

PMI2059 - Projeto de Engenharia de Minas I

Britagem

São Paulo – 30 de setembro de 2020

Professor Mauricio Guimarães Bergerman

ETAPAS DE PROCESSAMENTO ENVOLVENDO SÓLIDOS PARTICULADOS

- Preparação:
 - Cominuição e classificação;
- Concentração:
 - Métodos densitários;
 - Flotação;
 - Separação magnética e eletrostática;
 - Outros: separação óptica (ore sorting).
- Desaguamento:
 - Espessamento, filtragem e secagem.
- Transporte

Cominuição

Cominuição (comminuere – fazer menor) = redução controlada de tamanho

Objetivos: manuseio, permitir transporte contínuo, atender especificações de mercado, liberar as espécies minerais.

BRITAGEM: **principalmente** compressão e impacto

tamanhos maiores, separação de tamanhos por peneiramento, geralmente feita a seco

MOAGEM: **principalmente** impacto, atrição e abrasão

tamanhos menores, separação de tamanhos por classificação, preferencialmente feita a úmido

Cominuição – seleção de alternativas

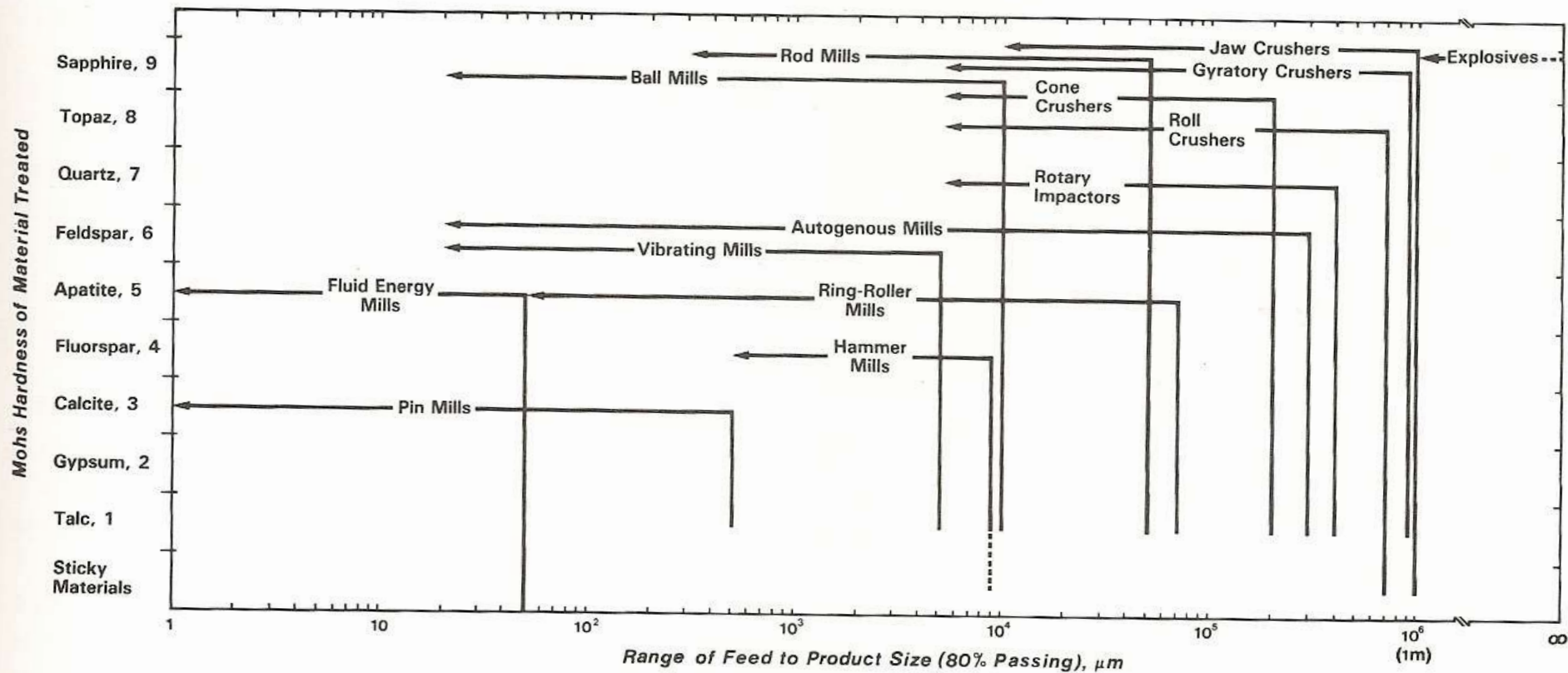


Figure II.1. Applicability of size reduction equipment.

Britagem

Pequena relação de redução: forças aplicadas são elevadas e a geometria do equipamento tem importância fundamental

Principais tipos de britadores:

- ❑ Mandíbulas (1 ou 2 eixos);
- ❑ Giratórios (cônicos);
- ❑ Rolos;
- ❑ Impacto.

Britagem

Relação de redução:

$$Rr = \frac{Ta}{Ts} \quad \text{Tamanho de alimentação e produto (top size, } P_{80}, \text{ etc)}$$

Estágio	Relação de redução
Britagem primária	Até 8:1
Britagem secundária	6 a 8:1
Britagem terciária	4 a 6:1
Britagem quartenária	Até 20
Moagem grossa*	Até 20
Moagem fina	100 a 200

*Barras 10:1 e Bolas 25:1

Britagem

▶ Características comuns de britadores

- Maior eficiência energética que moinhos tubulares rotativos

Equipamento	Intervalo típico de aplicação (mm)	Eficiência aproximada (%)
Explosivos	+ 1.000	70
Britador giratório	1.000-200	80
Britador cônico	200-20	60
Moinho autógeno/SAG	200-2	3
Moinho de barras	20-5	7
Moinho de bolas	5-0,2	5
Moinho atritor	0,2-0,001	1,5
Prensa de rolos	20-1	20-30

Britagem

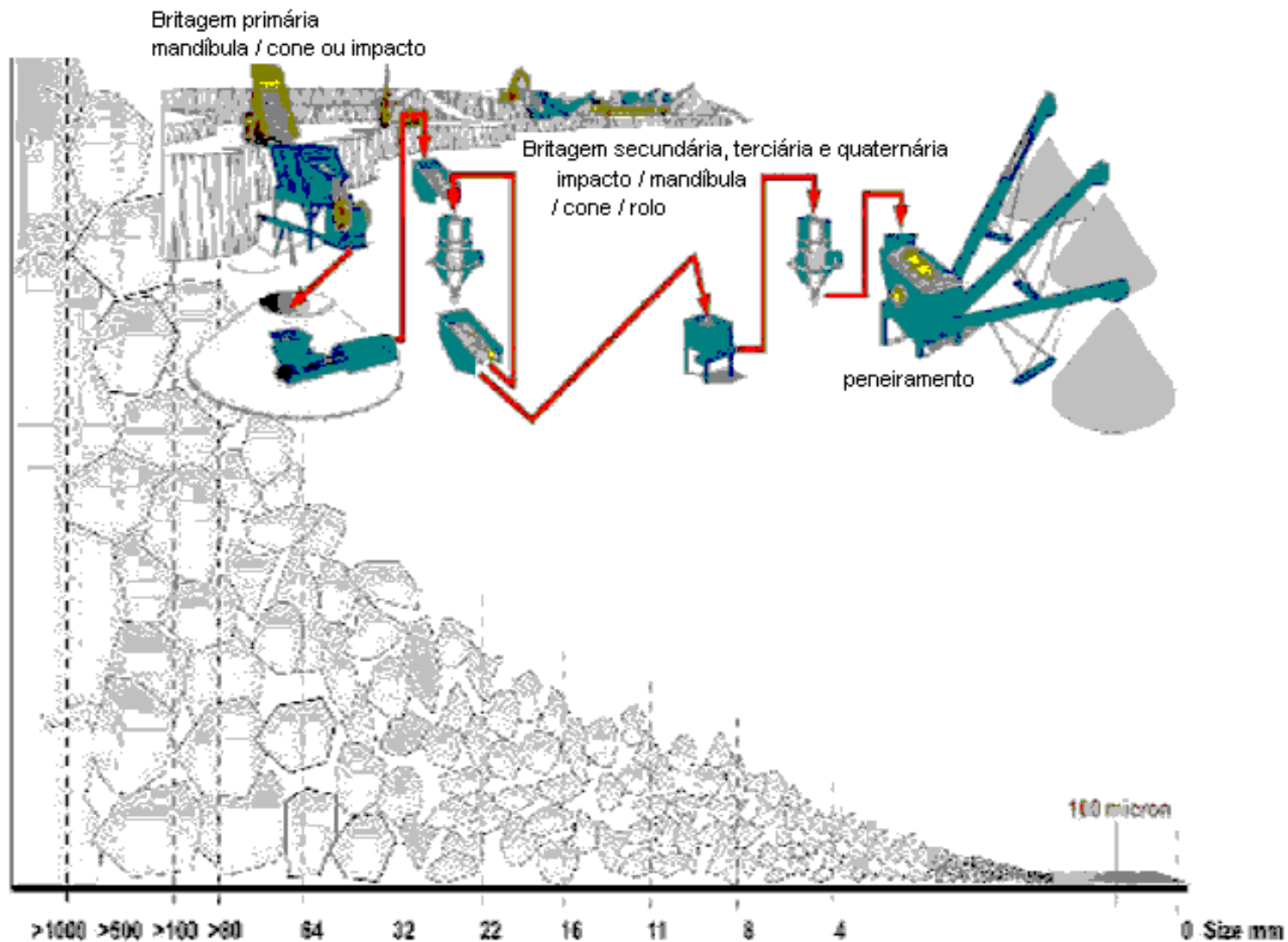




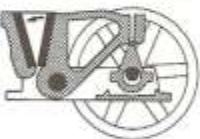

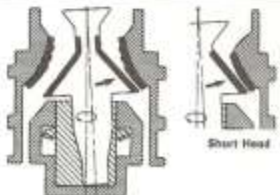


TABLE 8.1: THE MAJOR TYPES OF CRUSHERS

		Size (mm)	Power (kW)	Speed (r.p.m.)	Reduction Ratio	Characteristics and Applications	
JAW CRUSHERS	ELECTRO-ENERGETIC		to 260	2 - 3 min for 5 - 10 tonne boulder		Primarily used to break oversized rocks before a primary crusher.	
	Blake (Double Toggle)		125 (base) x 150 (width) to 1600 x 2100	2.25 to 225**	300 to 100	Average 7:1 Range 4:1 to 9:1	Originally the standard jaw crusher used for primary and secondary crushing of hard, tough abrasive rocks. Also for sticky feeds. Relatively coarse slabby product, with minimum fines. Flywheel overcomes power draft.
	Overhead Pivot (Double Toggle)		180 x 305 to 1220 x 1525	11 to 150**	390 to 257	Average 7:1 Range 4:1 to 9:1	Similar applications to Blake. Overhead pivot reduces rubbing on crusher faces, reduces choking, allows higher speeds and therefore higher capacities. Energy efficiency higher because jaw and charge not lifted during cycle.
	Overhead Eccentric (Single Toggle)		125 x 150 to 1600 x 2100	2.25 to 400**	300 to 120	Average 7:1 Range 4:1 to 9:1	Originally restricted to smaller sizes by structural limitations. Now in same sizes as Blake, which it has tended to supersede, because overhead eccentric encourages feed and discharge, allowing higher speeds and capacity, but with higher wear and more attrition breakage and slightly lower energy efficiency. Unsuitable for very hard, tough abrasive rock. Sometimes made with twin swing jaws.
	Dodge		100 x 150 to 280 x 380	2.25 to 11**	300 to 250	Average 7:1 Range 4:1 to 9:1	Bottom pivot gives closer sized product than Blake, but Dodge is difficult to build in large sizes, and is prone to choking. Generally restricted to laboratory use.
GYRATORY CRUSHERS	True Gyratory		760 (opening width) x 1400 (mantle maximum diameter) to 2135 x 3300	5 to 750	450 to 110	Average 8:1 Range 5:1 to 10:1	True gyratory crushers characterized by diverging crushing surfaces (outer surface or bowl has inward slope towards bottom). Used for primary and secondary rock, with minimum fines. Taller, higher capacity, and more suitable for slabby feeds than jaw crusher.
	Cone		600 (cone diameter) to 3050	22 to 800	280 to 220	Secondary crushing 6:1 to 8:1 Tertiary crushing 4:1 to 6:1	Cone gyratories are characterized by converging crushing surfaces (outer surface tends to parallel mantle surface). Used for secondary and tertiary crushing. Generally as the particle size decreases (e.g. tertiary crushing) the outer crushing surface is made straighter and more parallel to a steeper mantle (often called a "Short Head" crushed). Tertiary crushers are often choke fed.

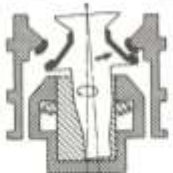






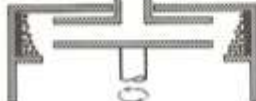
* Data intended only to indicate capacity. Manufacturers' catalogs and Bond's Law should be consulted for reliable information.

** For very hard rock, power may be up to 50% higher provided machine is strengthened.

* Reg. Trade Mark, Rexnord Inc.

Britage

TABLE 8.1 (Continued)

		Size (mm)	Power (kW)	Speed (r.p.m.)	Capacity* (t/hr)	Reduction Ratio	Characteristics and Applications
GYRATORY CRUSHERS	 Gyratories*	800 (diameter)	100	325		2:1	For very fine or quaternary crushing. Choke feeding and low cone angle cause fracture between particle layers, reduce wear, give more cubic particle shape. Used to produce aggregate (instead of rod mill), or to ensure uniform sized rod mill feed. Unsuitable for sticky feeds.
		to	to	to		to	
2100	400	200		4:1			
ROLL CRUSHERS	 Single Rolls	600 (diameter) x 450 (width)	15	80	20	to	Basically primary or secondary crusher, suitable for softer, friable, non-abrasive materials such as coal or limestone. Better than jaw and gyratory crushers on wet and sticky materials.
		to	300	22	1500	7:1	
ROLL CRUSHERS	 Double Rolls	750 (diameter) x 350 (width)	27	190	20	to	At low reduction ratios, product is comparatively low in fines. Still in use in some plants as tertiary (rock) crushers, but largely superseded by cone crushers. Tapered rolls (with width ~ twice dia.) are used for coal crushing.
		1800 x 900 or 860 x 2100	112	50	2000	3:1	
ROTARY BREAKERS	 Rotary Breakers	2100 (diameter) x 3850 (length)	7	18	400	Run-of- mine coal	Breaks run-of-mine coal to a predetermined top size (with minimum of fines) as well as removing coarse refuse.
		to	to	to	to	product of 40 or 150mm	
IMPACT CRUSHERS	 Hammer Mills	Feed opening 160 x 230	11	1800	to	to 20:1, open circuit	Characterised by bar screen screen outlet. Many forms: reversible/non-reversible, adjustable/non-adjustable cage, non-clog, ring granulator. Most breakage by impact, some by attrition. Used for primary, secondary, tertiary crushing, for cubic shape, maximum fines. Feed not hard or abrasive.
		to	to	to	2500	to 40:1, closed circuit	
840 x 1470	375	600					
IMPACT CRUSHERS	 Impactors	Feed opening to	to	to	to	to 40:1 closed circuit	Characterised by breaker plates and open discharge. For primary, secondary, tertiary crushing of soft, friable materials. Recommended when large reduction ratio, high capacity, cubic shaped, well-graded product and minimum fines are required. Higher speeds can be used to give more fines.
		1400 x 2300	450	800	1200		
IMPACT CRUSHERS	 Cage Disintegrators	750 (diameter)	22	1500	5		May have 1, 2, 4 or 6 cages mounted concentrically. Feed enters center of inner cage, and centrifuges outward, being subjected to increasingly higher impact forces at each stage. Otherwise similar to impactors.
		to	to	to	to		
1300	250	400	80				
IMPACT CRUSHERS	 Vertical Spindle	685 (rotor diameter)	55	2300	200		Feed centrifuged by rotor. Breaker ring protected from wear by persistent layer of a product. Essentially a tertiary crusher for very hard rock. Low wear and more cubic product relative to hammer mills.
		to	to	to	to	2:1	
990	150	1400	100				

Circuito clássico de cominuição

ROCHA DESMONTADA
POR EXPLOSIVOS

grelha

britador de mandíbulas em
superfície ou subterrâneo

escalpe

britador cônico
secundário

circuito aberto

britador cônico
terciário

ciclone

moinho de
bolas

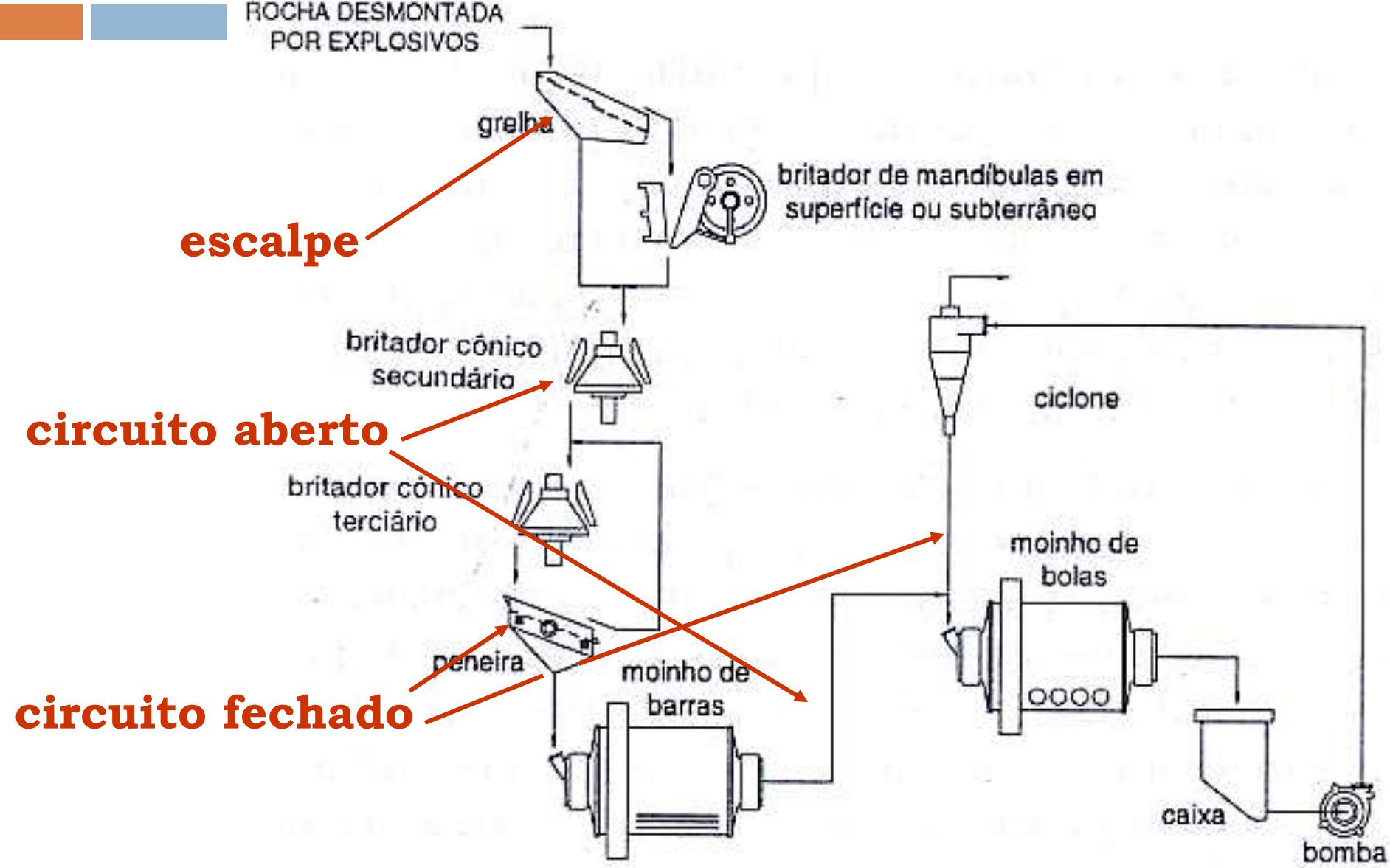
peneira

moinho de
barras

caixa

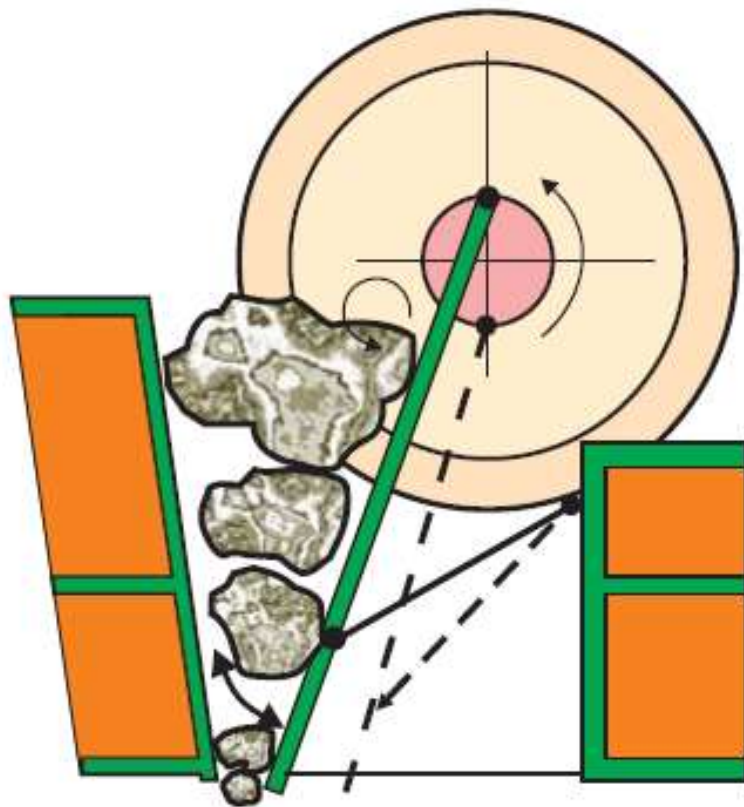
bomba

circuito fechado



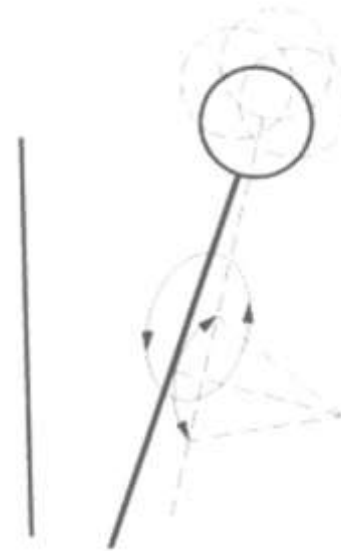
Britagem - equipamentos

Britador de mandíbulas de 1 eixo (Dodge)



Britador de 1 eixo

Fonte: Manual metso, 6 edição



existe uma componente do movimento na direção das mandíbulas =

desgaste abrasivo !

