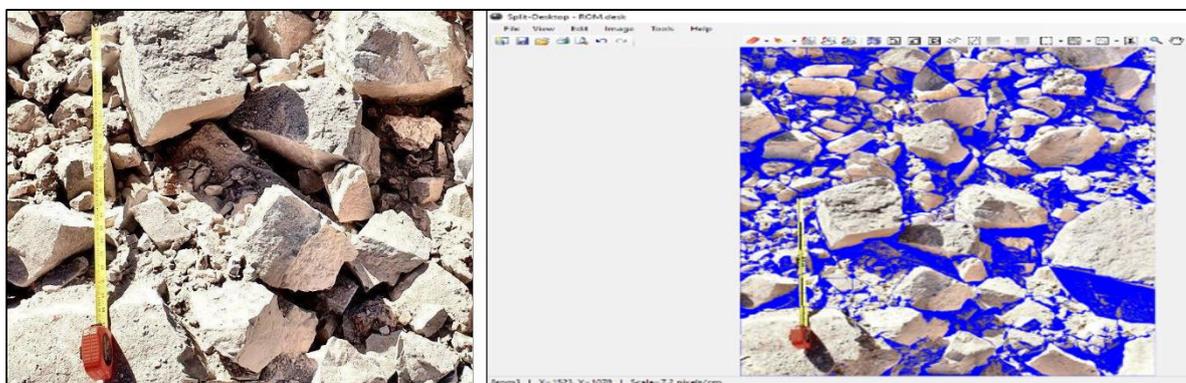


Figura 11: Exemplo de fotografia para a análise de distribuição de tamanhos no software Split Desktop.



Figura 12: Exemplo de fotografia ampliada para a análise de distribuição de tamanhos no software Split Desktop.

Para a avaliação da cominuição, Stein *et al.* (2022) sugerem o cálculo do parâmetro relação de redução (RR) – Equação 1- que é a relação entre o tamanho da alimentação, A_{80} , em que 80% das partículas alimentadas é passante e o tamanho do produto, P_{80} , em que 80% das partículas fragmentadas é passante.

Equação 1 - Relação de Redução:

$$RR = \frac{A_{80}}{P_{80}}$$

Para a avaliação do dimensionamento dos britadores empregados na mineradora em questão, foram utilizadas as metodologias propostas por Chaves e Peres (2012) e Figueira, Luz e Almeida (2010) e o manuais de especificação técnica da FURLAN (2021).

Primeiramente avaliou-se o critério condição de recepção segundo a Equação 2, dada por:

Equação 2 – Condição de Recepção:

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

Em que “*gape*” é a distância entre as duas mandíbulas na extremidade superior do britador, e o tamanho da maior partícula da alimentação, ou *top size*, foi obtido através da análise granulométrica do ROM.

Em seguida, avaliou-se segundo o critério de Taggart representado pela Equação 3, a adequação do primeiro equipamento de cominuição:

Equação 3 – Critério de Taggart:

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

A Equação 3 pode ser encontrada em Chaves e Peres (2012) e diz que se $x > 0,115$, sugere-se adotar britador giratório, caso contrário recomenda-se o britador de mandíbulas.

Prosseguiu-se com a avaliação do critério condição de Processo – Equação 4:

Equação 4 - Condição de Processo:

$$C = \frac{\text{Fator de serviço} \times \text{vazão da alimentação}}{\text{Densidade aparente}}$$

Em que C é a capacidade do britador.

A determinação da densidade aparente considera o volume total da amostra, inclusive o espaço vazio entre os grãos que a compõem e para a sua aferição, e foi calculada através da Equação 5. Para tal, utilizou-se um balde graduado e balança com precisão de 0,1g.

Equação 5 - Densidade Aparente:

$$\text{Densidade aparente} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CONSTRUÇÃO DO FLUXOGRAMA DO BENEFICIAMENTO MINERAL ADOTADO

A Figura 13 ilustra o fluxograma de beneficiamento adotado pelo empreendimento avaliado, em que todos os equipamentos de fragmentação são da empresa Furlan. Observa-se que das etapas de carregamento e transporte, o material lavrado, ROM, é colocado no alimentador vibratório. Do alimentador é direcionado para o britador de mandíbulas de 2 eixos (um fixo e outro móvel), que opera em circuito aberto e não descarta finos. Após a passagem pelo britador é feito a pilha pulmão. É uma britagem a seco com uma relação de redução de aproximadamente 8:1.

Da pilha pulmão, o minério é direcionado, por transporte em correias, para a calha vibratória. Da calha vibratória, o minério tem destino a peneira vibratória, onde é feita uma classificação/separação do material útil e do rejeito. O material com granulometria menor que 0,15mm é classificado como rejeito (impureza), e o material útil segue para o britador cônico, em circuito aberto, onde tem a redução do tamanho das partículas do material para seguir para a moagem.

Do britador cônico é formado a pilha pulmão moagem, onde segue para calha vibratória e com auxílio das correias transportadoras o material é direcionado para os silos que são distribuídos em 2 moagens, cada moagem possuindo 2 moinhos de martelo.

O filtro de manga retém o material particulado produzido (por exemplo a silicose/sílica liberada na produção do calcário), sem atingir o produto desejado.

