

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais - CEERMIN

MONOGRAFIA

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O USO DE MÉTODOS CONVENCIONAIS
E O USO DE SOFTWARES PARA A SELEÇÃO DE BRITADORES E
PENEIRAS

Aluna: Patrícia Cardoso Bastos

Orientador: Prof. Roberto Galery

Agosto 2015

Patrícia Cardoso Bastos

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O USO DE MÉTODOS CONVENCIONAIS
E O USO DE SOFTWARES PARA A SELEÇÃO DE BRITADORES E PENEIRAS

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Recursos Minerais.

Área de concentração: Processamento de Minério de Ferro.

Professor Orientador: Roberto Galery

Belo Horizonte
Universidade Federal de Minas Gerais
Agosto 2015

B327a Bastos, Patrícia Cardoso.
Análise comparativa entre o uso de métodos convencionais e o uso de softwares para a seleção de britadores e peneiras [manuscrito] / Patrícia Cardoso Bastos. - 2015.
114 f., enc.: il.

Orientador: Roberto Galery.

"Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Recursos Minerais"

Anexos: f.102-113.

Bibliografia: f.100-101.

1. Minas e recursos minerais. 2. Britagem (Beneficiamento de minério).
I. Galery, Roberto. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 622

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho ao meu anjo,
minha mãe Margarida que sempre será minha maior incentivadora.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me deram muito apoio nessa minha conquista:

- Aos professores do curso por transmitir seus conhecimentos de uma maneira muito prazerosa;
- Ao Professor Galery, que me deu a felicidade de poder aprender com um grande mestre.
- Meu pai Marcos por me esperar todas as noites chegar em casa depois da aula .
- Ao Victor meu amor por me incentivar sempre;
- A Deus por me guiar e mostrar o caminho que deveria seguir.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVO E RELEVÂNCIA	11
3	DESENVOLVIMENTO.....	12
3.1	Processo de Britagem no Tratamento de Minérios.....	12
3.2	Tipos de Britadores.....	16
3.2.1	Britagem Primária	16
3.2.2	Britagem Secundária e Terciária	25
3.2.3	Britagem Quaternária	31
3.3	Seleção dos Britadores.....	31
3.4	Dimensionamento de Britadores- Método Convencional.....	34
3.4.1	Seleção dos tipos de britadores primários	35
3.4.2	Britagem Secundária e Terciária	47
3.5	Peneiramento	47
3.5.1	Mecanismo de peneiramento	50
3.5.2	Tipos de Peneiras.....	52
3.5.3	Performance da peneira	56
3.5.4	Influência das variáveis na performance da peneira.....	58
3.6	Peneiramento de finos.....	62
3.6.1	Tipos de peneiras	63
3.6.2	Utilização do peneiramento de finos	65
3.7	Dimensionamento e Seleção das peneiras	66
3.7.1	Dimensionamento.....	66
3.8	Carga Circulante	72
4	SIMULADOR BRUNO	74

5	ESTUDO DE CASO	77
5.1	Usina Passa IV	77
5.2	Dimensionamento- Método Convencional	80
5.2.1	Britagem Primária	80
5.2.2	Britagem Secundária.....	81
5.2.3	Britagem Terciária.....	84
5.3	Dimensionamento- Simulador Bruno	87
5.3.1	Britagem Primária	88
5.3.2	Britagem Secundária.....	88
5.3.3	Britagem Terciária.....	89
5.3.4	Britagem Primária	91
5.3.5	Britagem Secundária.....	92
5.3.6	Britagem Terciária.....	93
5.3.7	Cenários.....	95
6	RESULTADO	97
7	CONCLUSÕES.....	98
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	99
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
10	ANEXOS.....	102

Lista de Figuras

Figura 1- Circuito convencional da Etapa de Britagem	13
Figura 2- Circuito de Britagem – a) Circuito aberto b) Circuito Fechado	15
Figura 3- Britador de mandíbula de 2 (dois) eixos.....	19
Figura 4- Britador de mandíbula de 1(um) eixo	19
Figura 5- Britador giratório	21
Figura 6- Britador de Impacto	23
Figura 7- Britador de Impacto	23
Figura 8- Britador Low Speed Sizer.....	24
Figura 9- Mecanismo de cominuição	25
Figura 10- Britador Cônico.....	27
Figura 11- Britador HPGR	28
Figura 12- Mecanismo de cominuição HPGR.....	28
Figura 13- Impactor Barmac	30
Figura 14- Impactor Barmac- Mecanismo de cominuição	30
Figura 15- Diagrama das mandíbulas de um britador	40
Figura 16- Modelos Metso- Linha C	44
Figura 17- Britador Giratório MK 50-65.....	46
Figura 18- Britador Cônico: modelo HP	47
Figura 19- Sistema de peneiramento	48
Figura 20- Sistema de aspersão de água.....	48
Figura 21- Comportamento coletivo	50
Figura 22- Comportamento individual	51
Figura 23- Peneira Vibratória inclinada.	53
Figura 24- Movimento- Peneira Vibratória	54
Figura 25- Peneia Horizontal.....	55
Figura 26- Capacidade X Eficiência.....	57
Figura 27- Movimento da partícula	60
Figura 28- Peneiramento em função da umidade	62
Figura 29- Peneiramento fino- 1 deck	63
Figura 30- Adição de água.....	63

Figura 31- Esquema de uma peneira múltiplos estágios	64
Figura 32- Esquema de uma peneira múltiplos estágios	64
Figura 33- Circuito fechado: 1) normal 2) reverso.....	72
Figura 34- Circuito Simples- Simulador Bruno	74
Figura 35- Circuito Complexo- Simulador Bruno.....	75
Figura 36- Fluxograma preliminar da Britagem da Usina Passa IV.....	77
Figura 37- Granulometria ROM x Produto britado primário	80
Figura 38- Granulometria Oversize x Produto britado secundário.....	82
Figura 39- Comparação entre modelo HP e MP.....	83
Figura 40- Granulometria Oversize x Produto Britado secundário(2)	83
Figura 41- Granulometria Oversize x Produto Britado terciário	85
Figura 42- Granulometria Oversize x Produto Britado terciário(2)	86
Figura 43- Fluxograma Usina Passa IV- Opção 2.....	87
Figura 44- Granulometria- Produto Britagem primária.....	88
Figura 45- Granulometria- Produto Britador secundário	89
Figura 46- Granulometria- Produto Britador terciário	90
Figura 47- Granulometria- Produto Final Britagem.....	90
Figura 48- Fluxograma Usina Passa IV- opção 1.....	91
Figura 49- Granulometria- Produto Britagem primária.....	92
Figura 50- Granulometria- Produto Britador secundário	93
Figura 51- Granulometria- Produto Britador terciário	94
Figura 52- Granulometria- Produto Final.....	94
Figura 53- Fluxograma- Novo Cenário	95

Lista de tabelas

Tabela 1- Britador Primário em função da capacidade	35
Tabela 2- Britador Primário em função do top size	36
Tabela 3- Britador Primário em função da granulometria do produto	36
Tabela 4- Britador Primário em função da mineralogia	37
Tabela 5- Britador Primário em função da abrasividade	37
Tabela 6- Britador Primário em função da mobilidade da planta	38
Tabela 7: Dados de alimentação	41
Tabela 8: Dados operacionais.....	42
Tabela 9: Modelo selecionado.....	43
Tabela 10: Distribuição granulométrica do produto.....	45
Tabela 11: Definição de P_T	45
Tabela 12: Altura do leito	61
Tabela 13: Velocidade de escoamento do oversize	61
Tabela 14: Forma da abertura- Fator K_8	69
Tabela 15: Umidade natural- Fator K_{10}	70
Tabela 16: Guia de seleção de peneiras.....	71
Tabela 17 - Dados operacionais- Usina Passa IV	78
Tabela 18- Balanço de Massa- Usina Passa IV	79
Tabela 19- Granulometria ROM- Usina Passa IV	79
Tabela 20- Lista de Equipamentos- Opção 1	86
Tabela 21- Lista de Equipamentos- Opção 2	87
Tabela 22- Lista de Equipamentos comparativa	97

RESUMO

É imprescindível para um Engenheiro de Processos saber dimensionar equipamentos principalmente da área de cominuição que é o ponto inicial para o Beneficiamento de minérios. Tendo esse conhecimento, a visão pela busca de melhorias aumenta, tornando o processo mais eficiente.

Esse dimensionamento é desenvolvido através de uma literatura confiável utilizando a ferramenta do Excel e através de simuladores.

O presente trabalho teve o objetivo de apresentar um dimensionamento de um processo de britagem de uma mina hipotética denominada Mina de Ferro Passa IV localizada no Sudeste do Brasil através do chamado método convencional e através do simulador Bruno, de propriedade da empresa Metso. O resultado mostrou que os dimensionamentos apresentaram congruência, porém o uso de um simulador garante uma visão melhor do processo e de possibilidades de alterações. Somando a isso, o resultado obtido pelo método convencional pode ser considerado um *in- put* para a utilização do simulador.

Palavras-chave: Britagem, dimensionamento, equipamentos, simulação.

ABSTRACT

It is essential for a Process Engineer to know how to design the comminution equipment which is the starting point for the beneficiation of ore. Having this knowledge, the vision for seeking improvements increases, making the process more efficient.

This design is developed through a reliable literature using the Excel tool and through simulators.

This study aimed to present a design of a crushing process of a hypothetical iron mine named Passa IV located in southeastern Brazil through the conventional method and by Bruno simulator, owned by Metso Company. The result showed that the sizings were congruent, but the use of a simulator ensures a better view of the process and possible changes. Adding to this, the result obtained by the conventional method is input to use of the simulator.

Keywords: crushing, sizing, equipment, simulation

1 INTRODUÇÃO

Os softwares estão cada vez mais sendo utilizados no setor do processamento mineral com o objetivo de aumentar a produtividade e reduzir os custos. Dentre algumas utilidades dos softwares se encontram: otimização das operações, visualização dos diferentes tipos de cenários de acordo com as alterações do minério alimentado (umidade, granulometria, t/h, etc.), controle contínuo do processo, e dimensionamento de equipamentos.

Em se tratando de dimensionamento de equipamentos, os programas para esta função são todos elaborados a partir do conhecimento teórico das etapas de tratamento de minério e de modelamentos matemáticos para cada etapa do mesmo. Dessa maneira, o embasamento teórico juntamente com artifícios computacionais garante aos softwares entregar uma resposta de forma mais rápida para poder ser avaliada pelo engenheiro de Processo.

O custo elevado do programa juntamente com custo do treinamento do profissional para executá-lo muitas vezes inviabiliza as empresas de engenharia e mineradoras a adquirir estes programas.

Britadores e peneiras, que são os principais equipamentos em um circuito típico de Britagem, apresentam literaturas vastas e confiáveis. Nestas, o dimensionamento de peneiras e britadores é explicado de uma maneira bem detalha.

Dessa maneira, é de se esperar que o dimensionamento executado pelo software e o dimensionamento executado pelo método convencional sejam bastante semelhantes.

2 OBJETIVO E RELEVÂNCIA

Este trabalho tem como objetivo dimensionar a etapa de Britagem no processamento de minério de Ferro da mina Passa IV a partir de métodos convencionais e confrontar a mesma com o dimensionamento feito através do uso de Software Bruno de propriedade da empresa Metso.

Com os resultados obtidos será possível avaliar cada método estudado.

3 DESENVOLVIMENTO

Nesta etapa de Desenvolvimento será revisada a teoria a respeito do processo de Britagem no Tratamento de Minério bem como a descrição dos equipamentos utilizados e os dimensionamentos dos mesmos para dar suporte ao desenvolvimento do trabalho.

3.1 Processo de Britagem no Tratamento de Minérios

“Cominuição é o conjunto de operações de redução de tamanhos de partículas minerais, executado de maneira controlada e de modo a cumprir um objetivo pré-determinado. Isto inclui as exigências de controlar o tamanho máximo dos produtos e evitar a geração de quantidades excessivas de finos.” (Chaves, 2003).

Segundo Wills (2006), devido aos minerais de interesse estarem bastante disseminados e associados aos minerais de ganga, é de extrema necessidade a liberação destes antes de passar para a etapa de concentração.

As operações de cominuição abrangem britagem e a moagem. Elas se diferem em termos de faixa de tamanho, razão de redução e também a respeito dos mecanismos de redução de tamanhos. Segundo Chaves (2003), nos processos de britagem, as partículas grosseiras sofrem a ação de forças de compressão ou de impacto. Já os processos de moagem se restringem às frações mais finas e utilizam mecanismos de abrasão (atrito) e arredondamento (quebra de arestas). A etapa de britagem em comparação com a moagem apresenta uma relação de redução menor. (Chaves, 2003). Entre as etapas da britagem, a britagem secundária e terciária já apresentam um potencial de redução (6:1-3:1) menor em comparação com a britagem primária (8:1-5:1) (Sans, 2012).

As operações de cominuição podem ser feitas a seco ou a úmido. Operação a seco significa com a umidade natural do minério. (Chaves, 2003). Wills (2006) considera que a britagem geralmente é operada a seco.

Dentre as vantagens do processamento a úmido segundo Mullar, et al.(2002), destacam:

- facilidade de transporte de material;
- não emissão de poeiras (no caso de transporte a seco são necessários ventiladores);
- dissipação de calor gerado. O calor gerado na britagem é muito alto, causando problemas de lubrificação muito difíceis de resolver.

Segundo Chaves (2003), uma das únicas vantagens da operação a seco é a diminuição do desgaste por abrasão uma vez que a polpa (minério mais água) é potencialmente corrosiva. Dessa maneira, minerais muito abrasivos tem que ser obrigatoriamente cominuído a seco.

A britagem é o primeiro estágio da etapa de Cominuição para dar início ao processo de liberação do mineral. É uma etapa crítica para preparar o minério para as etapas seguintes. (Mullar, et al.,2002).

A Figura 1 apresenta esquematicamente um típico processo de Britagem.

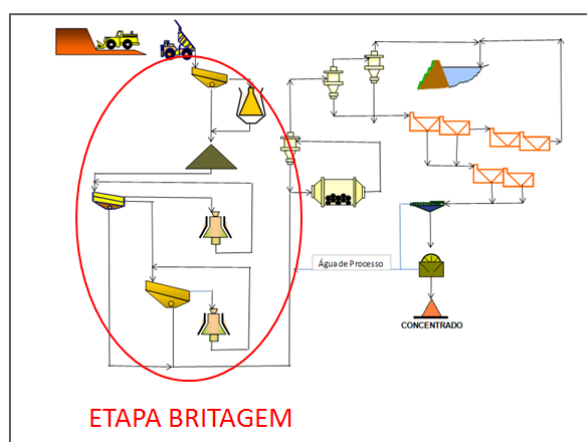


Figura 1- Circuito convencional da Etapa de Britagem

Geralmente o circuito é composto por dois ou três estágios. A britagem primária normalmente apresenta uma disponibilidade operacional inferior às demais etapas: 75% em virtude das interrupções causadas pela alimentação insuficiente do ROM no britador por problemas na mina, problemas mecânicos do britador (Wills, 2006) e também devido à forma de transporte do material até o britador: “o caminhão encosta de ré, bascula, abaixa a bascula e se afasta então, o caminhão seguinte na fila encosta de ré, bascula, etc” (Chaves, 2003).

Os principais objetivos do processo de britagem são garantir:

1. Uma granulometria que não sobrecarregue a etapa de Moagem, que é a etapa de maior consumo energético dentro do Tratamento de Minério. (Wills, 2006);
2. O aumento da área específica do minério para aumentar a eficiência da moagem e do processo de lixiviação.

Os britadores estão em sua grande maioria associados a grelhas/ peneiras vibratórias. Além da função de classificação, eles desempenham um papel fundamental para o bom funcionamento e capacidade de produção dos britadores que é o escalpe.

O processo de escalpe é a eliminação de finos antes de cada etapa da britagem. Na britagem primária (com exceção do britador giratório (Mullar, et al.2002)), usam-se grelhas fixas ou vibratórias para eliminar os finos da alimentação do britador. Nas demais operações de britagem usam-se peneiras vibratórias. (Chaves, 2003). Este processo é feito com os seguintes objetivos:

1. Diminuir a razão de alimentação do britador e aumentar sua capacidade.
2. Evitar problemas operacionais devido às partículas mais finas:
 - a) apresentarem maior área de superfície e, conseqüentemente maior umidade. Dessa maneira, podem empastar as mandíbulas e até mesmo atolar o britador.
 - b) com granulometria menor que a abertura da posição fechada do britador (APF), passarem diretamente por ela, abrandindo e contribuindo para o desgaste precoce das mandíbulas . (Chaves, 2003).
 - c) ocuparem os espaços vazios entre o material cominuído e a câmara de britagem, podendo provocar o fenômeno conhecido como *chocking* que é o processo da dificuldade de escoamento do material cominuído devido à redução de espaço causando o afogamento do britador e, conseqüentemente a interrupção de seu funcionamento. (Wills, 2006).

A britagem pode ser feita em circuito aberto ou fechado. Em circuito aberto o material passante na peneira (*undersize*) é combinado com o produto do britador que alimentará

a operação seguinte. Segundo Mullar, et al.(2002), Chaves (2003), e Wills (2006), a britagem primária ocorre sempre em circuito aberto. Para os autores ainda, etapas de circuito aberto também ocorrem quando o produto da britagem secundária alimentará o moinho de barras. Se o produto da britagem alimentar o moinho de bolas, é necessário que o circuito seja fechado e o produto da britagem será o *undersize* da peneira.

Uma das principais razões para se fechar o circuito é o poder de flexibilidade conferida ao circuito de britagem. Cada britador pode operar com variações de abertura e, conseqüentemente, alterar a distribuição granulométrica do produto final de acordo com a necessidade da etapa seguinte, ou com as características do material (ex: umidade) (Wills, 2006). Dessa maneira, com a configuração de circuito fechado, a etapa de britagem pode ser configurada para diversos cenários. A Figura 2 apresenta as configurações de circuito aberto e circuito fechado na etapa de Britagem.

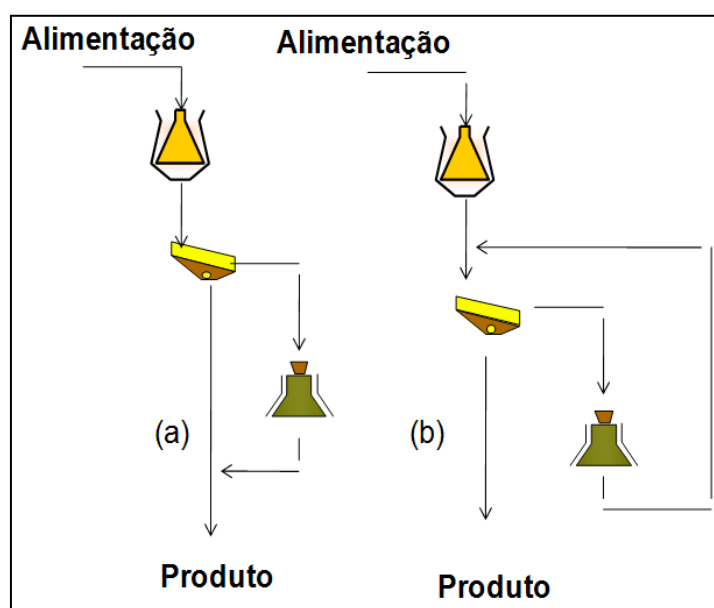


Figura 2- Circuito de Britagem – a) Circuito aberto b) Circuito Fechado
Fonte: notas de aula – Professor Roberto Galery/2014

As taxas de operação da britagem e das etapas seguintes não são iguais, normalmente a etapa de britagem apresenta um taxa horária maior que as demais atividades. Dessa forma, para manter a continuidade do processo a partir da etapa de cominuição, é necessária uma pilha de estocagem (pilha pulmão) que se encontra entre a etapa de Britagem e a etapa seguinte (moagem, lixiviação em pilhas, etc). (Wills, 2006).

3.2 Tipos de Britadores

Os equipamentos padrões de britagem na indústria mineral são os britadores de mandíbulas, giratórios e cônicos. (Mullar, et al. 2002). No entanto, devido as enormes diferenças físico-químicas entre os diversos tipos de minérios, os teores cada vez mais empobrecidos e, principalmente devido à busca pela otimização e baixa de custos, existem atualmente no mercado uma variedade de britadores para atender o mercado mineral.

Algumas nomenclaturas são importantes ressaltar quando se trata de britadores:

APA: abertura na posição aberta na parte inferior, também conhecido como OSS (*open size settings*): define a capacidade máxima que alimenta o britador e também a maior partícula do produto britado. Quanto maior o APA maior é a capacidade do britador.

APF: abertura da posição fechada, também conhecido como CSS (*close size settings*): define a distribuição granulométrica do produto britado.

Throw: APA- APF. De acordo com Galery (2014), o valor do *throw* é em torno de 2 mm.

3.2.1 Britagem Primária

Para Wills (2006), britadores primários são máquinas pesadas usadas para reduzir o ROM em tamanhos de partículas adequadas para o transporte nas correias transportadoras e para alimentar a britagem secundária, ou o moinho SAG ou para formação da pilha de estocagem para a lixiviação em pilhas. (Mullar, et al., 2002). De acordo com Galery (2014) a britagem primária tem a função de reduzir blocos de ± 1000 a 500 mm para 300-100 mm.

Existem dois tipos principais de britadores para exercerem a função de britagem primária: britador de mandíbula e britador giratório. No britador de mandíbula a energia é aplicada às partículas por compressão das mandíbulas e no britador giratório a energia

é aplicada por compressão entre manto e cone. Porém, quando o material apresenta características argilosas e uma umidade mais elevada, o britador mais indicado para atuar na britagem primária é o britador de impacto. (Chaves, 2003) e (Mullar, et al., 2002).

Existem 4 (quatro) maneiras de se reduzir o material:

1. Impacto;
2. Atrito;
3. Cisalhamento;
4. Compressão.

Normalmente, a maioria dos britadores emprega a combinação de pelo menos dois métodos. (Mullar, et al., 2002).

O britador giratório e mandíbulas de dois eixos utilizam principalmente o método de compressão, que é adequado para a redução de materiais duros e abrasivos. Além de materiais duros e abrasivos, o método de compressão é usado para a redução de materiais não pegajosos, não argiloso, e quando o produto desejado apresenta granulometria mais uniforme e uma mínima quantidade de finos. Britadores de mandíbulas de um eixo aplicam a compressão mais atrito e é menos adequado para materiais abrasivos.

Segundo Mullar, et al.(2002), para os britadores de mandíbulas são instaladas peneiras/grelhas para scalpe antes do britador para aumentar a capacidade global do circuito removendo o undersize da peneira. Chaves (2003) considera que uma alimentação contendo 30% de finos é uma condição necessária para o scalpe. A eficiência de peneiramento é baixa da ordem de 60% porém aceitável visto que a função principal é a eliminação de finos e não a classificação propriamente dita.

As características mais importantes que um britador primário deve ter são:

1. Alta capacidade;

2. Ser capaz de aceitar material de alimentação sem ocorrer engaiolamentos. (Metso, 2005). Muitas vezes para evitar o processo de engaiolamento, a moega que recebe o ROM é coberta por uma grelha fixa, de trilhos, que impede que os fragmentos muito grandes, capazes de obstruir o britador sejam alimentados. (Chaves, 2003).

De acordo com Metso (2005) e Mullar, et al.(2002), a britagem primária deve ser instalada perto da mina em locais mais altos com o objetivo de tornar essa atividade menos dispendiosa. Nas instalações modernas é na maioria dos casos economicamente vantajosos utilizarem britadores primários móveis que possam acompanhar o avanço da lavra.

Chaves (2003) considera comum a construção de uma pilha de estocagem após a britagem primária ou secundária. Esta pilha permite tornar a operação a montante (mina e britagem) independente da operação a jusante (britagens mais finas e usina de concentração). Isto permite usar equipamentos menores e diminui o investimento.

Esforços vêm sendo feito para aumentar a eficiência reduzindo o custo de capital e operação. O uso de circuitos automáticos está sendo usados em larga escala. De acordo com Wills (2006), a instrumentação na britagem primária é usada para a proteção do britador e não para controle operacional:

1. Controle do nível de óleo;
2. Controle da temperatura dos rolamentos;
3. Indicador de nível alto e baixo dentro das câmaras de britagem.

3.2.1.1 Britador de Mandíbula

A Figura 3 e Figura 4 apresentam a ilustração de um britador de mandíbula de 2 (dois) eixos e um britador de mandíbula de 1 (um) eixo.