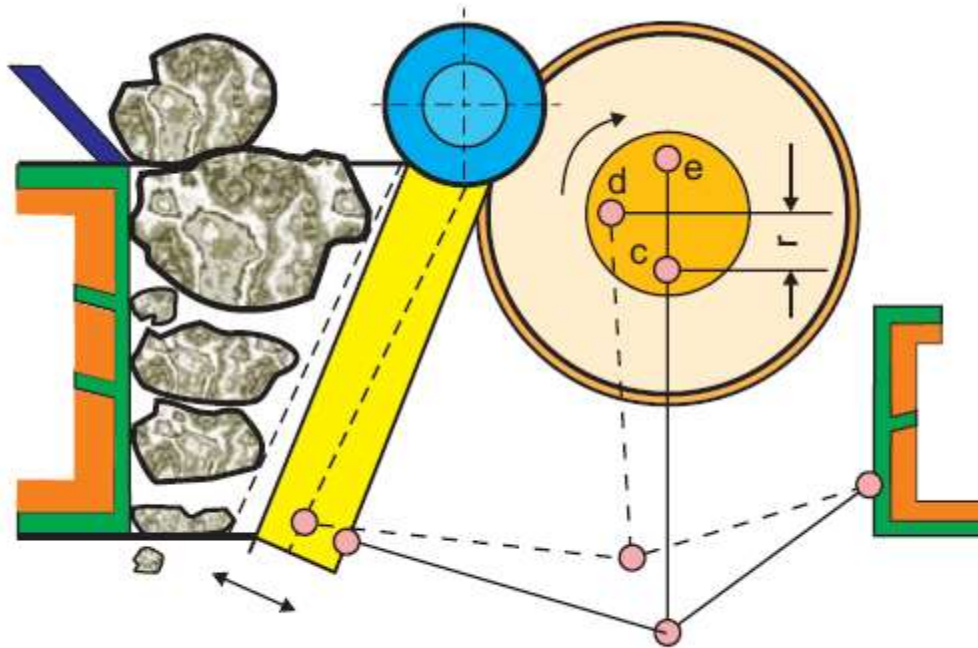
Britagem - equipamentos

Britador de mandíbulas de 1 eixo (Dodge)



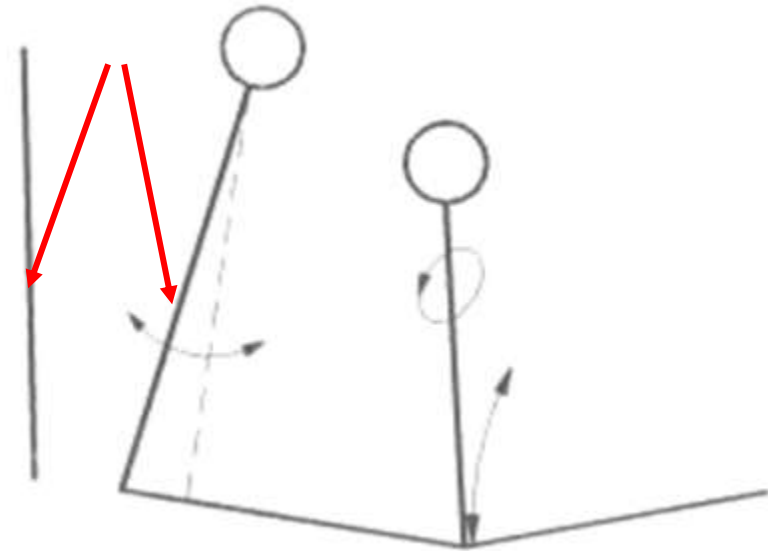
Britagem - equipamentos

Britador de mandíbulas de 2 eixos (Blake)



Britador de 2 eixos

mandíbulas



**só movimento de
abrir e fechar !**

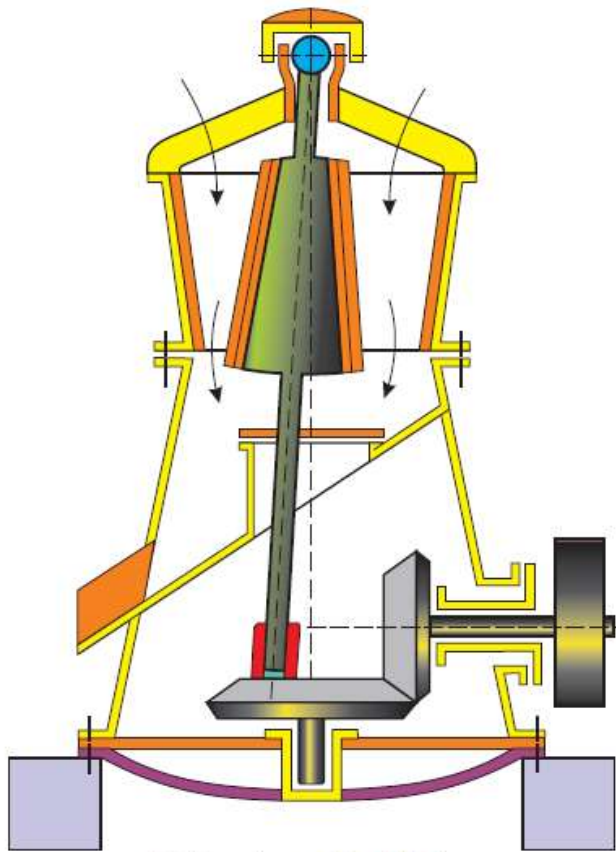
Britagem - equipamentos

Britador de mandíbulas de 2 eixos (Blake)



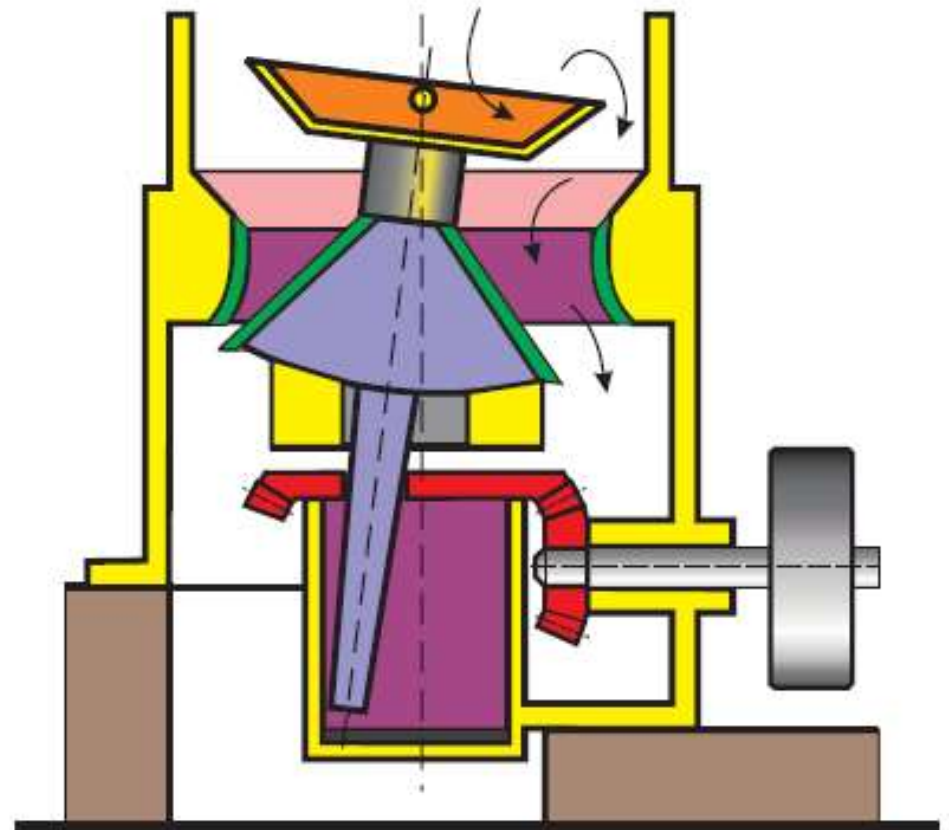
Britagem - equipamentos

Família dos britadores giratórios



Britador giratório

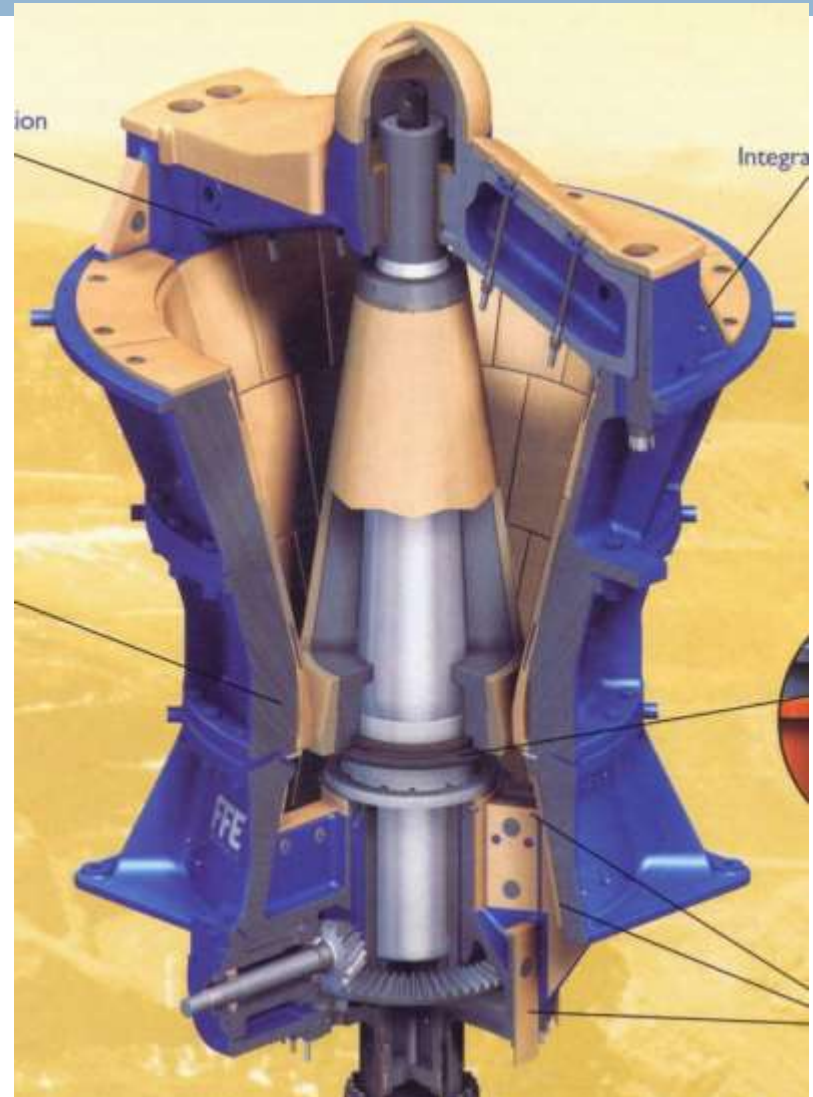
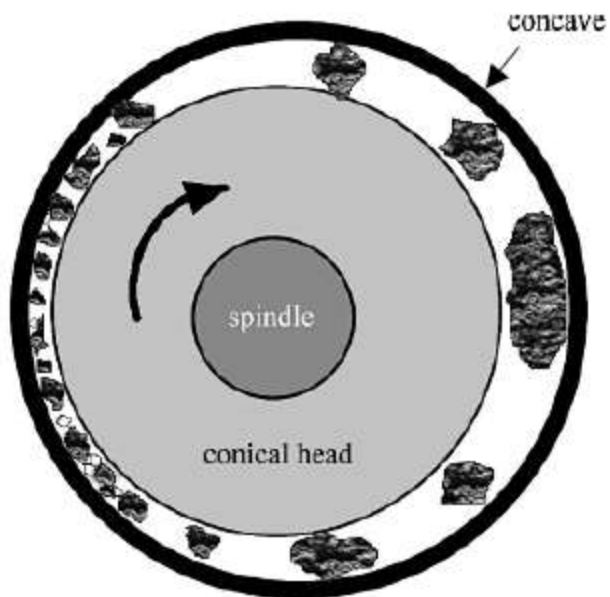
Fonte: Manual metso, 6 edição



Britador cônico

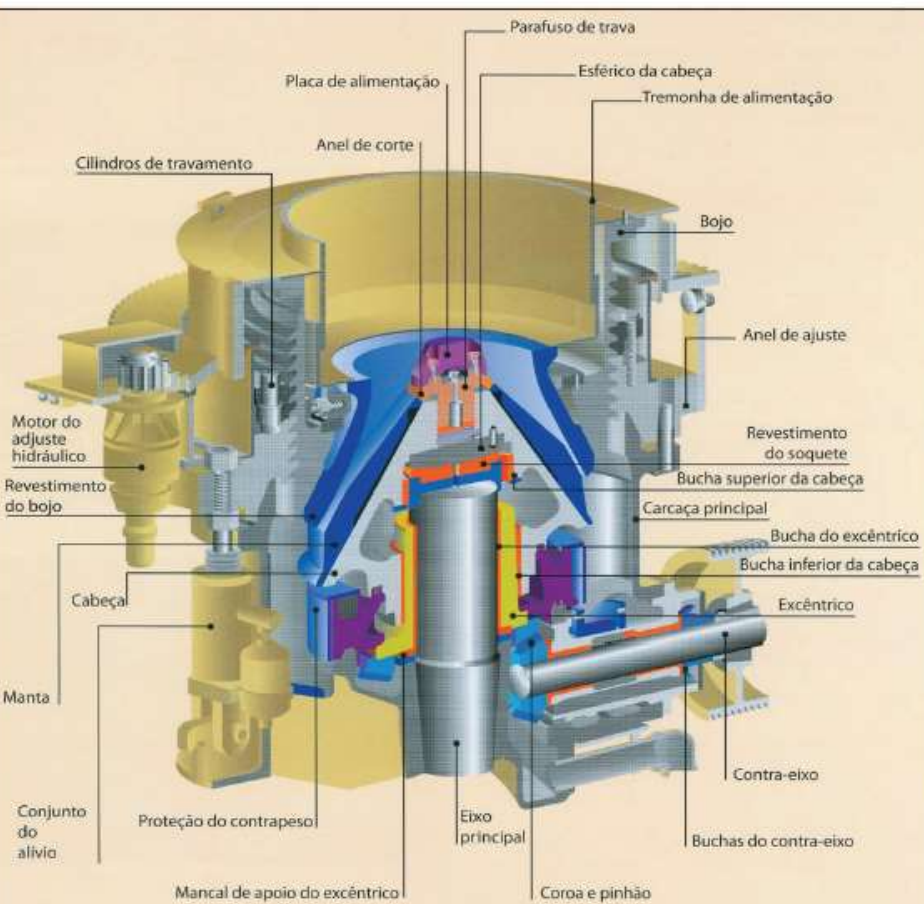
Britagem - equipamentos

Britador giratório

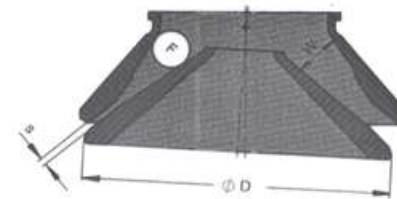


Britagem - equipamentos

Britador cônico



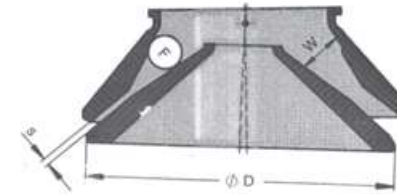
A-type "coarse"



D = nominal head diameter
 W = max. open side setting
 F = max. feed size, closed side
 s = closed side setting
 Product based on square mesh screen throughs.

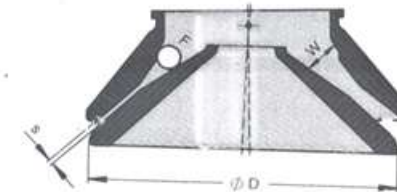
Large feed size "F".
 Large settings "s".
 On an average, 60-70% of the product is smaller than the discharge setting.

B-type "medium"



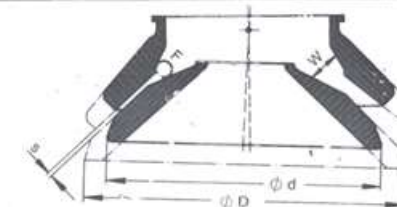
Medium feed size "F".
 Medium settings "s".
 On an average, 65-75% of the product is smaller than the discharge setting.

C-type "fine"



Small feed size "F".
 Small settings "s".
 On an average, 65-80% of the product is smaller than the discharge setting.

S-type "sand" (extra fine)



Very small feed size "F".
 Minimum settings "s".
 On an average, 50-60% of the product is smaller than the discharge setting.

Britagem - equipamentos

Britador cônico



Britagem - equipamentos

Britador cônico vs. mandíbula

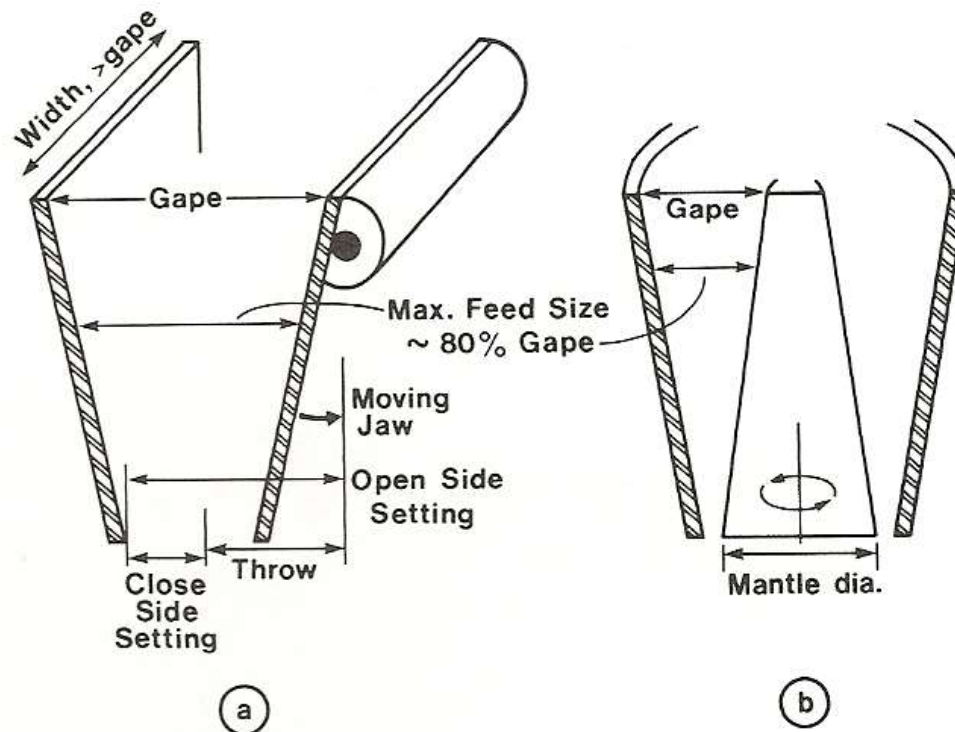


Figure 8.3. Definitions of crusher openings. Jaw crushers are normally specified by the gape \times width, gyratory crushers by gape \times mantle diameter, and cone crushers by the diameter of the feed opening (approx. $2 \times$ gape).

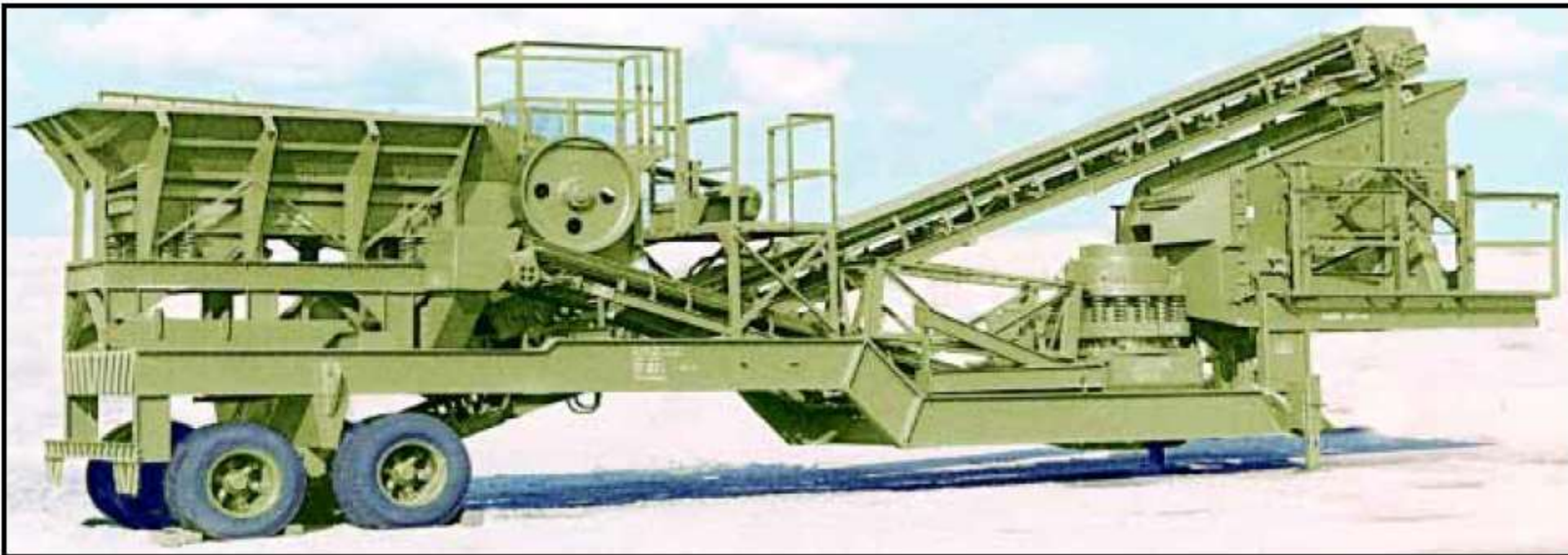
Britagem - equipamentos

Britadores móveis – normalmente de mandíbulas ou giratórios



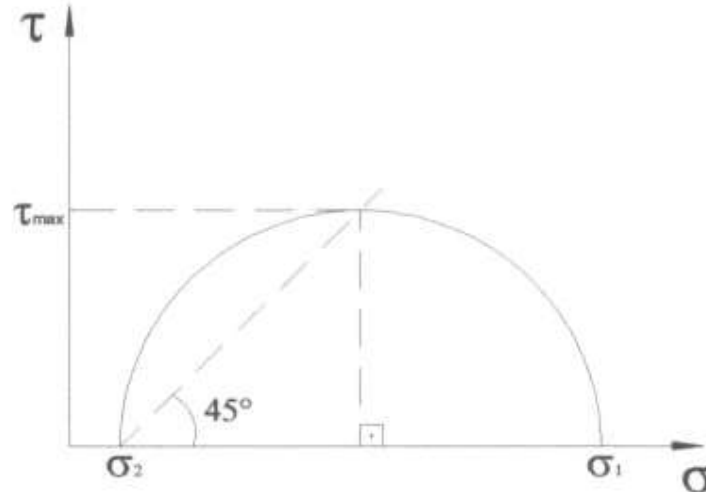
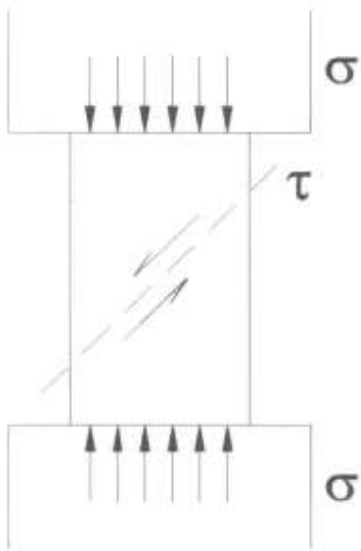
Britagem - equipamentos