Em seguida é passado para o umidificador onde é adicionado água para que se evite a perda do produto, já que ele se encontra com granulometria menor que 1,5mm, o que pode gerar uma maior dispersão caso não seja umidificado. A etapa de umidificação é a última etapa do beneficiamento do calcário.

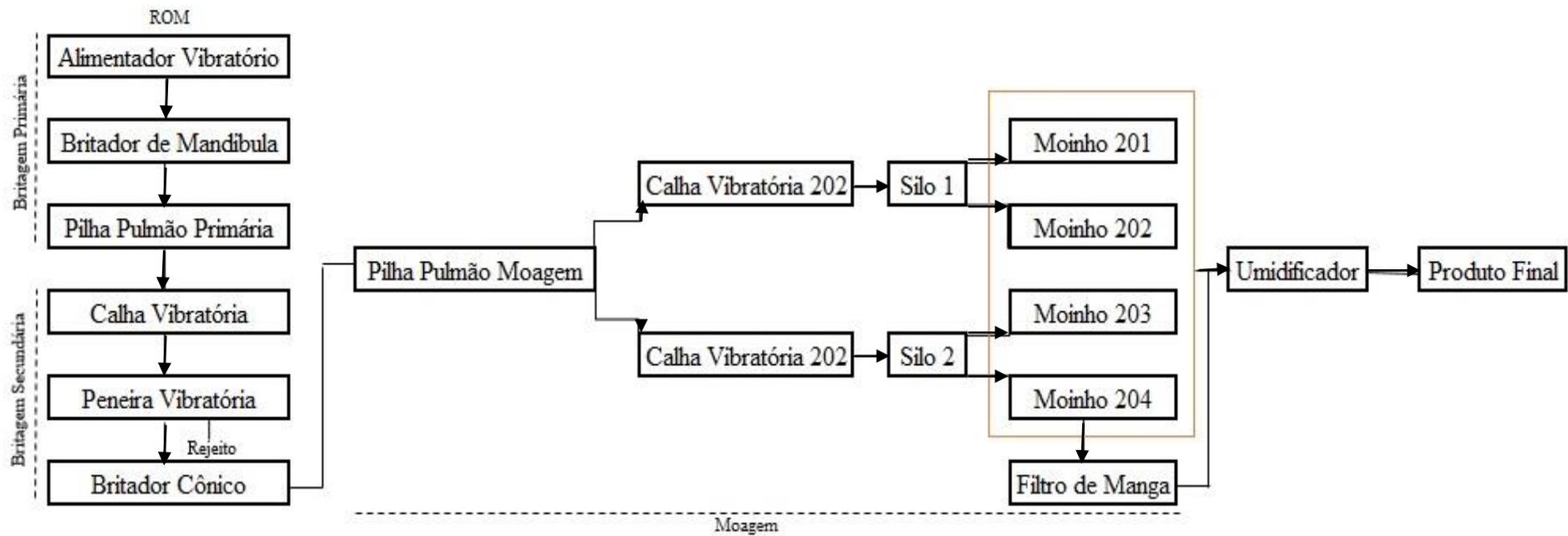


Figura 13: Fluxograma do processo de beneficiamento no empreendimento.

5.2. CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO BENEFICIADO

Para o cálculo de densidade aparente do minério, pegou-se um balde transparente graduado de 10 litros e prosseguiu para pesagem. O balde vazio pesava 750g, e cheio no volume de 6,30L, pesava 17,25kg. Através da Equação 4 obteve-se a densidade aparente de $2,6\text{g/cm}^3$. É importante ressaltar que apesar desse trabalho ter dados de somente uma pesagem, é ideal sempre fazer mais de uma pesagem para estar fazendo a média dos resultados e assim chegando mais próximo do resultado real.

A Tabela 3 contém dados de porcentagem passante x tamanho dos grãos dos materiais analisados (ROM, saída do britador primário e saída do britador secundário). Os dados foram obtidos através do processamento da média de 10 imagens realizado no *software* Split-desktop 2.0. Os dados foram plotados em curva de distribuição granulométrica e estão representados no Figura 14.