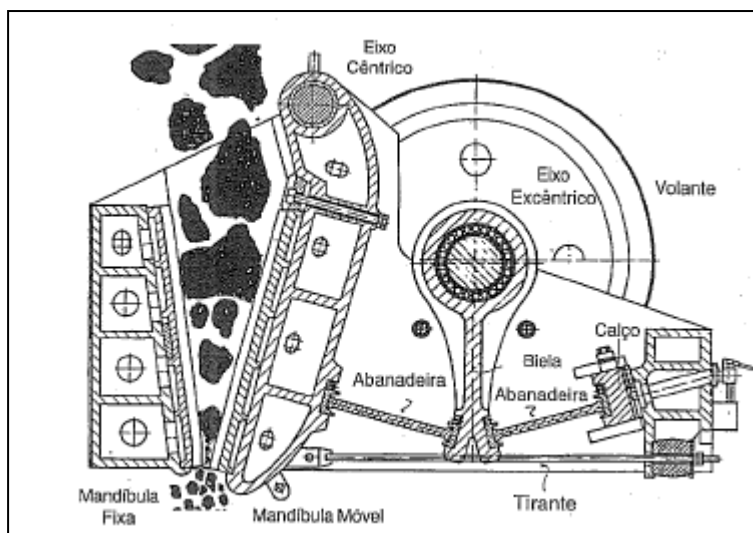


Figura 3- Britador de mandíbula de 2 (dois) eixos
Fonte: Chaves, 2003

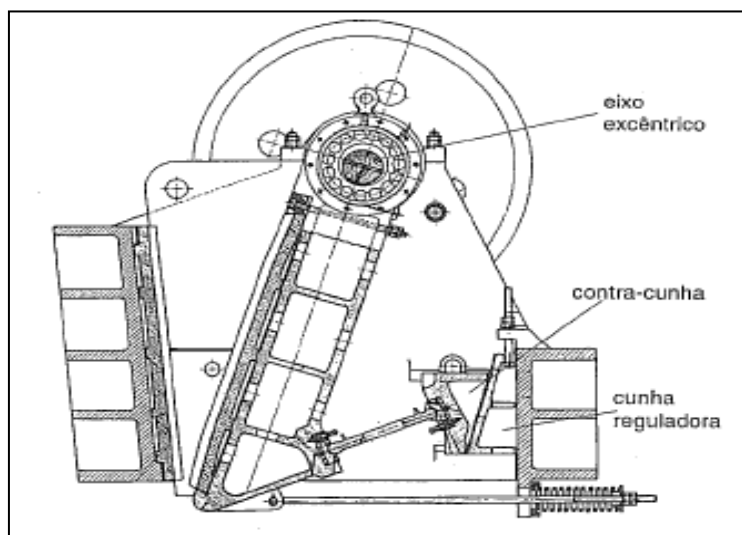


Figura 4- Britador de mandíbula de 1(um) eixo
Fonte: Chaves, 2003

Os elementos mecânicos são uma placa metálica móvel (mandíbula móvel), que se move em movimento recessivo (aproxima-se e afasta-se) de uma placa metálica fixa (mandíbula fixa). A distância entre as duas mandíbulas na extremidade superior do britador é muito importante e chamada de gape. Essa distância é um fator limitante que determina o tamanho máximo (*top size*) da rocha que pode alimentar o britador de mandíbula. Segundo Mullar, et al.(2002), nas aplicações industriais os *top size* podem variar de 450 mm até 1600 mm e utilizam-se na maioria dos casos em instalações com produções em torno de 1200 t/h. (Metso, 2005).

Chaves (2003) descreve: “o fragmento de rocha ou minério a ser britado é introduzido no espaço entre as duas mandíbulas e, durante o movimento de aproximação, é esmagado. Os fragmentos resultantes escoam para baixo, durante o movimento de afastamento, cada qual se deslocando até uma posição em que fique contido pelas mandíbulas e seja novamente esmagado na próxima aproximação da mandíbula móvel”.

Wills (2006), afirma que o desgaste da mandíbula no britador de apenas 1 (um) eixo é maior que o desgaste das mandíbulas do britador de 2 eixos devido ao tipo de movimento circular e não apenas o movimento de abrir- fechar do segundo . Além disso, o britador de 1 (um) eixo é mais compacto porém apresenta capacidade maior que o britador de 2 (dois) eixos.

Dessa maneira, o uso de britadores de dois eixos está vinculado à característica abrasiva do minério. É obrigatório o uso de britadores de 2 (dois) eixos quando se trabalha com quartzo, granitos silicosos, minérios silicosos e itabiritos. (Chaves, 2003).

Um dos principais problemas que ocorrem durante o mecanismo de compressão das mandíbulas é o fenômeno conhecido como *choking* ou afogamento como mencionado no item 3.1. De acordo com Chaves (2003) e Wills (2006), a cada movimento da mandíbula móvel, o material dentro da câmara de britagem aumenta em volume ocupando os espaços vazios existentes entre as partículas. Dessa maneira, à medida que o minério encaminha para áreas menores da câmara de britagem, o escoamento começa a ser dificultado e o processo de afogamento ocorre. Por esse motivo, existe uma vazão crítica em que o britador deve trabalhar abaixo dela, ou seja; o britador de mandíbulas não deve trabalhar com a câmara 100% completa.

3.2.1.2 Britador Giratório

A Figura 5 apresenta um esquema construtivo de um britador giratório.

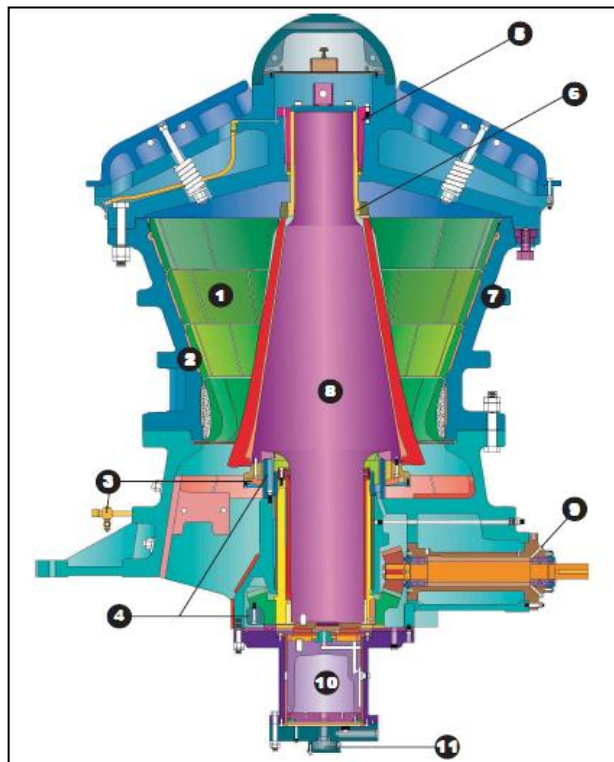


Figura 5- Britador giratório
Fonte: Metso, 2005

Este tipo de britador apresenta um elemento móvel, que é o cone representado pelo número 8 (parte representada de roxo) e um elemento fixo que é o manto representado pelo número 1 (parte representada de verde). Chaves (2003) descreve: “o cone tem o movimento excêntrico isto é, ele gira em torno de um eixo que não é o eixo do cone. Desta forma, ele se aproxima e se afasta das paredes internas do manto em um movimento recessivo circular. Neste movimento, uma parte do cone se aproxima do manto, ao passo que a parte às suas costas se afasta. A parte que se aproxima esmaga as partículas entre o manto e o cone. Atrás, no afastamento, as partículas encontram espaço para caírem até serem contidas e então, no movimento de aproximação serem esmagadas.” O cone é longo e a câmara de britagem que é o espaço entre o cone e o manto aonde se aloja o material cominuído, é aberta para cima. Assim, o britador giratório é capaz de receber fragmentos de grandes dimensões, não havendo a necessidade da instalação de uma moega. Para Mullar, et al.(2002), britadores giratórios apresentam maior flexibilidade e recebe o material diretamente dos caminhões para a

câmara de britagem sem a necessidade de escalpe e alimentador. É conhecido como um britador de alta capacidade e baixa manutenção.

A grande diferença entre o britador giratório e o de mandíbula é que a ação de cominuição do primeiro ocorre num volume muito maior e, conseqüentemente, a sua capacidade é também muito maior uma vez que toda a área da carcaça é utilizada para fragmentar as partículas. Segundo Chaves (2003), esta capacidade maior para a cominuição é a finalidade do projeto do britador giratório. Além disso, o britador giratório deve trabalhar com a câmara de britagem 100% completa sem preocupação de ocorrer o fenômeno de *chocking*. Trabalhando com a câmara não totalmente cheia aumenta a geração de partículas lamelares. (Wills, 2006.)

3.2.1.3 Britador de Impacto

Os britadores de impacto segundo Chaves (2003) são classificados como britadores de alta velocidade. “A redução de tamanho ocorre pelo impacto dos impactores sobre as partículas e pelo impacto destas contra a carcaça ou barras de impacto. A descarga é livre e a câmara é grande, para permitir a livre movimentação das partículas, para permitir a passagem de blocos de grandes dimensões.”

A Figura 6 e a Figura 7 apresenta um modelo de britador de impacto e um desenho esquemático do processo de cominuição respectivamente.



Figura 6- Britador de Impacto
Fonte: Metso, 2005

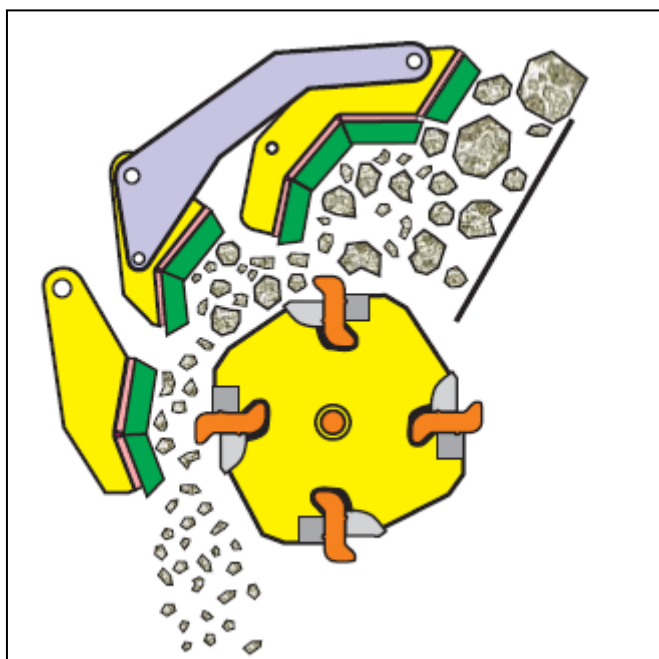


Figura 7- Britador de Impacto
Fonte: Metso, 2005

Conforme Metso (2005), o britador de impacto primário tem alta capacidade e é projetado para aceitar grandes tamanhos de ROM na alimentação. Os impactores

primários se destinam a processar de 200 t/h até 1800 t/h e tamanhos de alimentação até 1830 mm. Algumas características se destacam nesse tipo de britador:

1. Gera mais finos que o britador de mandíbula e giratório. Dessa maneira, este tipo de britador deve ser utilizado no processo em que a geração excessiva de finos não seja um problema. (Metso, 2005).
2. Relação de redução é muito grande, permitindo fazer em um único equipamento a redução equivalente a de dois a três estágios de britadores de outro tipo. (Chaves, 2003).

Como este tipo de britador trabalha em velocidades altas, o desgaste por abrasão é muito alto. Assim, Metso (2005), Chaves (2003) e Mullar, et al.(2002) consideram sua aplicação somente para materiais não abrasivos e mais frágeis como fosfato, calcário, bauxita, argilominerais, barita e carvão.

Dentre todos os tipos de britadores primários, o impactor é o que gera o produto mais cúbico. Mullar, et al.(2002).

3.2.1.4 Low speed sizer

O britador *Low Speed Sizer* é uma excelente alternativa para materiais com uma quantidade significativa de argila. De acordo com Mullar, et al.(2002), este é a melhor opção.

As figuras apresentam um modelo de britador e um desenho esquemático do processo de cominuição respectivamente.

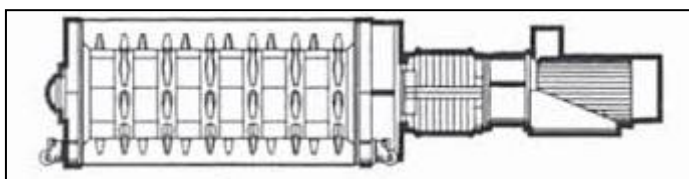


Figura 8- Britador Low Speed Sizer
Fonte: Mullar, et al.(2002).

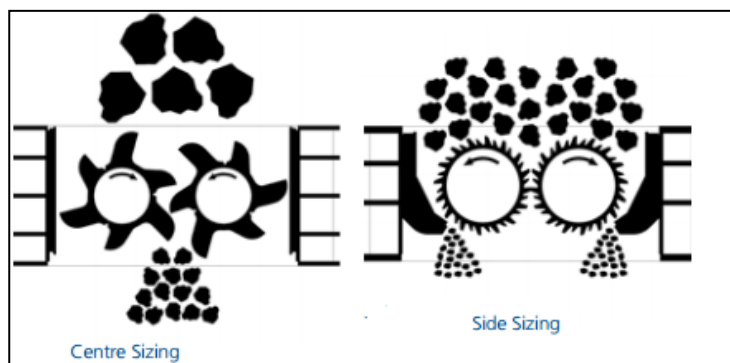


Figura 9- Mecanismo de cominuição

Fonte: <http://www.flsmidth.com/>

Dois rolos dentados ficam envoltos em uma câmara de britagem apresentando alto torque e baixa velocidade. De acordo com Flsmith (2010), britadores tipo *sizer* além de britarem o material também já o classificam como é mostrado na Figura 9. Dessa maneira, não há necessidade de um peneiramento após a britagem.

Para Mullar, et al.(2002), este britador também apresenta as seguintes vantagens:

1. Produção de material com uma pequena quantidade de finos;
2. Capacidade de até 12.000 Mtp/h;
3. Por ser compacto, reduz o custo de instalação;
4. Insensível a materiais argilosos e pegajosos.

Flsmith (2010), considera o uso do Sizer também para britagem 2ª e 3ª.

Apresenta como desvantagem uma baixa taxa de redução.

3.2.2 Britagem Secundária e Terciária

Conforme Chaves (2003), a britagem secundária é incluída no processo para a produção do produto intermediário ou final do circuito de britagem. A alimentação é tipicamente entre 75 mm até 300 mm dependendo da taxa de alimentação, da abertura e do tipo de britador 1º. De acordo com Galery (2014) a britagem secundária tem a função de reduzir blocos de 300 - 100 mm para 100-38 mm, e a britagem terciária tem a função de produzir agregados em torno de 12 mm.

A fim de otimizar a operação, uma peneira vibratória é instalada podendo ou não estar em circuito fechado.

Já a britagem terciária em uma planta típica do processamento mineral produz o produto final da etapa da britagem. A alimentação é em torno de 37 mm e o produto em torno de 12mm. A redução máxima é de 3:1. (Chaves, 2003). Nesta fase da britagem, o fechamento do circuito é obrigatório.

Tipicamente, para a britagem secundária e terciária se utiliza britadores da família dos giratórios: os britadores cônicos. Porém, devido à variabilidade de minérios existentes, outros britadores vêm sendo utilizados como o HPGR, impactores verticais e moinhos SAG apresentando, para algumas aplicações, ganhos financeiros e de produtividade.

Segundo Wills (2006) diferentemente da britagem primária, a instrumentação na britagem secundária e terciária é utilizada para controle do processo de forma a maximizar o produto da britagem para uma específica granulometria. Somente 3 (três) variáveis podem ser ajustadas nos britadores:

1. Taxa de alimentação;
2. Abertura do britador;
3. Tamanho da alimentação.

Quando o propósito da planta de britagem é gerar um produto para a moagem, o principal objetivo do sistema de controle é garantir uma taxa de alimentação de material britado adequado para a moagem.

Além disso, quando há a necessidade de homogeneizar o material britado para alimentar a usina de beneficiamento, as pilhas de homogeneização precisam ser construídas após a última etapa da britagem.

Wills (2006) considera importante para cada uma das etapas de britagem convergir o oversize da peneira e a carga circulante em um silo ou pilha para permitir uma alimentação mais homogênea e regular, aumentando a eficiência da britagem. Dessa

maneira, o circuito fica mais apto a ser controlado automaticamente a fim de manter a maior eficiência de britagem.

3.2.2.1 Britadores Cônicos

A Figura 10 apresenta um modelo esquemático de britador cônico.

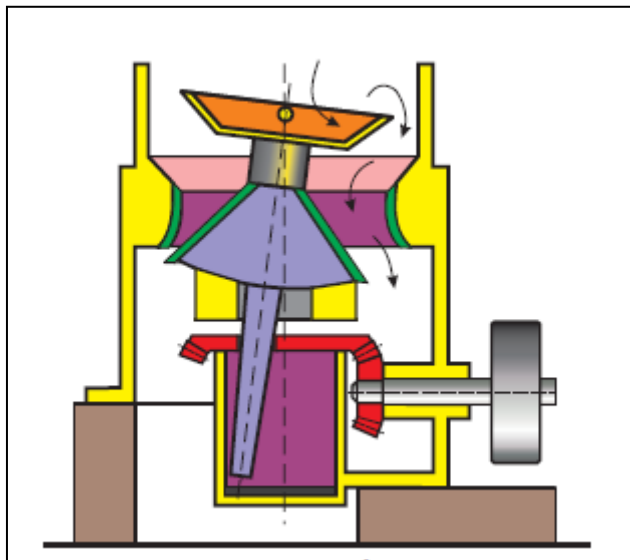


Figura 10- Britador Cônico
Fonte: Metso, 2005

Segundo Mullar, et al.(2002) a grande diferença entre os britadores giratórios e cônicos são que esses trabalham em velocidades mais altas e são mais longos.

Nos britadores cônicos utilizados para a britagem secundária e terciária, a altura do cone é reduzida em relação ao diâmetro da base e o manto fecha-se no topo permitindo melhor aproveitamento do volume da câmara. (Chaves, 2003). Assim como no giratório, os cônicos também devem trabalhar afogados.

A câmara pode ser para grossos, médios e finos, permitindo variar a distribuição granulométrica do produto de britagem. Britadores cônicos que atuam na britagem secundária são chamados *standards*, já os britadores que atuam na britagem terciária são mais curtos e de câmara mais fechada são chamados *short head*.

3.2.2.2 HPGR (High pressure grinding rolls)

Este tipo de britador, da família dos britadores de rolos, trabalha em velocidade baixa e são usadas principalmente no lugar da sequência Britagem 3ª → moinho de barras para alimentar o moinho de bolas. (Mullar, Halbe e Barrat, 2002).

A Figura 11 e Figura 12 apresentam um modelo do HPGR e o mecanismo de cominuição respectivamente.

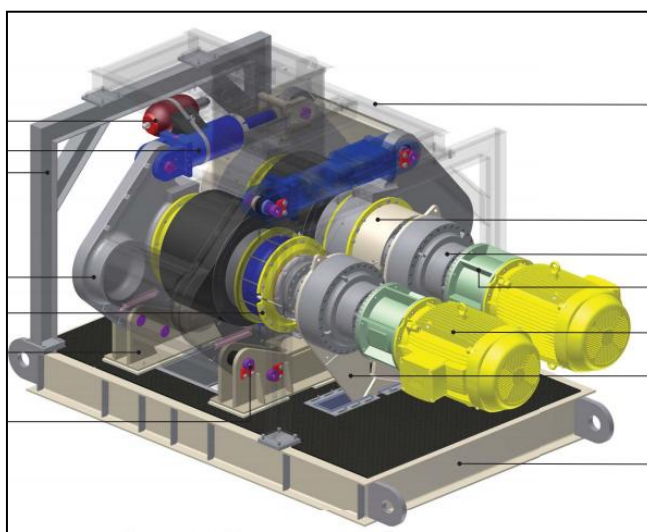


Figura 11- Britador HPGR
Fonte: Metso, 2005

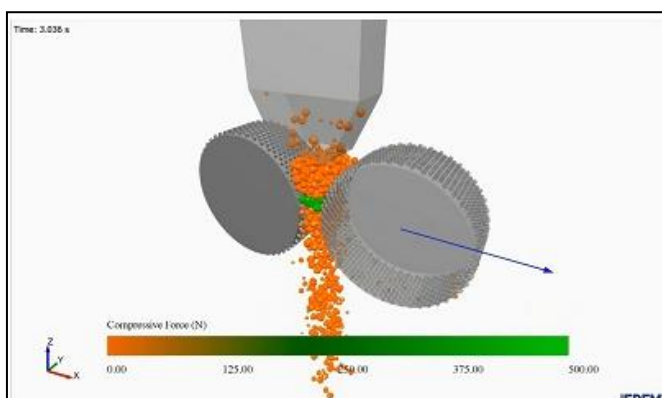


Figura 12- Mecanismo de cominuição HPGR
Fonte: <http://www.dem-solutions.com/>

Metso (2005) descreve: “os HPGRs utilizam dois rolos rotativos que giram em sentidos opostos – um fixo e um móvel – o que assegura a britagem de modo efetivo. Cilindros

hidráulicos aplicam uma elevada pressão no sistema, causando a cominuição inter-partículas conforme a alimentação passa entre os dois rolos. O princípio básico de operação por trás dos HPGRs faz deles muito eficiente energeticamente: a alimentação é introduzida na zona de britagem, onde uma alta pressão é aplicada a camada de material de uma maneira altamente controlada.”.

Mullar, et al.(2002), afirmam que o uso desse modelo de britadores no processamento de diamantes é altamente eficiente devido à habilidade de britar sem danificar o diamante, ou seja, criam microfissuras que são muito importantes para o processamento seguinte. Ele também é usado no processamento de ouro uma vez que as microfissuras causadas pelos rolos favorecem a cianetação no processo de lixiviação. No processamento de minério de ferro, o HPGR vem substituindo o moinho SAG para alimentar o moinho de bolas.

Uma grande vantagem do HPGR frente aos britadores cônicos é que apenas 1 (um) britador HPGR equivale a um múltiplos de britadores cônicos. Adicionando a isso, o HPGR gera uma maior quantidade de finos garantindo uma capacidade maior da moagem de bolas e também uma diminuição do WI do material devido às microfissuras geradas. Esses dois fatos garantem assim uma diminuição do gasto energético do processo e, conseqüentemente uma redução de capital e gastos operacionais. (Mullar, et al.2002).

3.2.2.3 Impactores Verticais

Este tipo de britador mencionado no item 3.2.1.3 dependendo do modelo, é utilizado na britagem 3ª e 4ª. O impactor vertical (conhecido como Barmac) é um exemplo de modelo de britador terciário.

O britador Barmac é diferenciado pela sua condição peculiar de britagem. Enquanto a maioria dos britadores usam peças metálicas para triturar o material, o britador Barmac utiliza o material que alimenta a própria máquina para triturar a si mesma, ou seja: semi-autógeno, produzindo um material que apresenta característica mais cúbica do que lamelar. (Honório, 2010).

A Figura 13 e Figura 14 representam o modelo do britador e seu mecanismo de cominuição respectivamente.

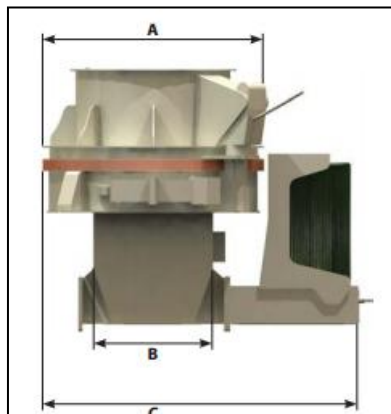


Figura 13- Impactor Barmac

Fonte: <http://www.metso.com>

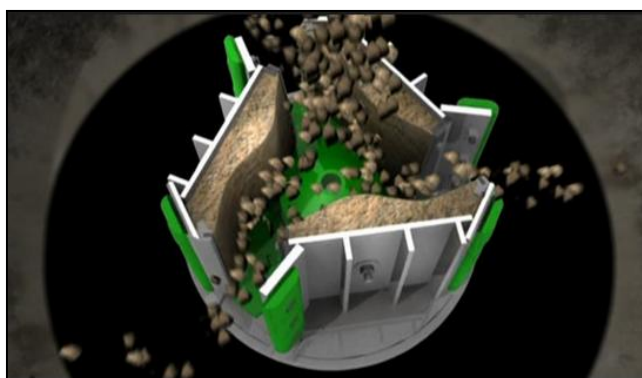


Figura 14- Impactor Barmac- Mecanismo de cominuição

Fonte: <http://www.metso.com>

Contrariamente ao britador impactor para a britagem primária, o Barmac pode ser alimentado de material abrasivo e, uma grande vantagem frente aos britadores convencionais é que a umidade não é um fator tão crítico segundo Chaves (2003); o material pode conter umidade de até 8%.