Britadores móveis – normalmente de mandíbulas ou giratórios



Britagem – Produtos dos britadores

- ❑ As câmaras tem geometrias muito semelhantes e limitadas;
- ❑ O evento de fratura ocorre um número limitado de vezes;
- ❑ As partículas tendem a se romper sempre pelo mesmo mecanismo (cisalhamento a 45° com as tensões de compressão)

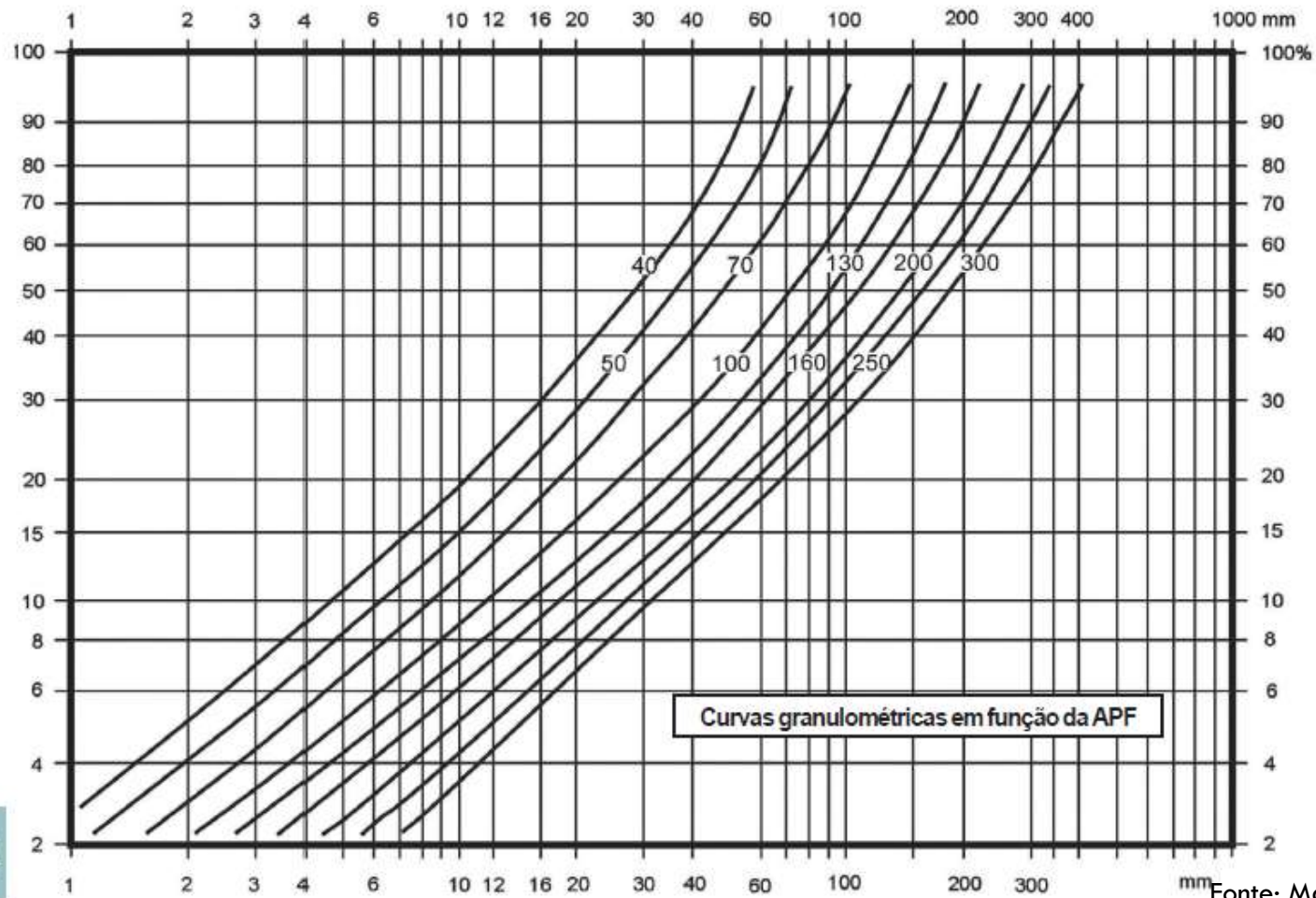


Britagem – Produtos dos britadores

- As forças aplicadas pelos britadores são muito grandes, capazes de quebrar qualquer coisa.
- Parece lógico que as distribuições granulométricas fornecidas por estes equipamentos tendam a ser sempre as mesmas, independentemente do material que está sendo britado.

Britagem – Produtos dos britadores

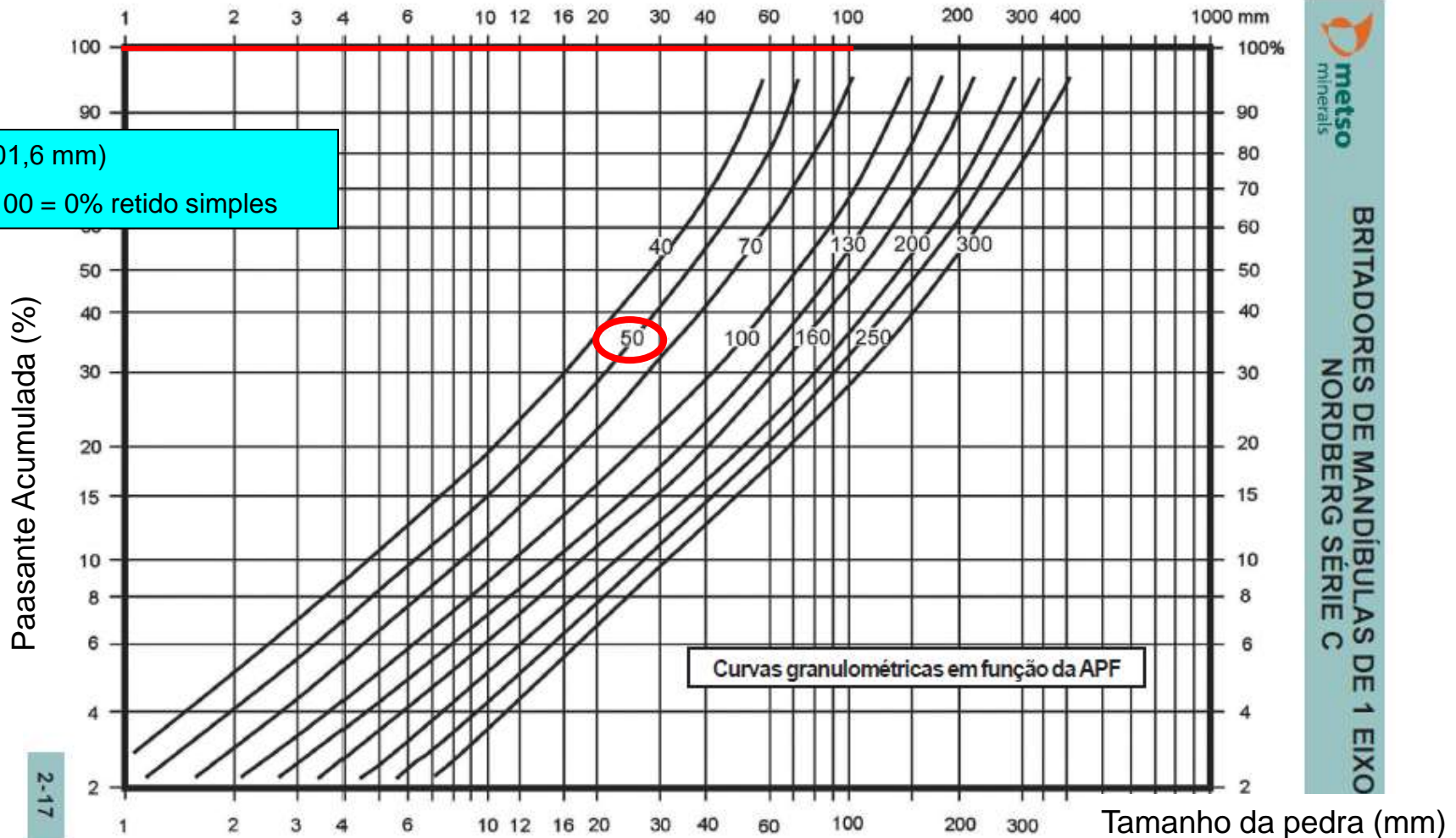
- E isto realmente ocorre!



Britagem – Produtos dos britadores

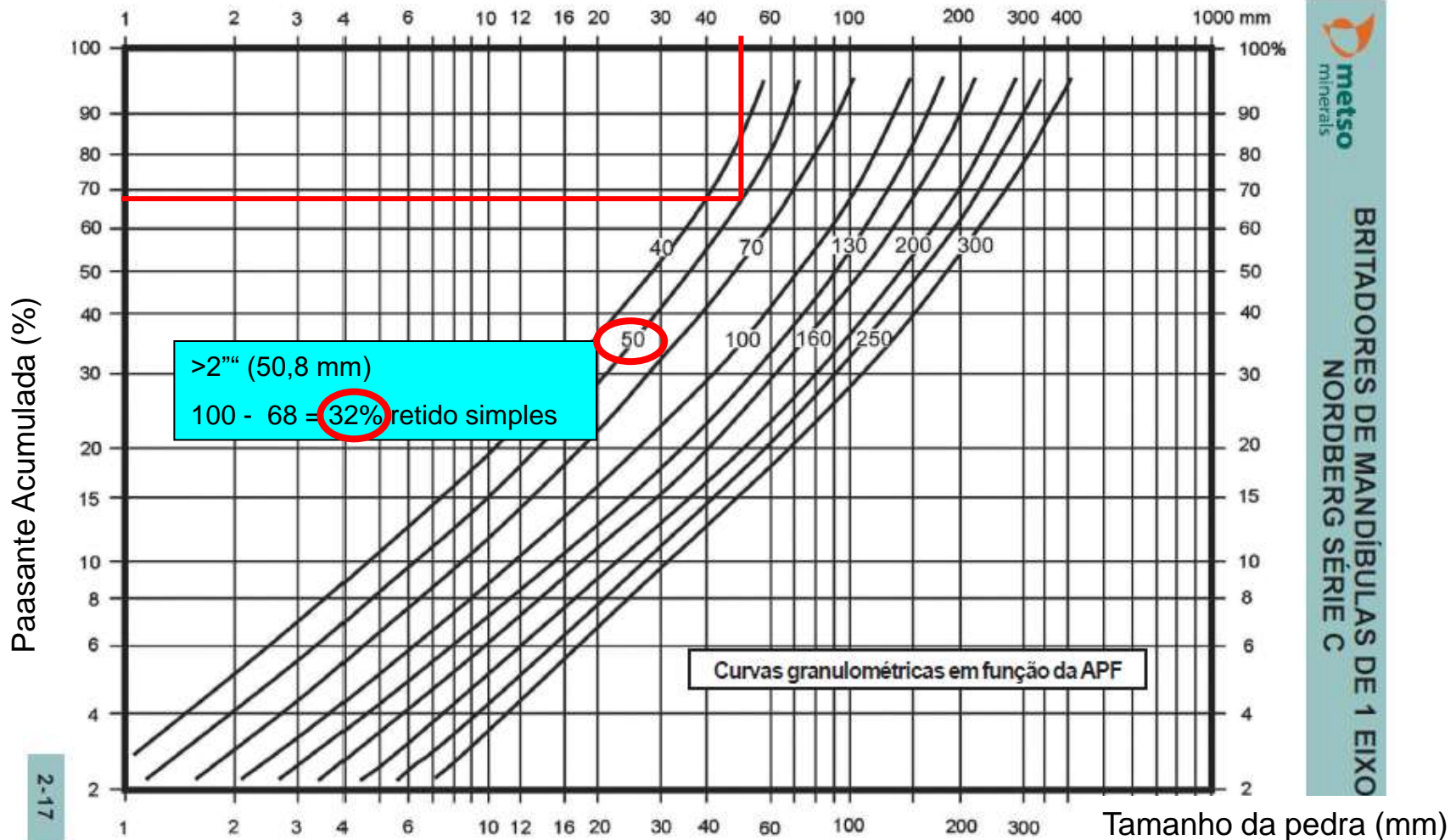
- Qual a distribuição granulométrica considerando uma APF de 2" (50,8 mm)?

>4" (101,6 mm)
100 - 100 = 0% retido simples



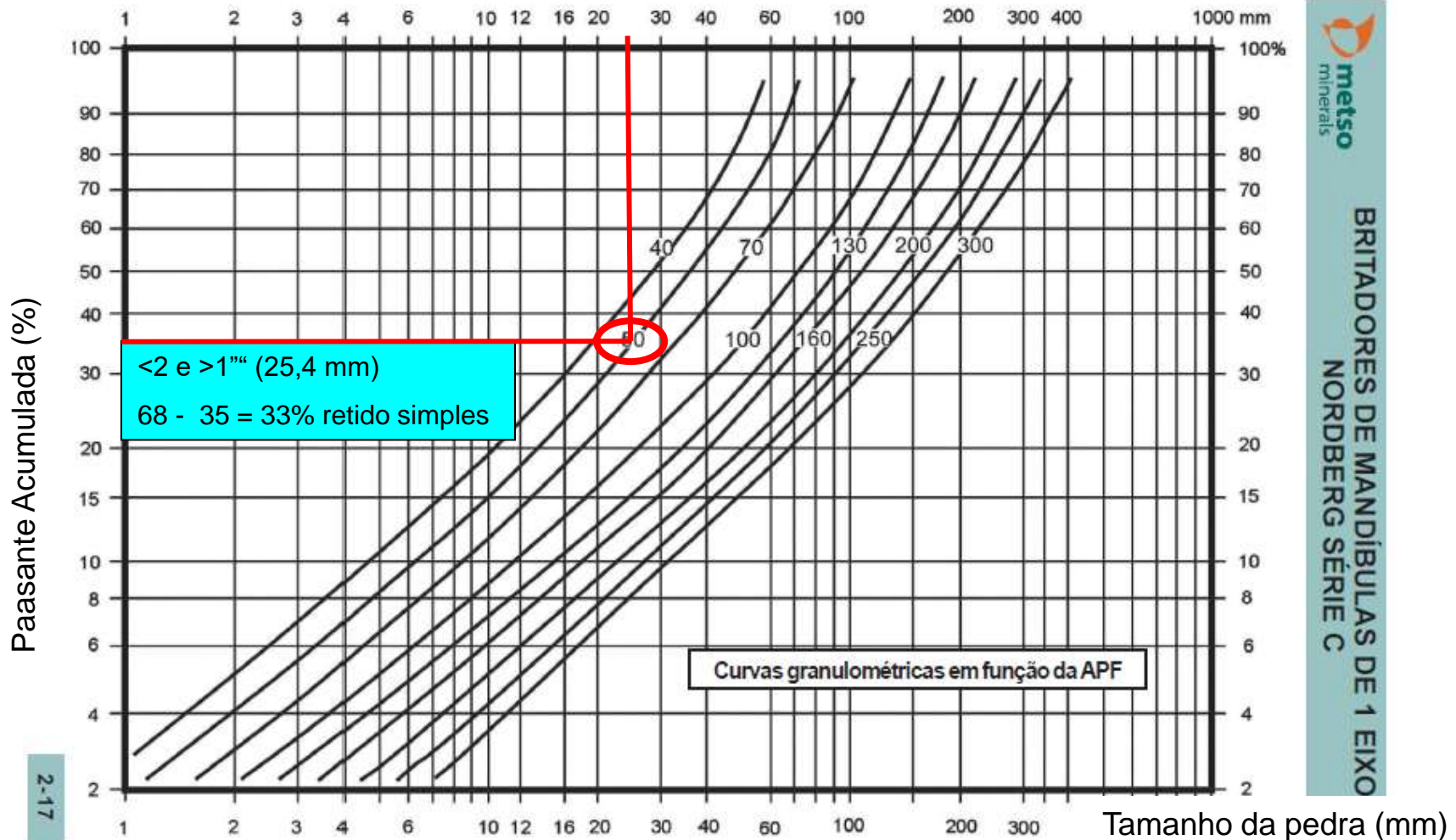
Britagem – Produtos dos britadores

- Qual a distribuição granulométrica considerando uma APF de 2" (50,8 mm)?



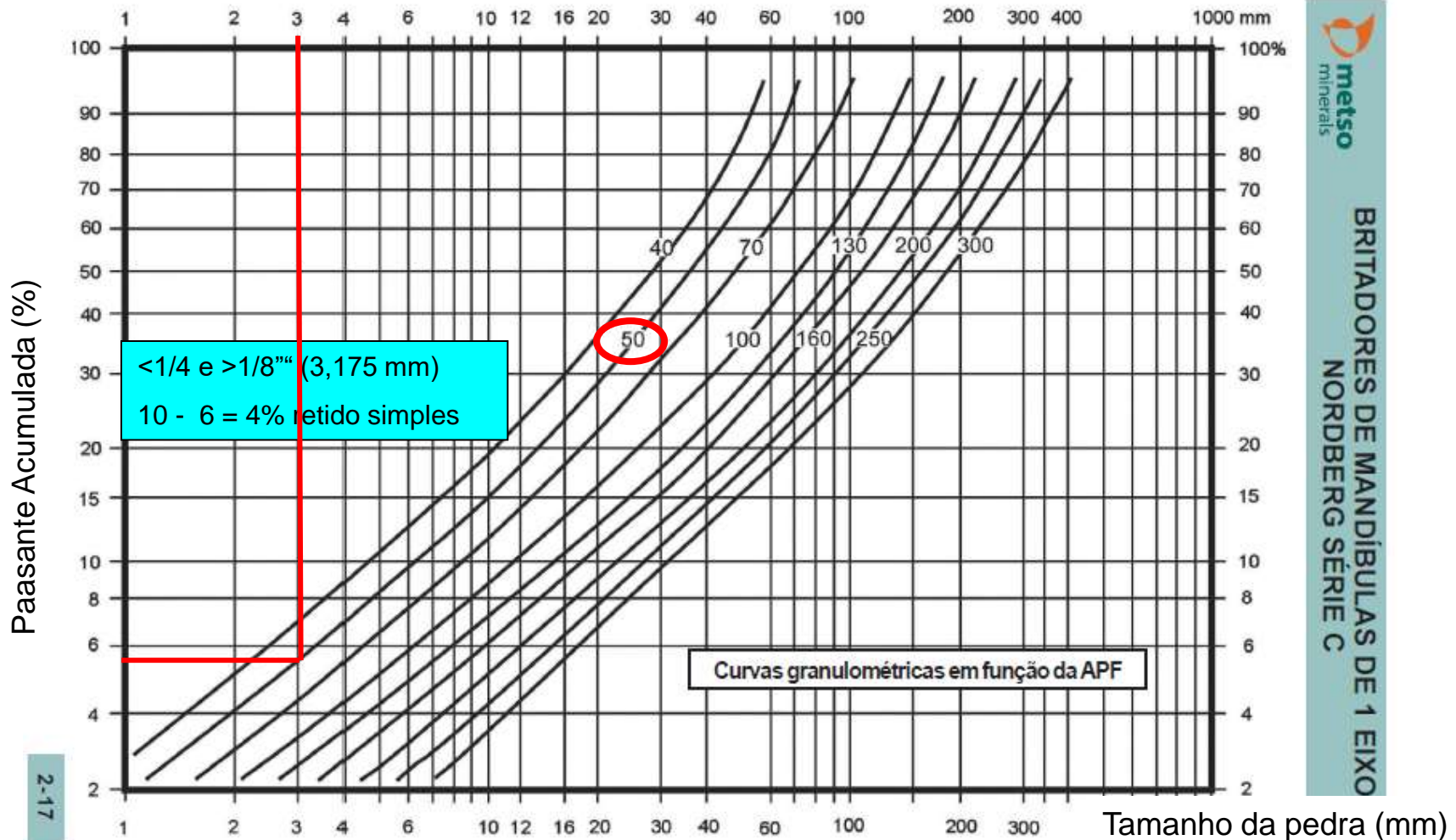
Britagem – Produtos dos britadores

- Qual a distribuição granulométrica considerando uma APF de 2" (50,8 mm)?



Britagem – Produtos dos britadores

- Qual a distribuição granulométrica considerando uma APF de 2" (50,8 mm)?

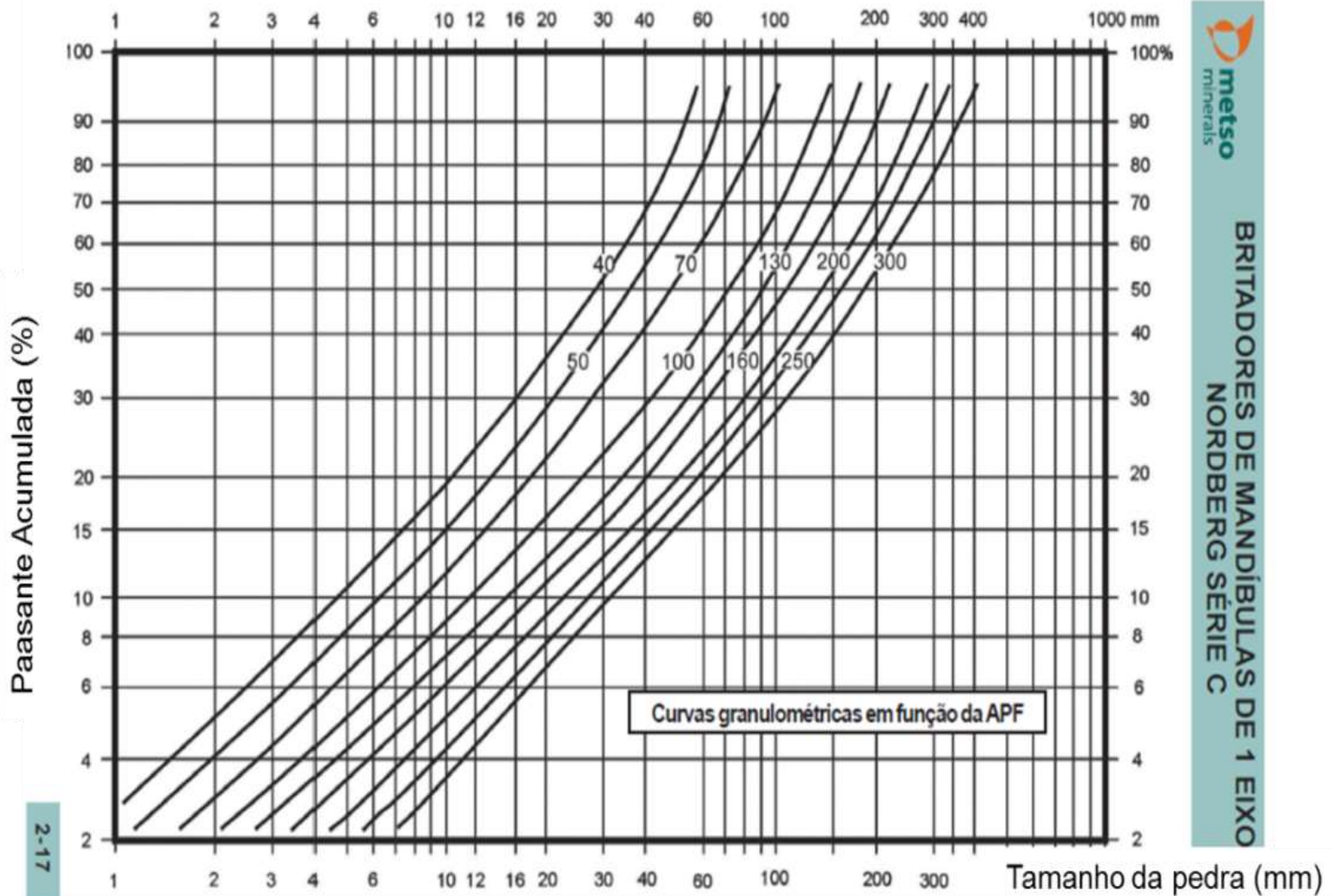


Britagem – Produtos dos britadores

- Qual a distribuição granulométrica considerando uma APF de 2" (50,8 mm)?