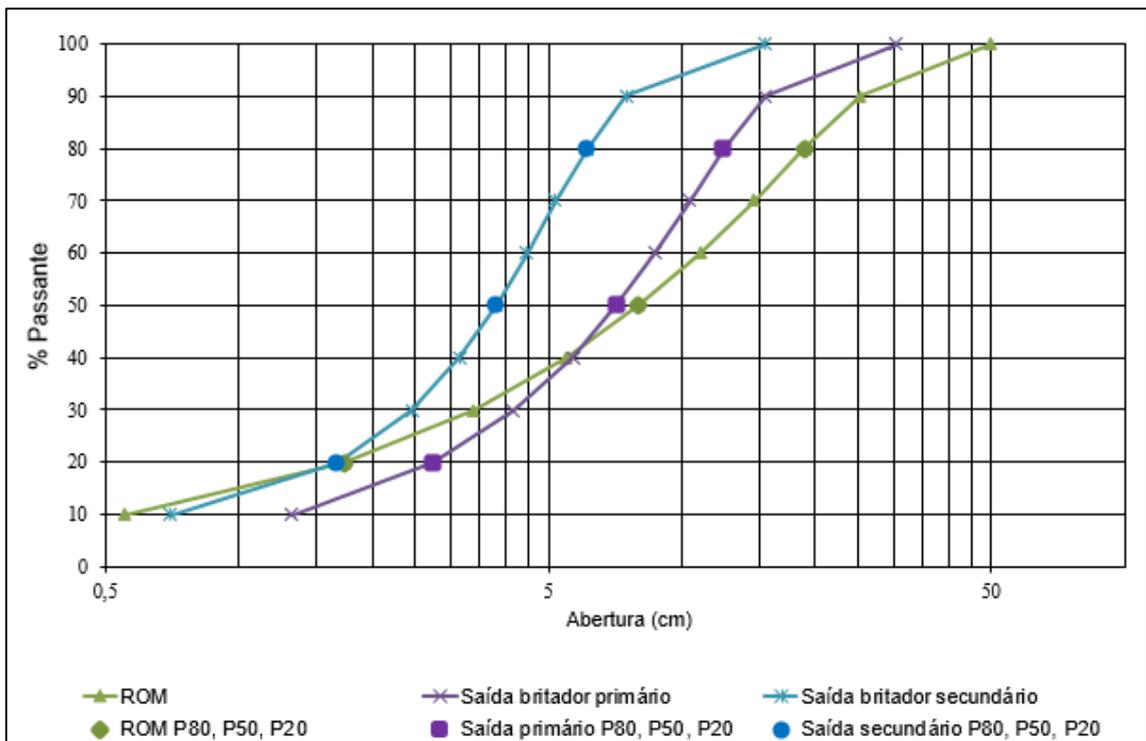


Figura 14: Distribuição Granulométrica das operações de britagem

Como é possível observar na Figura 14, a granulometria não está como esperada entre o P_{10} e P_{40} , que demonstra um tamanho menor na granulometria do ROM, comparando com a saída do britador primário e secundário. Uma das possíveis causas para ter acontecido esse desvio, pode ser em relação as fotografias terem mais frações do fino, já que elas foram tiradas do ROM ainda no desmonte.

Analisando a Tabela 3 e realizando o cálculo da Equação 5, o grau de redução do ROM para britagem primária foi de 1,51 e da britagem primária para secundária foi de 2.03.

Tabela 3: Distribuição Granulométrica

% Passante	Tamanho (ROM) – cm	Tamanho (Saída britador primário) – cm	Tamanho (Saída britador Secundário) – cm
P ₁₀₀	49,70	30,48	15,35
P ₉₀	25,31	15,42	7,50
P ₈₀	18,90	12,46	6,11
P ₇₀	14,55	10,42	5,19
P ₆₀	11,00	8,70	4,47
P ₅₀	7,98	7,13	3,81
P ₄₀	5,51	5,68	3,14
P ₃₀	3,39	4,18	2,45
P ₂₀	1,73	2,74	1,67
P ₁₀	0,55	1,32	0,70

5.3. DIMENSIONAMENTO DOS BRITADORES

5.3.1. DIMENSIONAMENTO DO BRITADOR PRIMÁRIO

Para o dimensionamento do britador primário, inicialmente, avaliou-se, o critério condição de recepção segundo a Equação 2. Para tal, o tamanho da maior partícula foi dado pela análise de fragmentação, de 49,70cm (Tabela 3). Como resultado, se o denominador for o mínimo estimado por Chaves e Peres (2012), de 0,8, o gape do britador primário deverá ser de 62,12cm. Já, se o denominador adotado for o de 0,85 (máximo), o gape será de 58,47cm.

Analisando as especificações dos britadores de mandíbulas da linha JC da Furlan (Tabela 4), observa-se que o gape do britador utilizado pela mineradora em questão, modelo JC 1200, opera entre 120 – 80,0cm; é dizer que o gape do equipamento é cerca de duas vezes maior que o tamanho indicado.

Tabela 4: Especificações Técnicas dos britadores de mandíbulas.

Denominações	Unidade	Modelos			
		JC800	JC900	JC1200	JC1300
Dimensões da boca de alimentação (gape)	Mm	800 x 600	900 X 700	1200 X 800	1300 X 1150
	Cm	80 x 60	90 x 70	120 x 80	130 x 115

Fonte: Adaptado de Furlan (2021).

Observando a Tabela 4, o modelo JC800 da Furlan possui valores de gape entre 80 - 60,0cm, valores mais próximos dos encontrados na teoria, 62,12 - 58,47cm. Um melhor ajuste do gape pode ser responsável por um maior grau de redução que o observado e representado na Figura 14. Sabe-se que nem sempre a troca de um equipamento da planta de beneficiamento pode ser feita de maneira imediata, seja pelo aporte financeiro, pela pausa das operações, pelo novo dimensionamento do fluxograma, pela logística ou pelo tempo de entrega e instalação. Dessa forma, algumas medidas, como as sugeridas por

Chaves e Peres (2012) e Silva e Vieira (2020), tem o potencial de minimizar os prejuízos associados ao mau dimensionamento de britadores. Dentre elas, destacam-se uma menor redução de tamanho na lavra, que exige uma avaliação criteriosa da quantidade, tipo de explosivo e malha de perfuração, e/ou um ajuste na abertura de saída (posição fechada) do britador de mandíbulas.