Este tipo de britador garante condições de ajuste de granulometria do produto, maximizando ou minimizando a produção de finos de acordo com as necessidades.

Sua limitação está no elevado consumo energético. Segundo Chaves (2003), o investimento em um equipamento deste tipo é cerca de 40-50% do britador cônico de

capacidade similar. Os custos operacionais acabam sendo semelhantes, pois, embora o desgaste seja menor, o consumo de energia é maior.

3.2.3 Britagem Quaternária

Quando um produto muito fino é requerido nas etapas seguintes à britagem, a britagem quaternária é necessária. Segundo Chaves (2003), os britadores quaternários apresentam características mais parecidas com moinhos do que propriamente tido com britadores. Britadores cônicos e britadores de impacto verticais são utilizados nessa etapa. (Mullar, et al.2002).

No caso de britadores cônicos, Chaves (2003) detalha: “ a altura do cone é ainda mais diminuída em relação ao diâmetro da base. A câmara tem seu desenho modificado, ficando mais larga que nos modelos anteriores. Ele trabalha sempre afogado e a redução de tamanho da-se por atrito partícula contra partícula e não pelo esmagamento da partícula entre manto e côncavo. Trabalhando assim como moinhos (moagem por atrição) e competem com os moinhos de barras na faixa de utilização.”

Segundo Mullar, et al.(2002), a britagem quaternária consegue garantir um produto com granulometria de até 800µm.

3.3 Seleção dos Britadores

A seleção dos britadores adequados para cada aplicação é influenciado por fatores que antecedem a britagem (*upstream*) como, por exemplo, as atividades da mina e fatores posteriores (*downstream*) como a moagem e lixiviação em pilha.

Mullar, et al.(2002) consideram os seguintes fatores que afetam a seleção (tamanho e tipo) de britadores:

1. Vazão e período de alimentação

Este fator é a base para definir a rota de processo e o tamanho dos britadores. A partir dessa informação, o tamanho, tipo, número de estágios e britadores por estágio pode ser identificado.

Circuitos de britagem apresentam normalmente efetividade 75-85%, dependendo da complexidade do circuito. Esta efetividade, que é o tempo que o circuito de britagem está em operação, é influenciada por: manutenção preventiva, danos mecânicos nos britadores e problemas com equipamentos auxiliares como correias transportadoras, chutes e peneiras.

2. Top size

A seleção do britador é também baseada na maior granulometria da alimentação (top size) que a Britagem espera receber da mina. Quanto menor o britador, menor a dimensão da alimentação que pode ser alimentado na câmara de britagem.

3. Granulometria da alimentação

Análise granulométrica da alimentação é a primeira análise a se fazer uma vez que a proporção de finos influenciará na necessidade do escalpe e de uma etapa de peneiramento depois da britagem 1^a.

4. Granulometria do produto final

A granulometria do produto define a quantidade de estágios que será necessária para a etapa de britagem. Mullar, et al.(2002) citam os seguintes exemplos:

a) para a alimentação de um moinho SAG é necessário uma alimentação grossa de 150mm havendo talvez, a necessidade de apenas 1 (um) estágio de britagem.

b) para uma pequena alimentação em um circuito de moagem barra-bola ou somente bola, é necessário uma alimentação de 15 mm que pode ser projetado por 2

(dois) estágios de britagem utilizando um britador de mandíbulas na britagem 1^a e um britador cônico em circuito fechado com uma peneira vibratória.

c) para uma alimentação maior, será necessário 3 (três) estágios de britagem com o 3º estágio utilizando um *short head* para produzir uma granulometria de 15mm.

d) para a necessidade de uma granulometria mais fina, um 4º estágio é necessário permitindo um aumento da ton/h a menor custo se comparado com este aumento de tonelagem pelo aumento da capacidade do moinho. Porém, é importante ressaltar que a realização de ensaios é essencial para uma definição correta.

5. Características do minério

Existem muitas características do minério que devem ser consideradas para a seleção e dimensionamento do circuito de britagem. São elas:

a) dureza: materiais duros com uma quantidade mínima de finos podem ser processados em um circuito de típico de britagem (giratório/mandíbula→cônico) com sucesso. Já materiais mais “macios” com uma quantidade maior de finos ou umidade, devem ser processados em britadores de rolos e impactores.

b) abrasividade: é quantificado através de um índice que indica o desgaste do revestimento dos britadores. Conforme Wills (2006), a sílica é o padrão de material abrasivo. Recomenda-se o uso de britadores de 2 (dois) eixos para teores altos de sílica e, sílica superior a 15% é proibido o uso de britadores de impacto. Segundo Galery (2014), o valor para minérios de abrasividade alta é de >0,5; abrasividade média : 0,2-0,4 e não abrasivos <0,1 (calcários e dolomitas).

c) características mineralógicas e umidade: materiais com grande quantidade de umidade (> 8-10%) e/ou argilominerais diminuem a efetividade do britador devido a horas a mais de limpeza/manutenção pelo empastamento e entupimento de britadores que apresentam essas características. No caso de argilominerais é importante fazer um peneiramento a úmido antes da britagem para eliminar os finos de argila. Segundo Mullar, et al.(2002), o moinho SAG foi desenvolvido para alimentação de materiais

argilosos que impedem a multiplicação de vários estágios de britagem devido a problemas que são causados nos britadores, chutes e peneiras pela presença de argila.

6. Condições climáticas

Se a planta de britagem é localizada em uma região de clima seco, esta pode ser instalada em ambiente aberto. Em contrapartida, se o clima da região for muito úmido, a planta deverá ser instalada em um ambiente coberto. Dependendo do tipo de minério, em regiões muito quentes, a britagem pode ser um problema. O capital investido é muito alto quando o circuito de britagem tiver que ser abrigado. Prédios fechados têm que ser ventilados e também uma grande de instalação de sistema de abatimento de pó.

7. Processo seguinte

Se a etapa seguinte for uma lixiviação em pilhas, o britador deve gerar um produto com granulometria ótima para a recuperação do minério, ou seja, o minério após a britagem deverá estar liberado. Se a etapa seguinte for moagem, o tipo de circuito de moagem irá influenciar no número de estágios de britagem.

8. Aplicações

Tipicamente, um circuito de britagem em processamento mineral terá de 1 (um) a 3 (estágios). Porém, como já foi mencionado, existem alguns casos em que se necessita de um 4º estágio de britagem para se obter uma granulometria mais fina.

3.4 Dimensionamento de Britadores- Método Convencional

Neste presente trabalho o dimensionamento dos principais britadores utilizados nos circuitos de britagem serão baseados principalmente nos seguintes livros “Manual de Britagem da Metso” (2005) e “Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control” (2002).

Segundo Mullar, et al.(2002), para selecionar um britador alguns critérios devem ser questionados e avaliados. Dentre eles se destacam:

1. Qual a granulometria do produto final que se deseja?
2. Quais são as características do minério a ser britado?
3. Qual o top size esperado?
4. Qual a capacidade máxima do britador e qual será a produção máxima t/h da mina?
5. O britador selecionado está adequado ao layout da planta de britagem?
6. O britador será para operação em mina a céu aberto?
7. Quanto o britador selecionado resiste ao desgaste abrasivo?

3.4.1 Seleção dos tipos de britadores primários

De acordo com Mullar, et al.(2002):

→ o tipo de minério determina o tipo de britador;

→ a capacidade da planta determina o tamanho do britador.

Para uma seleção rápida ou um passo inicial de qual tipo de britador primário seria o mais indicado independente do fornecedor, Mullar, et al.(2002) resumiram em quadros os britadores que melhor se adéquam às características do minério.

1. Capacidade

Tabela 1- Britador Primário em função da capacidade

SELEÇÃO BRITADOR PRIMÁRIO EM FUNÇÃO DA CAPACIDADE- MTPH					
MTPH	1500	3000	6000	9000	12000
Giratório	////////////////////				
Mandíbulas- 2 eixos	////////				
Mandíbulas- 1 eixos	////////				
Sizer	////////////////////				
Impacto	////////				

Observa-se que, como já discutido nos itens anteriores, o britador giratório e o *sizer* são os britadores que apresentam maior capacidade sendo o primeiro, destinado para materiais pouco/não argilosos e o segundo para materiais argilosos.

2. Top Size

Tabela 2- Britador Primário em função do top size

SELEÇÃO BRITADOR PRIMÁRIO EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA DO ROM					
mm	500	1000	1500	2000	2500
Giratório	////////////////////				
Mandíbulas- 2 eixos	////////////////////				
Mandíbulas- 1 eixos	////////////////////				
Sizer	////////////////////				
Impacto	////////////////////				

Observa-se que o maior top size capaz de alimentar tanto o britador giratório quanto o britador de mandíbulas é o mesmo, o que mostra que este não é um fator determinístico na escolha de um dos dois modelos. O britador *sizer* é capaz de receber a maior granulometria de ROM; na faixa de 2000 mm.

3. Granulometria do produto

Tabela 3- Britador Primário em função da granulometria do produto

SELEÇÃO BRITADOR PRIMÁRIO EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA DO PRODUTO				
mm	100	200	300	400
Giratório	////////////////////			
Mandíbulas- 2 eixos	////////////////////			
Mandíbulas- 1 eixos	////////////////////			
Sizer	////////////////////			
Impacto	////////////////////			

O britador de mandíbula de um e dois eixos produzem um produto com uma quantidade maior de finos em comparação com o giratório. Como já comentado no item 3.2.1.3 o britador de impacto produz uma quantidade de finos.

4. Argilominerais

Tabela 4- Britador Primário em função da mineralogia

SELEÇÃO BRITADOR PRIMÁRIO EM FUNÇÃO DA PRESENÇA DE ARGILOMINERAIS					
	péssimo	fraco	bom	muito bom	excelente
Giratório	////////				
Mandíbulas- 2 eixos	////////				
Mandíbulas- 1 eixos	/////				
Sizer	//////////				
Impacto	N/A				

Como já mencionado, minérios com características de argilominerais representam uma grande dificuldade para a maioria dos britadores primários. Pelo efeito de compressão, o minério argiloso ocupa uma maior parte da câmara de britagem (fenômeno de empastamento) impedindo que o minério britado desça por gravidade, prejudicando todo o processo do britador.

Observa-se que somente o Sizer é o único que trabalha com tranquilidade com este tipo de material. Este britador contém um raspador localizado entre os dentes, mantendo-os sempre limpos e evitando o processo acima descrito.

5. Abrasividade

Tabela 5- Britador Primário em função da abrasividade

SELEÇÃO BRITADOR PRIMÁRIO EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE ABRASIVIDADE					
BURBANK	0	800	16000	24000	32000
Giratório	////////////////////////////////////				
Mandíbulas- 2 eixos	////////////////////////////////////				
Mandíbulas- 1 eixos	////////				
Sizer	////////				
Impacto	/////				

Somente o britador giratório e mandíbula de dois eixos são capazes de britar materiais muito abrasivos. Quando o minério não é abrasivo, nota-se que por esse critério (abrasividade), qualquer um dos britadores pode ser selecionado. O índice de abrasividade utilizado foi baseado no teste Burbank, que é um método padrão de comparação da abrasividade relativa de rochas, minerais e minérios. (Handbook of Crushing, 1995).

6. Plantas móveis

Tabela 6- Britador Primário em função da mobilidade da planta

SELEÇÃO BRITADOR PRIMÁRIO EM FUNÇÃO DA UTILIZAÇÃO EM PLANTAS MÓVEIS					
	péssimo	fraco	bom	muito bom	excelente
Giratório				////////	
Mandíbulas- 2 eixos			////////		
Mandíbulas- 1 eixos				////////	
Sizer					//////////
Impacto				////////	

Observa-se que em se tratando de plantas móveis não há restrição com nenhum britador.

Para um dimensionamento mais específico, em que se avalia não apenas o tipo de britador, mas também o modelo, Chaves (2003) definiu os passos para o dimensionamento. Esses passos serão os mesmos para se definir os britadores secundários e terciários.

Como o objetivo desse trabalho será avaliar a modelagem feita pelo software da Metso, o Manual da Metso (2005) será usado como referência para a escolha dos modelos. Porém tendo a noção do tamanho de cada britador e conhecendo as características do minério, modelos de outros fabricantes podem ser definidos também.

De acordo com Chaves (2003), a escolha de um britador para um dado serviço deve atender uma série de exigências, cada qual independente das demais.

1. Condição de recepção: o britador deve ter um gape suficientemente grande para deixar passar o fragmento máximo da alimentação, de modo a entrar na câmara numa posição em que haja condição de ser britado. Assim, esta condição de recepção é traduzida por:

$$\text{Equação 1:} \quad Gape = \frac{\text{tamanho da partícula}}{f_s}$$

f_s - fator de segurança com valor definido entre 0,8-0,85.

2. Condição de processo: o britador deve gerar a distribuição granulométrica desejada pelo processo, trabalhando com um APA (abertura da posição aberta) adequado. Porém é importante analisar que cada britador tem uma série limitada de regulagens e é preciso verificar se ele pode operar na abertura desejada. Britadores que trabalham com aberturas de descarga muito fechadas causam um desgaste acentuado da extremidade inferior das mandíbulas, cones e mantos. (Chaves, 2003). Assim, é essencial que se escolha um britador que tenha flexibilidade para abrir ou fechar em relação à abertura desejada.
3. Capacidade: de acordo com Gonçalves (2013), devido à complexividade dos britadores de mandíbulas e giratórios, não há uma fórmula exata que dê a capacidade real deles. De maneira simplificada, os cálculos de capacidade são feitos baseados somente na área de descarga. Alguns métodos são usados para definir essa capacidade como, por exemplo: método Taggart, método de Giesecking, método de Hersam, método de Broman, etc.

O método Taggart, método este que será usado nesse trabalho, permite efetuar estimativas rápidas da capacidade dos britadores de mandíbulas, com base na medida da boca de alimentação (gape) e na abertura de descarga, ou seja, a área de descarga do material (Gonçalves, 2013), através da seguinte fórmula:

Equação 2: $Capacidade = 0,0845 \times L \times S$

Capacidade= t/h

L= Comprimento da boca de alimentação paralela ao plano da mandíbula fixa (cm).

S= afastamento máximo de abertura de descarga (cm).

A Figura 15 mostra um diagrama esquemático dos parâmetros da fórmula de Taggart.

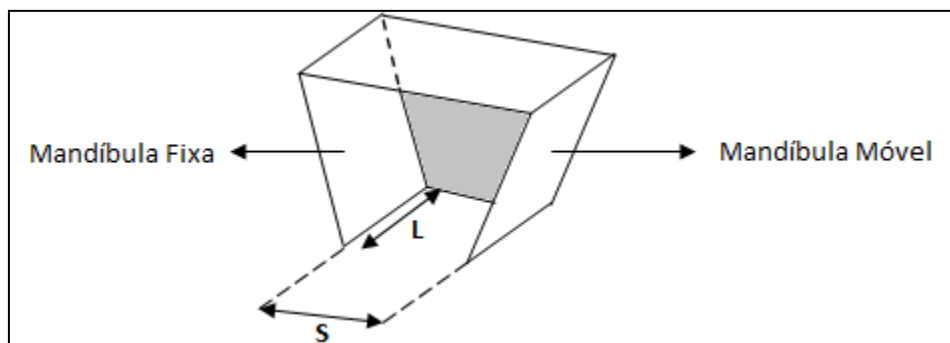


Figura 15- Diagrama das mandíbulas de um britador
Fonte: Gonçalves (2013).

Essa capacidade já é definida pelos fabricantes para cada modelo de Britador. Porém, Chaves (2003) considera que essas capacidades fornecidas pelos catálogos são inferiores à realidade em cerca de até 25%. Além disso, fatores como densidade do minério a ser britado, w_i , distribuição granulométrica da alimentação e umidade interferem na capacidade também como será visto adiante.

Taggart estabeleceu também um critério para optar por britadores de mandíbulas ou giratórios. (Chaves, 2003).

Equação 3:
$$X = \frac{\text{vazão} \left(\frac{t}{h} \right)}{(\text{gape em polegadas})^2}$$

Segundo Chaves (2003), se $X = 0,115$ deve-se adotar britador giratório caso contrário, adota-se de mandíbulas.

Como esses três critérios têm que ser atendidos independentemente, muitas vezes ocorre situações em que a capacidade instalada seja superior a capacidade necessária. Mas às vezes, é a única maneira de os três critérios serem atendidos.

3.4.1.1 Britador de Mandíbulas

Definido de acordo com o método de Taggart que o britador primário será o de mandíbulas, a planilha que define o modelo e tipo de britador primário foi dividida em

partes para o melhor entendimento. Os dados apresentados são meramente ilustrativos para dar mais veracidade à planilha.

Parte 1: Dados de alimentação

Tabela 7: Dados de alimentação

EQUIPAMENTO : BRITADOR DE MANDÍBULA		
Projeto:		
Fluxograma:		
Dados da Alimentação		Unidades
Minério		
Produção anual	10.000	t/ano
Densidade Específica	2,7	t/m ³
Densidade Aparente	1,6	t/m ³
Umidade	4	%
Wi	16,7	kWh/t
Crushability		%
Abrasividade (Ai)	0,02	-
Top Size	900	mm
F80	450	mm
P80	140	mm
<i>Distribuição Granulométrica</i>	-	
Malha(mm)	% passante	
900	100	
750	98,3	
600	93,7	
500	87,3	
400	76,7	
300	56,5	
200	27,5	
50	3,6	

Nesta etapa os seguintes dados deverão ser coletados/informados pela mina: produção anual (t/h), densidade específica (t/m³), densidade aparente (t/m³), umidade natural (%), abrasividade, top size (mm), F80 (mm), P80 (mm) e a distribuição granulométrica (% passante).

A densidade específica é a densidade real em que se considera que o minério ocupa os espaços vazios. A densidade aparente é a densidade em que se consideram os espaços vazios, apresentando o minério um volume maior e, conseqüentemente $d_{\text{específica}} > d_{\text{aparente}}$. A densidade aparente é utilizada no cálculo de pilhas, correias transportadoras, silos, etc. É importante ter consciência que essas densidades são densidades médias.

F80 é a granulometria da alimentação que 80% das partículas apresentam granulometria menor que a granulometria definida, já P80 é a granulometria do produto que se deseja que 80% das partículas sejam menores que a granulometria definida.

Abrasividade (A_i) definida através dos testes de britabilidade de Mâcon não afeta na seleção do britador, apenas nos custos operacionais do mesmo. (Bruno Workshop, 2014).

Parte 2: Dados de operação e característica da britagem

Tabela 8: Dados operacionais

Dados da Operação		
Fator de Projeto	1,2	
Horas de trabalho	18	h/dia
Dias de trabalho Disponíveis	365	d/ano
Disponibilidade Operacional	75%	%
Dias de trabalho efetivo	273,75	d/ano
Características da Britagem		
Tipo	PRIMÁRIA	
GAPE	1125	mm
Taggat	0,0000	
Tipo de Britador	MANDÍBULAS	
Partição para Britagem	60%	-
Alimentação da Britagem (Nominal)	0,91	t/h
Alimentação da Britagem (Projeto)	1,83	t/h

Como já foi mencionado no item 3.1, devido ao fato do britador primário ficar mais tempo ocioso, sua disponibilidade operacional é menor, entre 70-75%. Essa disponibilidade operacional vem do produto de dois fatores:

- ✓ Disponibilidade física: a relação entre as horas paradas por problemas nos equipamentos (mecânico, elétrico, hidráulico, etc.) e as horas programadas de trabalho. Este fator depende basicamente da qualidade dos equipamentos, da qualidade da manutenção e da operação e do regime de trabalho. A faixa usual de DF é de 85 – 90%. (Bruno Workshop, 2014).
- ✓ Utilização: é a relação entre as horas parado estando a planta disponível para o trabalho e as horas programadas de trabalho. As causas são muito variáveis: clima, falta de energia, engaiolamento (britador primário), falta de alimentação,

etc. O fator de utilização tem maior variabilidade. A faixa usual é de 80 – 90%, utilizando para a britagem primária 80% para a para rebritagem 90%.

De acordo com Chaves (2003), devido a essa ociosidade é necessário utilizar um fator de serviço/projeto de 1,5 para britadores primários. Porém, a Workshop Bruno (2014) considera fator de 1,2- 1,25; fator este que será considerado por ser mais próximo da prática.

Conhecendo o gape e o método de Taggart, se define o tipo de britador primário a ser utilizado.

O item 3.1 descreve a necessidade de escalpe para melhorar o processo de britagem quando o britador utilizado é o de mandíbulas. Assim, a partição representa o oversize da peneira de escalpe que será de fato a alimentação do britador.

Parte 3: Definição do modelo do Britador

Tabela 9: Modelo selecionado

Seleção do Britador		
Modelo		-
APA	203,2	mm
Capacidade do Britador- Tabelada	152	t/h
Capacidade do Britador- Real	125	t/h
A (Fator Densidade Aparente)	1,25	-
B (Fator <i>Work Index</i>)	0,8	-
C (Fator Tamanho de Alimentação)	0,82	-
D (Fator Umidade)	1	-
Fator de Redução	4	-
Potência	200	Kw
Peso Estimado	47,1	Ton

Após a definição pelo método de Taggart que o britador utilizado será o de Mandíbulas, a etapa seguinte será definir qual o modelo mais adequado para esta etapa de britagem. Como já mencionado, os modelos utilizados para este trabalho serão apenas modelos Metso.

A capacidade definida no item 3.4.1 é influenciada por 4 (quatro) fatores: densidade aparente, w_i , umidade e top size. Assim, a capacidade real do britador é a capacidade

tabelada, encontrada nos catálogos multiplicada pelos 4 (quatro) fatores. ANEXO A apresenta uma reprodução dos dados extraídos do Manual de Britagem da Metso (2005).

Assim:

Equação 4: $Q = Q_t \times A \times B \times C \times D$

Q- capacidade real.

Qt- capacidade tabelada.

Os modelos Metso estão representados pelas linhas C (britadores de 1 eixo), e britadores de 2 eixos (Blake). A Figura 16 representa os modelos da série C que são usualmente os mais comuns.

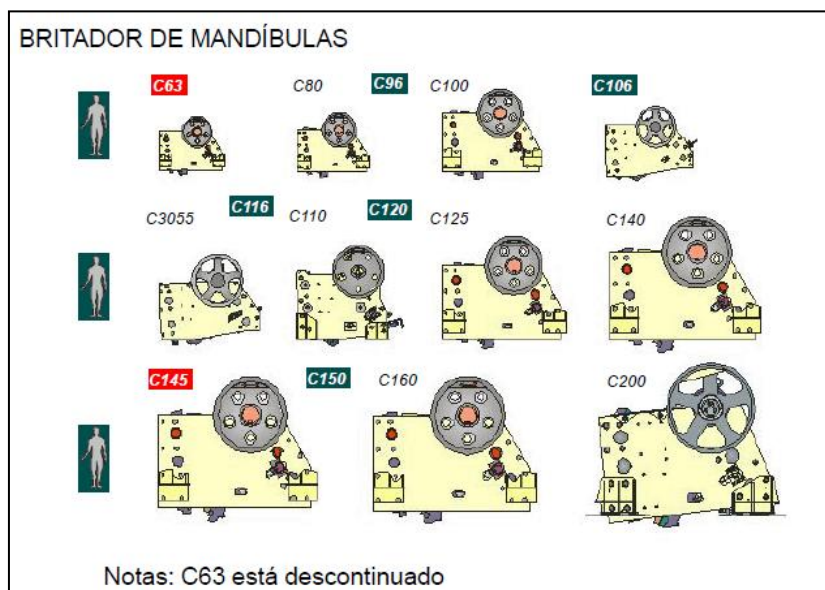
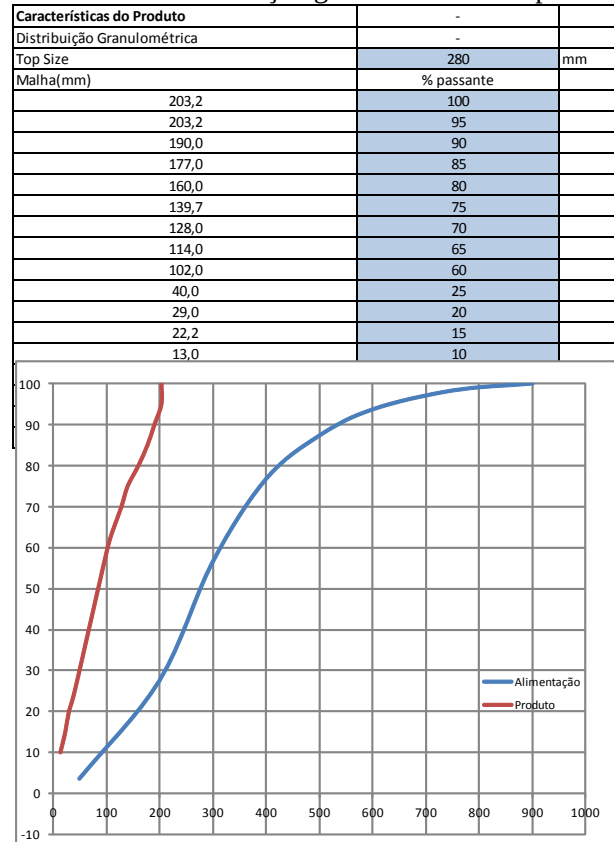


Figura 16- Modelos Metso- Linha C
Fonte: Bruno Workshop, 2014.