Malha (mm)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)	Retido simples (%)
101,6	100	0	0
50,8	68	32	32
25,4	35	65	33
12,7	18	82	17
6,35	10	90	8
3,175	6	94	4
-3,175	0	100	6

Britagem – Produtos dos britadores



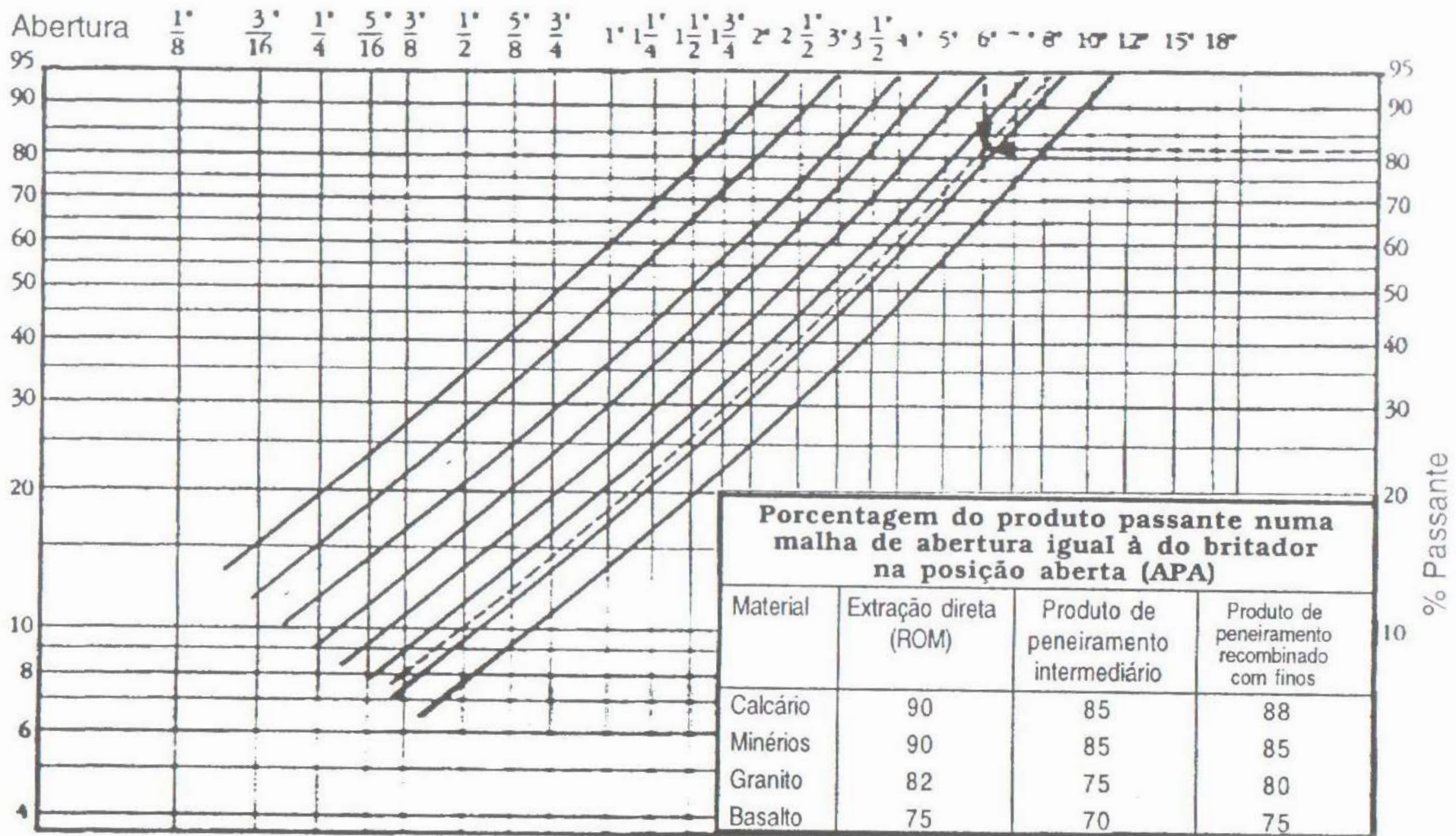
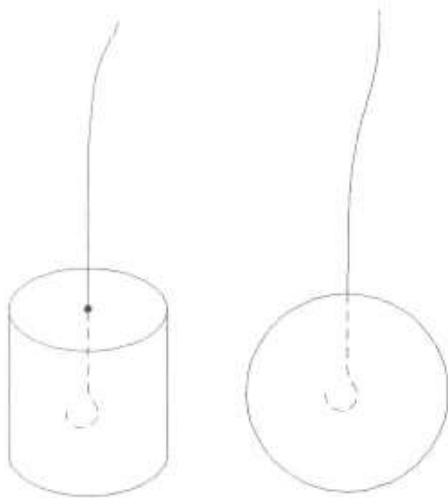
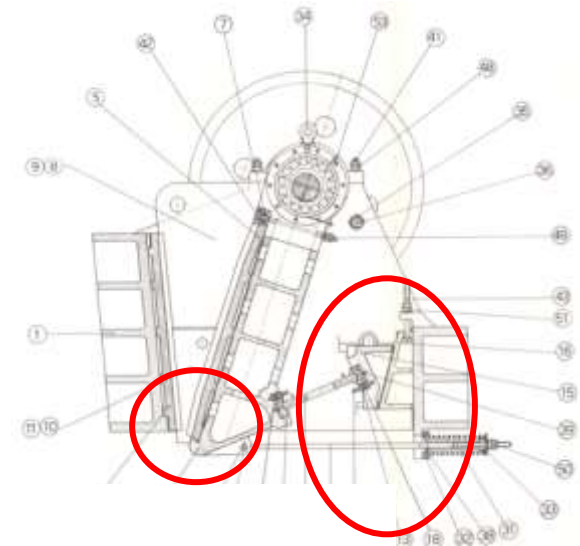


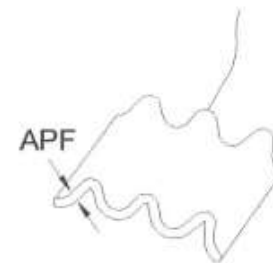
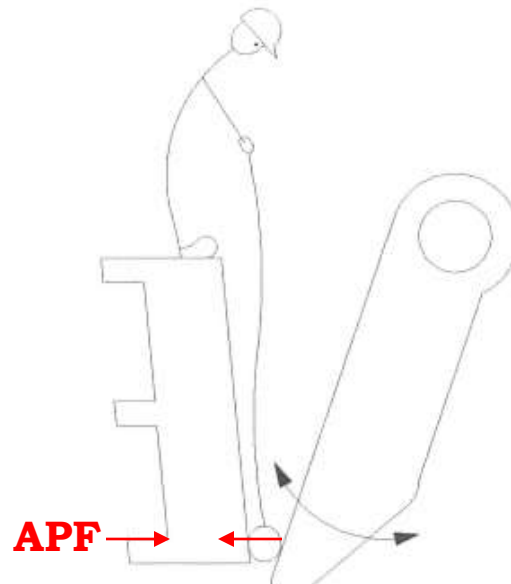
Figura 15 - Distribuições granulométricas de britadores giratórios (gráf. 2-07 de 2).

Britagem – Produtos dos britadores

- a abertura de saída do britador pode ser variada e afeta a distribuição granulométrica
- $APA = APF + \text{movimento do queixo} / \text{excêntrico}$



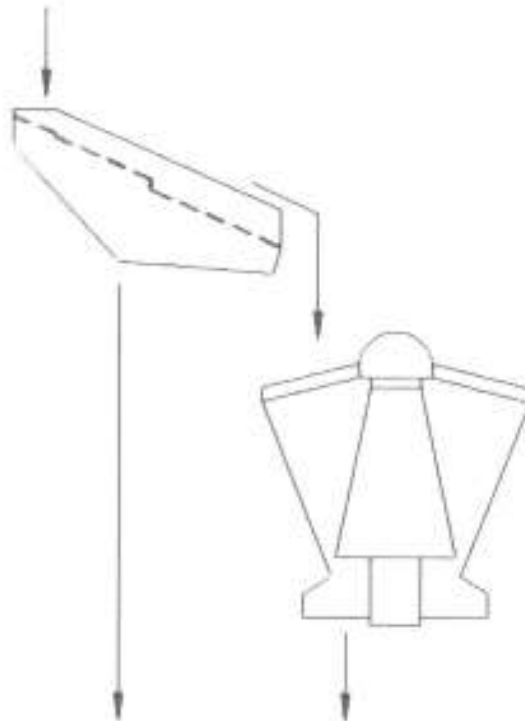
bola de chumbo, cano



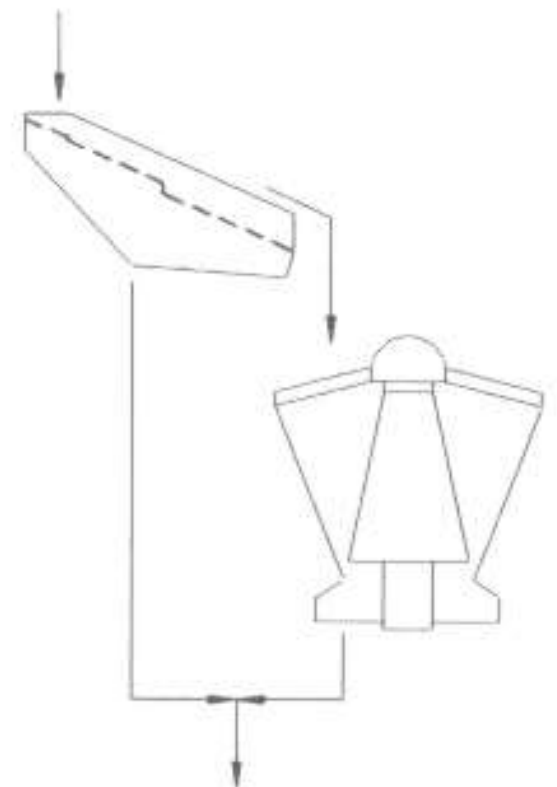
Britagem – Circuitos



alimentação de ROM



escalpe dos finos



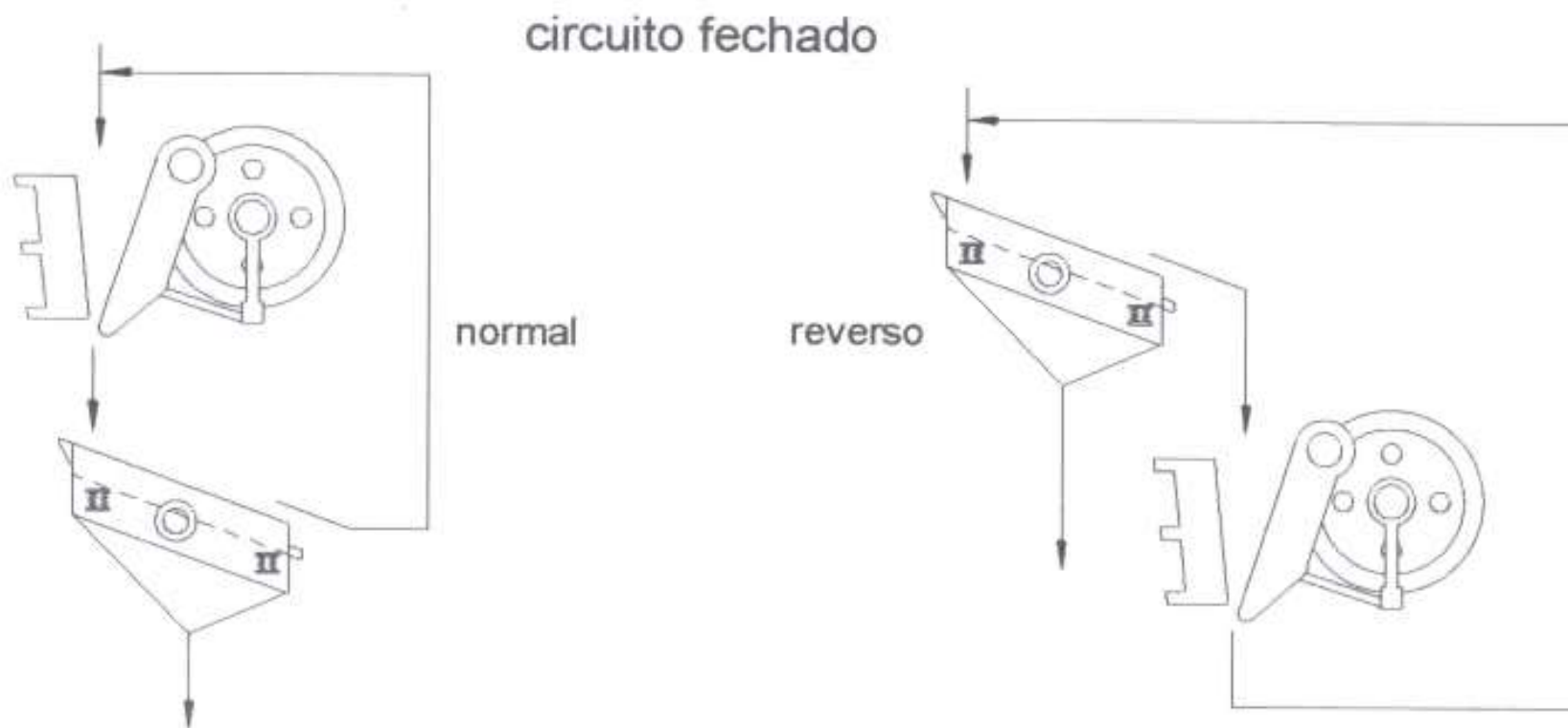
recombinação dos finos

alimentação direta
recombinado

escalpe

escalpado e

Britagem – Circuitos



Britagem – Circuitos

- Carga circulante:

Circuito fechado normal

$$R_1 = \frac{10^6}{EY} - 100$$

Circuito fechado reverso

$$R_2 = \frac{1}{Y} \left[\frac{10^6}{E} - 100 Z \right]$$

R_1, R_2 = carga circulante em porcentagem da alimentação nova;

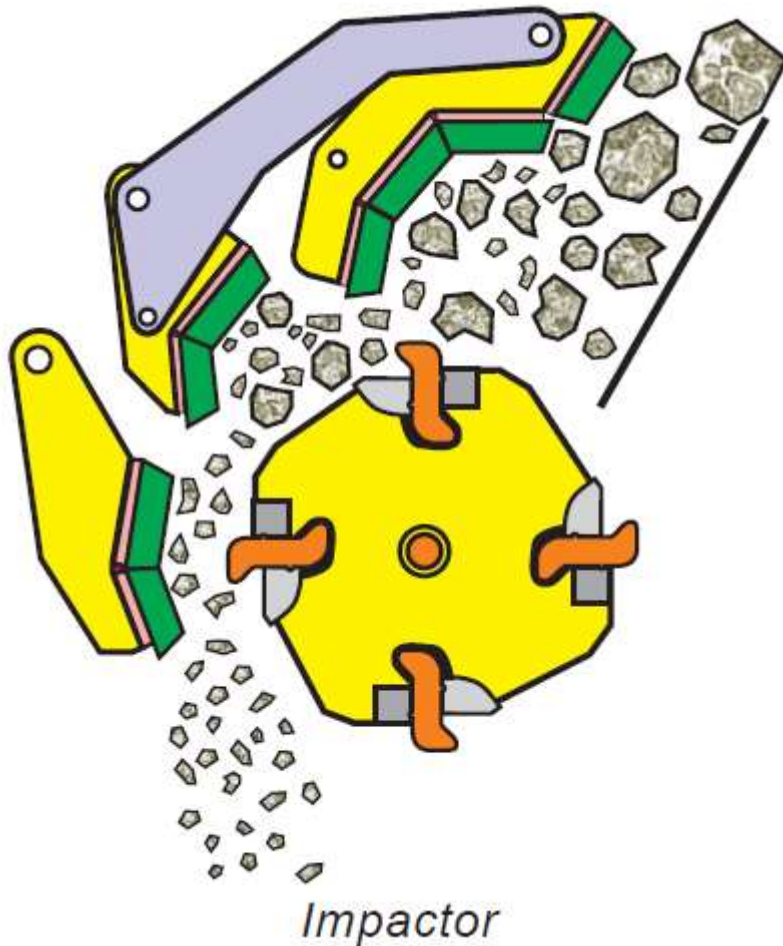
E = eficiência de peneiramento (%) = massa passante na peneira/massa passante na alimentação da peneira.

Y = % passante na peneira da descarga do britador.

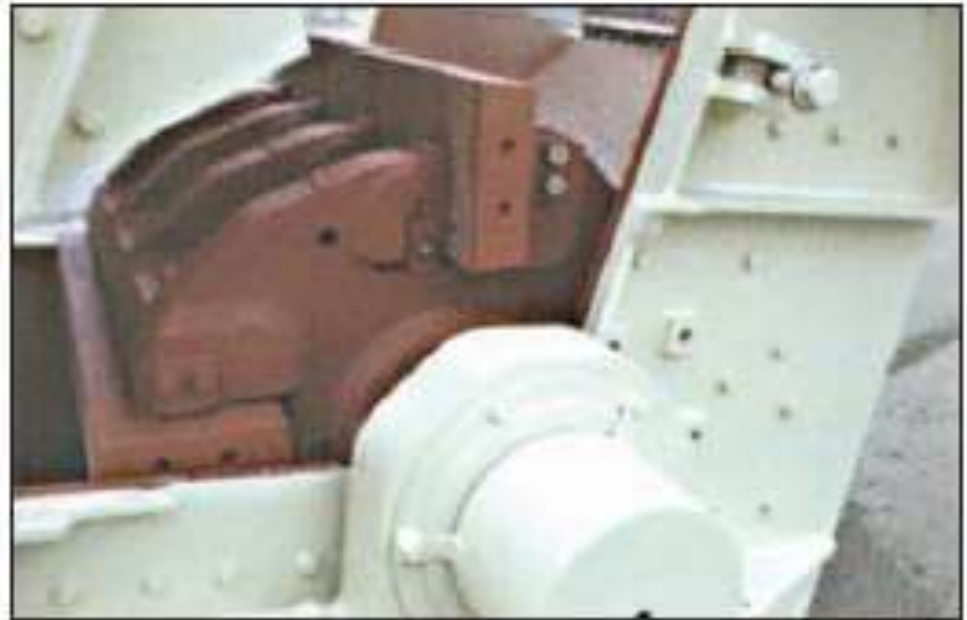
Z = % de passante na alimentação nova.