A Tabela 5, é uma adaptação do manual da Furlan e indica as aberturas de saída dos britadores de mandíbulas. Observa-se que, para o JC 1200, britador primário utilizado na mineradora, que trabalha com a capacidade de 400t/h (dado fornecido pela mineradora), a abertura de saída na posição fechada indicada está entre 15,0 – 17,5cm. A mineradora deve estar sempre observando se esse tamanho está sendo empregado.

Tabela 5: Capacidade em m³/h (t/h) - Britadores de Mandíbulas

Modelos	Gape (mm)	Abertura de saída na posição fechada (mm)										
		50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
JC 800	800 X 600	48-70 (77-112)	58-94 (93-150)	70-115 (112-184)	88-130 (141-208)	98-155 (157-248)	115-180 (184-288)					
JC 900	900 X 700	54-73 (86-117)	60-100 (90-160)	78-123 (125-197)	96-145 (154-232)	110-170 (176-272)	123-197 (197-315)	138-210 (221-336)				
JC1200	1200 X 800			140-185 (224-296)	170-225 (272-360)	205-270 (328-432)	240-315 (384-504)	280-370 (448-592)	310-410 (496-656)	345-450 (552-720)	380-500 (608-800)	
JC1300	1300 X 1150				215-280 (344-448)	250-320 (400-512)	285-365 (456-584)	320-420 (512-672)	355-470 (568-752)	390-515 (624-824)	420-560 (672-896)	455-615 (728-984)

Fonte: Adaptado de Furlan (2021).

Em seguida, avaliou-se segundo o critério de Taggart (Equação 3), para a adequação do primeiro equipamento de cominuição. Para tal, utilizou-se o dado vazão de material fornecido pela mineradora (400t/h), e também a conversão dos valores de gape encontrados de cm para polegadas (62,12cm = 24,45in / 58,47cm = 23,01in / fator de conversão: 1in = 2,54cm).

O valor encontrado para a vazão adotada e o gape de 24,45in foi de 0,669. Já, se o gape for de 23,01, este valor será de 0,755. Segundo a Equação 3, se o critério de Taggart for maior que 0,115, o britador primário escolhido pelo empreendimento deve ser britador cônico, e não de mandíbulas. Conforme discutido no capítulo do referencial teórico, os cônicos são indicados para maiores capacidades. A própria empresa Furlan comercializa britadores cônicos que operam com capacidades entre 375,0 e 470t/h, modelo CC 1400 XP, Tabela 6.

Tabela 6: Capacidade em m³/h (t/h) – Modelo CC1400 XP - Britador Cônico

Mod	Cavidades	APF min. (mm)	Abert. Alim. (mm)		Abertura do lado fechado do Britador (mm)									APF Máx. (mm) Brit. Anterior	
			L.A.	L.F.	10	13	16	20	25	30	35	40	50		
CC 1400 XP	Fino	10	100	75	84-106 (135 - 170)	97-119 (155 - 190)	109-131 (175 - 210)	116-138 (185 - 220)							
	Médio	20	160	145				131-147 (210 - 235)	144-163 (230 - 260)	166-184 (265 - 295)					125
	Grosso	25	250	230					147-169 (235 - 270)	172-194 (275 - 310)	184-206 (295 - 330)	209-234 (335 - 375)			180
	Extra grosso	30	320	290						184-206 (295 - 330)	209-231 (335 - 370)	234-259 (375 - 415)	263-294 (420 - 470)		200

Fonte: Adaptado de Furlan (2021).

Prosseguiu-se com o cálculo da Capacidade do Britador (Equação 4) em que o fator de serviço utilizado (1,5) foi proposto por Chaves e Peres (2012), a vazão da alimentação (400t/h) é um dado operacional e a densidade aparente tem seu valor estimado de 2,6. A capacidade calculada foi de 230,77 m³/h.

O britador de mandíbulas JC 1200 opera com capacidade de 140 até 500 m³/h. É importante observar-se que para o equipamento tem capacidade para atender a produção da mineradora com a Abertura de saída na posição fechada deve estar em 15cm (150mm) como mostra na Tabela 5. Contudo, ressalta-se, como visto anteriormente, que a escolha mais adequada de britador primária, seria um modelo cônico.

5.3.2. DIMENSIONAMENTO DO BRITADOR SECUNDÁRIO

Para o dimensionamento do britador secundário, inicialmente, avaliou-se, o critério condição de recepção segundo a Equação 2. Para tal, o tamanho da maior partícula foi dado pela análise de fragmentação, de 30,48cm (Tabela 3). Como resultado, se o denominador for o mínimo estimado por Chaves e Peres (2012), de 0,8, o gape do britador primário deverá ser de 38,1cm. Já, se o denominador adotado for o de 0,85 (máximo), o gape será de 35,85cm.

Analisando as especificações dos britadores cônicos da linha CC da Furlan (Tabela 7), observa-se que o gape do britador utilizado pela mineradora em questão, modelo CC 1200 XP, opera entre 27,5 – 7,5cm; é dizer que o gape do equipamento não supre a necessidade.

