



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

EMERSON HENRIQUE FISCHER BIRRO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PENEIRA INDUSTRIAL EMPREGADA
NA PRODUÇÃO DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM
ESTUDO DE CASO**

**ARAXÁ – MG
2017**

EMERSON HENRIQUE FISCHER BIRRO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PENEIRA INDUSTRIAL EMPREGADA
NA PRODUÇÃO DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM
ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais / Campus IV – Araxá, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Minas.

Orientador: Prof. Me. Leandro Henrique Santos

Coorientador: Prof. Me. Douglas Geraldo Magalhães

ARAXÁ – MG

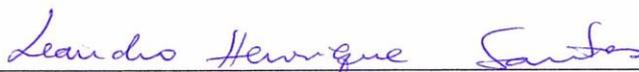
2017

EMERSON HENRIQUE FISCHER BIRRO

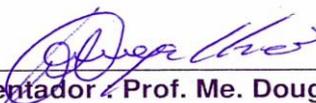
**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PENEIRA INDUSTRIAL EMPREGADA
NA PRODUÇÃO DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
de Minas do Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
- CEFET/MG, como requisito parcial
para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Minas.

Araxá, dia 21 de Junho de 2017



Presidente e Orientador : Prof. Me. Leandro Henrique Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG –
Unidade Araxá



Membro Titular e Coorientador : Prof. Me. Douglas Geraldo Magalhães
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG –
Unidade Araxá



Membro Titular : Prof. Me. Guilherme Alzamora Mendonça
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG –
Unidade Araxá



Membro Titular : Prof. Dra. Michelly dos Santos Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG –
Unidade Araxá

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por esta vitória, pelas bênçãos em minha vida, por sempre me proteger e guiar no melhor caminho e me proporcionar sempre o melhor.

Em seguida, agradeço a minha base de tudo: minha família.

A minha mãe Elza Margareth, por todos ensinamentos dados, pelos conselhos, por sempre se preocupar comigo, por todas as orações e força em todos esses anos de curso, e por sempre me incentivar nos meus estudos desde pequeno. Obrigado por tudo minha rainha, essa vitória é sua com certeza, te amo muito.

Ao meu pai, meu melhor amigo, meu herói, Hélio, por sempre acreditar comigo que um dia esse sonho se tornaria realidade, me incentivando e nunca duvidando do meu potencial, por sempre estar ao meu lado me ajudando fazendo do possível ao impossível. Meu pai, você é um dos maiores responsáveis por eu estar aqui hoje, todo agradecimento é muito pouco por tudo que você fez e faz por mim. Essa vitória é sua, com toda certeza, te amo meu tuquinha.

Ao meu irmão Lucas, por me incentivar e sempre torcer pela minha vitória.

A família Fischer e Birro, por toda força e ajuda nos momentos mais difíceis, e sempre torcendo pelo melhor.

Aos amigos de BH em especial Leandro, Felipe e Adriano por toda ajuda e amizade durante todos esses anos, que mesmo de longe nesse período se fizeram bastante presentes.

Aos colegas de curso e amigos de Araxá em especial Thiago (Robinho), Luis Fernando, Mayara, Yuri, Ana Maria e Carol por toda força e ajuda nessa etapa da minha vida.

Ao amigo e colega de sala João Victor por todos os conselhos e por se preocupar sempre comigo, me ajudando em etapas determinantes no Laboratório de Tratamento de Minérios.

Aos alunos do ensino médio, Ana Carolina Barreto e Italo Flávio, por toda ajuda na parte prática deste trabalho.

A Mineradora Santa Helena, por disponibilizar as amostras dos produtos e todo material referente ao equipamento e por estar sempre disposta a ajudar.

Ao meu amigo e orientador Professor Mestre Leandro Henrique Santos, por toda paciência, ajuda e colaboração neste trabalho. Por acreditar no meu potencial e que este trabalho daria certo, pelos conselhos e por estar sempre disposto a tirar as minhas dúvidas. Leandro obrigado por contribuir muito para minha formação pessoal e profissional, você é um exemplo de profissional e de caráter que pretendo seguir.

A professora Doutora Michelly dos Santos Oliveira, por contribuir para minha formação profissional e por estar sempre disposta e me ajudar neste trabalho, tirando todas dúvidas possíveis.