Outros britadores

□ Britador de impacto



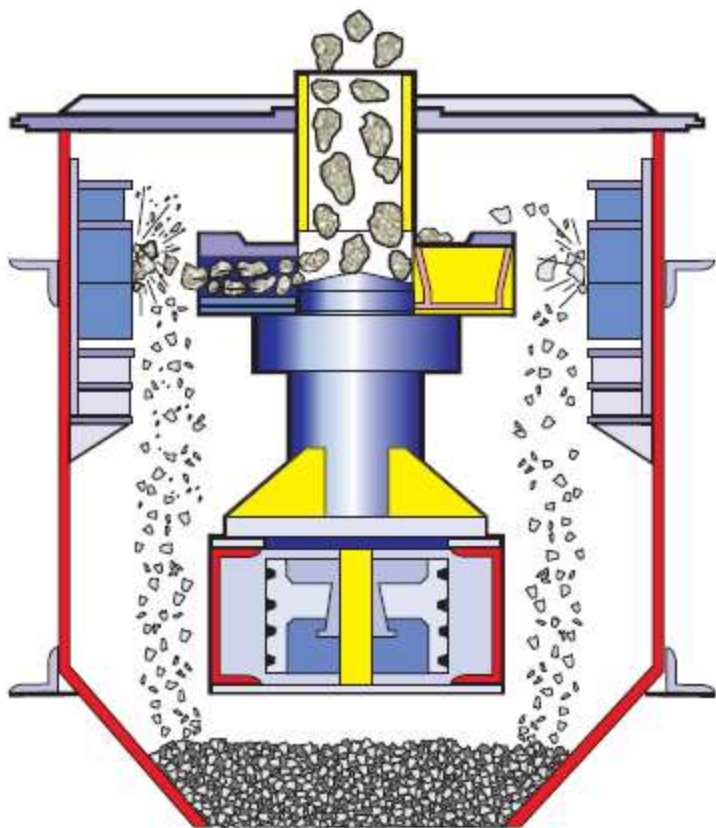
Fonte: Manual metso, 6 edição



Fonte: Manual metso, 6 edição

Outros britadores

□ Britador de impacto



Impactor VSI

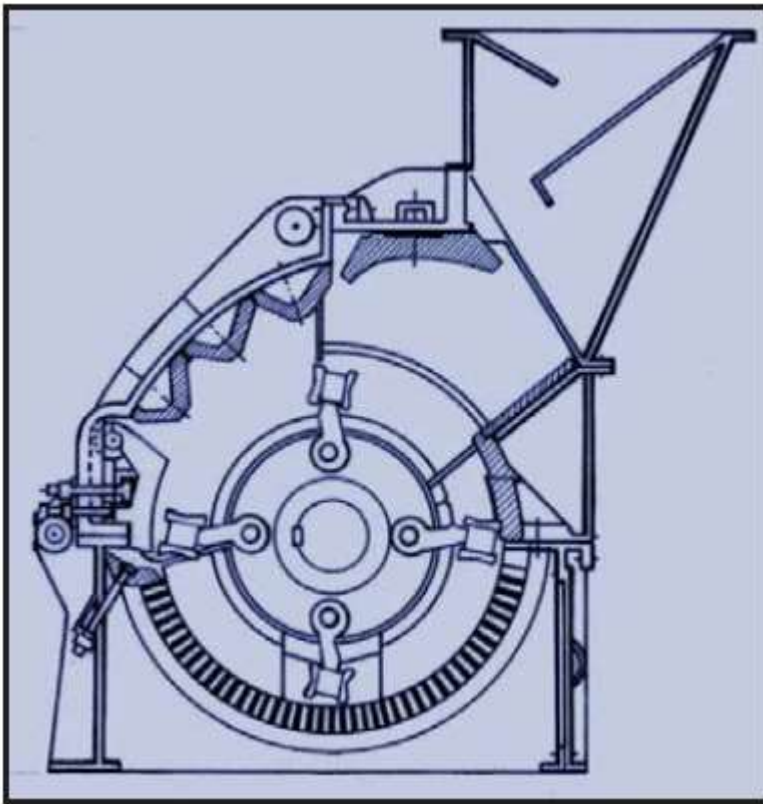
Fonte: Manual metso, 6 edição



Fonte: Manual metso, 6 edição

Outros britadores

□ Moinho de martelos

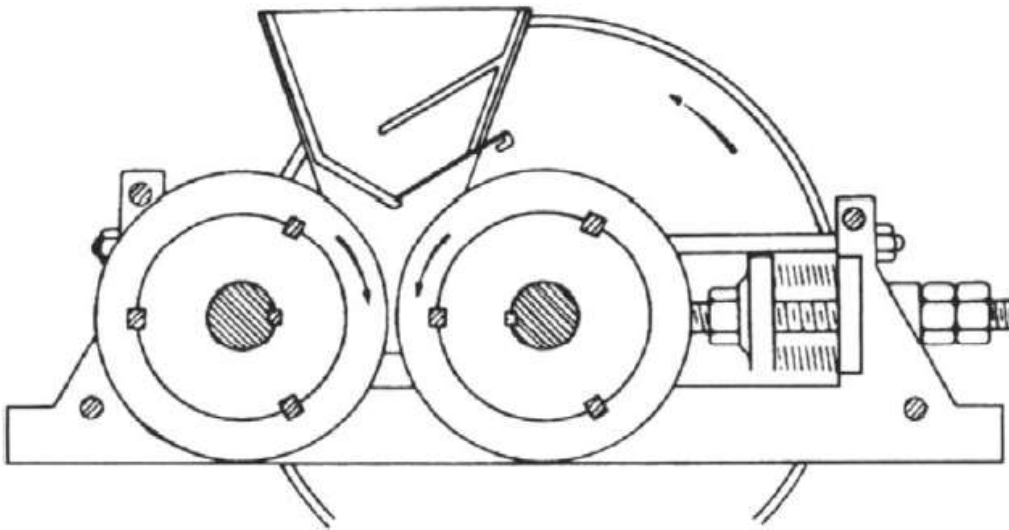


Moinho de martelos



Outros britadores

□ Britador de rolos



Fonte: Wills, 2006.



Outros britadores

- Britador de rolos dentados



Outros britadores

- Sizers



Outros britadores



- Britagem cônica inercial (vibrocone)
- Multi shaft mil (piloto)

Outros britadores

□ HPGR



Seleção de alternativas

Equipamento	N. de unidades (operando)	Tamanho	Potência (hp)	P80 produto	Passante em 0,150 mm	Observações
Moinho de barras	01	3,81 x 5,48 m	1.400	8 mm	12 a 35%	Custo da reforma: aproximadamente R\$ 2.320.000 (40% do novo)
Britador de rolos	03	modelo 100120 / 16.000 kg / 1,0 x 1,2 m	3 x 2 x 60	9,5 mm	Praticamente o que tem na alimentação	Custo por máquina: R\$ 400.000,00 Dificuldade operacional e alto custo de manutenção segundo ferros
Britador cônico	02	Modelo HP300 / 15.810 kg / 2,2 x 2,2 m	2 x 268	10	Praticamente o que tem na alimentação	Custo por máquina: R\$ 900.000,00 Dificuldade operacional devido a alta umidade de alimentação.
Britador de impacto	03	Modelo B9100SE / 17.357 kg	3 x 500	Depende de ensaio	Depende de ensaio	Custo por máquina: R\$ 770.000,00 Maior geração de finos que os cônicos e de rolos.
Moinho de martelo						Alta geração de finos Metso não recomenda este equipamento para AI acima de 0,09 g/kWh
HPGR	01	75.000 t / 1,4 m x 0,8 m	2 x 536	Depende de ensaio	Depende de ensaio	Custo por máquina: R\$ 6.000.000,00 Dificuldade em aceitar material acima de 35 mm

Escolha de equipamentos

Máquina	Aplicação												
	Brit. prim., mat. dinam., abrasivo, acima 800 t/h ^{1,5,6}	Brit. prim., mat. dinamitado, abrasivo, abaixo 800 t/h ^{1,5,6}	Britagem prim., mat. dinamitado, não-abrasivo ¹⁷	Britagem secundária, mat. abrasivo ^{2,5,6}	Britagem secundária, mat. não-abrasivo ²⁷	Britagem fina, maximizar os finos, mat. abrasivo ^{3,5,8}	Brit. fina, maximizar os finos, mat. não-abrasivo ^{3,7,8}	Britagem fina - Alimentação úmida e pegajosa ³	Britagem fina - pouca quant. de finos ^{3,8}	Areia de brita, mat. abrasivo ¹⁴	Areia de brita, mat. não-abrasivo ²⁴	Cubicização, mat. abrasivo ¹	Britar ferro-liga, minimizar a quant. de finos ⁸
Britador giratório primário	E	B	B										
Britador de mandíbulas primário	B	E	B										B
Impactor primário	P	P	E										
Rebritador de mandíbulas secundário				B	B								
Impactor secundário				P	E	P	B	B				P	
Rebritador cônico				E	E	B	B	P	E	E	E	B	B
VSI Barmac série B (autógeno)						M	E	E	P	E	E	E	
VSI Barmac série VI						P	E	P	P		B		
Moinho de martelos							E				P		
Britador de rolos									E				E

- Excelente (E): melhor escolha para a aplicação
- Boa (B): É aplicável, porém, não é a melhor opção;
- Possível (P): É aplicável com restrições. O seu uso deve ser precedido de detalhado estudo técnico;
- Inviável (): Salvo raras exceções, seu uso é inviável ou totalmente anti-econômico

Escolha de equipamentos

QUICK SELECTION CHARTS FOR PRIMARY CRUSHER APPLICATIONS

PRIMARY CRUSHER SELECTION BY CAPACITY IN MTPH					
MTPH	1500	3000	6000	9000	12000
Gyratory	////////////////////				
DT Jaw	////////				
ST Jaw	////////				
Double Roll	////////				
Low Speed Sizer	////////////////////				
Impactor	////////				
Hammermill	////////				
Feeder Breaker	////////				

Hammermill 2500 MTPH with grate, 3000 MTPH without grate.

Escolha de equipamentos

PRIMARY CRUSHER SELECTION BY ROM FEED SIZE					
MM	500	1000	1500	2000	2500
Gyratory	////////////////////////////////////				
DT Jaw	////////////////////////////////////				
ST Jaw	////////////////////////////////////				
Double Roll	////////////////////////////////////				
Low Speed Sizer	////////////////////////////////////				
Impactor	////////////////////////////////////				
Hammermill	////////////////////////////////////				
Feeder Breaker	////////////////////////////////////				

Escolha de equipamentos

PRIMARY CRUSHER SELECTION BY PRODUCT SIZE				
MM	100	200	300	400
Gyratory	////////////////////			
DT Jaw	////////////////////			
ST Jaw	////////////////////			
Double Roll				
Low Speed Sizer	////////////////////			
Impactor	////////////////////			
Hammermill	////////////////////			
Feeder Breaker				////////////////////

Escolha de equipamentos

PRIMARY CRUSHER SELECTION BY COMPRESSIVE STRENGTH							
MPA	0	100	200	300	400	500	600
Gyratory	////////////////////////////////////						
DT Jaw	////////////////////////////////////						
ST Jaw	////////////////////////////////						
Double Roll	//////////						
Low Speed Sizer	////////////////////////////////						
Impactor	////////////////////////////////						
Hammermill	////////////////////////////////						
Feeder Breaker	////////////////////////////////						

Escolha de equipamentos

PRIMARY CRUSHER SELECTION BY ABRASION INDEX					
BURBANK	0	800	16000	24000	32000
Gyratory	////////////////////				
DT Jaw	////////////////////				
ST Jaw	////////////////////				
Double Roll	////////				
Low Speed Sizer	////////				
Impactor	////////				
Hammermill	////////				
Feeder Breaker	////////				

Escolha de equipamentos

QUICK SELECTION CHARTS FOR PRIMARY CRUSHER APPLICATIONS

APPLICATION OF PRIMARY CRUSHER FOR HIGH CLAY MATERIALS					
	Poor	Fair	Good	Very Good	Excellent
Gyratory	////////				
DT Jaw	////////				
ST Jaw		////////			
Double Roll	////////				
Low Speed Sizer					////////
Impactor	N/A				
Hammermill	N/A				
Feeder Breaker		////////			

* Impactors and Hammermills cannot be used to crush clay, as the clay will plug the crusher.

Escolha de equipamentos

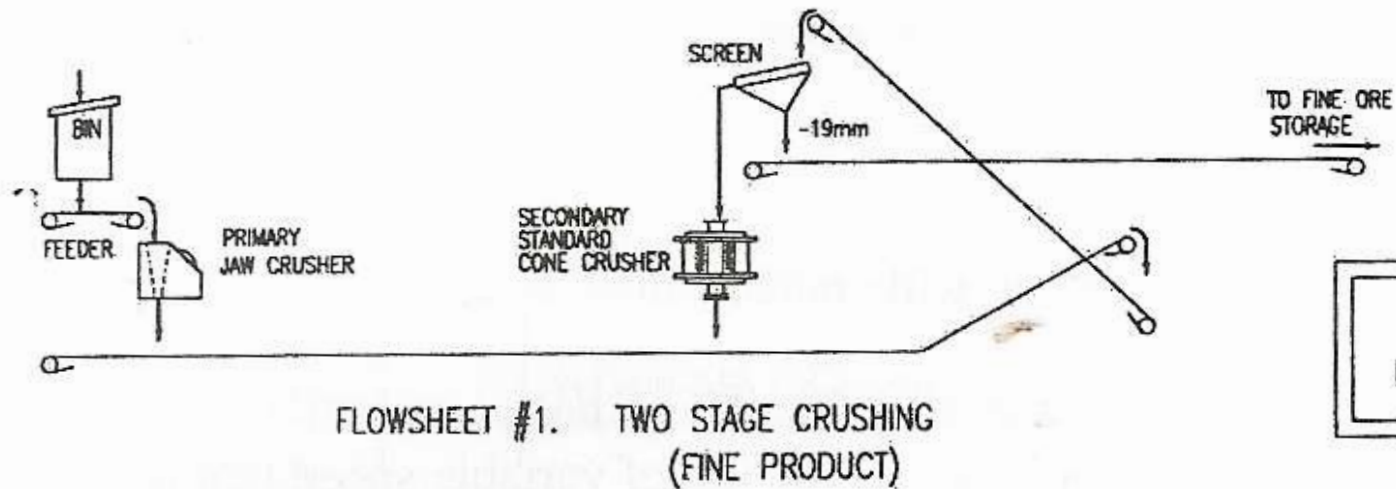
APPLICATION OF PRIMARY CRUSHER UNDERGROUND SERVICE					
	Poor	Fair	Good	Very Good	Excellent
Gyratory			//////////		
DT Jaw			//////////		
ST Jaw			//////////		
Double Roll		//////////			
Low Speed Sizer					//////////
Impactor	N/A				
Hammermill	N/A				
Feeder Breaker					//////////

Impactors and Hammermills are unacceptable for use underground due to the inability to handle drill steel, roof bolts, etc.

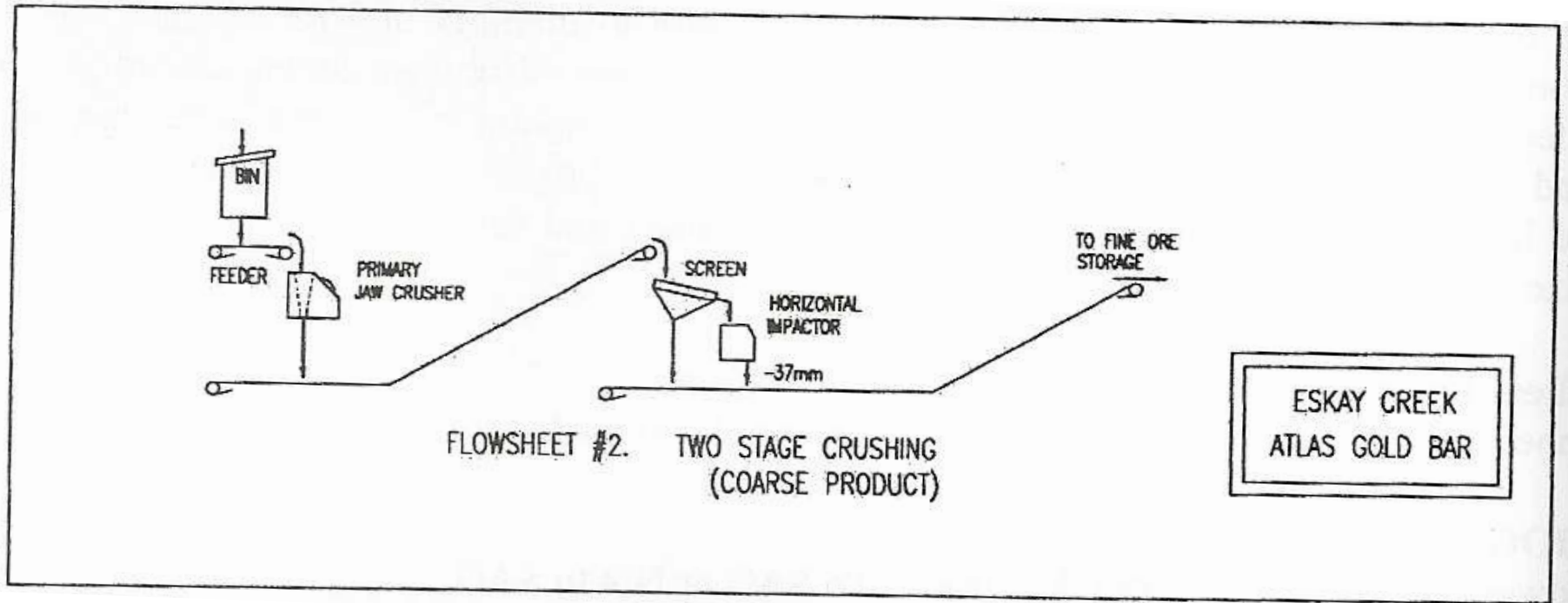
Escolha de equipamentos

APPLICATION OF PRIMARY CRUSHER FOR MOBILE PLANTS					
	Poor	Fair	Good	Very Good	Excellent
Gyratory				//////////	
DT Jaw			//////////		
ST Jaw				//////////	
Double Roll			//////////		
Low Speed Sizer					//////////
Impactor				//////////	
Hammermill				//////////	
Feeder Breaker					//////////