Tabela 7: Capacidade em m³/h (t/h) - Britadores Cônicos

Mod.	Cavidades	APF min. (mm)	Abert. Alim. (mm)		Abertura do lado fechado do Britador (mm)										APF Máx. (mm) Brit. Anterior		
			L.A.	L.F.	10	13	16	20	25	30	35	40	50				
CC 900 XP	Extra Fino	8	45	30	45-53 (65-85)	47-59 (75-95)											
	Fino	8	65	45	47-59 (75-95)	50-63 (80-100)	56-69 (90-110)										
	Médio fino	10	85	65	50-63 (80-100)	53-66 (85-105)	59-72 (95-115)	69-81 (110-130)									
	Médio	13	115	95		56-69 (90-110)	63-75 (100-120)	72-84 (115-135)	81-94 (130-150)	91-103 (145-165)							65
	Médio grosso	16	150	130			66-78 (105-125)	75-88 (120-140)	86-98 (138-157)	97-109 (155-175)	113-128 (180-205)						75
	Grosso	20	180	165				78-91 (125-145)	91-103 (145-165)	103-116 (165-185)	119-131 (190-210)	134-147 (215-235)					115
	Extra grosso	25	215	200					97-109 (155-175)	109-122 (175-195)	128-141 (205-225)	144-156 (230-250)					125
CC 1200 XP	Extra Fino	10	75	55	59-72 (95-115)	66-78 (105-125)											
	Fino	10	90	65	63-75 (100-120)	72-84 (115-135)	78-91 (125-145)										
	Médio fino	13	115	90		78-91 (125-145)	88-100 (140-160)	100-113 (160-180)	113-125 (180-200)								
	Médio	16	145	135			94-106 (150-170)	106-119 (170-190)	119-131 (190-210)	134-150 (215-240)							115
	Médio grosso	20	170	155				109-125 (175-200)	125-138 (200-220)	141-156 (225-250)	140-156 (225-250)	181-197 (290-315)					125
	Grosso	25	210	195					131-144 (210-230)	147-163 (235-260)	166-188 (256-300)	188-206 (300-330)	213-228 (340-365)				140
	Extra grosso	30	275	250						153-169 (245-270)	172-191 (275-305)	197-222 (315-355)	225-244 (360-390)				150
CC 1400 XP	Fino	10	100	75	84-106 (135-170)	97-119 (155-190)	109-131 (175-210)	116-138 (185-220)									
	Médio	20	160	145				131-147 (210-235)	144-163 (230-260)	166-184 (265-295)							125

	Grosso	25	250	230					147- 169 (235- 270)	172- 194 (275- 310)	184- 206 (295- 330)	209- 234 (335- 375)		180
	Extra grosso	30	320	290						184- 206 (295- 330)	209- 231 (335- 370)	234- 259 (375- 415)	263- 294 (420- 470)	200

Fonte: Manual Furlan (2021).

Como dito anteriormente, sabe-se que nem sempre a troca de um equipamento da planta de beneficiamento pode ser feita de maneira imediata, seja pelo aporte financeiro, pela pausa das operações, pelo novo dimensionamento do fluxograma, pela logística ou pelo tipo de entrega e instalação. Dessa forma, algumas medidas, como as sugeridas por Chaves e Peres (2012) e Silva e Vieira (2020), tem o potencial de minimizar os prejuízos associados ao mau dimensionamento de britadores. Dentre elas, destacam-se uma troca do britador primário, que exige uma avaliação criteriosa, e/ou um ajuste na abertura de saída (posição fechada) do britador cônico.

Em seguida, avaliou-se segundo o critério de Taggart (Equação 3), para a adequação do segundo equipamento de cominuição. Para tal, utilizou-se o dado vazão de material fornecido pela mineradora (150t/h), e também a conversão dos valores de gape encontrados de cm para polegadas (38,1cm = 15in / 35,85cm = 14,11in / fator de conversão: 1in = 2,54cm).

O valor encontrado para a vazão adotada e o gape de 15in foi de 0,666. Já, se o gape for de 14,11in, este valor será de 0,753. Seguindo o critério de Taggart (Equação 3), o valor em questão é maior que 0,115, o que indica que a escolha do modelo do britador está correta.

Prosseguiu-se com o cálculo da Capacidade do Britador (Equação 4) em que o fator de serviço utilizado (1,25) foi proposto por Chaves e Peres (2012), a vazão da alimentação (150t/h) é um dado operacional e a densidade aparente tem seu valor estimado de 2,6. A capacidade calculada foi de 72,11m³/h.

O britador de mandíbulas CC 1200 XP opera com capacidade de 59 a 244m³/h, logo a mineradora está operando com o equipamento dentro dos parâmetros calculados. É importante observar que para o equipamento está dentro dos parâmetros calculados a abertura de saída na posição fechada deve estar em 1,3cm (13mm) como mostra a Tabela 7.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES

O trabalho permitiu a construção do fluxograma das etapas de fragmentação e classificação, onde foi possível detalhar o fluxo de tarefas dos processos da mineradora estudada. A partir da caracterização do minério, foi calculada a densidade aparente de $2,6\text{g/cm}^3$, além da construção de curvas granulométricas que mostraram um valor de grau de redução no britador primário de 1,51, e 2,03 para o britador secundário. Uma avaliação do dimensionamento dos britadores primários e secundários através dos critérios de Taggart, Condição de Recepção e Capacidade do processo, mostrou que, devido à grande capacidade da planta, o britador primário escolhido deveria ser um cônico, e não de mandíbulas, como o adotado pela mineradora. O JC1200 (britador primário) tem abertura do gape 2 vezes maior que o valor indicado em teoria, já o CC 1200 XP (britador secundário) não supre a necessidade. O mau dimensionamento de equipamentos de fragmentação pode acarretar um prejuízo econômico tanto na compra desnecessária de equipamentos mais caros quanto no desperdício de material. Nenhuma organização está imune às consequências negativas do desempenho de seus equipamentos. Tamanho da abertura de entrada mal planejada incluindo outros problemas, podem ser motivos pelos quais os equipamentos não funcionam corretamente. Portanto, tentar prever essas desvantagens por meio de cálculos matemáticos especializados na área aplicada, pode alterar a situação negativa atual.