Parte 4: Curva do produto

Tabela 10: Distribuição granulométrica do produto



A granulometria do produto final foi definida através do modelo empírico das curvas de fragmentatriz de acordo com as seguintes fórmulas: (King, 2001).

Equação 5:
$$K_u = \left[\ln \left(\frac{1}{1 - (P_T / 100)} \right) \right]^{-0,67}$$

Em que P_T refere-se à característica do produto de acordo com a Tabela 11:

Tabela 11: Definição de P_T

Work Index kWh/t	Característica do Material	Tipo de Produto P_T
5-10	Macio	90
	Macio esponjoso	95
10-13	Mediano	90
	Mediano esponjoso	85
>13	Brita dura	90
	Duro e tenaz	82
	Duro lamelar	75

Fonte: King, 2001

Equação 6: $K_L = 0,5 \times [\ln(\frac{1}{1-P_b})]^{-1,18}$

Equação 7: $P_b = 1 - \exp[-(\frac{0,5}{K_u})]^{1,5}$

Equação 8: $r_i = \frac{D_i}{OSS}$

Equação 9: $P(D) = 1 - \exp[-(\frac{r_i}{K_u})]^{1,5}$ para $r_i > 0,5$

Equação 10: $P(D) = 1 - \exp[-(\frac{r_i}{K_L})]^{0,85}$ para $r_i < 0,5$

Onde:

P(D): distribuição granulométrica do produto.

3.4.1.2 Britador Giratório

O dimensionamento do britador giratório segue os mesmos passos do britador de mandíbulas com suas devidas características mencionadas no item 3.2.1.2 como, por exemplo, a não necessidade de escalpe anterior.

Os modelos Metso são representados pelos modelos MK. A Figura 17 apresenta um exemplo de britador MK.



Figura 17- Britador Giratório MK 50-65
Fonte: Metso, 2005

3.4.2 Britagem Secundária e Terciária

No caso de britadores secundários e terciários, o método Taggart não é utilizado, sendo necessário saber apenas as características do material, a taxa de alimentação e a granulometria do produto desejado. Normalmente os britadores são dimensionados junto com as peneiras uma vez que sua alimentação é na maioria das vezes o oversize da peneira. No caso de um circuito de britagem tradicional os modelos Metso HP são os mais utilizados e se diferem pela capacidade, pelos limites (máximo e mínimo) de ajuste do APF, e pela característica da câmara. A Figura 18 apresenta um exemplo de um britador modelo HP.



Figura 18- Britador Cônico: modelo HP
Fonte: Metso, 2005

3.5 Peneiramento

Chaves (2003) define o peneiramento como “operação de separação de uma população de partículas em duas frações de tamanhos diferentes, mediante a sua apresentação a um gabarito de abertura fixa e pré-determinada. Cada partícula tem apenas a possibilidade de passar ou de ficar retida. Os dois produtos são nomeados como *oversize* ou retido e *undersize* ou passante.”. A Figura 19 apresenta um esquema simples do processo de peneiramento.

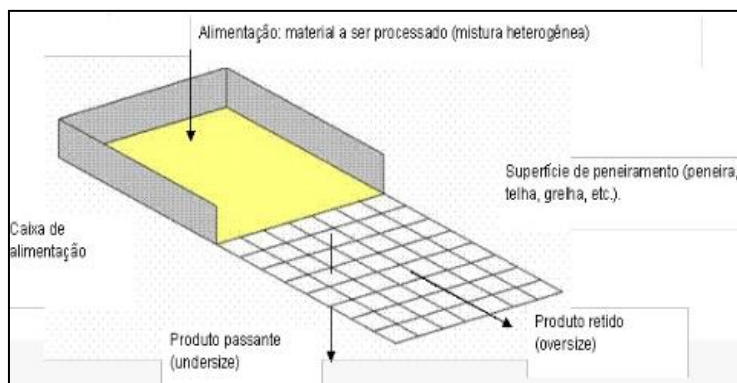


Figura 19- Sistema de peneiramento
Fonte: Metso (2005)

Os equipamentos capazes de fazer este tipo de serviço são muitos e variados, podendo ser classificada como peneiras fixas, vibratórias inclinadas, vibratórias horizontais, grelhas e peneiras rotativas.

O peneiramento pode ser feito a seco, quando o material é alimentado na peneira contendo apenas a sua umidade natural, ou feito a úmido quando o material é alimentado na forma de polpa ou quando recebe água proveniente dos sprays de água dispostos sobre os decks de peneiramento como apresentado na Figura 20.



Figura 20- Sistema de aspersão de água
Fonte: Metso, Handbook of Crushing, 2011

Os principais componentes das peneiras e do sistema de peneiramento são: estrutura da peneira, tela de peneiramento, sistema vibratório (quando existir), sistema de amortecimento, caixa de alimentação, chute, coletor de poeiras e correia transportadora.

O elemento principal de uma peneira é que exige uma maior atenção para atingir uma capacidade e eficiência ótima é a superfície de peneiramento, segundo Mullar, et al, (2002). É na superfície de peneiramento que ocorrem o mecanismo de classificação: estratificação e a separação propriamente dita. A superfície pode ser constituída por telas ou chapa perfurada.

Nas telas, o emaranhado com aberturas iguais podem ser feitas com arame (liga de aço, aço carbono, aço inox, etc), poliuretano, ou borracha natural. As telas de arame resistem a um elevado grau de abrasão e corrosão. No entanto, as telas em poliuretano apresentam também uma grande resistência e, quando o problema de entupimento é grave (partículas pegajosas e/ou argilosas) as telas em poliuretano são as mais adequadas. Outra vantagem das telas em poliuretanos é sua maior vida útil e uma maior facilidade de manutenção em comparação com as demais. (Mullar et al, 2002). As telas em poliuretano são largamente utilizadas para peneiramento de médios e finos. (Metso 2005).

Existem malhas quadradas e retangulares. Para Mullar, et al.(2002), as malhas retangulares apresentam maior área aberta e menor possibilidade do efeito conhecido como *blending* isto é: peneiras entopem pelas partículas sólidas afetando a eficiência de peneiramento. De acordo com Chaves (2003), nas malhas retangulares as laterais vibram e, desta forma, libertam as partículas presas, entupindo menos. Além disso, a porcentagem de área livre é maior, garantindo também uma maior capacidade de produção. Apesar disso, as malhas quadradas são as malhas de referência e as malhas mais utilizadas segundo Chaves (2003) uma vez que permite uma separação mais precisa para qualquer tamanho de malha em comparação com a retangular.

As chapas perfuradas são muito utilizadas no peneiramento de materiais grossos sendo utilizada no peneiramento primário e no primeiro deck das demais peneiras para reduzir o desgaste e os danos nos decks abaixo, que possuem abertura menor. São chamados de decks de alívio. Esses são mais caros, porém, apresentam maior resistência ao desgaste e menor efeito *blending*. Normalmente é recoberto por borracha para aumentar sua vida útil. (Mullar, et al.2002).

3.5.1 Mecanismo de peneiramento

De acordo com Chaves (2003), para ocorrer o processo de peneiramento uma peneira deve exercer três ações independentes e distintas sobre a população de partículas que é alimentada a ela.

1. Transportar as partículas de uma extremidade do deck até a outra.
2. Estratificar o leito de modo que as partículas maiores fiquem por cima e as menores por baixo garantindo a chance dessas partículas de se apresentarem à tela e passarem através dela.
3. Peneiramento propriamente dito.

Assim, na definição de uma peneira é necessário assegurar a capacidade de transporte de todas as partículas, o espaço suficiente para a acomodação do leito e um tempo suficiente para que as partículas finas se apresentem a tela e a atravessem.

3.5.1.1 Comportamento coletivo

A Figura 21 apresenta o comportamento coletivo das partículas em uma peneira considerada eficiente. (Chaves, 2003).

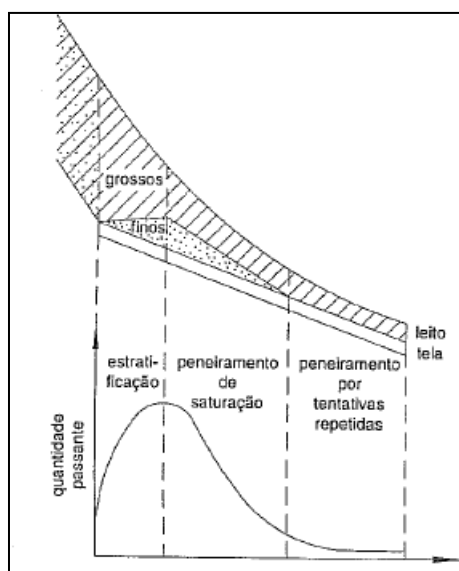


Figura 21- Comportamento coletivo
Fonte: Chaves, (2003)

O gráfico representa quantidade de partículas passantes por comprimento da peneira. No início, o leito encontra-se desordenado e logo em seguida estratifica-se, ou seja, as partículas finas começam a descer pela tela chegando a um valor máximo de partículas passantes. Com o tempo esse valor chega a um mínimo devido à pequena quantidade de partículas finas restantes. Essa etapa do máximo (estratificação plena) ao mínimo é conhecida como peneiramento de saturação. A última etapa conhecida como peneiramento por tentativas repetitivas são as partículas finas remanescentes no leito que tem de fazer repetitivas tentativas até conseguir atravessar a tela da peneira.

A partir dessa análise pode-se concluir que não existe um peneiramento de 100% de eficiência em uma situação real. Para que isso ocorra, a peneira teria que ser infinitamente comprida.

3.5.1.2 Comportamento individual

As partículas de tamanhos diferentes (diâmetro d), em relação à abertura da tela (a) apresentam comportamentos distintos. A Figura 22 apresenta 4 (quatro) situações do comportamento individual das partículas.

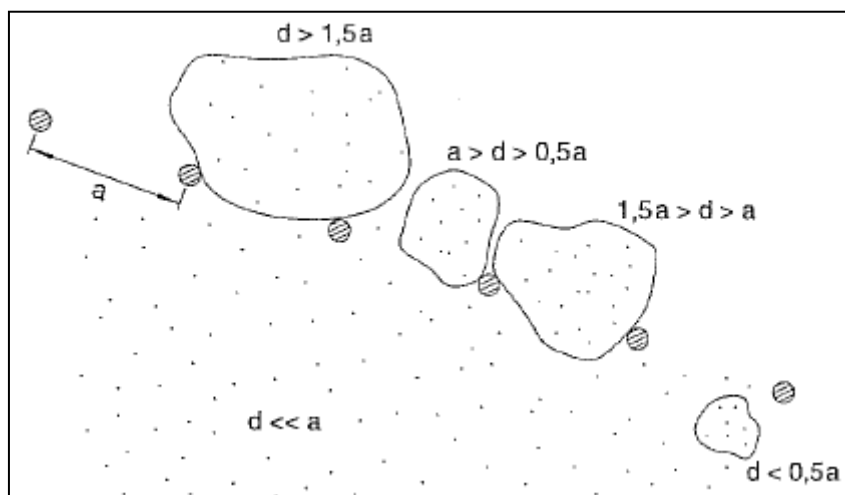


Figura 22- Comportamento individual
Fonte: Chaves, (2003)

$d > 1,5a$ – partículas com diâmetros 1,5 vezes maior que o tamanho da tela são encaminhadas diretamente para o oversize. Não acarretam problemas no peneiramento,

exceto se sua quantidade for grande. (Chaves, 2003). Nessa situação o uso do deck de alívio é muito importante, como já mencionado no item 3.5.

$1,5a > d > a$ – partículas com diâmetros nesse intervalo são encaminhadas diretamente para o oversize, porém, se a quantidade de partículas com diâmetro muito próximo de a existirem, por inúmeras tentativas de passar pela tela, estas podem ficar presas nas aberturas diminuindo dessa maneira, a capacidade de peneiramento.

$a > d > 0,5a$ – partículas conhecidas como *nearsize* segundo Mullar, et al, (2002). Esta faixa de tamanho que é a faixa crítica determina tanto a capacidade quanto a eficiência de peneiramento. (Chaves, 2003). Quanto maior for o comprimento da peneira maior é a eficiência, pois as partículas *nearsize* terão mais chances de atravessar a tela.

$d < 0,5a$ – partículas com este tamanho atravessam com tranquilidade a peneira e não comprometem o peneiramento.

$d \ll 0,5a$ – muitas partículas finas acabam se dividindo entre o undersize (sentido natural) e o oversize; devido à sua elevada área de superfície (elevada umidade) essas partículas podem se aderir às partículas maiores e as acompanharem.

3.5.2 Tipos de Peneiras

Mullar, et al.(2002), classifica o peneiramento em dois tipos:

1. Peneiramento grosso.
2. Peneiramento fino.

Para Mullar, et al.(2002), considera-se peneiramento grosso quando a abertura da tela da peneira for de no mínimo 4,75 mm (4 mesh).

São exemplos de peneiramento grosso:

1. Separação entre o undersize e o oversize da alimentação do britador primário. (Processo de Scalpe como discutido no item 3.1).
2. Circuito Fechado da Britagem (para britagens secundárias e terciárias como discutido nos itens 3.1 e 3.2.2).

Observa-se pelos exemplos citados acima que a etapa de britagem é composta apenas pelo processo de peneiramento grosso.

As seguintes peneiras são utilizadas para o peneiramento grosso:

- Grelhas (estáticas ou em movimento).
- Peneiras Vibratórias (Horizontal ou inclinada).
- Trommels.

3.5.2.1 Peneiras vibratórias

As peneiras vibratórias são as principais peneiras no processo de peneiramento grosso segundo Chaves (2003) e Mullar, et al.(2002). A Figura 23 apresenta um exemplo de peneira vibratória.



Figura 23- Peneira Vibratória inclinada.
Fonte: Metso, (2005).

As peneiras vibratórias são constituídas por um chassi robusto, apoiado em molas, um mecanismo acionador do movimento vibratório. Quando são peneiradas somente partículas grandes, é necessário revestir as paredes internas com placas de material resistentes a abrasão. Quando a população de partículas apresenta uma variedade de tamanho é necessário utilizar deck de alívio como discutido no item 3.5. Assim, essa chapa recebe todo o impacto e esforço mecânico das partículas maiores, protegendo e aliviando a tela do peneiramento. (Chaves, 2003).

As peneiras vibratórias podem ser inclinadas ou horizontais. As peneiras vibratórias inclinadas apresentam um movimento circular como apresentado na Figura 24.

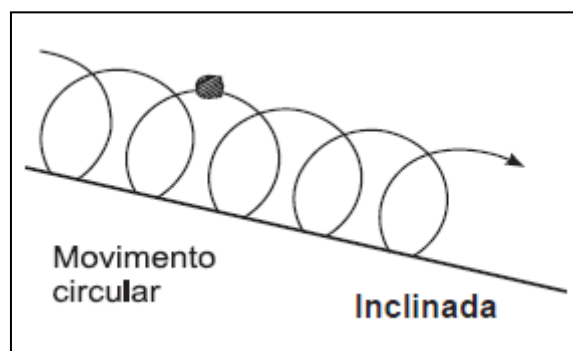


Figura 24- Movimento- Peneira Vibratória
Fonte: Metso, (2005).

Este movimento faz com que as partículas sejam lançadas para cima e para frente, de modo que a cada tentativa a partícula esteja em aberturas sucessivas. O movimento oscilatório garante a estratificação do conjunto de partículas como descrito no item 3.5.1, ou seja; as partículas maiores ficam por cima e as menores por baixo.

Com o objetivo de aumentar o tempo de residência do leito sobre o deck, aumentando assim a eficiência de peneiramento, a inclinação das peneiras é negativa, ou seja, o ponto de descarga tem cota superior ao do carregamento. (Metso, 2005).

A peneira é alimentada mediante um chute ou uma caixa de alimentação. Estes devem assegurar a perfeita distribuição do material sobre o deck.

A inclinação da peneira afeta vários parâmetros (Chaves, 2003):

1. Vazão: quanto mais inclinada maior a capacidade de alimentação.
2. Altura do leito: quanto maior a inclinação, menor será a camada de oversize, reduzindo assim o desgaste da tela.

3.5.2.2 Peneiras vibratórias horizontais

Também conhecidas como *Low Head*, as peneiras vibratórias horizontais têm um movimento vibratório retilíneo. A altura de voo imprimido à partícula é menor que na peneira inclinada, o que impede o seu uso em grandes problemas. (Chaves, 2003).

Segundo Wills (2006), do ponto de vista do processo, a capacidade de uma peneira horizontal é 40% maior que a de uma peneira vibratória de mesma área. Sua eficiência se encontra em faixas granulométricas bastante restritas 2 ½” a 1/8” a seco e 2 ½” a 48# a úmido. Fora dessa faixa a sua eficiência é muito baixa , o que garante uma diferente funcionalidade à peneira: equipamento desaguador.

A Figura 25 apresenta um exemplo de uma peneira do tipo *Low Head*.



Figura 25- Peneira Horizontal
Fonte: Metso, (2005).

3.5.2.3 Grelhas Vibratórias e Fixas

O peneiramento primário de materiais ROM envolve matacões que podem pesar algumas toneladas. Exigem, portanto, equipamentos extremamente robustos e, a eficiência passa a ser uma consideração secundária. (Chaves, 2003). A grelha apresenta a inclinação do deck mais acentuada para facilitar o rolamento dos blocos de grandes dimensões para frente. Como já foi mencionado no item 3.5, esse tipo de grelha é utilizada para a alimentação da britagem primária.

Para Wills (2006), o objetivo da instalação de uma grelha vibratória em um circuito de britagem é diferente do da instalação de uma peneira vibratória: não se deseja uma separação eficiente entre finos e grossos, mas apenas retirar uma pequena quantidade de finos que, devido apresentarem grande quantidade de umidade, a possibilidade de entupimento passa a ser maior. Assim, a eficiência não é uma consideração primordial sendo quantificada entre 60-70%. Esse tipo de peneiramento para a britagem primária é o que foi discutido no item 3.1 a respeito do scalpe.

As grelhas fixas são muito comuns para serem utilizadas junto das moegas para controle de alimentação da britagem primária. Normalmente se utiliza um rompedor hidráulico para diminuir granulometrias maiores de ROM para evitar o entupimento do britador.

3.5.3 Performance da peneira

Segundo Mullar, et al.(2002) existem várias maneiras de se medir a performance de uma peneira como capacidade nominal, eficiência de remoção do undersize no oversize e recuperação do undersize.

3.5.3.1 Capacidade nominal

A capacidade nominal se refere à tonelada de sólido que passa pela área de peneiramento por hora ($t/m^2.h$) pela abertura da malha (mm). Essa capacidade é baseada na probabilidade das partículas de undersize caírem nas aberturas antes de atingirem o final da peneira.

A Figura 26 apresenta o desempenho da peneira (%) de acordo com o percentual (%) da capacidade. Observa-se que quando se trabalha com 100% da capacidade a eficiência da peneira é de 90%, sendo esta o valor de peneiramento ótimo. Para se obter um percentual de 95% de peneiramento, o que, de acordo com a Figura 26 é a eficiência máxima, é necessário um aumento em torno de 20% da área de peneiramento. A eficiência decresce quando a peneira opera com uma capacidade abaixo de 75% devido às partículas undersize “saltarem” várias malhas sem a possibilidade de peneiramento. (Mullar, et al.(2002).

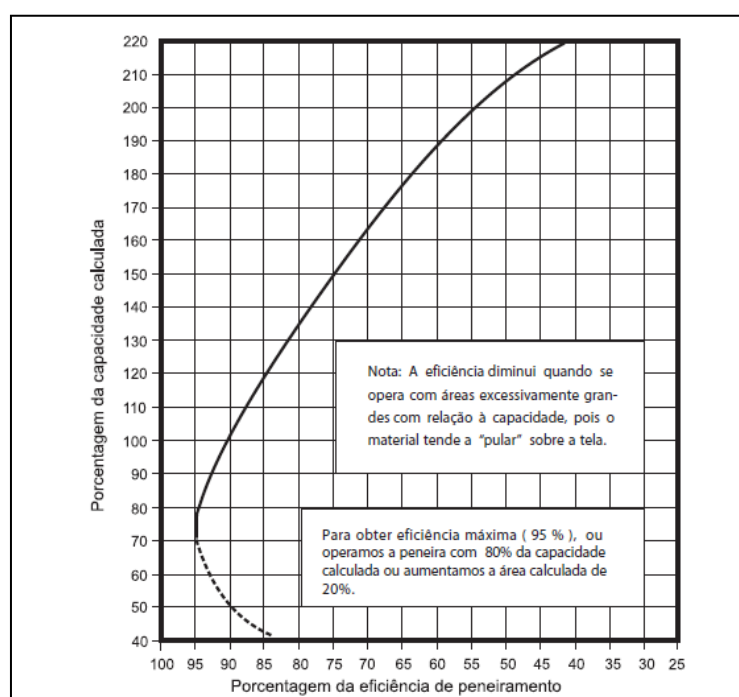


Figura 26- Capacidade X Eficiência
Fonte: Manual da Metso, (2005).

3.5.3.2 Eficiência de remoção do undersize contida no oversize- E_u

Segundo Mullar, et al.(2002), em uma operação de peneiramento, a corrente de oversize deveria conter mais de 95% de partículas maiores que a granulometria de corte. O cálculo de E_u representa como os finos se repartem em undersize o oversize. A equação abaixo apresenta o cálculo da eficiência E_u .

Equação 11:

$$E_u = \frac{F(1 - f_x)}{O} = (1 - O_x)$$

F- taxa de alimentação da peneira (t/h).

f_x - fração mássica de partículas da alimentação menores que a granulometria de corte.

O- taxa de oversize (t/h).

O_x - fração mássica de partículas do oversize menores que a granulometria de corte.

3.5.3.3 Eficiência de recuperação do undersize – R_u

Quando o undersize é a corrente que interessa, a medida da eficiência é a medida de transferência de partículas finas com granulometria menor que o corte para o undersize.

Ou seja: a recuperação dos finos da alimentação para a corrente de undersize. A equação abaixo apresenta o cálculo da eficiência R_u .

Equação 12:
$$R_u = \frac{U}{F \times f_x} = \frac{(f_x - o_x)}{f_x(1 - o_x)}$$

F- taxa de alimentação da peneira (t/h).

f_x - fração mássica de partículas da alimentação menores que a granulometria de corte.

U- taxa do undersize (t/h).

o_x - fração mássica de partículas do oversize menores que a granulometria de corte.

3.5.4 Influência das variáveis na performance da peneira.

Existem algumas variáveis tanto de projeto quanto operacionais que apresentam um grande impacto no desempenho das peneiras. Dentre elas se destacam:

Variáveis de projeto:

- Área de peneiramento;
- Tamanho da abertura e formato;
- Inclinação dos decks;
- Frequência.

Variáveis operacionais:

- Distribuição granulométrica;
- Granulometria de corte;
- % de sólidos;
- Profundidade do leito;
- Umidade do minério.

Área de peneiramento / Área aberta

A capacidade de uma peneira vibratória varia diretamente com a área de peneiramento. Para uma dada área, a capacidade é proporcional à largura enquanto a eficiência é proporcional ao comprimento da peneira. Em geral, segundo Chaves (2003), o comprimento da peneira é cerca de duas a três vezes a largura. Na prática, peneiras operam com baixa eficiência e alta capacidade.