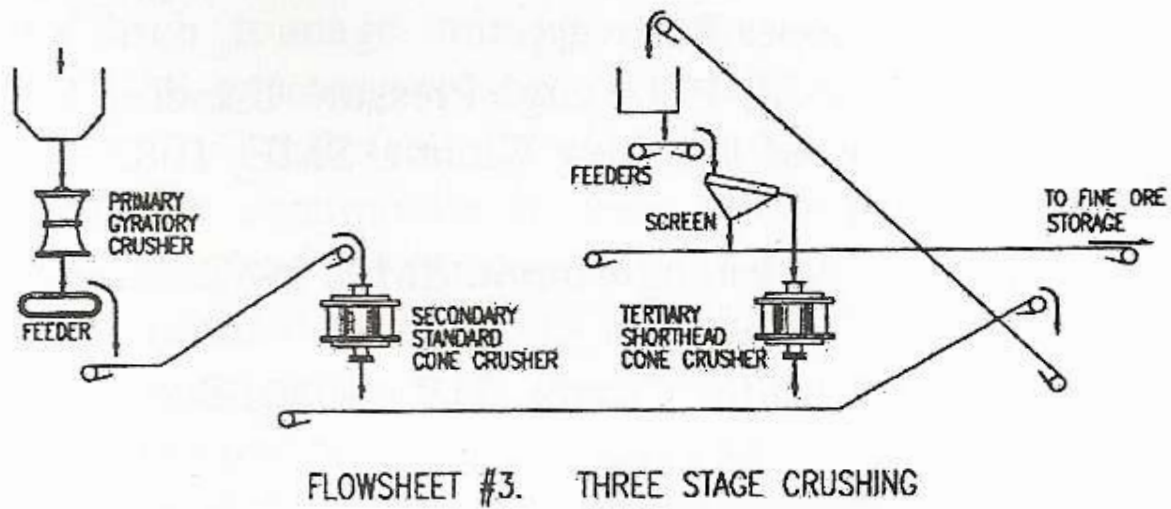
Escolha de equipamentos



Escolha de equipamentos

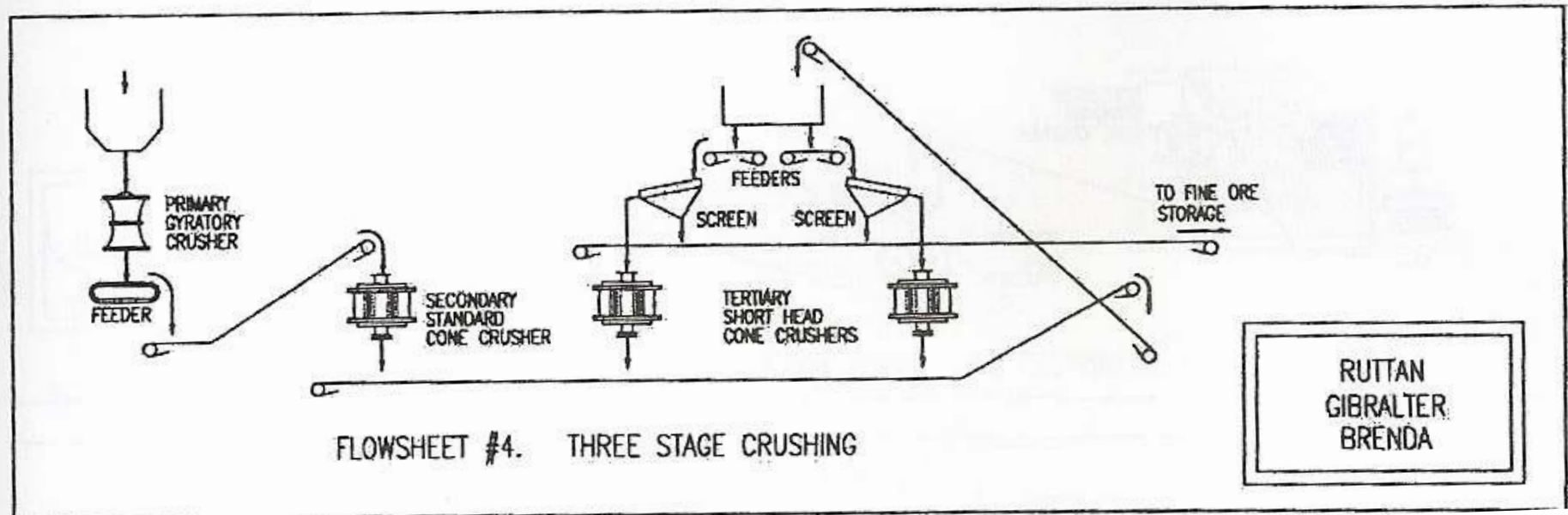


Escolha de equipamentos

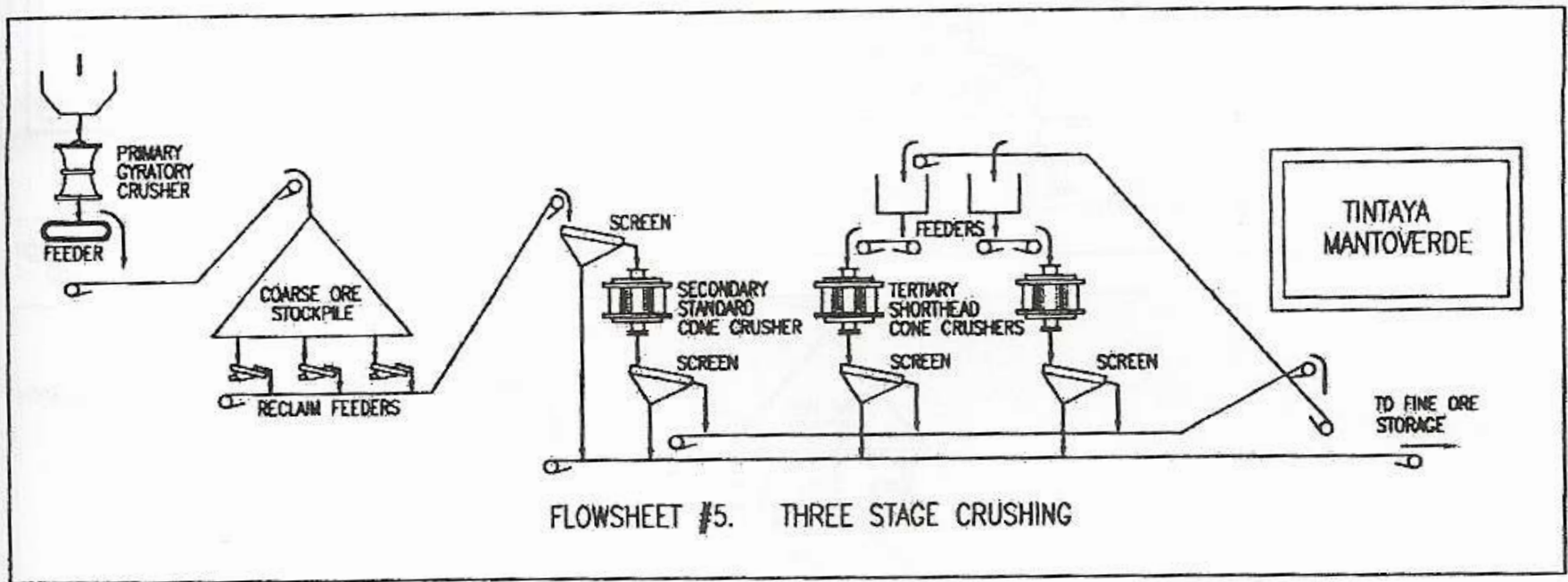


QR
FOX MINE

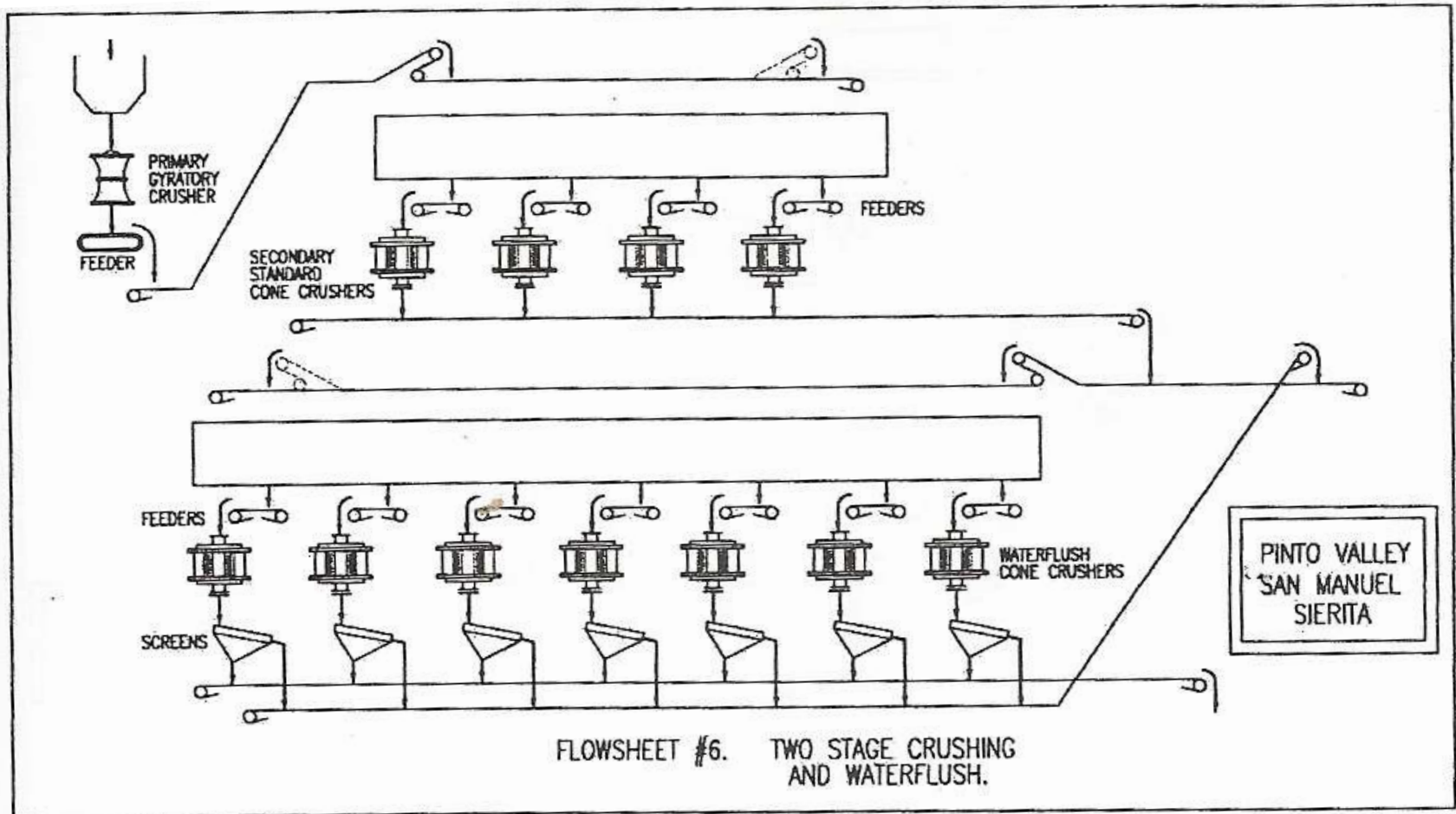
Escolha de equipamentos



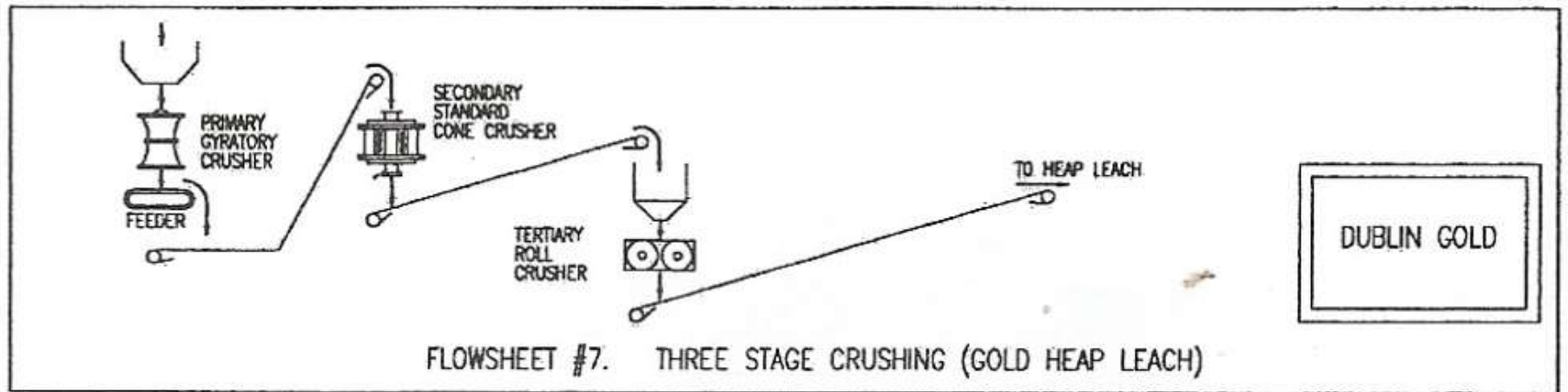
Escolha de equipamentos



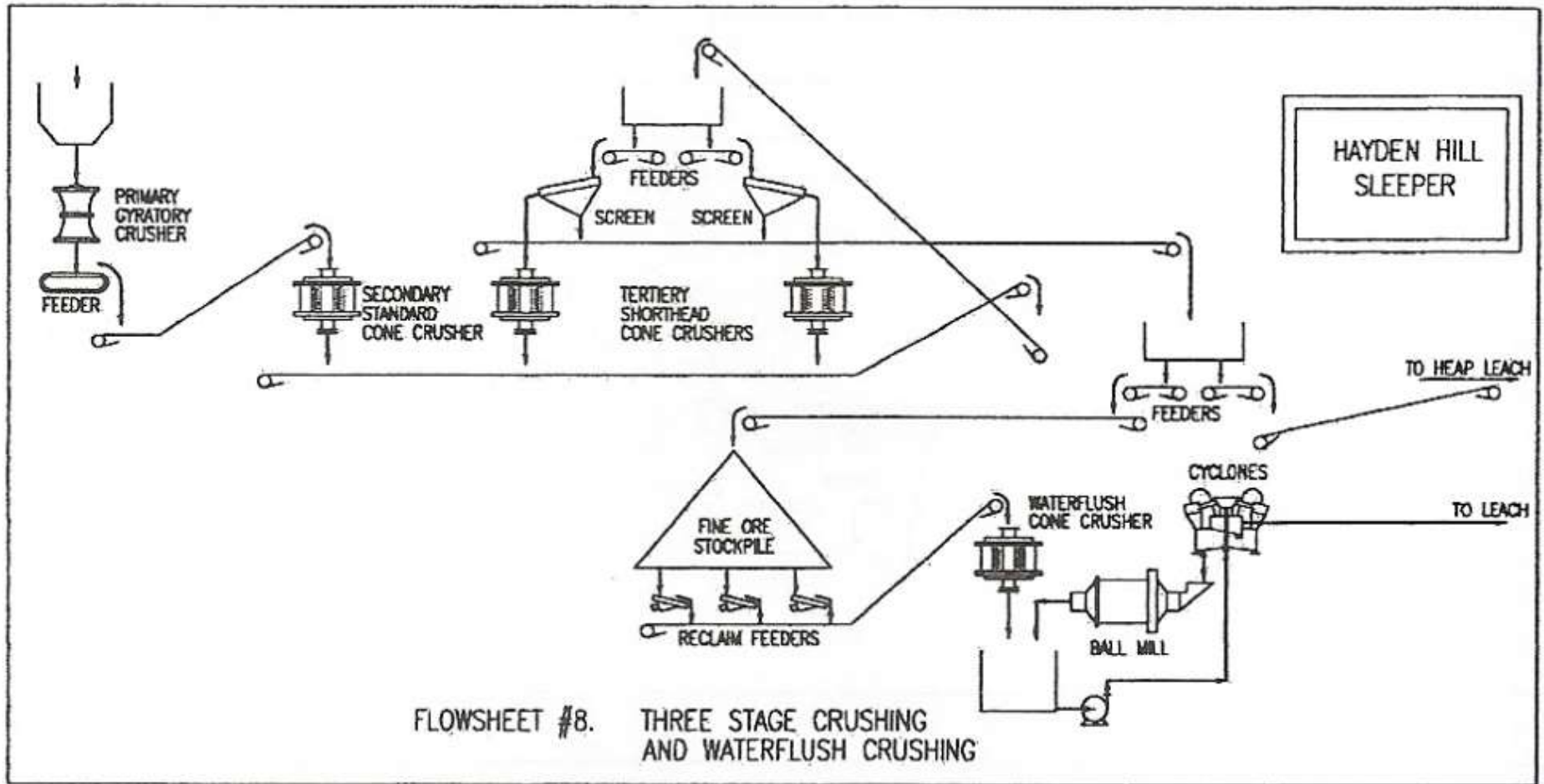
Escolha de equipamentos



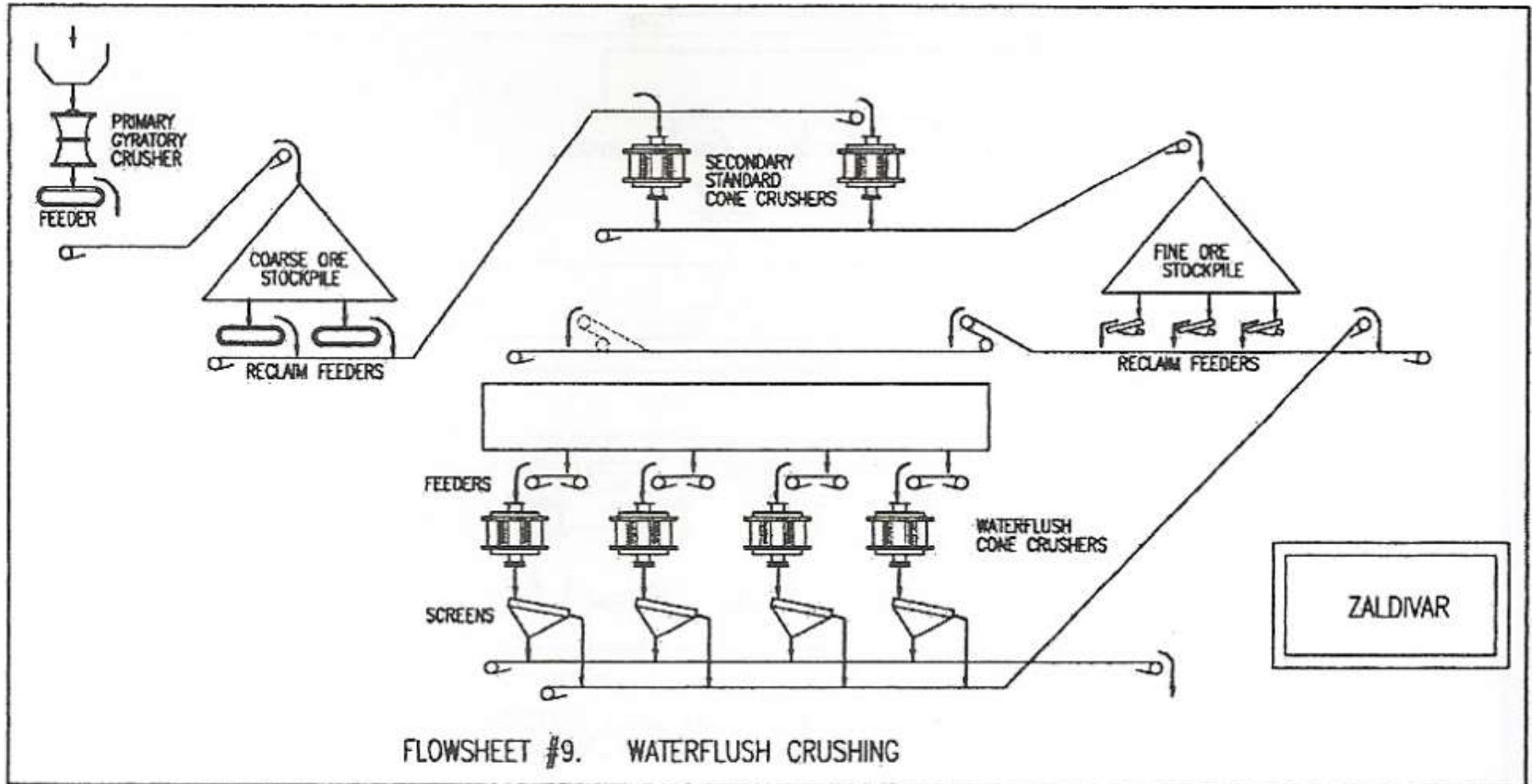
Escolha de equipamentos



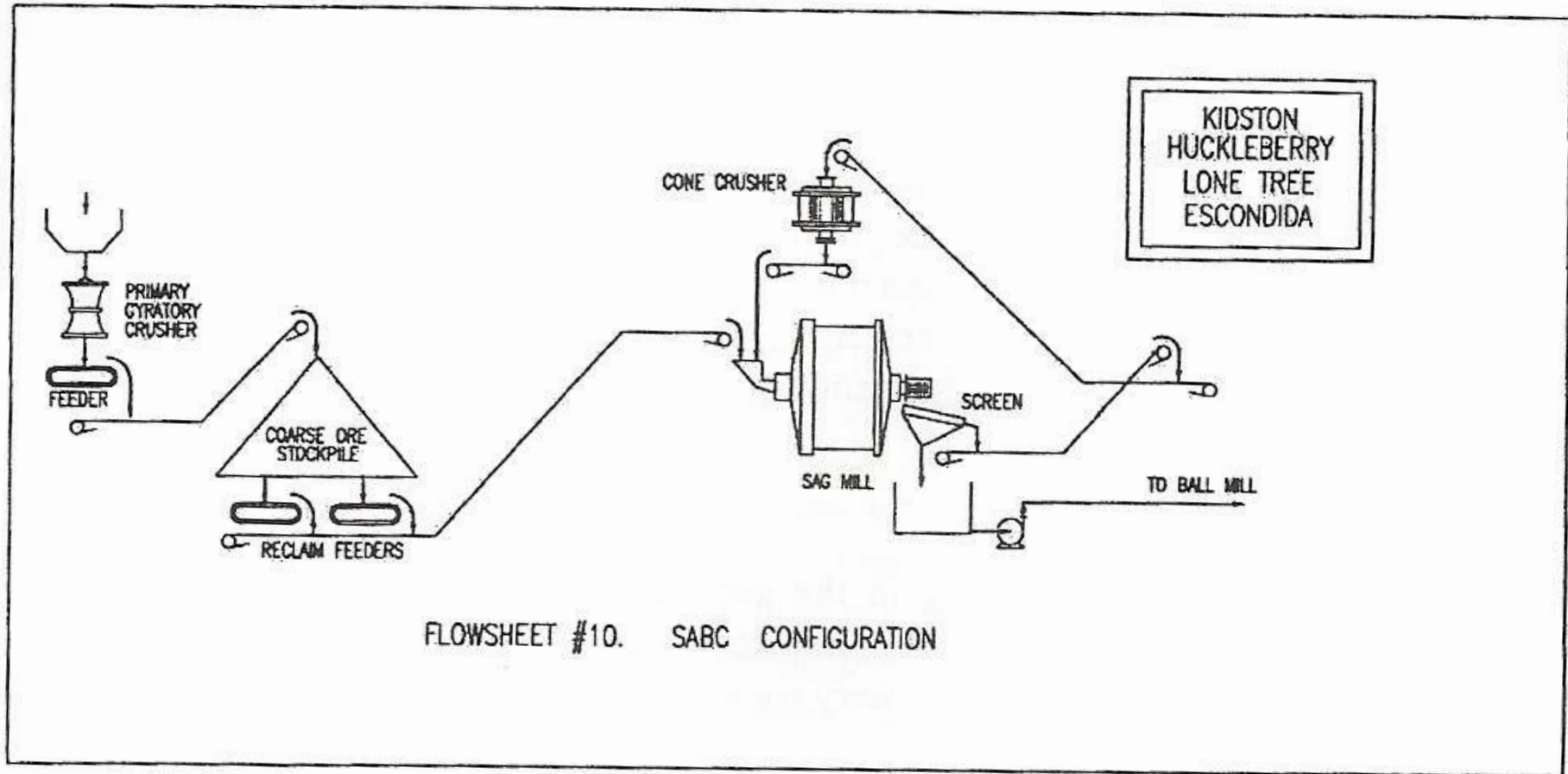
Escolha de equipamentos



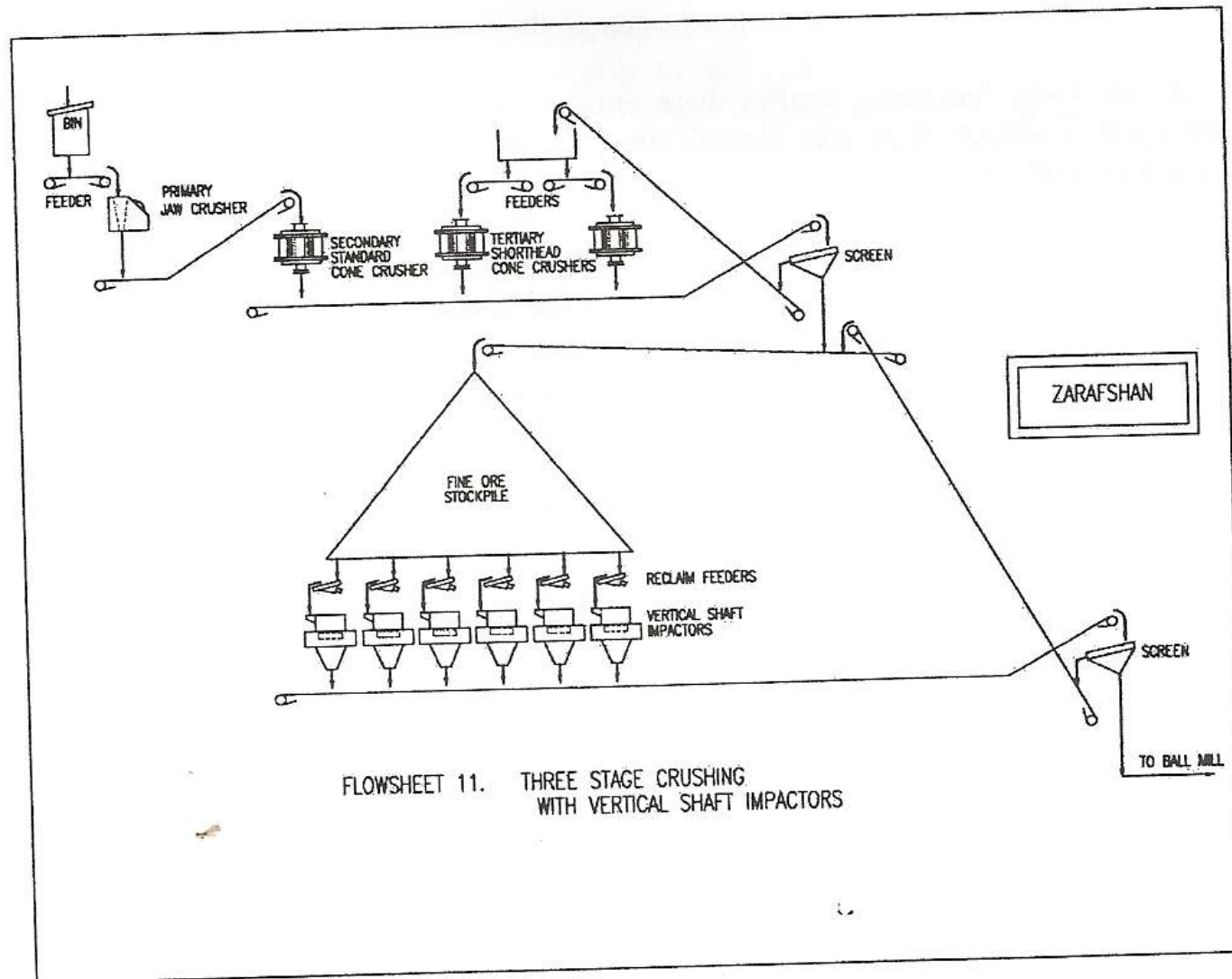
Escolha de equipamentos



Escolha de equipamentos



Escolha de equipamentos



Instalações de britagem



Instalações de britagem

Pedreira
Embu

Rompedor
hidráulico
(“*pica-pau*”)



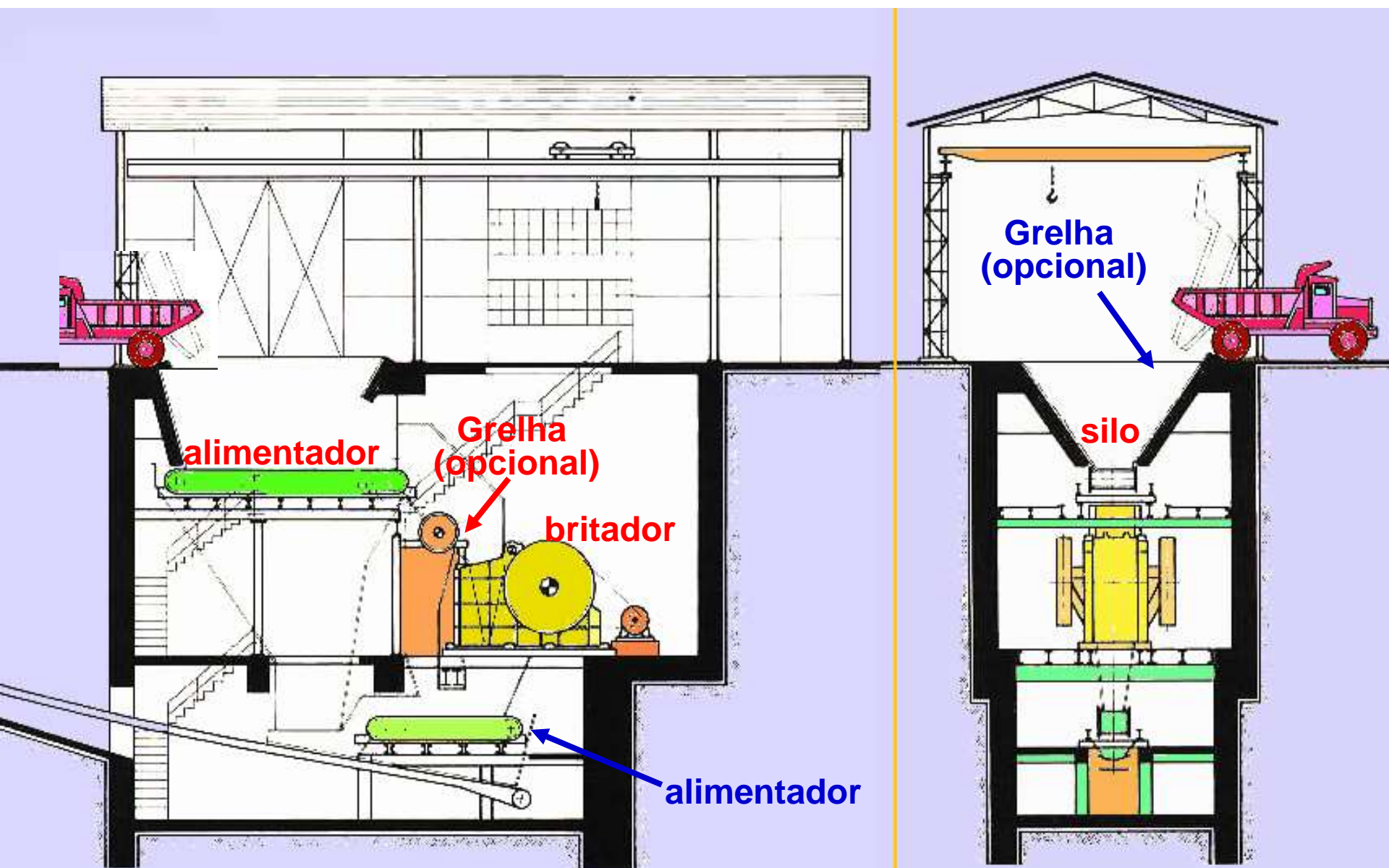
**Neste caso o
caminhão derruba as
pedras diretamente
sobre o alimentador.
Situação indesejável**





Retirada do material por baixo, diretamente sobre a correia.