REFERÊNCIAS

- ABRACAL. **Produção por Estado – Período 1987/2021**. Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola. 2022. 1p.
- ANEPAC. **Guia de Fornecedores - Catálogo de Produtores**. Kd Editora e Comunicação, São Paulo (SP), 2012. 107 p.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO. **Setor de Transformação de Não Metálicos**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Brasília (DF), 2019. 85 p.
- BRASIL. **Instrução Normativa SDA Nº 35, de 4 De Julho de 2006**. Diário Oficial da União - Seção 1, Secretaria De Defesa Agropecuária, Brasília (DF), 2006. 10p.
- CAMARGOS, M. E. **Aplicação do Conceito Indústria 4.0 no Beneficiamento do Calcário**. Escola de Ciências Exatas e da Computação, PUC-GO, Goiânia(GO), 2020. 42p. Trabalho de conclusão de curso em Ciência da Computação.
- CORREIA, J. C.G. **Classificação e Peneiramento**. In: LUZ, A. B; SAMPAIO, J. A; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de Minérios**, 2010. 5.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap. 6, 257-296p.
- CHAVES, A. P. e PERES, A. E. C. **Britagem, Peneiramento e Moagem**. 2012. 5 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 324p.
- CURI, A. **Lavra de Minas**. São Paulo, Oficina de Textos, 2017.
- EMBRAPA. **Calagem**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/calagem>. Acesso em: 22 de junho de 2022.
- FEPAGRO. **Os cuidados com a qualidade do Calcário – (NT Monit PECS 07)**. Disponível em: http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1415897951_NT%20Monit%20PECS%2007.pdf. Acesso em: 01 de junho de 2022.
- FERREIRA, G. E. e FONSECA JUNIOR, C. A. **Mercado de Agregados no Brasil**. LUZ, A. B. e ALMEIDA, S. L. M. **Manual de Agregados para a construção Civil**, 2012. 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. Cap. 2, 7 – 33p.
- FIGUEIRA, H. V. O.; LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. **Britagem e Moagem**. In: LUZ, A. B; SAMPAIO, J. A; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de Minérios**, 2010. 5.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap. 4, 143-210p.
- FIGUEIREDO, M. F. **Quimioestratigrafia Isotópica (C, O, S e Sr), Geocronologia (Pb-Pb e K-Ar) e proveniência (Sm-Nd) das Rochas da Faixa Paraguai Norte, Mato Grosso**. Instituto De Geociências, USP, São Paulo, 2010, 198p. Tese de Doutorado.
- FURLAN. **Manual dos Britadores Furlan**, 2021.
- MAPA – **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2022. Disponível em: < <https://agricultura-br.com/>>. Acesso em setembro de 2022.

MORAES, M. **Calcário no Solo: Conheça 5 Tipos e sua Importância!** Disponível em: <https://agropos.com.br/o-que-e-calcario/#:~:text=Portanto%2C%20a%20aplica%C3%A7%C3%A3o%20do%20calc%C3%A1rio,e%20potencializa%20os%20efeitos%20dos>. Acesso em: 27 de abril 2022.

LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. **Manual de Agregados para a Construção Civil**. 2. ed. CETEM/MCTI. 2012.179p.

MOURA, R. D. **Classificação do Calcário da Região do Cariri Oriental Paraibano Usado na Produção de Carbonato De Cálcio**. Centro de Ciências e Tecnologia, UEPB, Campina grande (PB), 2014, 56p. Trabalho de conclusão de curso em Química Industrial.

PEDROSA, F. J. B. **Análise Operacional do Desmonte do Calcário**. UNIFAL, Poço de Caldas (MG), 2014. 42p. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Minas, área de Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

PRIMAVESI *et al.* **Características de corretivos agrícolas**. Embrapa. 2004. 25p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/61985/1/Doc37ACP2004.pdf>.

QUAGLIO, O. A. **Otimização da perfuração e da segurança nos desmontes dos agregados através do sistema laser profile e boretrak**. Escola de Minas, UFOP, Ouro Preto, 2003. 153p. Dissertação de mestrado em engenharia mineral, área de lavra.

ROBERTO, F. A. C. **Balanco Mineral Brasileiro 2001. Cimento**. Agência Nacional da Mineração, 2001. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-cimento>. Acesso em: 18 de julho de 2022.

SAMPAIO, J. S. e ALMEIDA, S. L. M. **Calcário e Dolomito**. In: LUZ, A.B.; LINS, F.F. **Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 2005, cap. 15, 327-350p.

SAMPAIO, J. S. e ALMEIDA, S. L. M. **Calcário e Dolomito**. In: LUZ, A.B.; LINS, F.F. **Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 2008, cap. 16, 369-391p.