A todos meu muito obrigado....

RESUMO

O peneiramento é uma das operações de classificação mais empregadas na indústria mineral, através da separação de partículas de acordo com granulometria, podendo ser realizada a seco ou a úmido. Esta técnica é realizada por peneiras industriais e de laboratório, buscando uma melhor separação por tamanho, adequando assim a granulometria de determinado produto para operações posteriores, ou à especificação industrial. O peneiramento industrial corresponde a uma operação essencial na rota de tratamento de minérios. Entretanto, caso seja realizada de forma equivocada, poderá gerar prejuízos, comprometendo seriamente as etapas posteriores.

Diante deste cenário foram determinados os cálculos de eficiência, excelência e dimensionamento da peneira industrial da mineradora Santa Helena, localizada no município de Ibiá/MG, para agregados para construção civil. Estes parâmetros foram determinados por peneiramento em laboratório realizado no Laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET-MG, Campus IV, baseado no modelo empírico de análise granulométrica de *Gates-Gaudin-Schumann* (GGS). Com relação aos parâmetros analisados, foi verificado que somente para o 1° *deck* os valores calculados para eficiência e excelência obtiveram resultados satisfatórios, constatando que os principais problemas estão relacionados à proporção de partículas presentes na faixa crítica ou a baixa estratificação das mesmas. Quanto ao dimensionamento da peneira, como o modelo deste equipamento empregado na empresa apresentou área ($8,6\text{m}^2$) superior à área calculada (3,29 para o 1° *deck*, 2,58 para o 2° *deck*, 2,73 para o 3° *deck*) constatou-se que este parâmetro não prejudicou o desempenho do equipamento .

Palavras-chaves: peneiramento industrial, granulometria, agregados, eficiência.

ABSTRACT

Sieving is one of the classification operations most used in the mineral industry, through the separation of particles according to granulometry, which can be performed dry or wet. This technique is performed by industrial and laboratory sieves, searching for a better separation by size, thus adjusting the granulometry of a product for subsequent operations, or to the industrial specification. Facing this scenario, the calculations of efficiency, excellence and sizing of the Santa Helena mining company industrial sieve, located in Ibiá/MG, for aggregates for civil construction were determined. These parameters were determined by sieving at the Mineral Treatment Laboratory of CEFET-MG, Campus IV, based on the empirical model of granulometric analysis of Gates-Gaudin-Schumann (GGS). Regarding the analyzed parameters, it was verified that only for the 1st deck the calculated values for efficiency and excellence obtained satisfactory results, noting that the main problems are related to the particles' proportion present in the critical range or the low stratification of them. About the sieve sizing, since the model used in the company presents a larger area than the calculated, it was verified that this parameter did not have a direct influence on the equipment's performance.

Keywords: industrial sieving, granulometry, aggregates, efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

A) FIGURAS

Figura 2.1: Etapas de Produção da Mineradora Santa Helena.	16
Figura 2.2: Sistema de Peneiramento da Mineradora Santa Helena, considerando produção de brita 1, brita 0 e pó de brita.	17
Figura 2.3: Pilha Cônica Homogeneizada.....	19
Figura 2.4: Quarteador <i>Jones</i>	20
Figura 2.5: Série de peneiras no peneirador de bancada.....	21
Figura 2.6: Comportamento coletivo das partículas.....	26
Figura 2.7: Representação esquemática de uma peneira fixa DSM.	28
Figura 2.8: Representação esquemática de uma peneira vibratórias	29
Figura 3.1: Coleta de Amostra durante percurso do Material na Correia	38
Figura 3.2: Pilha cônica homogeneizada – Brita.....	40
Figura 3.3: 3° Quarteamento - Pó de Brita.....	41
Figura 3.4: Série de Peneiras no peneirador suspenso.....	44
Figura 3.5: Massa correspondente a cada produto	45

B) GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Fator de Capacidade para materiais maiores que 1”	34
Gráfico 2.2: Fator de Capacidade para materiais menores que 1”	34
Gráfico 2.3: Fator de Material Retido (M).....	35
Gráfico 2.4: Fator de Correção (K).....	36
Gráfico 4.1: Gráfico de Excelência para o 1° Deck da peneira.....	53
Gráfico 4.2: Gráfico de Excelência para o 2° Deck da peneira.....	54
Gráfico 4.3: Gráfico de Excelência para o 3° Deck da peneira.....	55
Gráfico 4.4: Fator de Capacidade (m ³ /h.m ²).....	57
Gráfico 4.5: Fator de Material Retido (Fator M)	58
Gráfico 4.6: Fator relacionado à quantidade menor que meia abertura da peneira.	59
Gráfico A.1 : Curva Granulométrica - Brita 0.	70
Gráfico A.2 : Curva Granulométrica - Brita 1.	70
Gráfico A.3 : Curva Granulométrica - Pó de Brita.	71
Gráfico A.4 : Curva Granulométrica - Rachão	71
Gráfico A.5 : Curva Granulométrica - Material Retido no 1° Deck.....	72
Gráfico A.6 : Curva Granulométrica – Alimentação do 2° deck.....	72
Gráfico A.7 : Curva Granulométrica – Alimentação do 3° deck.....	73
Gráfico C.1 : Modelo de <i>Gates-Gaudin-Schumann</i> – Brita 0.....	77
Gráfico C.2 : Modelo de <i>Rosin Rammeler</i> – Brita 0.....	77
Gráfico C.3 : Modelo de <i>Gates-Gaudin-Schumann</i> – Brita 1	78
Gráfico C.4 : Modelo de <i>Rosin Rammeler</i> – Brita 1	78
Gráfico C.5 : Modelo de <i>Gates-Gaudin-Schumann</i> – Pó de Brita	79
Gráfico C.6 : Modelo de <i>Rosin Rammeler</i> – Pó de Brita	79
Gráfico C.7 : Modelo de <i>Gates-Gaudin-Schumann</i> – Rachão	80
Gráfico C.8: Modelo de <i>Rosin Rammeler</i> – Rachão	80
Gráfico C.9 : Modelo de <i>Gates-Gaudin-Schumann</i> – Material Retido no 1° Deck	81
Gráfico C.10: Modelo de <i>Rosin Rammeler</i> – Material Retido no 1° Deck	81
Gráfico C.11 : Modelo de <i>Gates-Gaudin-Schumann</i> – Alimentação do 2° Deck.....	82
Gráfico C.12: Modelo de <i>Rosin Rammeler</i> – Alimentação do 2° Deck.....	82
Gráfico C.13 : Modelo de <i>Gates-Gaudin-Schumann</i> – Alimentação do 3° Deck.....	83
Gráfico C.14: Modelo de <i>Rosin Rammeler</i> – Alimentação do 3° Deck.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 : Cenários dos Sistemas de Peneiramento da Mineradora Santa Helena	16
Tabela 2.2: Produtos de uma Pedreira	18
Tabela 2.3: Características de uma Peneira	20
Tabela 2.4: Série Tyler	22
Tabela 3.1: Massa inicial correspondente a cada material.	39
Tabela 3.2: Massa final correspondente a cada material.	41
Tabela 3.3: Série de Peneiras empregada para cada amostra.	43
Tabela 4.1: Coeficiente de Correlação dos produtos para cada equação.....	50
Tabela 4.2: Modelamento empírico segundo a teoria de <i>Gates-Gaudin-Schumann</i>	51
Tabela 4.3: Porcentagem de Passante e Retido acumulado para cada produto	51
Tabela 4.4: Resultados de eficiência do peneiramento da Mineradora Santa Helena	52
Tabela 4.5: Fator de Correção Q	60
Tabela 4.6: Características estruturais das telas.	62
Tabela 4.7: Espessura da camada do material na extremidade da descarga.....	63
Tabela 4.8: Fator de velocidade do Material (S)	63
Tabela 4.9: Resultados de dimensionamento da peneira da Mineradora Santa Helena	64
Tabela B.2: Massas de <i>Gaudin</i> - Brita 1	74
Tabela B.5: Massas de <i>Gaudin</i> - Material Retido no 1° <i>Deck</i>	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% PA	Porcentagem de Passante Acumulado
% RA	Porcentagem de Retido Acumulado
%RS	Porcentagem de Retido Simples
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
DSM	<i>Dutch State Mines</i>
GGG	<i>Gates-Gaudin-Schumann</i>
LTM	Laboratório de Tratamento de Minérios
MG	Minas Gerais
OS	<i>Oversize</i>
RR	<i>Rosin Rammeler</i>
US	<i>Undersize</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A - área da peneira em m^2

d - densidade do minério;

di - abertura da peneira em análise em cm;

ds - abertura da peneira imediatamente superior em cm;