Instalações de britagem



Instalação do britador giratório

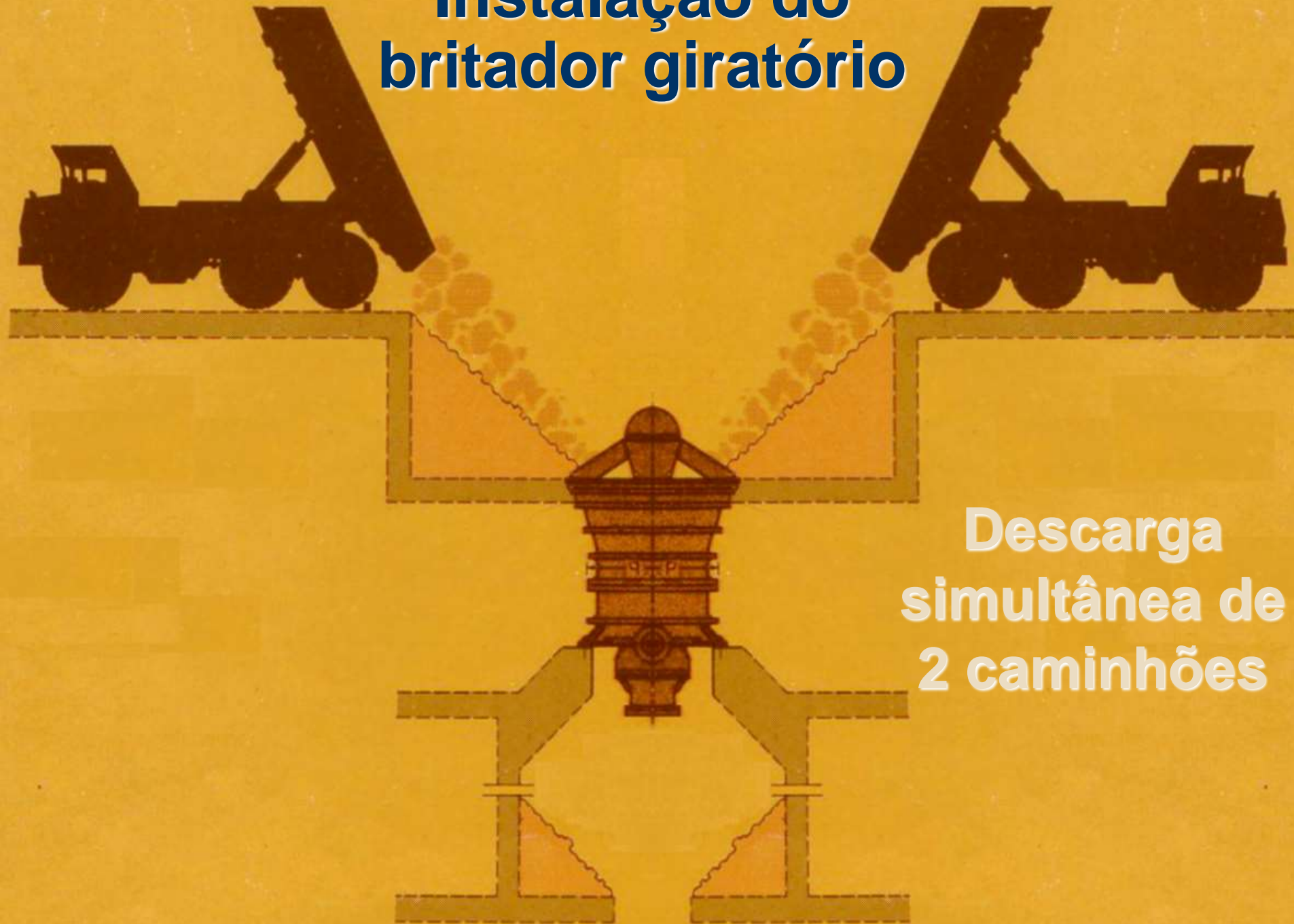
Silo: para direcionar e amortecer os impactos da queda dos blocos

Caminhões: pode-se usar até 4 simultaneamente. Usualmente 2 ou 3

Câmara de descarga: recomenda-se volume de pelo menos 2 caminhões



Instalação do britador giratório



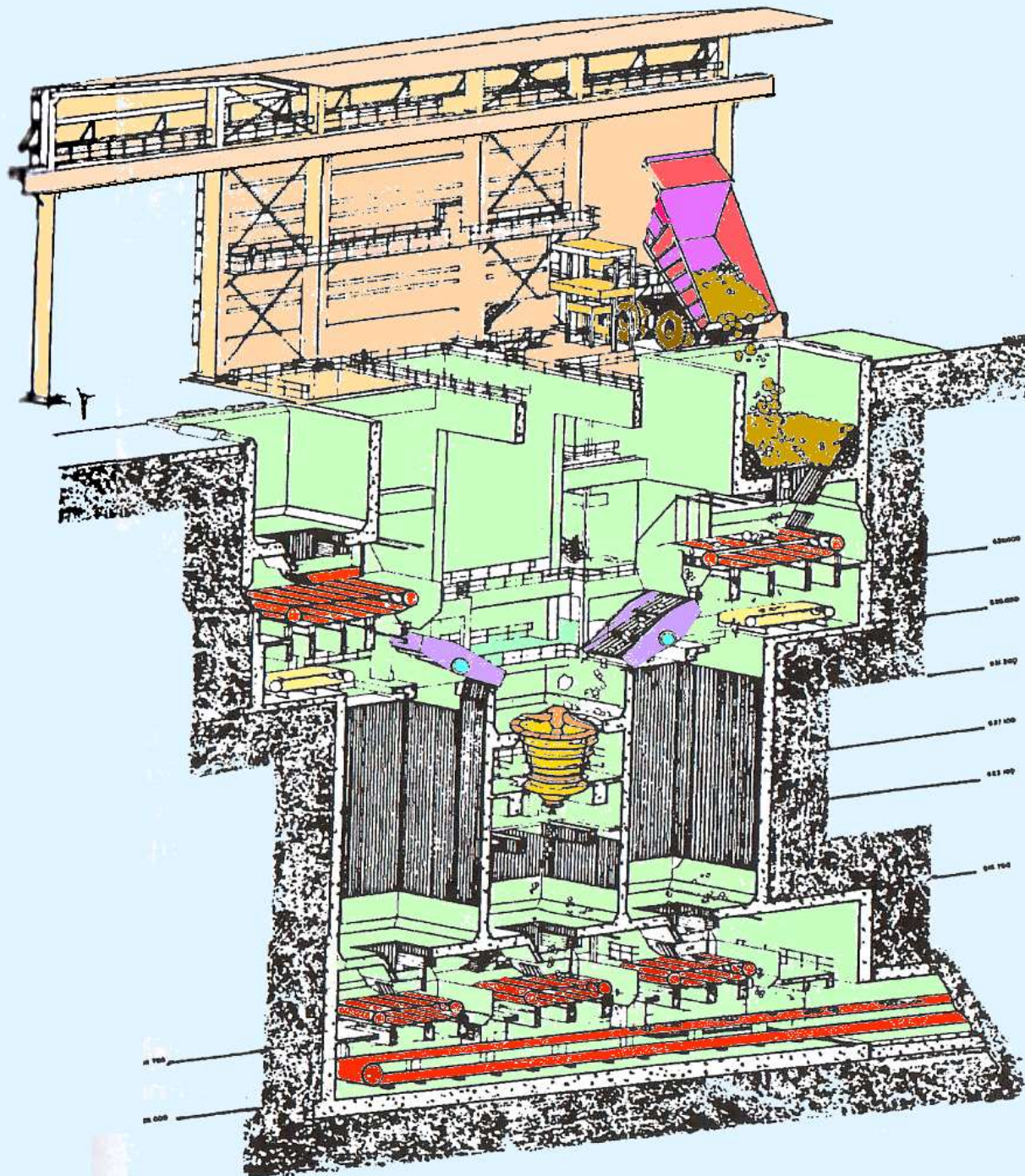
Instalações d



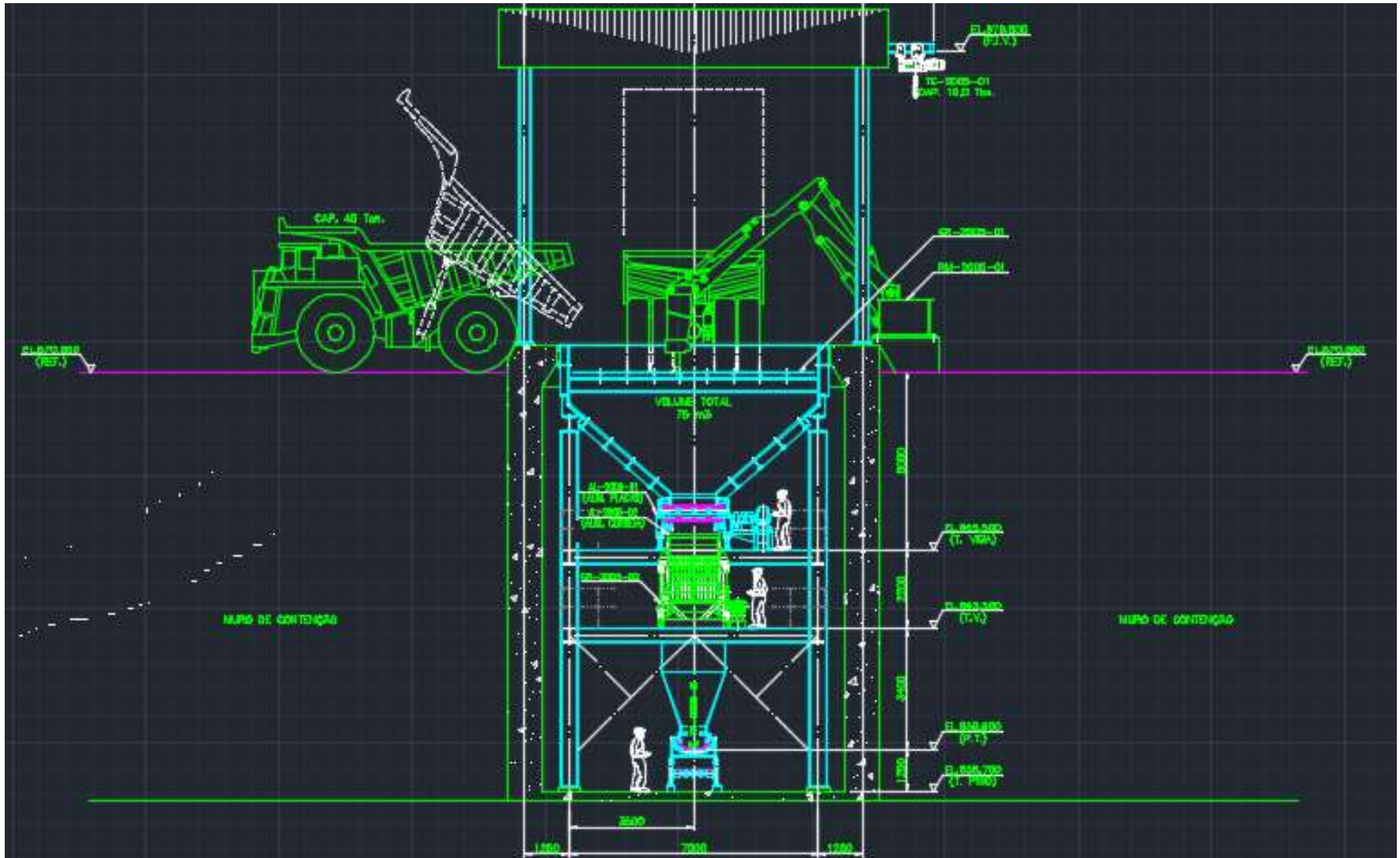
rompedor

Alimentação por dois lados

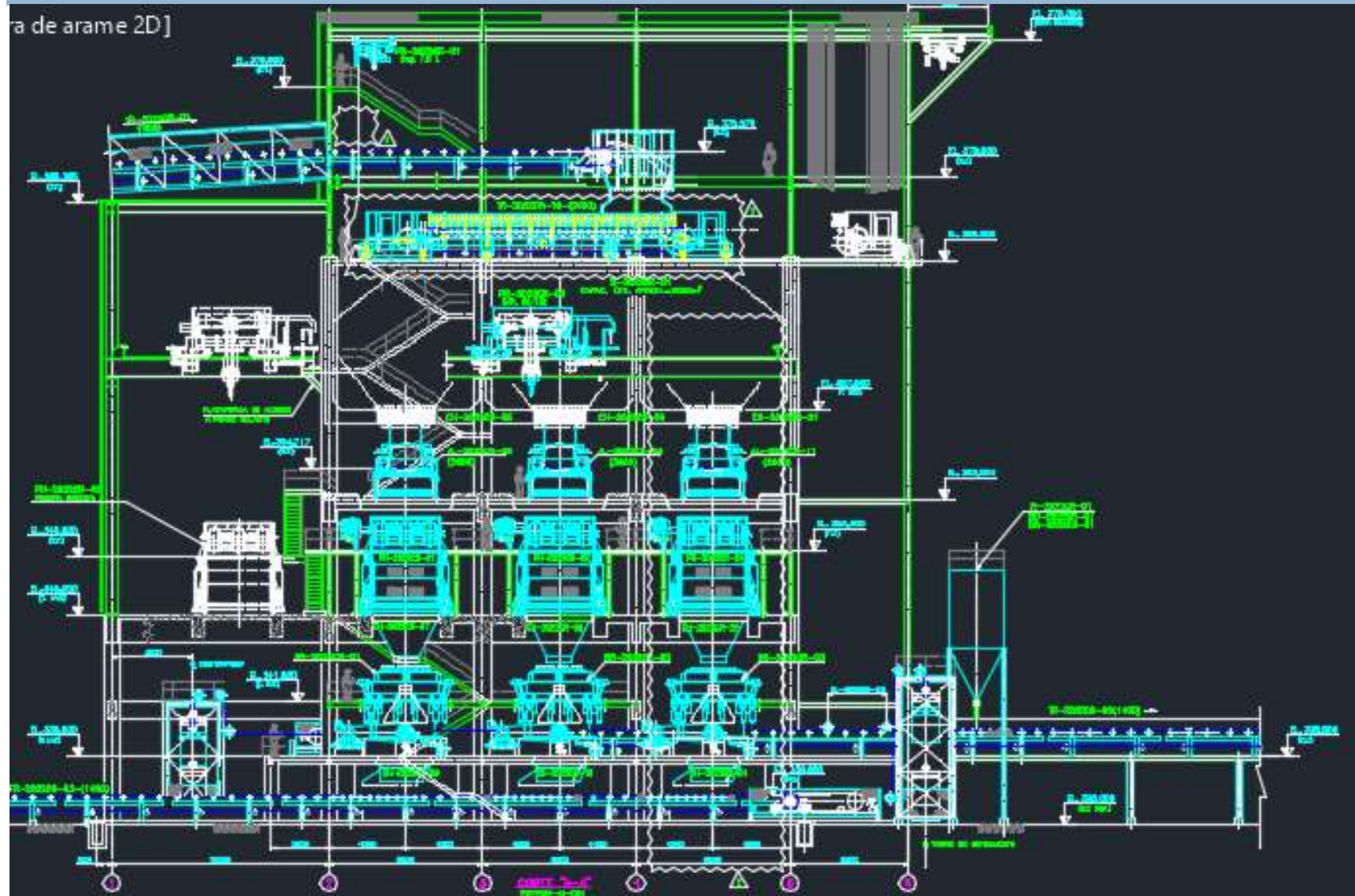
Instalações



Instalações de britagem



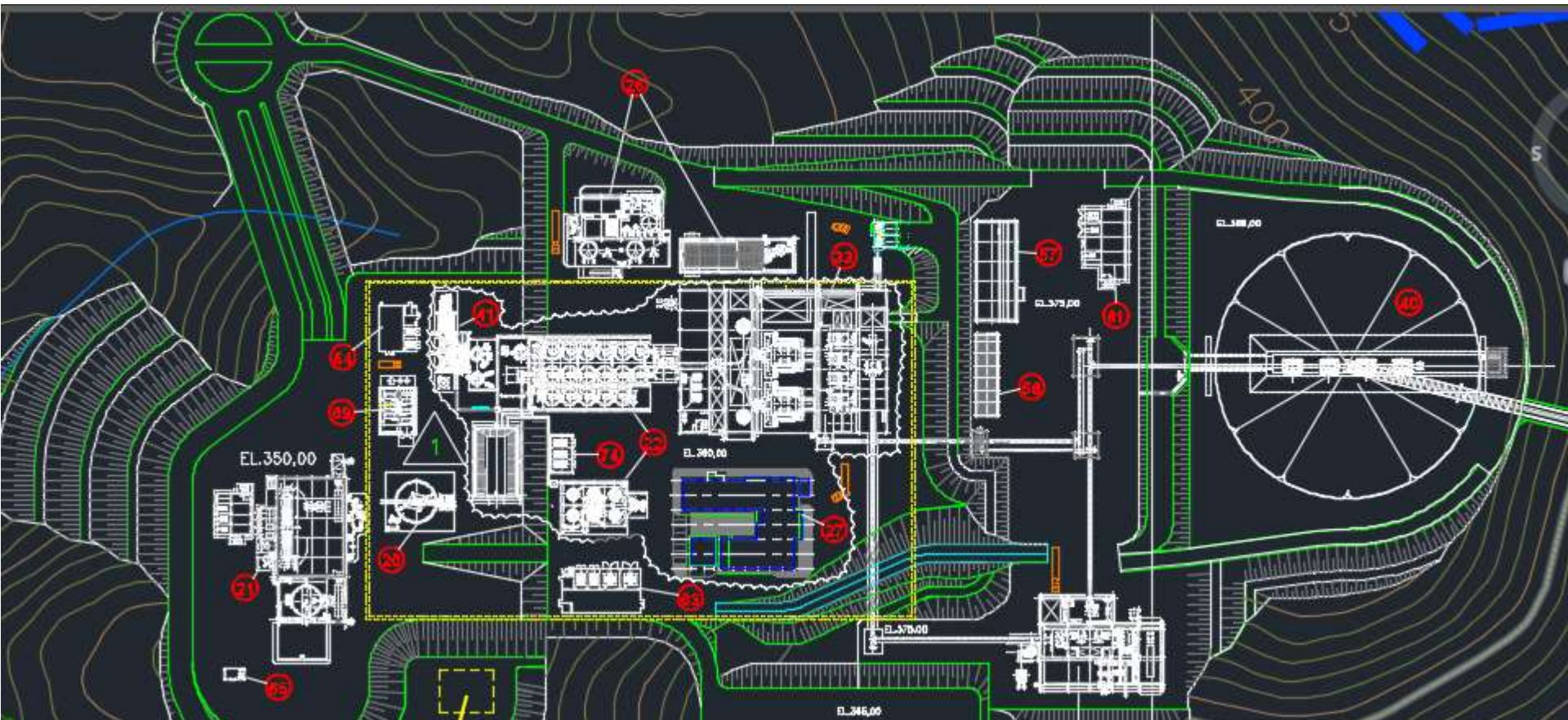
Instalações de britagem



Instalações de britagem



Instalações de britagem



Instalações de britagem



Para mais instalações:

- McQuiston e Shoemaker. Primary Crushing Plant Design. SME: 1978.

Dimensionamento de britadores



- **Condição de recepção**
- **Condição de processo;**
- **Capacidade.**

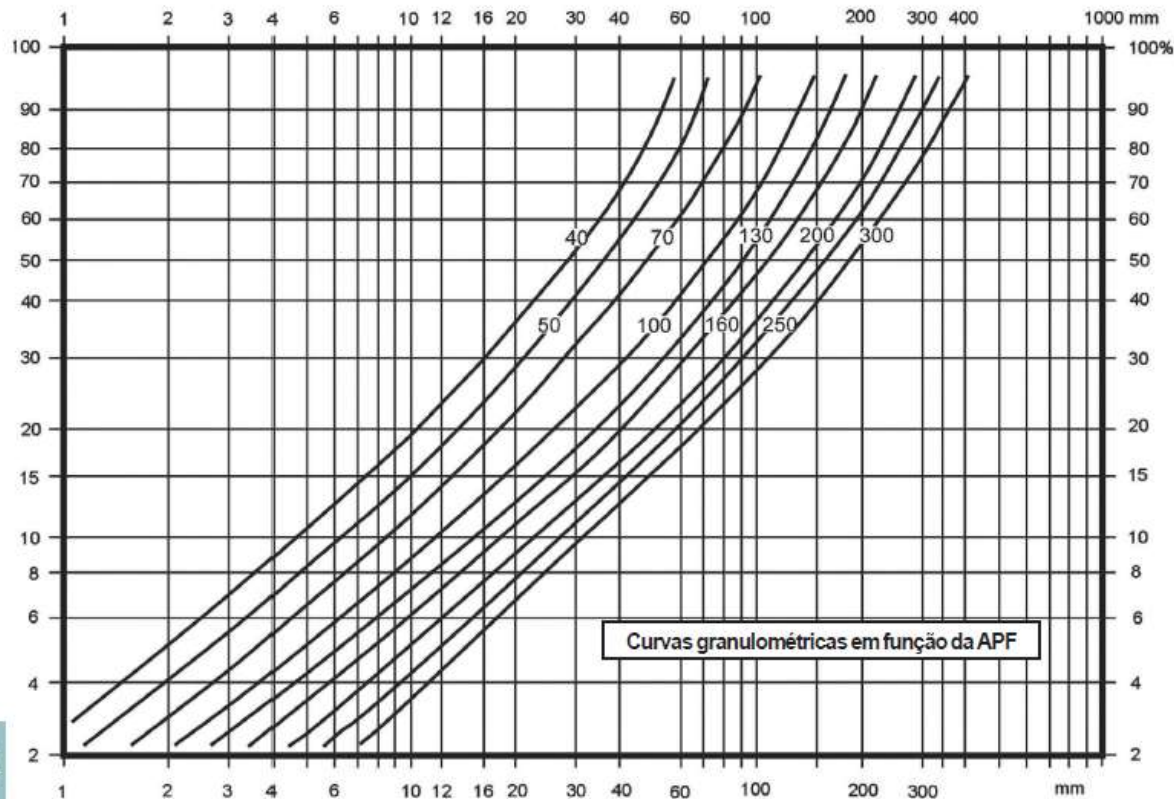
Dimensionamento de britadores

- **Condição de recepção:** Abertura suficiente para que o fragmento a ser britado chegue a uma posição adequada na câmara de britagem para que possa ser britado.