A área aberta é escolhida para minimizar a ruptura da peneira. Dessa maneira, quando se emprega o arame, o diâmetro do arame deve garantir o máximo de área aberta com a resistência necessária para a aplicação. A área efetiva é menor que a área de peneiramento, porém os fabricantes consideram um fator de 10% para garantir essa igualdade. (Mullar, et al.2002).

Tamanho da abertura e inclinação

A capacidade de peneiramento diminui com a diminuição do tamanho da abertura. O efeito *Blending* discutido no item 3.5 se torna um problema maior à medida que a abertura diminui; particularmente com as partículas secas que apresentam características do tipo *near size* ou partículas com grande quantidade de umidade.

Segundo Mullar, et al.(2002), abaixo de 6# o peneiramento a seco não é mais apropriado.

De acordo com a Figura 27 o processo de separação real em peneiras vibratórias difere dos trabalhos realizados em laboratório. A inclinação da peneira e a trajetória do movimento de partículas diminuem a projeção (X) da área de passagem livre (A). Assim, para se conseguir um determinado corte, as aberturas da superfície de peneiramento deverão ser sempre um pouco maior que o tamanho de separação especificado.

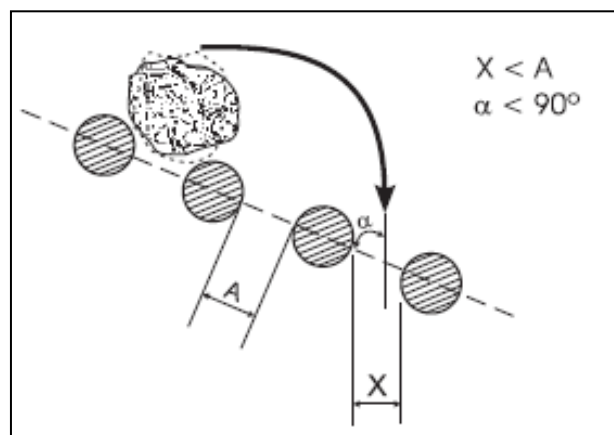


Figura 27- Movimento da partícula
Fonte: Metso, (2005).

Mullar, et al.(2002), definem a seguinte equação para o tamanho da abertura.

Equação 13:
$$X = 0,238 + 1,55X_s$$

X- abertura da malha

X_s - granulometria de corte.

Distribuição granulométrica

Para se obter altas capacidades de peneiramento é necessário expor uma grande quantidade de partículas finas e near size de forma máxima e partículas oversize reduzidas utilizando um deck de alívio. Grande variedade de proporção *near size* e oversize na corrente de alimentação irá influenciar a carga na peneira, comprometendo a eficiência. Dessa maneira, é desejável que a alimentação da peneira apresente uma distribuição granulométrica constante.

Profundidade do leito.

Quanto maior a taxa de alimentação maior é a espessura do leito. Existe uma espessura ótima em que a eficiência aumenta com a taxa de alimentação, passando por um máximo e depois reduzindo.

Para uma determinada taxa de alimentação, a largura da peneira é selecionada de forma a manter a profundidade do leito até o final da peneira. Chaves (2003) considera para um bom peneiramento as seguintes alturas máximas de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12: Altura do leito

densidade aparente (t/m ³)	altura máxima da camada
1,6	4 x a abertura da tela
1,6-0,8	3 x a abertura da tela
< 0,8	2,5 x a abertura da tela.

Fonte: Chaves (2003)

Chaves (2003) define a seguinte equação para a definição da espessura do leito:

Equação 14:
$$D = \frac{100T_f}{6S(W - 0,15)}$$

D- espessura do leito (mm);

T_f- Vazão volumétrica de oversize (m³/h)

W- largura da tela (m);

S- velocidade de escoamento do oversize que depende do tipo de peneira conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: Velocidade de escoamento do oversize

equipamento	inclinada			horizontal	
modelo	XH	SH	SH	LH	LH
abertura (")	> 1	<1	>1	>1	<1
rpm	750	800	800	800	800
S (m/min)	38	30	38	30	12

Fonte: Chaves (2003)

Umidade

Em um peneiramento a seco, partículas que apresentam uma umidade superficial cada vez maior, comprometem a operação de peneiramento até se tornar algo impossível. Segundo Mullar, et al.(2002), isto ocorre entre 5 a 8% de umidade. A Figura 28 representa o efeito da umidade sobre o peneiramento.

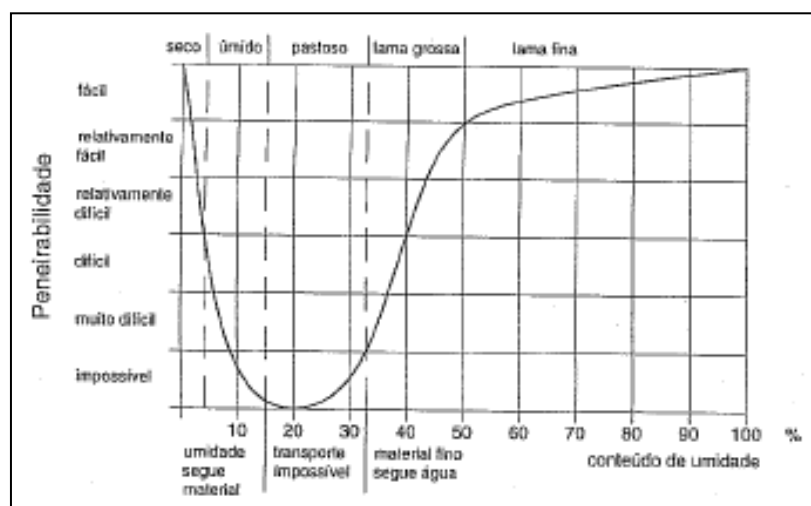


Figura 28- Peneiramento em função da umidade
Fonte: Chaves (2003)

Observa-se que o peneiramento volta a ser possível apenas com a presença de grande quantidade de água, ou seja, o peneiramento deve ser a úmido com o % de sólidos em torno de 40%.

No caso de partículas menores, em que apresentam grande área superficial, o peneiramento a úmido é o imperativo uma vez que essas tendem a se aglomerar diminuindo a eficiência de peneiramento.

3.6 Peneiramento de finos

Segundo Wills (2006), peneiramento de finos refere-se às partículas na faixa granulométrica entre 10 mm a 38 μm . (400 mesh).

As peneiras apresentam alta frequência e baixa amplitude de forma a desempenharem uma alta capacidade e alta eficiência. (Mullar, et.al, 2002).

3.6.1 Tipos de peneiras

1 deck com adição de água

A Figura 29 e Figura 30 apresentam um exemplo de uma peneira de 1 (um) deck com adição de água. Segundo Mullar, et al.(2002), este tipo de peneira tem o objetivo de atingir a máxima remoção de undersize existente no oversize. Trata-se de uma peneira de repolpagem.



Figura 29- Peneiramento fino- 1 deck
Fonte: Mullar, et al.(2002).

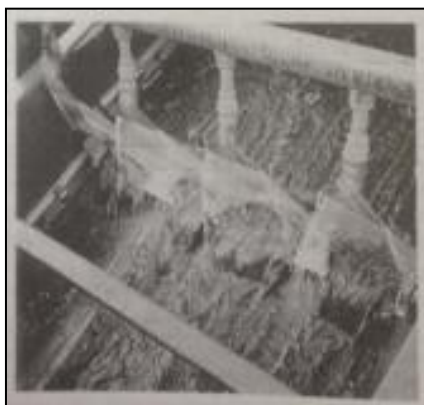


Figura 30- Adição de água
Fonte: Mullar, et al.(2002).

Múltiplos pontos de entrada

A Figura 31 e Figura 32 apresentam um exemplo da peneira de múltiplos decks. Estas se assemelham a um conjunto de 2 a 3 peneiras trabalhando em paralelo e realizam o mesmo processo.

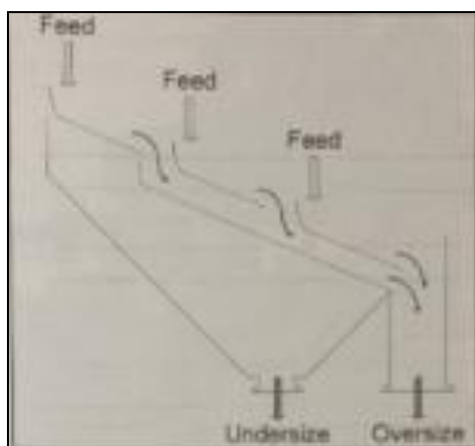


Figura 31- Esquema de uma peneira múltiplos estágios
Fonte: Mullar, et al.(2002).

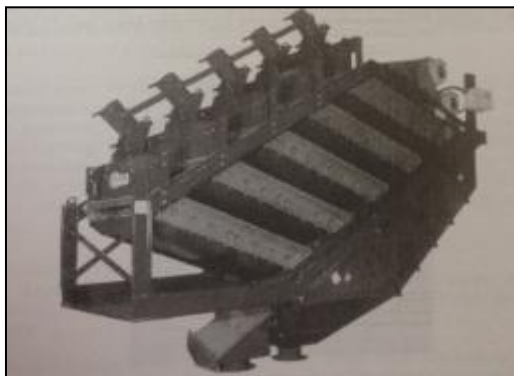


Figura 32- Esquema de uma peneira múltiplos estágios
Fonte: Mullar, et al.(2002).

Segundo Mullar, et al.(2002), essas peneiras consideradas de alta frequência apresentam um aumento de 50% - 125% na capacidade em comparação com uma peneira única semelhante. Elas são bastante utilizadas quando o objetivo é produzir um undersize com uma quantidade mínima de oversize e quando algumas partículas do undersize podem ser toleradas no oversize.

3.6.2 Utilização do peneiramento de finos

A seguir estão descritos algumas utilizações importantes do peneiramento de finos descritos por Mullar, et al.(2002).

3.6.2.1 Circuito de Moagem

O uso de peneiramento de finos em circuito de moagem é muito importante quando se tem uma diferença significativa entre a densidade específica do material de interesse e dos demais. Classificadores convencionais como hidrociclones e espirais separam partículas através das diferentes velocidades. No entanto, quando há uma grande diferença entre a densidade específica dos minerais, essas velocidades se tornam parecidas resultando em um extravio de partículas finas que são reencaminhadas para o moinho. Em situações como essas, o uso de peneiras como as mostradas na Figura 32 resulta em significantes benefícios tanto em termos de capacidade do moinho quanto em termos de energia consumida/ tonelada.

De acordo com a revista Minérios (2014), a substituição dos ciclones por peneiras de alta frequência fechando o circuito de moagem proporciona uma classificação mais eficiente. Isso permite aumentar a tonelagem de alimentação da moagem reduzindo os custos operacionais.

3.6.2.2 Aumento da recuperação da separação gravítica

A instalação de uma peneira antes da alimentação dos espirais no processo de beneficiamento de minério de ferro elimina a sílica grossa recuperando assim mais partículas de hematita (475-75 μm) que acabavam sendo perdidas. Esta instalação aumentou a recuperação de ferro em aproximadamente 2,5%.

3.6.2.3 Processamento do Ouro

As peneiras interestágios com movimento linear em telas de poliuretano retêm as partículas grossas; o carvão ativado e permite a passagem da polpa contendo as partículas finas para o tanque seguinte no processo de lixiviação do Ouro.

3.7 Dimensionamento e Seleção das peneiras

3.7.1 Dimensionamento

Como o objetivo do presente trabalho é o dimensionamento do circuito de britagem, as peneiras utilizadas no peneiramento a fino não serão estudadas, somente o peneiramento grosso.

Existem vários métodos de dimensionamento que tem em comum duas considerações independentes a serem atendidas: (Chaves, 2003).

1. A área necessária para a passagem do undersize deve ser provida;
2. Para haver uma estratificação satisfatória do leito é necessário assegurar que na descarga, a altura do leito seja no máximo quatro vezes a abertura da tela, como foi visto no item 3.5.4.

De acordo com Galery (s.d) a capacidade da peneira é diretamente proporcional à área de superfície e, dessa forma, a capacidade é especificada em toneladas da alimentação por hora por metro quadrado de peneira (tph/m^2). A capacidade básica de qualquer peneira é determinada sobre operações padrão, utilizando um material padrão, pré-especificado. Caso ocorram mudanças nas características da alimentação ou nas condições operacionais do peneiramento, a capacidade nominal da peneira muda. Essas modificações são determinadas por fatores de capacidade que ajustam as condições de operação padrão para aquelas de acordo com as características do minério e da operação. Assim a capacidade real da peneira é definida por:

Equação 15 $C = I_u K_1 K_2 \dots K_n$ ou seja: $C = I_u \prod_i K_i$

Onde:

C é a capacidade real da peneira

K_i 's são os fatores utilizados para corrigir desvios das condições de operação normal.

I_u é o valor da capacidade definida pelo método padrão (tph/m²).

Fator I_u :

A capacidade básica da peneira varia de acordo com a abertura da tela. Quanto maior a abertura maior é a quantidade de minério que a peneira poderá ser alimentada.

Equação 16 $I_u = 0,783h + 37$ para $h \geq 25$ mm

Equação 17 $I_u = 20,0h^{0,33} - 1,28$ para $h < 25$ mm

Onde I_u é fornecido em tph/m² e h é a abertura da peneira dada em mm.

Fator K_1 - Área aberta

Em condição padrão a área aberta da peneira é de 50% e, para materiais com densidade inferior a 800 kg/m³ a área aberta é de 60%.

Equação 18 $K_1 = \frac{\%Area.aberta}{50}$ para $d \geq 800 \text{Kg/m}^3$

Equação 19 $K_1 = \frac{\%Area.aberta}{60}$ para $d < 800 \text{Kg/m}^3$

Fator K_2 - Granulometria da alimentação

Em condição padrão, a alimentação apresenta granulometria com 40% do material abaixo da abertura da peneira. Quanto maior essa quantidade, melhor será a operação da peneira.

Equação 20 $K_2 = 2P^F(0,5h) + 0,2$

em que $P^F(0,5h)$ é a fração de material na alimentação da peneira com tamanho inferior ao da abertura da peneira.

Fator K_3 - Fator de oversize

O valor padrão para K_3 é a unidade quando a proporção de oversize é igual a 25% aumentando rapidamente quando essa proporção aumenta. Quando a alimentação apresenta uma quantidade elevada de oversize a peneira é capaz de manusear uma capacidade elevada uma vez que partículas de oversize passarão diretamente sobre o deck da peneira.

Equação 21 $K_3 = 0,914 \exp[\exp(4.22\bar{P}^F(h) - 3,50)]$

$\bar{P}^F(h)$ é a fração do material na alimentação com tamanho maior que a abertura da peneira h .

Fator K_4 - Densidade

Materiais que apresentam densidade mais elevada são transportados com maior facilidade pela superfície de peneiramento.

Equação 22 $K_4 = \frac{\rho_a}{1600}$ se $\rho_a > 1600 \text{ kg/m}^3$

Fator K_5 - Posição do deck

A capacidade diminui com a posição do “*deck*” que é corrigida pelo fator K_5 . Decks superiores trabalham com capacidades maiores que decks inferiores.

Equação 23 $K_6 = 1,1 - 0,6S$

S é a posição do *deck* da peneira assumindo 1(um) para o primeiro *deck*, 2 (dois) para o segundo e assim por diante.

Fator K_6 - Ângulo

O ângulo de inclinação padrão para peneiras é de 15°. Ângulos menores que o padrão aumentam a área projetada da peneira possibilitando o processamento de maiores tonelagens.

$$\text{Equação 24} \quad K_6 = 1,0 - 0,01(\alpha - 15)$$

Fator K_7 - Umidade

O fator K_7 atua no sentido de corrigir a área de peneiramento em relação somente ao peneiramento a úmido.

$$\text{Equação 25} \quad K_7 = 1,0 + 2,4 \times 10^{-4} (25 - h)^{2,5} \quad \text{para } h \leq 1,0$$

$$\text{Equação 26} \quad K_7 = 1,0 \quad \text{para } h > 1,0$$

Fator K_8 - Forma da abertura da peneira

A peneira padrão considera a forma da abertura quadrada. Outros formatos têm influência na capacidade de peneiramento conforme apresentado na Tabela 14

Tabela 14: Forma da abertura- Fator K_8

Fator K_8	
Forma da abertura da peneira	K_8
Redonda	0,8
Quadrada	1,0
Retangular 2x1	1,15
Retangular 3x1	1,2
Retangular 4x1	1,25

Fonte: Galery (s.d)

Fator K₉- Forma da partícula

Partículas de formas lamelares ou alongadas apresentam maiores dificuldades no peneiramento do que partículas isométricas. Se na alimentação for observada a presença de aproximadamente 15% de partículas alongadas K₉ assume o valor de 0,9. Maiores proporções de partículas alongadas devem ser analisadas com cuidado.

Fator K₁₀- Umidade natural da partícula

Tabela 15: Umidade natural- Fator K₁₀

Fator de capacidade para umidade	k₁₀
Umido, contendo lamas no estado plástico	0,75
Granulado com umidade acima de 15% oriundo de pilhas de homogeneização	0,85
Material britado, seco	1,00
Material seco naturalmente ou artificialmente	1,25

Fonte: Galery (s.d)

Assim, a área necessária da superfície da peneira é:

Equação 27
$$A = \frac{T}{C}$$

A é a área da superfície da peneira.

T é a taxa de alimentação da peneira (t/h).

C é a capacidade definida pela Equação 15.

3.7.1.1 Determinação da largura mínima da peneira

A peneira apresenta um formato retangular e, dessa maneira, para cada área definida existem algumas possibilidades de pares de dimensões. Como discutido no item 3.5.4, a largura da peneira é selecionada de forma a manter a profundidade do leito até o final da peneira e respeitando uma profundidade máxima, como mostrado na Tabela 12. A Equação 28 define a largura mínima da peneira (Metso, 2005).

Equação 28
$$W = \frac{100T}{6 \times S \times D} + 0,15$$

W- largura da peneira (m).

T- quantidade de material produzido como oversize (m³/h).

S- velocidade de transporte definida pela Tabela 13.

D- espessura da camada de material na extremidade da descarga (mm) definida pela Tabela 12.

Este cálculo deve ser efetuado para todos os decks da peneira.

Após definida as dimensões da peneira faz-se necessário o uso de um catálogo de fabricante para a definição do modelo.

A Tabela 16 apresenta um guia de seleção de peneiras em função da aplicação fornecido pela Metso (2005).

Tabela 16: Guia de seleção de peneiras.

Serviço	Tamanho máx. de alimentação mm (pol.)	Separação mm (pol.)	Tipo de peneira aplicável	Faixa de capacidade m³/h
Pré classificação	1200 (48")	100 a 300 (4" - 12")	Grelhas inclinadas de movimento circular (Grelhas M)	150 - 3000
Classificação graúda intermediária	400 (16")	50 - 200 (2" - 8")	Peneiras inclinadas de movimento circular (Peneiras M e XH)	300 - 1500
Classificação média	250 (10")	3 - 100 (1/8" - 4")	Peneiras inclinadas e banana de movimento circular ou linear (Incl. SH - Banana CBS; modular MSH - Banana BS)	100 - 800
Classificação fina	200 (8")	3 - 50 (1/8" - 2")	Peneiras inclinadas e banana de movimento circular ou linear (Incl. SH - Banana CBS; Horizontal LH - Modular MLH)	50 - 400
Classificação extra fina	25 (1")	0,2 - 6 (N60 - 1/4)	Peneiras horizontais de movimento linear (Peneiras Horizontais F)	10 - 40
Desaguamento	13 (1/2")	N.A. malha inicial 0,5 mm	Peneiras com inclinação ascendente de movimento linear (Desaguadora D - Modular MLH)	100 - 250

Fonte: Metso (2005)

3.8 Carga Circulante

Como já foi discutido no item 3.2.2, nas britagens secundárias, terciárias e quaternárias os britadores operam em circuito fechado com as peneiras de forma obrigatória na terciária e quaternária e, de acordo com a operação na secundária.

O circuito fechado pode apresentar duas configurações:

1. Normal: o circuito é fechado na peneira
2. Reverso: o circuito é fechado no britador

A Figura 33 apresenta o esquema desses dois circuitos.

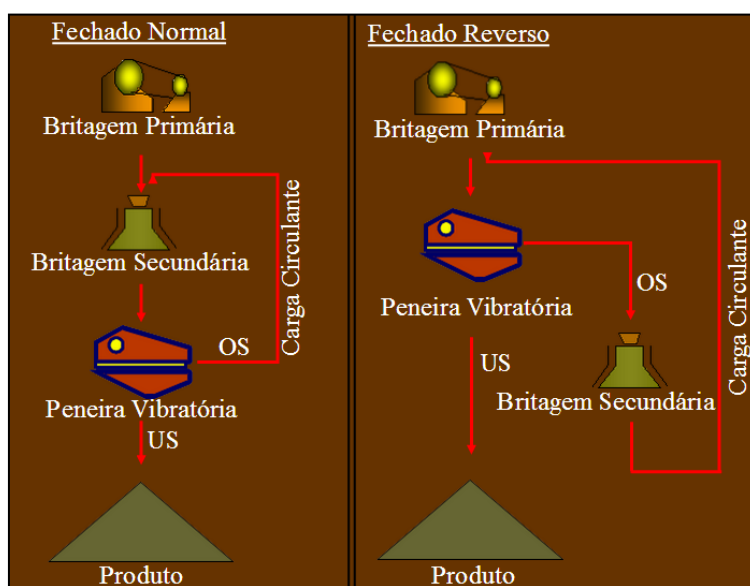


Figura 33- Circuito fechado: 1) normal 2) reverso
 Fonte: notas de aula (Sônia, 2013).

Para a configuração de circuito normal, a carga circulante é definida de acordo com a Equação 29:

Equação 29
$$CR_n = \left(\frac{10^6}{E} - 100Z \right) \cdot \frac{1}{Y}$$

Para a configuração de circuito reverso a carga circulante é definida de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Equação 30} \quad CR_r = \left(\frac{10^6}{E.Y} - 100 \right)$$

Em que:

CR_n e CR_r - carga circulante em termos da alimentação nova normal e reverso respectivamente.

E- Eficiência de peneiramento

Z- % de material da alimentação nova menor que a granulometria de corte da peneira;

Y- % passante na peneira presente na descarga do britador.

O circuito reverso é atualmente o mais utilizado.

4 SIMULADOR BRUNO

O simulador Bruno da Metso é um simulador para o processo de Britagem que apresenta as seguintes características:

- ✓ Processamento rápido;
- ✓ Curvas de Britadores são resultados de amostras representativas e apresentam boa confiabilidade;
- ✓ Contêm uma extensa database para vários tipos de equipamentos;
- ✓ Contêm poderoso algoritmo de simulação.

Assim como em qualquer simulador, é necessário que as respostas sejam avaliadas pelo Engenheiro de Processo, que precisa conhecer:

- ✓ Fundamentos da Britagem;
- ✓ Características básicas de cada equipamento;
- ✓ Conhecimento do minério (granulometria, umidade, W_i , etc.).
- ✓ Noção preliminar do layout da planta.

A Figura 34 e a Figura 35 apresentam exemplos de simulação que podem ser feitas no simulador Bruno.