SCHIMIDT, H. C. 2015. **Estudo Comparativo Do Custo De Serviços De Terraplenagem: Caso Da Travessia Urbana De Santa Maria/RS**. Centro de Tecnologia, UFSM, Santa Maria (RS), 2015. 93p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil.

SILVA, G. F.; VIEIRA, E.V. **Dimensionamento dos britadores da cooperativa dos garimpeiros de pedra lavrada-PB**. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v.12, n.3, 2020.

STEIN, Ronei Tiago *et al.* **Tratamento de minérios**. Porto Alegre: SAGAH, 2022. 1 recurso online. ISBN 9786556903446.

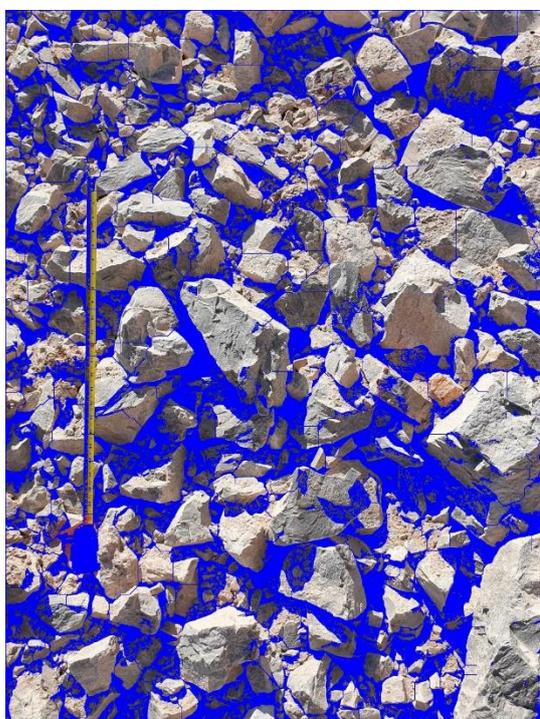
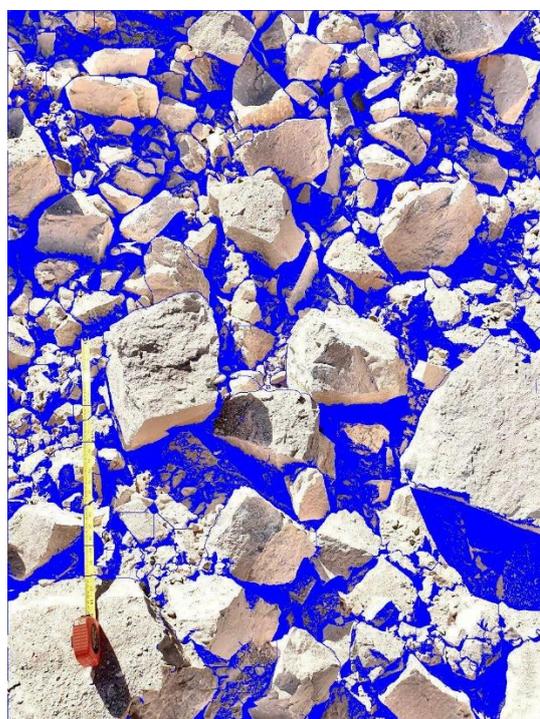
WILLS, B.A.; NAPIER – MUNN, T. J. *Will's mineral processing Technology*. 7. ed. Elsevier Science & Tehnology books. 2006. 450p.

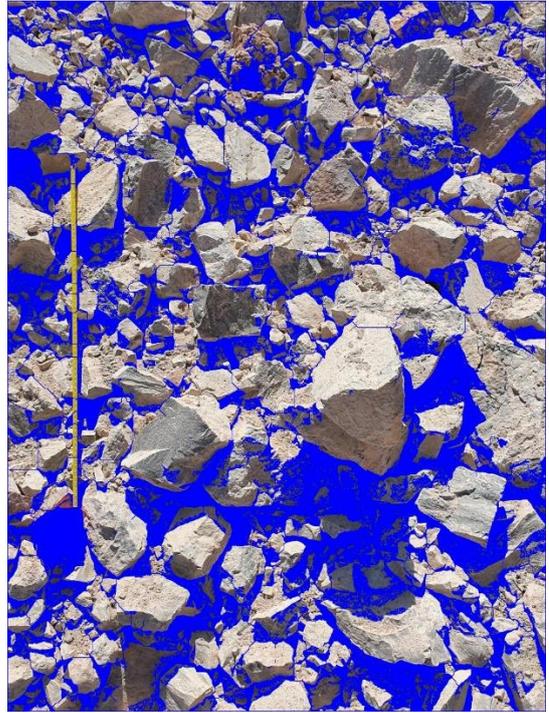
WIRTGEN GROUP. **Tecnologia de Britagem**. Disponível em: <https://www.wirtgen-group.com/pt-ao/produtos/kleemann/tecnologias/tecnologia-de-britagem/#91161>. Acesso em 08 de maio de 2022.

VALADÃO, G. E. S; ARAUJO, A. Corrêa de (Org.). **Introdução ao tratamento de minérios**. Belo Horizonte: EdUFMG, 2007. 234 p. (Coleção Didática). ISBN 9788570414786.