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

Dimensionamento de britadores

- **Condição de processo:** O britador deve ser capaz de fornecer uma distribuição granulométrica conforme as especificações dos processos a jusante.



Dimensionamento de britadores

- **Capacidade:** Variam com o tipo, tamanho e abertura do britador. Para vazões maiores, em geral utiliza-se o britador giratório. Taggart estabeleceu uma regra bastante útil para a seleção de britadores de mandíbulas ou giratórios:

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

- Se $x > 0,115$, deve-se adotar britadores giratórios; caso contrário, britadores de mandíbulas.
- Atentar para a operação intermitente – necessidade de se utilizar um fator de serviço.

Dimensionamento de britadores

- **Capacidade:** Atentar que os fabricantes podem fornecer valores em t/h ou m³/h

APF	C63	C80	C95	C100	C105	C110	C125	C140	C145	C160	C200	C3055
mm (pol.)	Capacidades em t/h com alimentação de material com densidade aparente de 1,6 t/m ³											
40 (1 5/8)	40	65										
50 (2)	55	80										
60 (2 3/8)	65	95	120									
70 (2 3/4)	80	115	140	150	155	190						240
80 (3 1/8)	95	130	160	170	175	210						270
90 (3 1/2)	110	150	180	190	200	235						295
100 (4)	120	165	200	215	220	255	290					325
125 (5)		210	250	265	280	310	350	385	400			390
150 (6)		250	300	315	335	370	410	455	470	520		460
180 (7)		290	360	370	390	425	470	520	540	595	760	530
200 (8)				420	445	480	530	590	610	675	855	600
225 (9)							590	655	680	750	945	
250 (10)							650	725	750	825	1040	
275 (11)									820	900	1130	
300 (12)										980	1225	

Dimensionamento de britadores

- **Capacidade:** pode variar em função das características do minério:
 - Densidade aparente dos materiais britados:

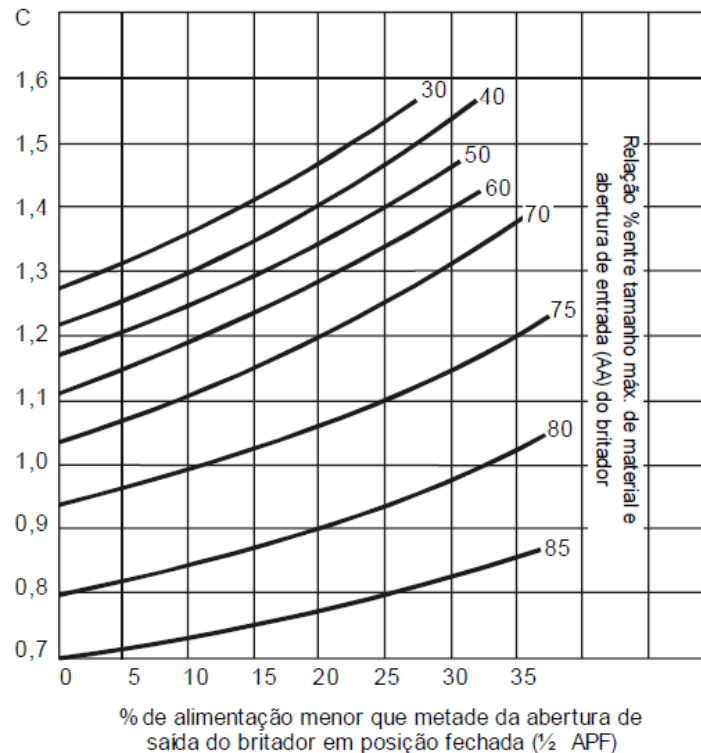
t/m ³	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4
Fator A	0,75	0,81	0,88	0,94	1	1,06	1,13	1,19	1,25	1,31	1,38	1,44	1,5

- Work index

Wi	10	12	14	18	22
B	1,15	1,1	1	0,9	0,8

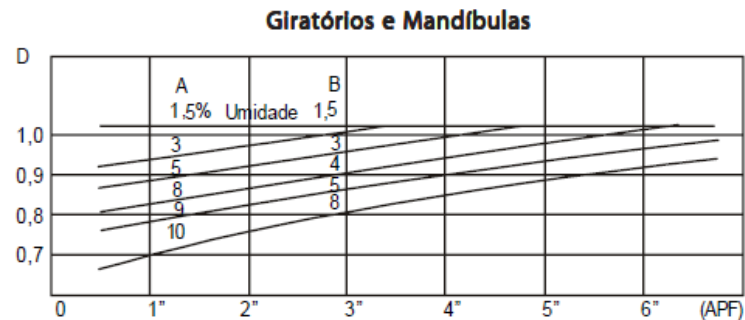
Dimensionamento de britadores

- **Capacidade:** pode variar em função das características do minério:
 - Fator de tamanho de alimentação:

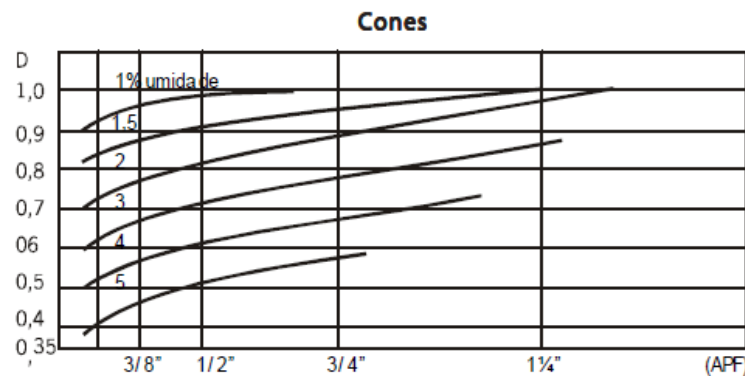


Dimensionamento de britadores

- **Capacidade:** pode variar em função das características do minério:
 - Fator de umidade:



A: < 5% de argila
B: > 5% de argila



Dimensionamento de britadores

- **Capacidade:** a capacidade do britador será dada por:

$$Q = Q_t \times A \times B \times C \times D$$

Onde Q_t é a vazão tabelada.

Dimensionamento de britadores

□ **Comentários:**

- Como os três fatores tem que ser atendidos, muitas vezes é necessário selecionar um britador com capacidade instalada maior que a necessária;
- A potência instalada é geralmente superior ao máximo necessário a fragmentação correspondente, estimada por métodos teóricos;
- Equipamento que costuma ficar na interface da mina e usina, devendo atender ao regime operacional de ambas, o que significa, por exemplo, lidar com a intermitência da mina -> Fator de serviço:
 - 1,5 para britagem primária;
 - 1,25 para os demais britadores.

Dimensionamento de britadores

□ Comentários:

- Considerar o *Top Size* aprox. 1,5 a 2,0 vezes o P_{80} ;
- Para circuitos fechados, calcular a carga circulante considerando a eficiência do peneiramento como 90% e a abertura da peneira igual ao P_{80} do produto do britador;
- Atentar para a diferença entre capacidade nominal e de projeto. O balanço de massas é feito considerando a capacidade nominal, mas o dimensionamento, a de projeto. Estes valores variam bastante conforme a usina, sendo aqui sugerido 50% para a britagem primária, 20% para os peneiramentos, 15% para as demais etapas de britagem e usina.

Fornecedores

Mandíbulas 1 Eixo (Single Toggle Jaw Crushers)

Fabricante		Faixa de Capacidade (t/h)													
Metso	C63 40-120	C80 65-290	C95 120-360	C100 150-420	C105 155-445	C110 190-480	C3055 240-600	C125 290-650	C140 385-725	C145 400-820	C160 520-980	C200 760-1225			
TeSmith	10X16 4-25	10X21 5-33	10X30 13-52	12X36 18-75	15X24 17-65	15X38 38-128	20X36 45-200	22X50 110-440	25X40 125-320	30X42 140-330	30X55 195-600	36X48 200-650	44X48 300-1000	50X60 420-1680	55X66 510-1850
Fismidth	TST1100 180-403	TST1200 270-530	TST1400 388-698	TST1550 513-935	TST1900 656-1185										
Weir	CT1030 21-55	CT1040 27-72	CT1048 32-86	CT1252 50-135	CT2036 80-220	CT2436 120-350	CT3042 150-500	NCT3042 150-500	CT3254B 240-780	CT3648 300-850	CT4254 400-1100	CT4763 520-1250	CT6080 750-1600		
Simplex (SXB)	6240 26-60	8050 40-130	9060 65-160	10080 172-365	11080 245-445	12090 295-510									
SANDVIK	CJ411 150-565	CJ613 330-960	CJ412 165-790	CJ615 385-1085	CJ612 300-805	CJ815 480-1160									
IMIC*	BMI-805 59-124	BMI-975 50-200	BMI-1209 103-495	BMI-1312 210-600											
Furlan	JC800 48-180	JC900 54-210	JC1200 140-500	JC1300 215-615											

*Capacidade em m³/h

Britadores Giratórios (Giratory Crushers)

Fabricante		Faixa de Capacidade (t/h)									
Metso	42-65 1635-2320	50-65 2245-2760	54-75 2555-3385	62-75 2575-3720	60-89 4100-5550	60-110 5575-7605					
Fismidth	43"x69" 1780-2730	51"x69" 1650-2560	54"x77" 1800-3160	63"x79" 1750-2920	60"x89" 3700-5485	60"x113" 5485-8200					
SANDVIK	CG650 1200-3100	CG820 1500-4000	CG840 2900-6500	CG850 3800-8250	CG880 5000-10500						
Weir	TG4265 1585-3135	TG5065 1835-3295	TG5475 2100-3850								

Britadores Cônicos

Fabricante		Faixa de Capacidade (t/h)											
Metso	HP100 45-140	HP200 90-250	HP300 115-440	HP400 140-630	HP500 175-790	HP800 260-1200	MP800 495-1935	MP1000 615-2420					
TeSmith	44S 150-475	44FC 150-350	52S 205-550	52FC 170-400	57S 335-810	57FC 300-575	68S 470-1015	68FC 415-840					
Fismidth	Raptor200 80-305	Raptor300 130-500	Raptor400 165-665	Raptor500 195-730	Raptor600 220-795	Raptor900 270-1250	Raptor1000 525-1540	Raptor1100 550-1975	Raptor1300 610-2100	Raptor2000 770-2500			
Weir	TP260 90-264	TP350 125-352	TP450 160-590	TP600 200-790	TP900 270-1050								
Simplex (SXB)	SP100 45-130	SP200 90-300	SP300 180-430	SP400 240-550									
SANDVIK	CH895 178-1170	CH890 204-2193	CH870 280-1513	CH865 127-560	CH860 214-1024	CH660 78-543	CH440 50-388	CH430 26-220	CH420 23-132	CS660 360-385	CS440 245-503	CS430 130-330	CS420 77-162
IMIC*	BCI-125H 17-100	BCI-200H 31-173	BCI-300H 61-282	BCI-400H 86-500	BCI-200S 50-278	BCI-300S 137-347							
Furlan	CC900XP 65-250	CC1200XP 95-390	CC1400XP 135-470										

*Capacidade em m³/h

Fornecedores

- **Outros:**
 - **Sandvik;**
 - **MMD;**
 - **Malanahan;**
 - **Superior industries;**
 - **Citic;**
 - **Hazemag;**
 - **Tda Equipamentos;**
 - **Stedman**
 - **etc**

Características da alimentação

- Resistência ao impacto:
 - WI de britagem de Bond (ou duplo pendulo de Bond):
 - Drop weight test
 - Hopkinson Pressure Bar

- Abrasão:
 - Teste Allis-Chalmers
 - Los Angeles

Características da alimentação

□ Ensaio Metso - Sorocaba

DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

Estabelecimento de comportamento real dos britadores a partir de teste de pequena amostra de mineral, comparando os resultados com medições feitas com material bem conhecido. Amostra de 50kg de material com granulometria 1-1/2" (25-12mm)
A precisão de previsão é diretamente ligada com a representatividade da amostra testada.
No caso da mina não ser geologicamente uniforme, recomenda-se um maior número de testes.

1 ÍNDICE DE ABRASÃO (BOND) $A_i = 0,525$

Equipamento -Tambor rotativo tipo Pensilvânia.			Medição -Desgaste de palheta g		
Referência	Abrasividade Baixa		Média	Alta	
Calcário	$A_i = 0,001-0,03$		Basalto	$A_i = 0,2-0,3$	Granito $A_i = 0,4-0,65$
Dolomita	$A_i = 0,03-0,1$		Hematita	$A_i = 0,2-0,35$	Quartzito $A_i = 0,65-0,9$

2 ÍNDICE DE PRODUTOS (BOND) $W_i = 19,2$ kWh/st

Equipamento-Moinho de Barras 1'x2'			Medição a 16 mesh		
Valores de referência		kWh/st			
Calcário	8 --11	Dolomita	9--13	Hematita	9--14 Granito 11--20

Características da alimentação

□ Ensaio Metso - Sorocaba

3	DENSIDADE APARENTE	Y =	1,64	t/m³
----------	---------------------------	------------	-------------	------------------------

Medição em amostra 1/2"-0 (12-0mm)

4	DENSIDADE REAL	Yr =	2,80	t/m³
----------	-----------------------	-------------	-------------	------------------------

Densidade de rocha sólida

TESTE DE BRITAGEM

Equipamento Britador 75x50mm-Mandíbulas lisas CSS=4,5mm.Célula de carga.

Medição : Capacidade (5) Esforços (6) Lamelaridade (7) Granulometria (8)

Amostra : 10kg de mineral com tamanho 3/4-1/2"(20-12mm)

Referência : Granito de Cantareira Sorocaba Wi=11 Densidade aparente Yo=1,5 t/m³

5	ÍNDICE DE CAPACIDADE VOLUMÉTRICA	C=	73	%
----------	---	-----------	-----------	----------

Tempo para britar uma amostra de granito da Cantareira (padrão)

T0= 69 séc

Tempo para britar a amostra de mineral testado.

T1= 87 séc

Densidade aparente de granito da Cantareira

Y0= 1,5 t/m³

Índice de capacidade volumétrica

$$C = 100 \left(\frac{T_o}{T} * \frac{Y_o}{Y} \right)$$

Referências:

C = 90-110% - usar as medias de capacidades indicadas em manuais

C < 90% - usar os valores mínimos indicados em manuais

C > 110% - usar valores máximos dos manuais

Características da alimentação

□ Ensaio Metso - Sorocaba

6	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA DO MINERAL	R=	182	%
Força em abanadeira quando o granito de Cantareira e processado		Po=	924	kg
Força em abanadeira quando o mineral testado e britado.		P1=	1684	kg

Índice de resistência

$$R = 100 \frac{P_1}{P_0} \%$$

Referências:

R=90-110 Fechamentos mínimos indicados em manuais podem ser usados.

R=70-90 Pode-se reduzir os fechamentos mínimos em 20%

R=110-150 O fechamento mínimo deveria ser aumentado em 20%

Nota: Se o R está fora dos números listados, consultar a engenharia de britagem.

7	ÍNDICE DE LAMELARIDADE	L=	56	%
----------	-------------------------------	-----------	-----------	----------

Metodologia: Em amostra de 300g de mineral britado com granulometria 13-10mm separam-se as partículas com comprimentos iguais ou maiores que a menor dimensão.

Peso da amostra Qo= **1205** g Peso das partículas lamelares Q1= **675** g

Índice de Lamelaridade

$$L = 100 \frac{Q_1}{Q_0} \%$$

Referências

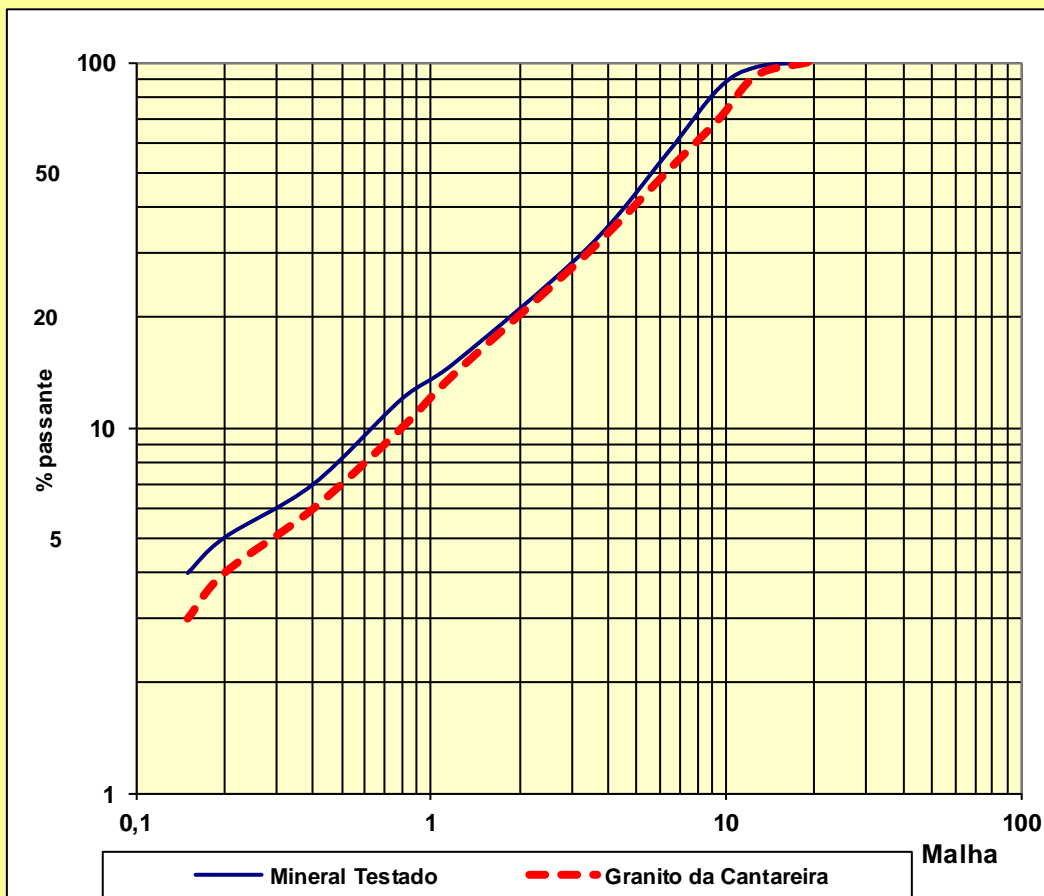
L=0-20% -material cúbico

L=20-40% -tendencia lamelar L>40% Altamente lamelar

Características da alimentação

Ensaio Metso - Sorocaba

8 GRANULOMETRIA



Malha mm	Teste	Correção	
	Passa %	Cantareira %	Teste %
19	100	80	90
12,7	97		
9,5	85	60	70
6,3	56		
3,4	31	40	40
1,2	15		
0,8	12	20	20
0,4	7		
0,2	5	6	7
0,15	4		

Nota

Pode-se desenhar as curvas do produto para mineral testado para as mandíbulas e cones usando os fatores corretivos indicados na tabela para 80,60,40,30,6% de material passante.

Variáveis

- Variáveis que afetam a operação de um britador
 - Variáveis de projeto
 - Tipo de minério / rocha
 - Curva de distribuição granulométrica da alimentação e produto
 - Capacidade
 - Work Index
 - Índice de Abrasão
 - Densidade
 - Umidade
 - Contaminação (argila, p. ex.)
 - Variáveis de Controle operacional
 - Regulagem da APF
 - Nível da câmara de britagem

Variáveis

- Variáveis de Controle operacional
 - Nível da câmara de britagem

Tabela 5.1. Importância da operação com câmara cheia na performance de um britador cônico. Britador cônico Hydrocone britando gneisse/ diabásio com tamanho de 3 a 9 mm (Svensson et al., 1996)

	Câmara cheia	Câmara no nível mínimo
APF (mm)	9,5	9,5
% < APF no produto	72	56
% < 6 mm no produto	50	34
Potência (kW)	90	45
Pressão (MPa)	3,9	1,8
Capacidade (t/h)	107	77
kWh/ton -6mm	1,67	1,73

Exercício

- 1) Definir os parâmetros para o dimensionamento: curva de alimentação do britador primário, capacidade horária (incluindo o fator de projeto), WI, densidade e umidade;
- 2) Listar quais equipamentos do manual da Metso podem ser usados;
- 3) Dimensionar ao menos dois tipos de equipamentos;
- 4) Escolher a opção mais adequada;
- 5) Pesquisar duas alternativas de fornecedores para o equipamentos escolhidos;
- 6) Estimar o custo de capital e operação da operação.

FONTES:

- Mineral Processing Technology – Barry Wills e Tim Nappier-Munn. 2006.
- KELLY, E.G.; SPOTTISWOOD, D.J. **Introduction to Mineral Processing**; New York, Wiley interscience inc., 1982, 516p.
- Chaves, A. P. Teoria e prática do tratamento de minérios. Vol. 3. 2006.
- Manual de britagem Metso. 6 edição. 2005.
- Gupta, A.; Yan, D.; **Mineral processing design and operation: an introduction**. Elsevier, 2006. 693 p. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444516367>>
- Major, K. Types and characteristics of crushing equipment and circuits flowsheets. In: Mular, A.A.; Halbe, D.N.; Barratt, D.J. Mineral Processing Plant Design, Practice and Control. SME, 2002.
- Utley, R.W. Selection and sizing of primary crushers. In: Mular, A.A.; Halbe, D.N.; Barratt, D.J. Mineral Processing Plant Design, Practice and Control. SME, 2002.
- Imagens e vídeos google images
- Imagens do autor