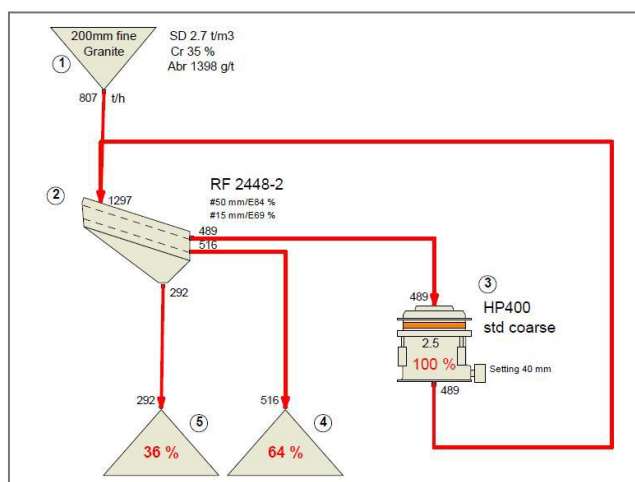


Figura 34- Circuito Simples- Simulador Bruno

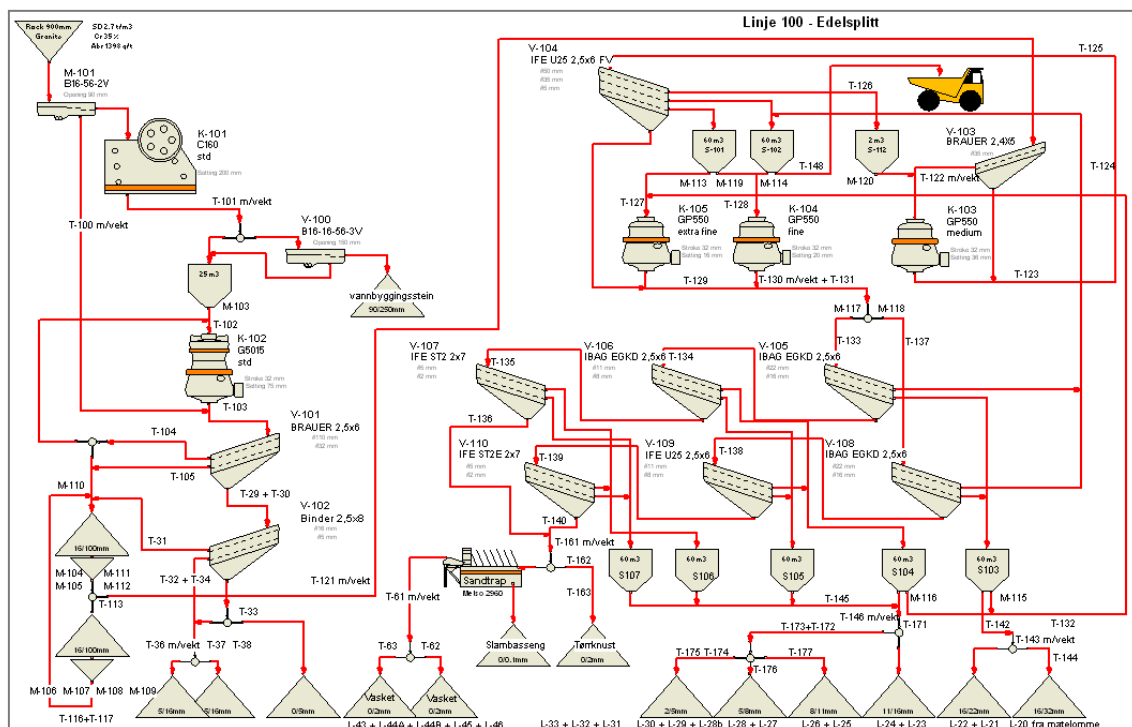


Figura 35- Circuito Complexo- Simulador Bruno

Os dados de caracterização do ROM devem apresentar a melhor veracidade possível para obter um menor erro na simulação. Os dados são:

- ✓ Taxa de alimentação (tph);
- ✓ Peso Específico (t/m³);
- ✓ Crushability: relacionado à dureza do minério e é obtido a partir do teste de britabilidade de Mâcon;
- ✓ Umidade (%);
- ✓ Granulometria.

Da mesma forma, para cada equipamento (britadores, peneiras e transportadores de correia) dados deverão ser inseridos, porém, de uma maneira menos criteriosa. Por se tratar de uma simulação, a partir dos resultados obtidos, os dados poderão ser alterados a fim de obter um processo mais provável possível.

As respostas que o Bruno gera são:

- ✓ Fluxograma de Processo;
- ✓ Lista de equipamentos com modelos Metso;
- ✓ Relação de Redução de cada Britador;
- ✓ % da capacidade de cada Britador;
- ✓ Eficiência de Peneiramento de cada deck da peneira;
- ✓ Balanço de massa do processo.

Esta é uma boa ferramenta para simular possíveis cenários do processo de Britagem e o dimensionamento do mesmo.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Usina Passa IV

O estudo de caso para a comparação do dimensionamento pelos dois métodos explicados no corpo do trabalho será o processo de Britagem do processamento do Minério de Ferro da Usina Passa IV localiza na região Sudeste sem problemas com umidade e temperaturas amenas. O fluxograma preliminar do processo, os dados operacionais e o balanço de massa estão representados respectivamente pelas Figura 36, Tabela 17 e Tabela 18.

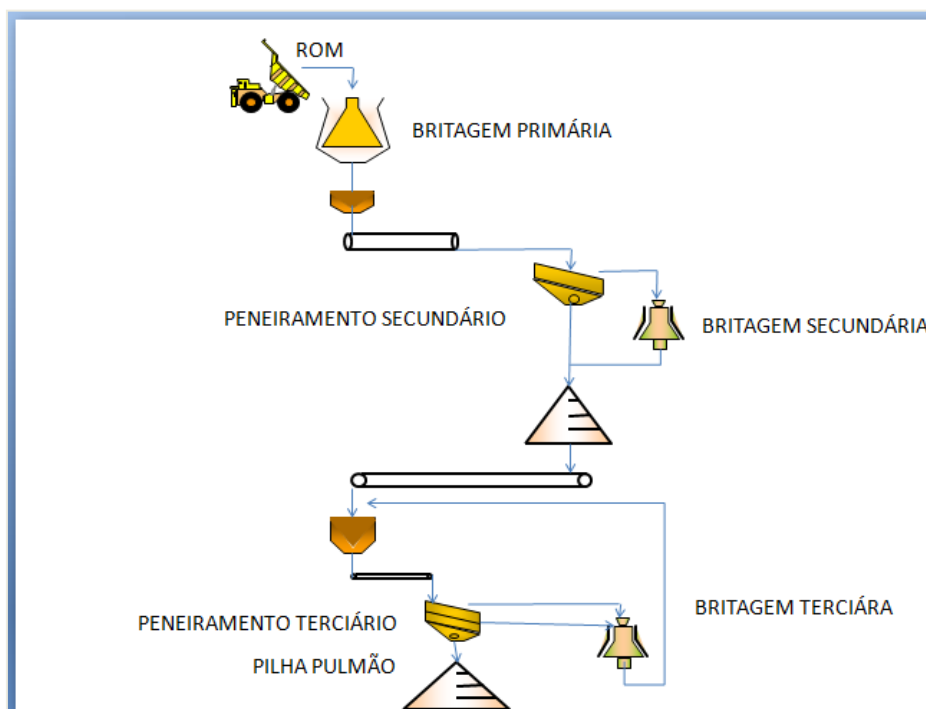


Figura 36- Fluxograma preliminar da Britagem da Usina Passa IV
Fonte: elaborado pelo autor

Observa-se que o fluxograma esta bem condizente com a teoria descrita ao longo do trabalho:

1. A britagem secundária pode ou não ser trabalhada em circuito fechado.
2. A britagem terciária deve estar obrigatoriamente em circuito fechado.

3. Para uma alimentação mais homogênea e contínua das peneiras nas britagens secundárias e terciárias, silos são instalados de forma que o circuito esteja apto a ser controlado automaticamente. O mesmo deve ser feito para alimentação dos britadores cônicos de forma a mantê-los com a câmara 100% cheia.
4. Uma pilha é instalada separando a britagem mais grosseira da mais fina a fim de manter essas atividades independentes.

Tabela 17 - Dados operacionais- Usina Passa IV

DADOS OPERACIONAIS		
Britagem Primária e Secundária		
Top Size	1000	mm
Produção Anual	9,20	Mta
Horas trabalhadas/ano	6570,0	h/ano
Dias trabalhados /ano	365,0	dias/ano
Horas trabalhadas/dia	24,0	h/dia
Disponibilidade Operacional	75	%
Produção Horária	1400,3	t/h
Britagem Terciária		
Produção Anual	8,40	Mta
Horas trabalhadas/ano	6570,0	h/ano
Dias trabalhados /ano	365	dias/ano
Horas trabalhadas/dia	24	h/dia
Disponibilidade Operacional	75,0	%
Produção Horária	1278,5	t/h

Como já mencionado no item 3.2.1, a disponibilidade operacional da etapa da britagem é inferior às demais atividades, na faixa de 75%.

De acordo com a Tabela 17, podemos concluir previamente que por esta taxa alta de alimentação (t/h) de ROM, o britador primário será um Giratório ou um *Low speed Sizer*. De acordo com a Tabela 18 como o minério apresenta baixa umidade (3%) e não é argiloso, podemos concluir que o britador primário será um Giratório. Porém, esta conclusão será feita através dos dimensionamentos.

Tabela 18- Balanço de Massa- Usina Passa IV

		ROM	Undersize Peneira 2 ^a	Oversize Peneira 2 ^a	Descarga do Britador 2 ^o	Produto Britagem 2 ^a	Alimentação nova Peneiramento 3 ^o	Alimentação Peneiramento 3 ^o	Alimentação Britagem 3 ^a	Descarga Britagem 3 ^a	Produto Final
Alimentação	t/h	1400,3	490,11	910,20	910,20	1400,30	1278,54	2084,02	1312,93	1312,93	1278,54
Densidade aparente	t/m ³	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Teor Fe	%	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98
Teor SiO ₂	%	40,2	40,2	40,2	40,2	40,2	40,2	40,2	40,2	40,2	40,2

De acordo com o balanço de massa apresentado, a alimentação é um minério pobre e com alto teor de sílica (abrasivo). De acordo com a Tabela 1, somente britadores primários giratórios e mandíbula do tipo Blake (2 eixos) podem ser utilizados para o processamento desse tipo de minério. O ROM apresenta um top size grande (1000 mm) e uma distribuição granulométrica bastante grosseira conforme apresentada na Tabela 19.

Tabela 19- Granulometria ROM- Usina Passa IV

<i>Distribuição Granulométrica</i>	-
Malha(mm)	% passante
1000	100
750	98,3
600	93,7
500	87,3
400	76,7
300	56,5
200	27,5
50	3,6

Assim, por esses dados podemos supor que seja uma planta de britagem robusta, alimentada por um minério de ferro pobre e abrasivo.

5.2 Dimensionamento- Método Convencional

5.2.1 Britagem Primária

De acordo com os itens 3.4.1.1 e 3.4.1.2, o dimensionamento para o britador primário foi feito conforme apresentado no ANEXO A. O dimensionamento será feito utilizando o fator de projeto 20% conforme descrito no item 3.4.1.1.

De acordo com o método de Taggart foi definido que o britador a ser utilizado será o Giratório. Para a definição do modelo, o Manual da Metso foi utilizado baseando no valor da capacidade calculada, do valor do gape e do APA.

Assim, para a britagem primária foi selecionado **1 (um) Britador Giratório** modelo Metso **MK-II 50-65** com APA de 6,5 pol (165 mm) . O produto britado apresenta P80 de 101,6 mm com razão de redução de 3. A Figura 37 apresenta a distribuição granulométrica do ROM e do produto britado.

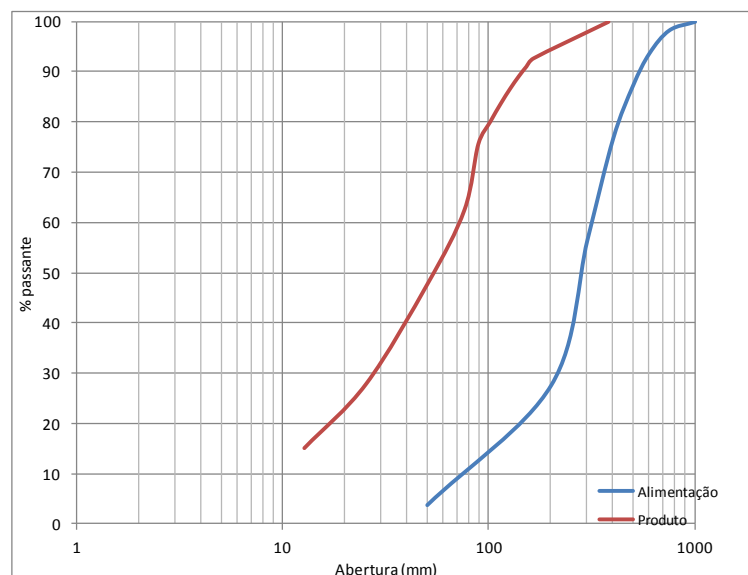


Figura 37- Granulometria ROM x Produto britado primário

Como para o dimensionamento o britador deve atender às exigências do item 3.4, nota-se que a capacidade está abaixo da tabelada, porém o top size do ROM (1250 mm) está em acordo com o gape do modelo. Para manter o britador com câmara cheia, uma quantidade a mais deverá ser alimentada pelos caminhões e um alimentador vibratório

juntamente com um silo irá controlar a alimentação da britagem secundária de forma a manter a taxa em 1600 t/h.

5.2.2 Britagem Secundária

Na britagem secundária, a peneira e o britador foram dimensionados conforme apresentado no ANEXO B.

Peneira

O peneiramento definido apresenta as seguintes características:

- ✓ Peneiras com (dois) decks sendo o primeiro de alívio com granulometria de corte de 100 e 75 mm respectivamente.
- ✓ Ambos os decks apresentam a tela quadrada e material de borracha.
- ✓ Área de peneiramento de aproximadamente 10 m² por deck.
- ✓ Eficiência de peneiramento calculada em 90% no primeiro deck e 83% no segundo deck.
- ✓ Altura do leito em ambos os decks respeitando o limite de altura máxima.
- ✓ Alimentação por silo de forma a manter a homogeneidade da alimentação e o seu controle.
- ✓ Peneiramento a seco.

Dessa forma foi definido um conjunto de peneiramento constituído de **1 (uma) peneira** vibratórias modelo Banana **XH 7'x16'** que apresenta as seguintes características:

- ✓ Área por deck: 10,4m²;
- ✓ Dimensões: 2,14 m x 4,88 m
- ✓ Inclinação: 18°.

Britador

O britador será alimentado pelo oversize da peneira que apresenta distribuição granulométrica conforme apresentado no ANEXO B, com P80 de 152,4mm

No caso do britador secundário 2 possibilidades foram analisadas:

1) Britador modelo HP

O britador cônico analisado foi o **HP 500 com APF de 45 mm** que apresenta capacidade nominal na faixa 690-1050 t/h, ou seja, compatível com a alimentação do processo.

O produto gerado apresenta um P80 de 48 mm.

A Figura 38 apresenta a granulometria do produto final.

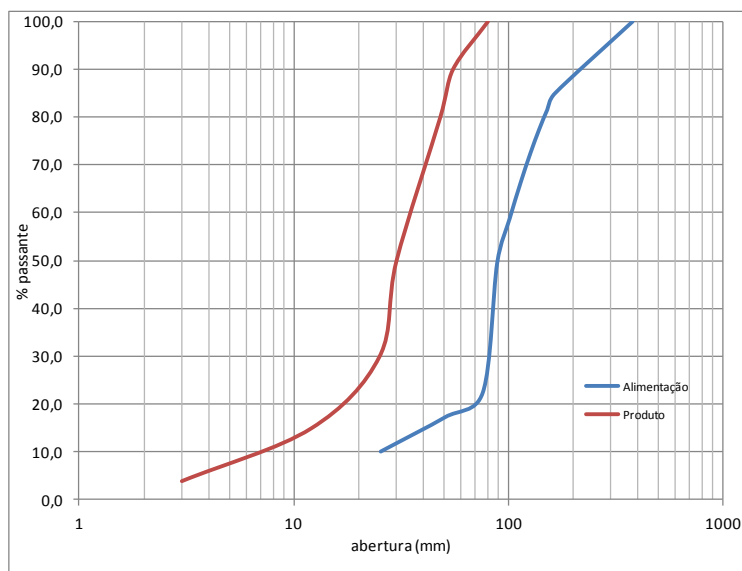


Figura 38- Granulometria Oversize x Produto britado secundário

2) Britador modelo MP

Os modelos de britadores MP são utilizados para britagem de maior capacidade. São britadores mais robustos que britadores modelo HP conforme Figura 39 apresentada.



Figura 39- Comparação entre modelo HP e MP.
Fonte: Apostila – Simulador Bruno, 2014.

Foi definido **1 (um)** britador modelo **MP 800 com APF de 50mm** gerando um produto P80 de 60 e razão de redução de 4 conforme apresentado na Figura 40. O produto gerado pelo britador MP é mais grosseiro que o produto britado pelo britador HP.

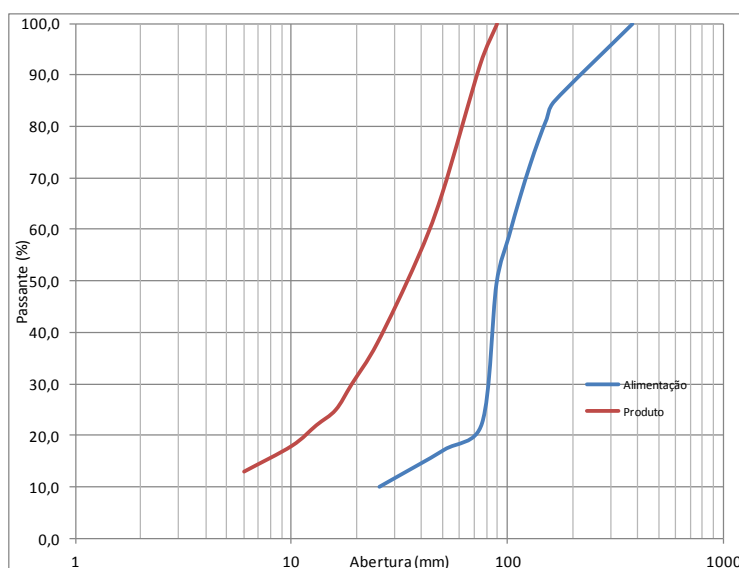


Figura 40- Granulometria Oversize x Produto Britado secundário(2)

5.2.3 Britagem Terciária

Na britagem terciária, a peneira e o britador foram dimensionados conforme apresentado no ANEXO C

Peneira

O peneiramento definido apresenta as seguintes características:

- ✓ Peneiras com (dois) decks sendo com granulometria de corte de 55 e 25 mm respectivamente.
- ✓ Ambos os decks apresentam a tela quadrada e material de borracha.
- ✓ Área de peneiramento de aproximadamente 70 m².
- ✓ Eficiência de peneiramento calculada foi 90% para ambos os decks.
- ✓ Alimentação por silo de forma a manter a homogeneidade da alimentação e o seu controle.
- ✓ Peneiramento a seco.
- ✓ Carga circulante calculada em 76%.

Dessa forma foi definido um conjunto de peneiramento constituído de **5 (cinco) peneiras vibratórias** modelo Metso **SH 8'x20'** que apresenta as seguintes características:

- ✓ Área por deck: 15 m²;
- ✓ Dimensões: 2,44 m x 6,10 m
- ✓ Inclinação: 20°.

Britador

O britador será alimentado pelo oversize da peneira que apresenta distribuição granulométrica conforme apresentado no ANEXO C, com P80 na faixa de 65 mm.

No caso do britador terciário 2 (duas) possibilidades foram analisadas:

1) Britador modelo HP

O britador cônico analisado foi o **HP 800 com APF de 16 mm** que apresenta capacidade nominal na faixa 385-500 t/h, ou seja, havendo a necessidade de 2 (dois) britadores .

O produto gerado apresenta um P80 de 16 mm.

A Figura 41 apresenta a granulometria do produto final.

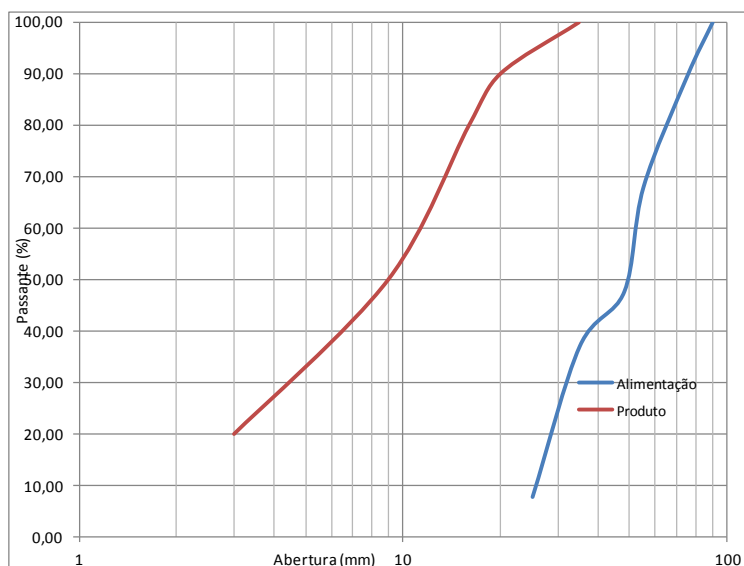


Figura 41- Granulometria Oversize x Produto Britado terciário

2) Britador Modelo MP

Foi definido **2 (dois)** britador modelo **MP 1000 com APF de 19mm** gerado um produto P80 na faixa de 19 e razão de redução de 2 conforme apresentado na Figura 42. O produto gerado pelo britador MP é mais grosseiro que o produto britado pelo britador HP.

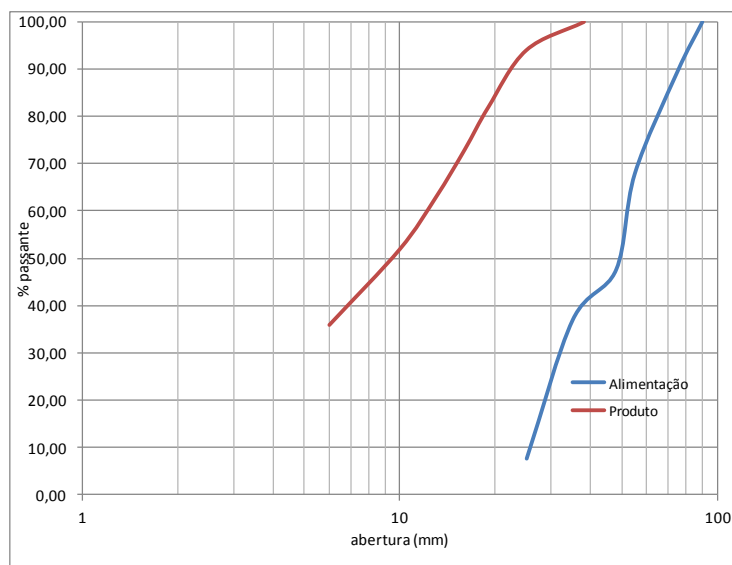


Figura 42- Granulometria Oversize x Produto Britado terciário(2)

O produto final da etapa da britagem que é o undersize da peneira gerou um produto abaixo de **15 mm** que será estocado na pilha pulmão para ser alimentado na etapa seguinte: magem.

Foi definido que para a Britagem secundária e terciária o modelo dos britadores deveriam ser os mesmos de modo a facilitar a parte de manutenção e operação do equipamento. Dessa maneira, 2 (duas) listas de equipamentos foram geradas de forma a ser definida baseada não apenas sob quesitos técnicos, mas levando em consideração o CAPEX e OPEX.

Opção 1

Tabela 20- Lista de Equipamentos- Opção 1

Lista de Equipamentos			
Britagem	Primária	Secundária	Terciária
Britador	Primário	Secundário	Terciário
Tipo	Giratório	Cônico Standard	Cônico Short Head
Modelo	MK-II 50-65	HP500	HP800
P80 (mm)	101,6	48	16
Quant.	1	1	2
Peneiramento	-	Secundária	Terciária
Tipo		Vibratória Inclínada	Vibratória Inclínada
Modelo		XH 7'x16'	SH 8'x20'
Quant.		1	5

Opção 2

Tabela 21- Lista de Equipamentos- Opção 2

Lista de Equipamentos			
Britagem	Primária	Secundária	Terciária
Britador	Primário	Secundário	Terciário
Tipo	Giratório	Cônico Standard	Cônico Short Head
Modelo	MK-II 50-65	MP800	MP1000
P80 (mm)	101,6	60	19
Quant.	1	1	2
Peneiramento	-	Secundária	Terciária
Tipo		Vibratória Inclínada	Vibratória Inclínada
Modelo		XH 7'x16'	SH 8'x20'
Quant.		1	5

5.3 Dimensionamento- Simulador Bruno

Através do simulador Bruno alguns possíveis cenários puderam ser simulados. A Figura 43 apresenta a simulação utilizando os mesmos equipamentos do dimensionamento feito pelo método convencional referente à Tabela 21.