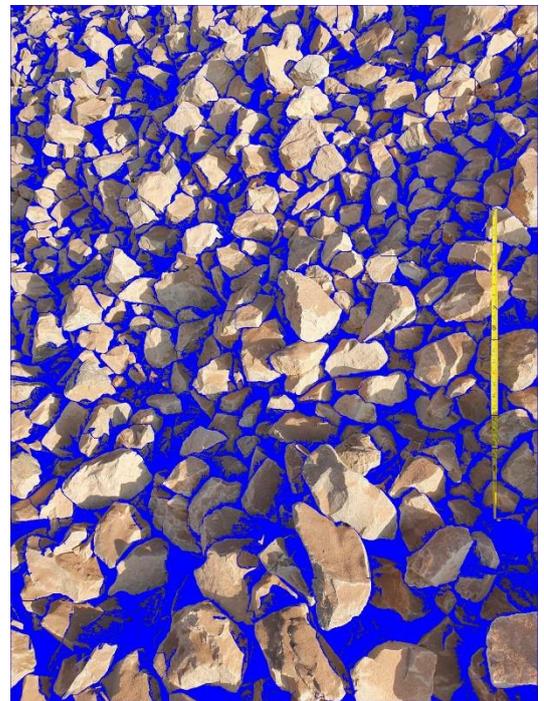
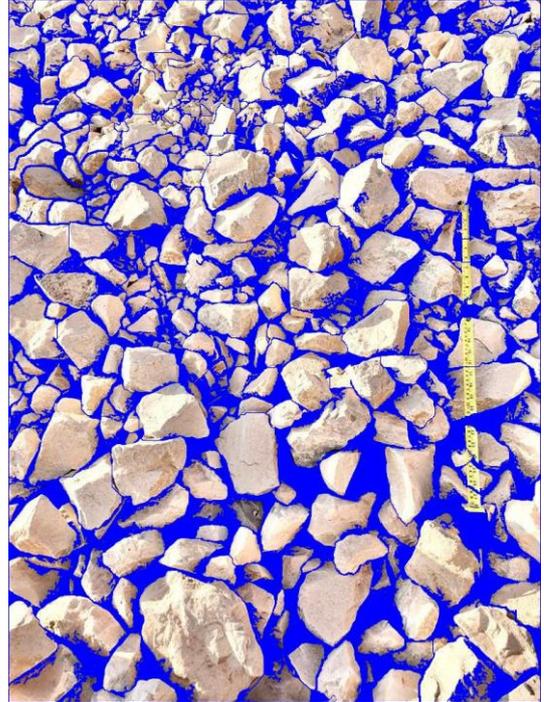
ANEXOS

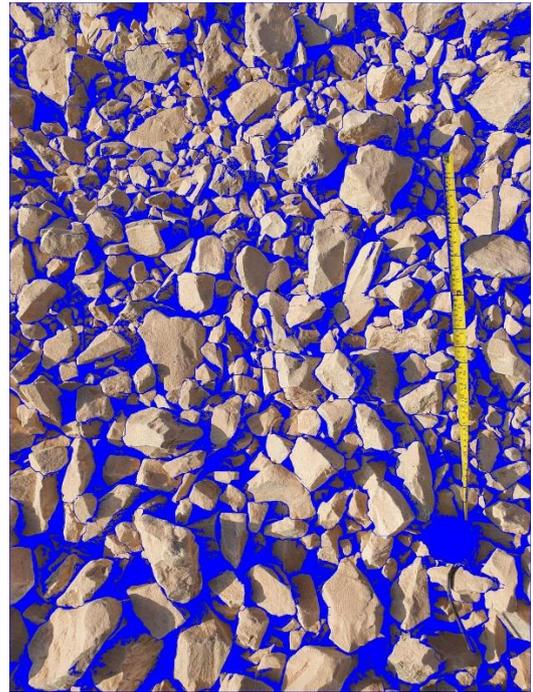
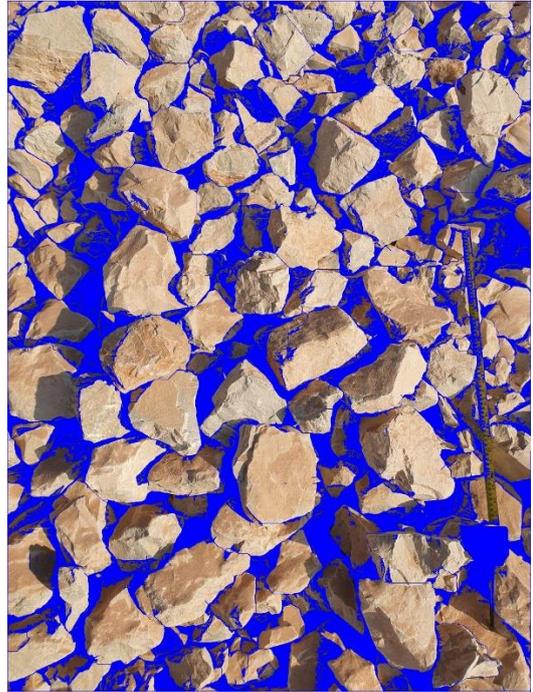
a) Fotos do ROM antes e após passar pelo software Split.





b) Fotos da Britagem Primária antes e após passar pelo software Split.





c) Fotos da Britagem Primária antes e após passar pelo software Split.