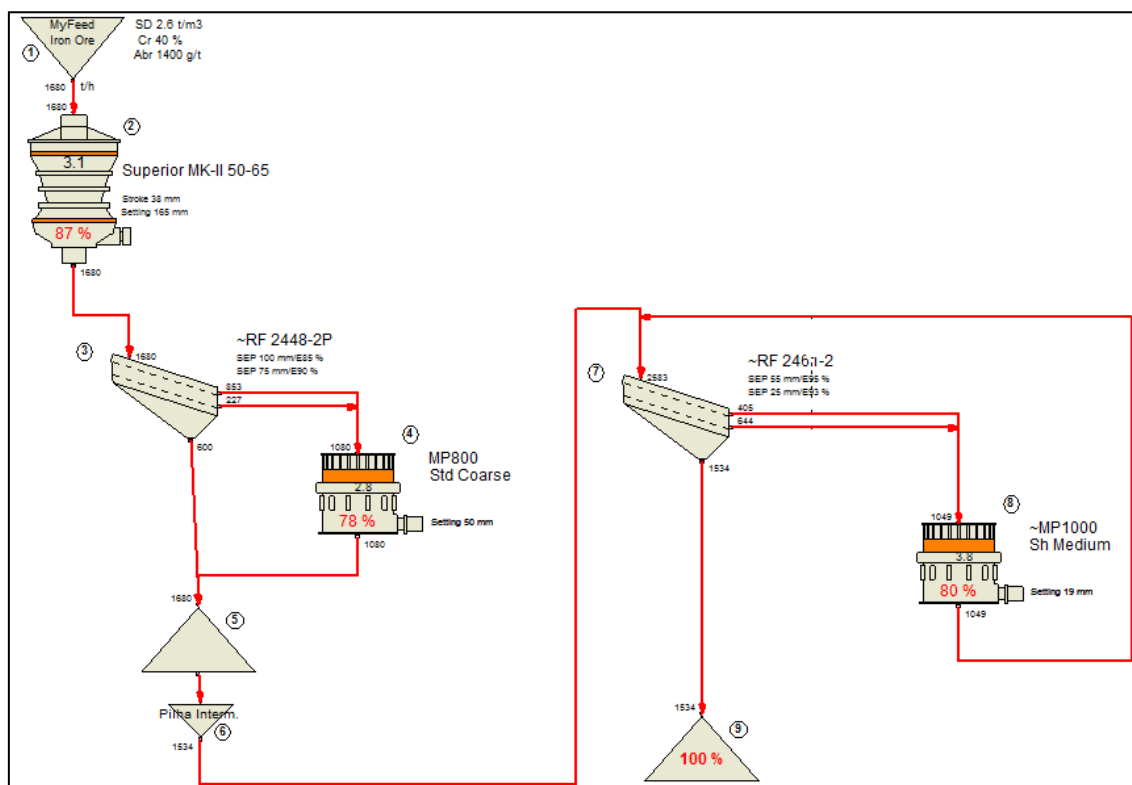


Figura 43- Fluxograma Usina Passa IV- Opção 2
Fonte: Bruno Simulador

5.3.1 Britagem Primária

De acordo com o resultado, o britador escolhido com 87% da câmara preenchida. De acordo com o item 3.2.1.2, o britador giratório deve trabalhar com a câmara 100% cheia sem preocupação de ocorrência de *chocking* e também para evitar a formação de uma grande quantidade de partículas lamelares. Como já discutido, para o aumento do preenchimento da câmara de britagem uma taxa maior seria alimentada no britador e o silo controlaria a alimentação da britagem secundária.

Com relação à granulometria, a Figura 44 apresenta o produto da britagem primária. A distribuição granulométrica está mais grosseira que a definida pela curva fragmentatriz (Figura 37) com top size de 345 e P80 de 137 mm.

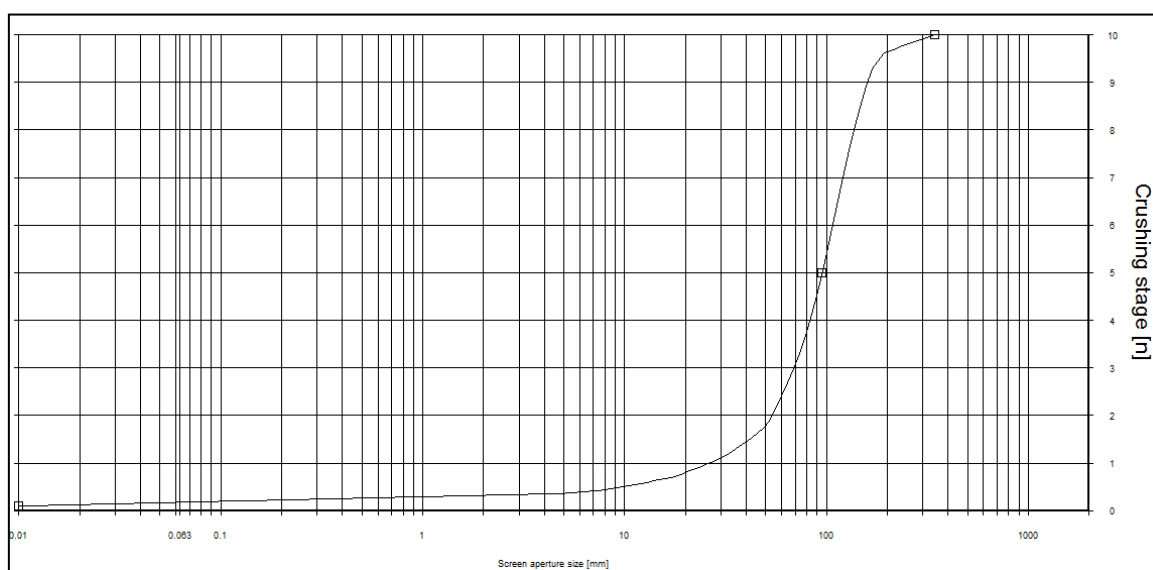


Figura 44- Granulometria- Produto Britagem primária
Fonte: Simulador Bruno

5.3.2 Britagem Secundária

No caso da Britagem secundária, o britador MP escolhido mostrou-se não tanto eficaz com relação à capacidade ocupada uma vez que o britador secundário deve trabalhar com a câmara 100% cheia e esta está bem abaixo (77%). Com relação à distribuição granulométrica do produto britado, de acordo com a Figura 45, o resultado obtido

apresenta bem semelhante aos dados obtidos pelo cálculo convencional (Figura 40) com P80 de 55 mm.

Com relação à peneira, a eficiência de peneiramento calculada apresentou para o primeiro e segundo decks valor de 85% e 90% respectivamente, o que está na faixa do ideal e semelhante com o método convencional. Pelo fato do britador primário gerar um produto mais grosseiro, o deck primário será alimentado por uma quantidade maior de material. Apesar disso, a altura do leito obtida respeita o limite exigido não comprometendo a eficiência de peneiramento.

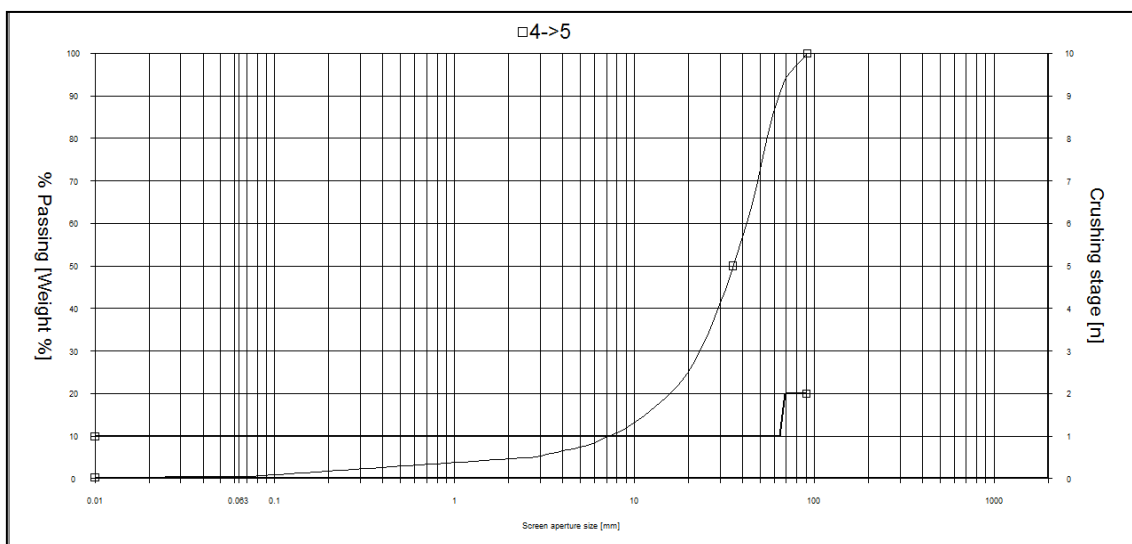


Figura 45- Granulometria- Produto Britador secundário
Fonte: Simulador Bruno

5.3.3 Britagem Terciária

No caso da Britagem terciária, o britador MP selecionado mostrou-se não tanto eficaz com relação à capacidade ocupada uma vez que o britador terciário deve trabalhar com a câmara 100% cheia e esta está bem abaixo (80%).

Com relação à distribuição granulométrica do produto britado, de acordo com a Figura 46, os resultados obtidos apresentam bem semelhante aos dados obtidos pelo cálculo convencional (Figura 42) P80 de 17mm.

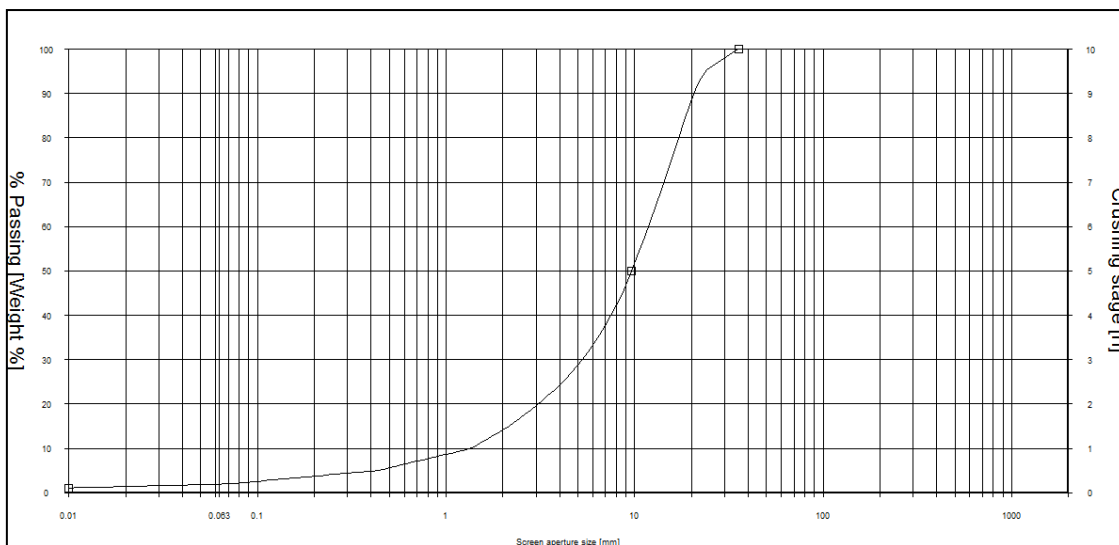


Figura 46- Granulometria- Produto Britador terciário
Fonte: Simulador Bruno

Com relação à peneira, a eficiência de peneiramento calculada apresentou para ambos os decks valores bem altos na faixa 95%, o que indica provavelmente que a área de peneiramento está elevada e a capacidade reduzida (Figura 26). A carga circulante calculada foi um pouco menor: 66%. Isso mostra que a distribuição granulométrica da alimentação nova está mais fina do que a obtida pelo método convencional. O produto final do circuito de britagem apresenta granulometria – 31 mm com P80 na faixa de 18 e está representada na Figura 47.

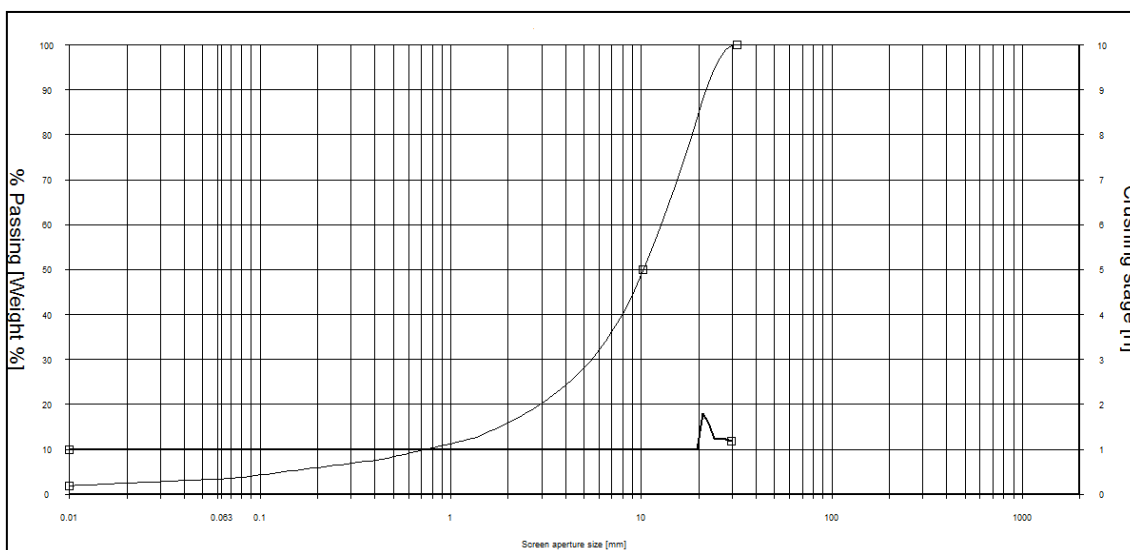


Figura 47- Granulometria- Produto Final Britagem
Fonte: Simulador Bruno

Utilizando os equipamentos sugeridos pela Tabela 20, a resposta do simulador esta apresentada na Figura 48.

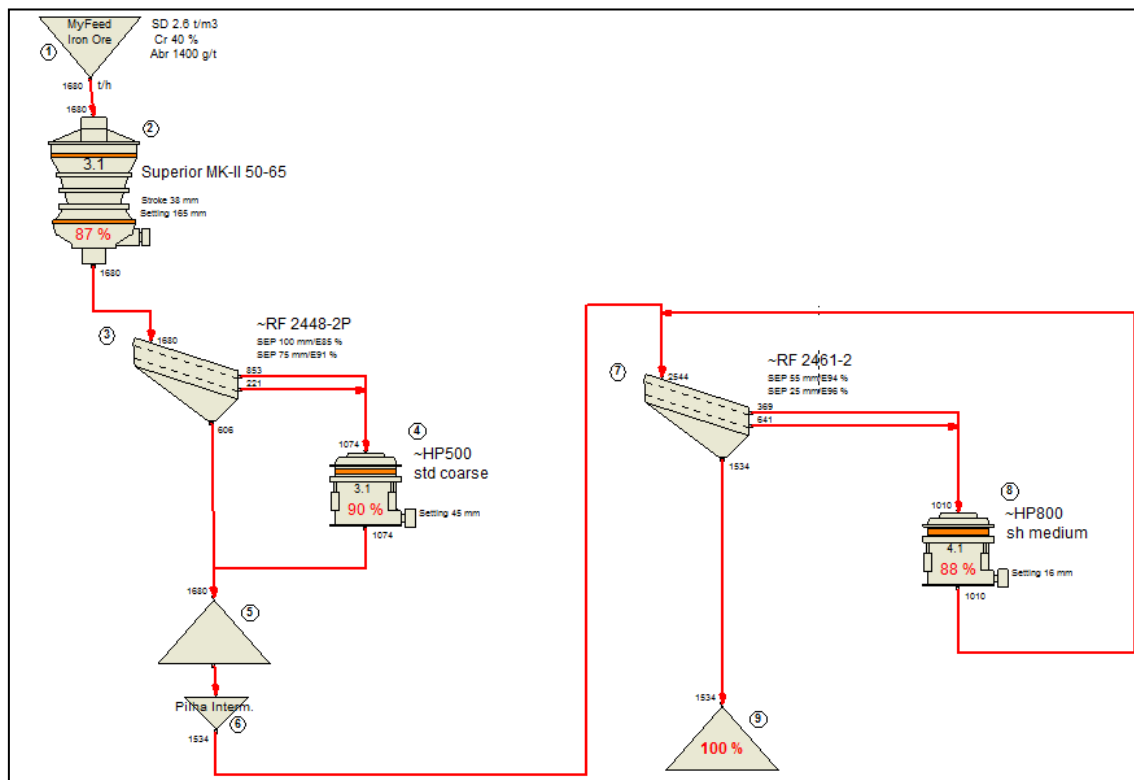


Figura 48- Fluxograma Usina Passa IV- opção 1
Fonte: Bruno Simulador

5.3.4 Britagem Primária

De acordo com o resultado, o britador escolhido com 87% da câmara preenchida. De acordo com o item 3.2.1.2, o britador giratório deve trabalhar com a câmara 100% cheia sem preocupação de ocorrência de *chocking* e também para evitar a formação de uma grande quantidade de partículas lamelares. Como já discutido para o aumento do preenchimento da câmara, uma maior taxa de ROM seria alimentada no britador e o silo controlaria a alimentação da britagem secundária.

Com relação à granulometria, a Figura 49 apresenta o produto da britagem primária. A distribuição granulométrica está mais grosseira que a definida pela curva fragmentatriz (Figura 37) com Top size de 345 e P80 de 137 mm.

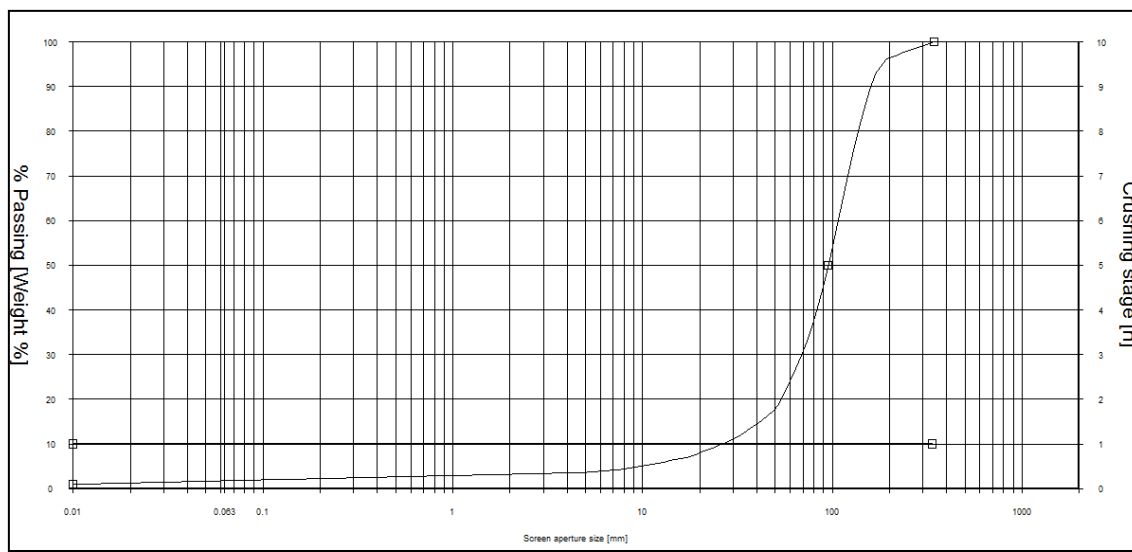


Figura 49- Granulometria- Produto Britagem primária
Fonte: Simulador Bruno

5.3.5 Britagem Secundária

No caso da Britagem secundária, o britador HP escolhido mostrou-se mais eficaz em comparação com o MP com relação à capacidade ocupada uma vez que o britador secundário deve trabalhar com a câmara 100% cheia. Como o britador é alimentado por um silo, e este controlado automaticamente, não haverá problemas de câmara vazia. Uma opção a ser avaliada será na alteração do APF do mesmo.

Com relação à distribuição granulométrica do produto britado, de acordo com a Figura 50, o resultado obtido apresenta bem semelhante aos dados obtidos pelo cálculo convencional (Figura 41) com P80 de 49 mm.

Com relação a peneira, a eficiência de peneiramento calculada apresentou para o primeiro e segundo decks valor de 85% e 91% respectivamente, o que está na faixa do ideal e parecido com o método convencional. Pelo fato do britador primário gerar um produto mais grosseiro, o deck primário será ter uma altura de leito maior, porém de acordo com o limite exigido.

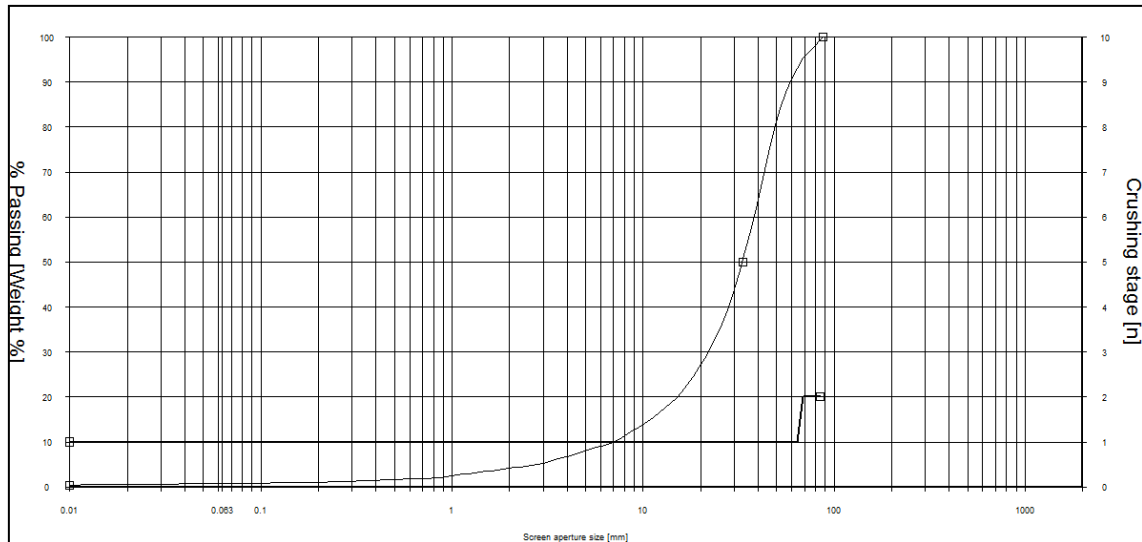


Figura 50- Granulometria- Produto Britador secundário
Fonte: Simulador Bruno

5.3.6 Britagem Terciária

No caso da Britagem terciária, o britador HP selecionado mostrou-se eficaz com relação a capacidade ocupada uma vez que o britador terciário deve trabalhar com a câmara 100% cheia. Como o britador é alimentado por um silo, e este controlado automaticamente, não haverá problemas de câmara vazia.

Com relação à distribuição granulométrica do produto britado, de acordo com a Figura 51, o resultado obtido apresenta bem semelhante aos dados obtidos pelo cálculo convencional (Figura 42) P80 de 15 mm.

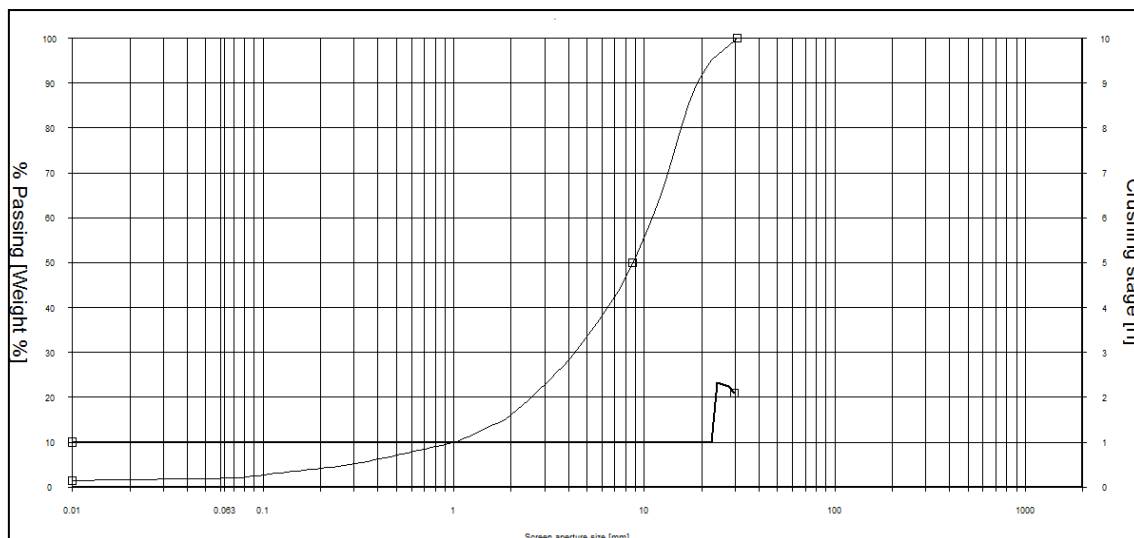


Figura 51- Granulometria- Produto Britador terciário
Fonte: Simulador Bruno

Com relação à peneira, a eficiência de peneiramento calculada apresentou para ambos os decks valores bem próximos a 95% o que indica provavelmente que a área de peneiramento está elevada e a capacidade reduzida (Figura 26). A carga circulante calculada foi também um pouco menor: 66%. Isso mostra que a distribuição granulométrica da alimentação nova está mais fina do que a obtida pelo método convencional. O produto final do circuito de britagem apresenta granulometria – 30 mm com P80 na faixa de 17 e esta representada na Figura 52.

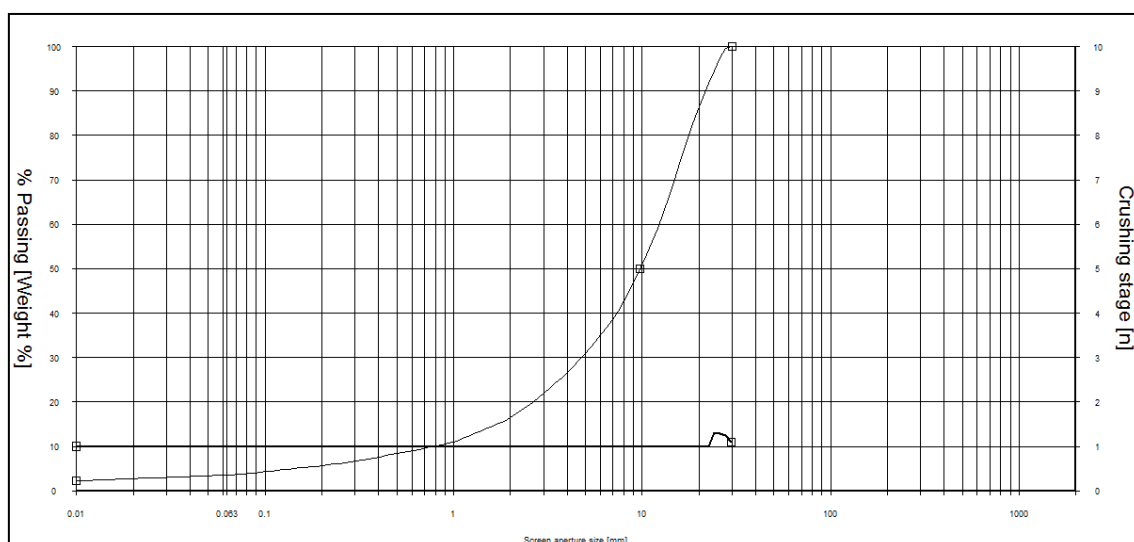


Figura 52- Granulometria- Produto Final
Fonte: Simulador Bruno

- **Britagem terciária:** com o objetivo de manter a eficiência de peneiramento na faixa de 90%, optou-se por um modelo abaixo da peneira definida no método convencional, com uma redução de 1 (uma) peneira e alterando a granulometria dos decks para 50 e 25 mm. O britador terciário foi trocado por um modelo MP 800 mantendo a quantidade de 2 (dois) e APF de 17 mm. A câmara de britagem está quase cheia (96%), e a carga circulante um pouco menor : 61% devido às alterações dos equipamentos.

6 RESULTADO

A Tabela 22 apresenta o resultado de uma comparação de dados entre o resultado obtido pelo método convencional e o método de simulação.

Tabela 22- Lista de Equipamentos comparativa

Lista de Equipamentos- Método Convencional			
Britagem	Primária	Secundária	Terciária
Britador	Primário	Secundário	Terciário
Tipo	Giratório	Cônico Standard	Cônico Short Head
Modelo	MK-II 50-65 APA 165 mm	MP 800 APF 50mm	MP 1000 APF 19mm
P80 (mm)	101,6	60	19
Quant.	1	1	2
Peneiramento	-	Secundária	Terciária
Tipo		Vibratória Inclinada	Vibratória Inclinada
Modelo		XH 7'x16'	SH 8'x20'
Quant.		1	5
Lista de Equipamentos- Simulador Bruno			
Britagem	Primária	Secundária	Terciária
Britador	Primário	Secundário	Terciário
Tipo	Giratório	Cônico Standard	Cônico Short Head
Modelo	MK-II 50-65 APA 155 mm	MP800 APF 40 mm	MP800 APF 17 mm
P80 (mm)	129,45	45	16
Quant.	1	1	2
Peneiramento	-	Secundária	Terciária
Tipo		Vibratória Inclinada	Vibratória Inclinada
Modelo		XH 7'x16'	XH 6'x14'
Quant.		1	4

A lista de equipamento dos dois métodos ficou bem semelhante, porém, os equipamentos e ajustes feitos nos mesmos utilizando o método de simulação garantiu aos equipamentos um melhor aproveitamento operacional: britadores trabalhando com câmaras cheias, peneiras com eficiência de 90% e um produto com uma granulometria adequada para o processo seguinte.

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou o dimensionamento de um circuito de Britagem de uma mina de minério de ferro através de dois métodos: convencional e simulação.

A partir dos resultados obtidos e discutidos nos itens 5.2 e 5.3 pode-se concluir que os resultados obtidos para o mesmo estudo ficaram bem congruentes, porém o dimensionamento através de um simulador entrega uma resposta bem mais detalhada o que ajuda na verificação de erros, nos estudos de novos cenários e possibilidades de melhoria como foi o caso estudado no processo da Mina Passa IV.

O dimensionamento convencional é um a ferramenta simples que através de um pré-conhecimento sobre o assunto e sobre os equipamentos, serve como um in-put para a utilização do simulador que garante uma certeza maior de resposta e de forma bem mais rápida. O método convencional fica restrito a informações de livros e manuais, o que muitas vezes não são atualizados no mesmo tempo que os equipamentos são.

O fluxograma apresentado é bastante simples, o que facilita o estudo pelo modo convencional. A partir do momento que o circuito estudo é mais complexo, o dimensionamento fica mais complicado pelo método convencional havendo a necessidade de um simulador como, por exemplo, para o dimensionamento dos demais britadores citados nos itens 3.2.

Porém, seja pelo método convencional, seja pelo simulador, o conhecimento mais profundo sobre a britagem é o ponto inicial para se começar a fazer um dimensionamento bem feito.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se como trabalho futuro um estudo de caso de melhoria de uma planta já existente em que será alterada a taxa de alimentação de Britagem para verificar quais pontos alterados terão maior significância.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAVES, Artur. Teoria e Prática de Tratamento de Minérios. 2^a ed. São Paulo: Signus, 2004.

DEM SOLUTIONS. Disponível em www.dem-solutions.com. Acessado em 18 de Maio de 2015.

DENISE, Sônia Rocha. Notas de aula- Curso de Engenharia de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

FLSMITH. Disponível em: www.flsmidth.com. Acessado em 18 de Maio de 2015.

GALERY, Roberto. Modelos baseados na capacidade da peneira. Universidade Federal de Minas Gerais [s.d].

GALERY, Roberto. Notas de aula – Curso Especialização Recursos Minerais. Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

GONÇALVES, Henrique Teixeira: Desenvolvimento de um sistema para dimensionamento, análise e otimização de circuitos de preparação de minérios. 2013.188f. Monografia (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas).Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

HONÓRIO, Olavo: Estudo de aumento de capacidade da planta de britagem da usina I de Germano.2010.72f. Monografia (Pós-Graduação Lato Sensu em Beneficiamento Mineral). Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

KING, Peter. Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems. 1^aed. Oxford: BH, 2001.

METSO, Crushing and Screening Handbook , 3^a ed.

METSO, Manual de Britagem , 2005.

METSO, Workshop Bruno simulador, 2014.

MULAR, Andrew. HALBE, Doug. BARRAT, Derreck. Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control. 1^aed. Colorado: SME, 2002.

SANS, Mariana Xavier. Equipamentos de Fragmentação: Uma Revisão Avaliando Circuitos Alternativos para a Moagem de Finos. 2012. 70 f. Monografia (Pós-Graduação Lato Sensu em Beneficiamento Mineral). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte , 2012.

Souza, Juliana. Peneiras de alta frequência melhorarm taxa de moagem. Revista Minérios e Minerales, São Paulo, Maio, 2014.

WILLS, Barry. Mineral Processing Technology. 7^a ed. Austrália: Elsevier, 2006.

10 ANEXOS

Planilhas de cálculos de dimensionamento dos equipamentos.

ANEXO A- BRITAGEM PRIMÁRIA

EQUIPAMENTO : BRITADOR GIRATÓRIO		
Projeto: USINA PASSA IV		
Fluxograma:		
Dados da Alimentação		Unidades
Minério	Ferro	
Produção anual	9.200.000	t/ano
Densidade Específica	2,6	t/m ³
Densidade Aparente	1,6	t/m ³
Umidade	3	%
Wi	12	kWh/t
Crushability	40	%
Abrasividade (Ai)	0,5	-
Top Size	1000	mm
F80	460	mm
P80	101,6	mm
<i>Distribuição Granulométrica</i>		-
Malha(mm)	% passante	
1000	100	
750	98,3	
600	93,7	
500	87,3	
400	76,7	
300	56,5	
200	27,5	
50	3,6	
Dados da Operação		
Fator de Projeto	1,2	
Horas de trabalho	18	h/dia
Dias de trabalho Disponíveis	365	d/ano
Disponibilidade Operacional	75%	%
Dias de trabalho efetivo	273,75	d/ano
Características da Britagem		
Tipo	PRIMÁRIA	
GAPE	1250	mm
Taggat	0,694	
Tipo de Britador	GIRATÓRIO	
Partição para Britagem	-	-
Alimentação da Britagem (Nominal)	1400,30	t/h
Alimentação da Britagem (Projeto)	1680,37	t/h
Seleção do Britador		
Modelo	MK 50-65	-
APA	165	mm
Capacidade do Britador- Tabelada	2625	t/h
Capacidade do Britador- Real	2391	t/h
A (Fator Densidade Aparente)	1	-
B (Fator <i>Work Index</i>)	1,1	-
C (Fator Tamanho de Alimentação)	0,9	-
D (Fator Umidade)	0,92	-
Fator de Redução	3	-
Características do Produto		
-		
<i>Distribuição Granulométrica</i>		-
Top Size	342,9	mm
P80	101,6	mm

FATORES:

<i>Fator A</i>	Densidade (t/m ³)
0,75	1,2
0,81	1,3
0,88	1,4
0,94	1,5
1	1,6
1,06	1,7
1,13	1,8
1,19	1,9
1,25	2
1,31	2,1
1,38	2,2
1,44	2,3
1,5	2,4

<i>Fator B</i>	Work Index
1,15	10
1,1	12
1	14
0,9	18
0,8	22

% alimentação menor que 1/2 APF	Fator C- Fator de alimentação Relação % entre tamanho máximo de material e abertura de entrada do britador								
	%	30	40	50	60	70	75	80	85
	0	1,28	1,22	1,18	1,12	1,04	0,94	0,8	0,70
	5	1,32	1,24	1,2	1,14	1,08	0,96	0,82	0,72
	10	1,36	1,3	1,24	1,18	1,12	1	0,84	0,74
	15	1,42	1,34	1,3	1,24	1,16	1,04	0,86	0,76
	20	1,48	1,4	1,36	1,28	1,2	1,08	0,9	0,78
	25	1,54	1,46	1,4	1,34	1,24	1,1	0,94	0,80
	30		1,54	1,46	1,38	1,3	1,14	0,98	0,82
	35								0,84

Fator D: umidade (A: < 5% argila)								
-	APF	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"
A(%)	1,5	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
	3	0,95	0,98	1	1,02	1,02	1,02	1,02
	5	0,89	0,94	0,95	1	1,02	1,02	1,02
	8	0,82	0,87	0,9	0,95	0,98	0,99	1,02
	9	0,78	0,82	0,87	0,9	0,94	0,95	1,00
	10	0,7	0,75	0,8	0,85	0,88	0,92	0,95
Fator D: umidade (B: > 5% argila)								
-	APF	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"
A(%)	1,5	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
	3	0,89	0,94	0,95	1	1,02	1,02	1,02
	4	0,82	0,87	0,9	0,95	0,98	0,99	1,02
	5	0,82	0,87	0,9	0,95	0,98	0,99	1,02
	8	0,7	0,75	0,8	0,85	0,88	0,92	0,95

ANEXO B- BRITAGEM SECUNDÁRIA

BRITADOR MP

EQUIPAMENTO : BRITADOR CÔNICO		
Projeto:	Usina Passa IV	
Fluxograma:		
Dados da Alimentação		Unidades
Minério	Ferro	
Alimentação	9.200.000	t/ano
Densidade Específica	2,6	t/m³
Densidade Aparente	1,6	t/m³
Umidade	3	%
Wi	12	kWh/t
Crushability		%
Abrasividade (Ai)	0,5	-
Top Size	345	mm
F80	152,4	mm
P80	60	mm
<i>Distribuição Granulométrica</i>	-	
Malha(mm)	% passante	
381	100,0	
165,1	84,9	
152,4	81,6	
139,7	77,4	
127	72,4	
114,3	66,2	
101,6	58,7	
88,9	49,5	
76,2	22,4	
50,8	17,2	
25,4	10,0	
Dados da Operação		
Fator de Projeto	1,2	
Horas de trabalho	18	h/dia
Dias de trabalho Disponíveis	365	d/ano
Disponibilidade Operacional	75%	%
Dias de trabalho efetivo	273,75	d/ano
Características da Britagem		
Tipo	Secundária	
Tipo de Britador	Conico -Standard	
Alimentação da Britagem (Nominal)	861,13	t/h
Alimentação da Britagem (Projeto)	1033,36	t/h
Seleção do Britador		
Modelo	MP 800	-
APF	50	mm
Capacidade do Britador- Tabelada max	1460	t/h
Capacidade do Britador- Tabelada min	1935	t/h
Quantidade de Britadores min	0,7	unid.
Quantidade de Britadores max	0,5	unid.
Razão de Redução	3,8	
Malha(mm)	% passante	
90	100,00	
75	92,00	
50	67,00	
38	54,00	
25	38,00	
19	30,00	
16	25,00	
13	22,00	
10	18,00	
6	13,00	

BRITADOR HP

EQUIPAMENTO : BRITADOR CÔNICO		Usina Passa IV
Projeto:		
Fluxograma:		
Dados da Alimentação		Unidades
Minério	Ferro	
Alimentação	9.200.000	t/ano
Densidade Específica	2,6	t/m³
Densidade Aparente	1,6	t/m³
Umidade	3	%
Wi	12	kWh/t
Crushability		%
Abrasividade (Ai)	0,5	-
Top Size	381	mm
F80	152,4	mm
P80	48	mm
Distribuição Granulométrica	-	
Malha(mm)	% passante	
381	100,0	
165,1	84,9	
152,4	81,6	
139,7	77,4	
127	72,4	
114,3	66,2	
101,6	58,7	
88,9	49,5	
76,2	22,4	
50,8	17,2	
25,4	10,0	
Dados da Operação		
Fator de Projeto	1,2	
Horas de trabalho	18	h/dia
Dias de trabalho Disponíveis	365	d/ano
Disponibilidade Operacional	75%	%
Dias de trabalho efetivo	273,75	d/ano
Características da Britagem		
Tipo	Secundária	
Tipo de Britador	Conico -Standard	
Alimentação da Britagem (Nominal)	861,13	t/h
Alimentação da Britagem (Projeto)	1033,36	t/h
Seleção do Britador		
Modelo	HP500	-
APF	45	mm
Capacidade do Britador- Tabelada max	690	t/h
Capacidade do Britador- Tabelada min	1050	t/h
Quantidade de Britadores max	1	unid.
Razão de Redução	5	
Malha(mm)	% passante	
80	100,0	
55	90,0	
48	80,0	
30	50,0	
25	30,0	
12	15,0	
3	4,0	

PENEIRA VIBRATÓRIA

EQUIPAMENTO : Peneira		Usina Passa IV	
Projeto:			
Fluxograma:			
Dados da Alimentação			Unidades
Minério		Ferro	
Alimentação		9.200.000	t/ano
Densidade Específica		2,6	t/m³
Densidade Aparente		1,6	t/m³
Umidade		3	%
Distribuição Granulométrica		-	
Malha(mm)		% passante	
381		100,0	
165,1		92,7	
152,4		91,1	
139,7		89,1	
127		86,7	
114,3		83,7	
101,6		80,1	
88,9		75,6	
76,2		62,6	
50,8		48,1	
25,4		27,9	
12,7		15,1	
6,35		7,9	
Dados da Operação			
Fator de Projeto		1,2	
Horas de trabalho		18	h/dia
Dias de trabalho Disponíveis		365	d/ano
Disponibilidade Operacional		75%	%
Dias de trabalho efetivo		273,75	d/ano
Característica do Peneiramento			
Tipo		Secundário	
Alimentação do peneiramento total (Nominal)		1400,30	t/h
Alimentação do Peneiramento total (Projeto)		1680,37	t/h
Circuito		Aberto	
Alimentação		Britador Primário	
Quantidade de decks		2	
Deck 1		deck de alivio	
Granulometria		100	
Deck 2		-	
Granulometria		75	mm

EQUIPAMENTO : Peneira		Usina Passa IV	
Projeto:			
Fluxograma:			
Dimensionamento		deck 1	
Fatores		-	
I _U		115,3	
K ₁		1,6	
K ₂		1,8	
K ₃		0,98	
K ₄		1	
K ₅		1	
K ₆		0,97	
K ₇		1	
K ₈		0,8	
K ₉		1	
K ₁₀		1	
Capacidade real		252,66	
Área de peneiramento		6,65	m²
Eficiência calculada		0,90	
Altura do Leito		64,99	mm
Dimensionamento		deck 2	
Fatores		-	
I _U		95,725	
K ₁		1,46	
K ₂		1,452	
K ₃		1,05	
K ₄		1	
K ₅		0,9	
K ₆		1	
K ₇		1	
K ₈		0,8	
K ₉		1	
K ₁₀		1	
Capacidade real		153,66	
Área de peneiramento		8,76	m²
Eficiência calculada		0,83	
Altura do Leito		80,23	mm
Seleção da Peneira			
Modelo		Peneira XH 7'x16'	-
Área ativa		10,4	m²
Quantidade de peneiras		1	un
Largura da Peneira		2,14	m
Comprimento		4,88	m
Malha(mm)- oversize		% passante	
	381	100,0	
	165,1	84,9	
	152,4	81,6	
	139,7	77,4	
	127	72,4	
	114,3	66,2	
	101,6	58,7	
	88,9	58,6	
	76,2	31,5	
	50,8	31,5	
	25,4	24,3	
	12,7	19,7	
	6,35	17,1	

ANEXO C- BRITAGEM TERCIÁRIA

BRITADOR MP

EQUIPAMENTO : BRITADOR CÔNICO		Usina Passa IV
Projeto:		
Fluxograma:		
Dados da Alimentação		Unidades
Minério	Ferro	
Alimentação	603,70	t/ano
Densidade Específica	2,6	t/m³
Densidade Aparente	1,6	t/m³
Umidade	3	%
Wi	12	kWh/t
Crushability		%
Abrasividade (Ai)	0,5	-
Top Size	90	mm
F80	60	mm
P80	19	mm
Distribuição Granulométrica	-	
Malha(mm)	% passante	
90	100,00	
75	89,44	
55	67,91	
48	47,61	
35	37,05	
25	7,70	
12	3,88	
6,35	2,32	
Dados da Operação		
Fator de Projeto	1,2	
Horas de trabalho	18	h/dia
Dias de trabalho Disponíveis	365	d/ano
Disponibilidade Operacional	75%	%
Dias de trabalho efetivo	273,75	d/ano
Características da Britagem		
Tipo	Terciária	
Tipo de Britador	Conico -Short head	
Alimentação da Britagem (Nominal)	603,70	t/h
Alimentação da Britagem (Projeto)	724,44	t/h
Seleção do Britador		
Modelo	MP1000	-
APF	19	mm
Capacidade do Britador- Tabelada max	730	t/h
Capacidade do Britador- Tabelada min	615	t/h
Quantidade de Britadores max	1	unid.
Razão de Redução	2	
Malha(mm)	% passante	
38	100,0	
25	94,0	
19	82,0	
16	73,0	
13	63,0	
10	52,0	
6	36,0	

BRITADOR HP

EQUIPAMENTO : BRITADOR CÔNICO		Usina Passa IV
Projeto:		
Fluxograma:		
Dados da Alimentação		Unidades
Minério	Ferro	
Alimentação	603,70	t/ano
Densidade Específica	2,6	t/m³
Densidade Aparente	1,6	t/m³
Umidade	3	%
Wi	12	kWh/t
Crushability		%
Abrasividade (Ai)	0,5	-
Top Size	90	mm
F80	60	mm
P80	16	mm
Distribuição Granulométrica	-	
Malha(mm)	% passante	
90	100,00	
75	89,44	
55	67,91	
48	47,61	
35	37,05	
25	7,70	
12	3,88	
Dados da Operação		
Fator de Projeto	1,2	
Horas de trabalho	18	h/dia
Dias de trabalho Disponíveis	365	d/ano
Disponibilidade Operacional	75%	%
Dias de trabalho efetivo	273,75	d/ano
Características da Britagem		
Tipo	Terciária	
Tipo de Britador	Conico -Short head	
Alimentação da Britagem (Nominal)	603,70	t/h
Alimentação da Britagem (Projeto)	724,44	t/h
Seleção do Britador		
Modelo	HP800	-
APF	16	mm
Capacidade do Britador- Tabelada max	500	t/h
Capacidade do Britador- Tabelada min	385	t/h
Quantidade de Britadores min	1,4	unid.
Quantidade de Britadores max	1,9	unid.
Razão de Redução	2,6	
Malha(mm)	% passante	
35	100,00	
20	90,00	
16	80,00	
9	50,00	
3	20,00	

PENEIRA VIBRATÓRIA

EQUIPAMENTO : Peneira		Usina Passa IV	
Projeto:			
Fluxograma:			
Dados da Alimentação			Unidades
Minério		Ferro	
Alimentação Nova		8.400.000	t/ano
Densidade Específica		2,6	t/m³
Densidade Aparente		1,6	t/m³
Umidade		3	%
Distribuição Granulométrica		-	
Alimentação nova		-	
Malha(mm)		% passante	
90		100	
75		92,00	
55		75,70	
48		60,33	
35		52,33	
25		30,10	
12		17,29	
6,35		9,8	
Dados da Operação			
Fator de Projeto		1,2	
Horas de trabalho		18	h/dia
Dias de trabalho Disponíveis		365	d/ano
Disponibilidade Operacional		75%	%
Dias de trabalho efetivo		273,75	d/ano
Caracterítica do Peneiramento			
Tipo		Terciário	
Alimentação do peneiramento -Nova(Nominal)		1278,50	t/h
Alimentação do Peneiramento Nova(Projeto)		1534,25	t/h
Carga circulante		75,72	%
Alimentação Total (nominal)		1805,70	t/h
Alimentação Total (Projeto)		2696,03	t/h
Circuito		Fechado	
Alimentação		Pilha de estocagem	
Quantidade de decks		2	
Deck 1		-	
Granulometria		55	mm
Deck 2		-	
Granulometria		25	mm

EQUIPAMENTO : Peneira		Usina Passa IV	
Projeto:			
Fluxograma:			
Dimensionamento		deck 1	
Fatores		-	
I _U		80,065	
K ₁		1,4	
K ₂		0,84	
K ₃		1,00	
K ₄		1	
K ₅		1	
K ₆		0,97	
K ₇		1	
K ₈		0,8	
K ₉		1	
K ₁₀		1	
Capacidade real		72,83	t/h/m²
Área de peneiramento		37,02	m²
Eficiência calculada		0,90	
Altura do Leito		58,81	mm
Dimensionamento		deck 2	
Fatores		-	
I _U		56,6	
K ₁		1,28	
K ₂		0,66	
K ₃		1,34	
K ₄		1	
K ₅		0,9	
K ₆		1	
K ₇		1	
K ₈		0,8	
K ₉		1	
K ₁₀		1	
Capacidade real		45,94	t/h/m²
Área de peneiramento		58,69	m²
Eficiência calculada		0,90	
Altura do Leito		80,26	mm
Seleção da Peneira			
Modelo		Peneira SH 8'x20'	-
Área ativa		14,9	m²
Quantidade de peneiras		4	un
Largura da Peneira		2,44	m
Comprimento		6,10	m
Malha(mm)		% passante	
90		100,0	
75		89,4	
55		67,9	
48		47,6	
35		37,0	
25		7,7	
12		3,9	
6,35		2,3	