E - eficiência;

μm - micrômetro;

% - porcentagem;

mm - milímetro;

$\sqrt{\quad}$ - Raiz Quadrada;

$M_{m\acute{a}x}$ - Massa de material que poderia ficar retida em uma peneira cessado o peneiramento;

n - número de camadas de partículas;

g - gramas;

t/h - Toneladas por hora;

K - Fator relacionado à quantidade menor que meia abertura da peneira;

C - Fator de capacidade do material em $m^3/h.m^2$.

P - Fator de conhecimento do material;

M - Fator de Material retido;

W - Largura da peneira em m;

a - abertura nominal da tela;

T - Alimentação do material em m^3/h .

” - Polegada.

T_f - Quantidade de material produzida como *oversize* em m^3/h ;

D - Espessura da camada do material na extremidade da descarga;

S - Fator de velocidade do material em m/min;

L - Largura do *deck* da peneira em metros.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Rochas e Minerais Industriais	14
2.2	Mineradora Santa Helena	15
2.2.1	Sistema de peneiramento da mineradora Santa Helena	16
2.3	Brita	17
2.4	Análise Granulométrica	18
2.4.1	Preparação das amostras	19
2.4.2	Equipamentos.....	20
2.4.3	Séries de Peneiras e Padronização	21
2.4.4	Procedimentos para Ensaios de Análise Granulométrica	23
2.4.4.1	Tempo de Peneiramento	23
2.4.4.2	Massa de Gaudin	23
2.4.4.3	Técnicas de Peneiramento.....	24
2.5	Peneiramento Industrial	24
2.5.1	Mecanismo de Peneiramento.....	25
2.5.2	Equipamentos.....	27
2.5.2.1	Peneiras DSM	27
2.5.2.2	Peneiras vibratórias.....	28
2.5.3	Eficiência de Peneiramento.....	29
2.5.4	Modelos Empíricos de Distribuição Granulométrica	30
2.5.5	Excelência de Peneiramento.....	31
2.5.6	Dimensionamento de Peneira Industrial	32
3	METODOLOGIA.....	38
3.1	Amostras	38
3.2	Homogeneização e Quarteamento	40
3.3	Análise Granulométrica	42
3.3.1	Peneiramento a Seco	42
3.3.2	Massa de <i>Gaudin</i>	45
3.3.3	Análise Granulométrica da alimentação de cada <i>deck</i>	45
3.3.4	Aplicação dos modelos empíricos para Análise Granulométrica	46
3.3.5	Cálculo de Eficiência da Peneira.....	46
3.3.6	Cálculo da Excelência de Peneiramento.....	47
3.3.7	Cálculo de Dimensionamento da Peneira	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1	Massa de <i>Gaudin</i>	50
4.2	Determinação do modelo empírico para análise granulométrica.....	50
4.3	Eficiência de Peneiramento.....	51

4.4	Excelência de Peneiramento.....	53
4.5	Dimensionamento da Peneira Industrial da Mineradora Santa Helena	56
4.5.1	Alimentação (T)	56
4.5.2	Função do conhecimento do Material (P)	56
4.5.3	Fator de capacidade (C).....	56
4.5.4	Fator de Material Retido (M)	57
4.5.5	Fator relacionado à quantidade menor que meia abertura da peneira (K)	58
4.5.6	Fator de Correção Q.....	59
4.5.7	Quantidade de material produzida como oversize (T_i).....	62
4.5.8	Espessura da camada do material na extremidade da descarga (D)	63
4.5.9	Fator de Velocidade do Material (S).....	63
4.5.10	Sugestões de Melhoria.....	64
5	CONCLUSÃO.....	66
6	SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO	67
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
	ANEXO A – CURVA GRANULOMÉTRICA DOS PRODUTOS	70
	ANEXO B – MASSA DE GAUDIN DOS PRODUTOS	74
	ANEXO C – GRÁFICOS DOS MODELOS EMPÍRICOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA... 77	

1 INTRODUÇÃO

Entende-se por peneiramento a etapa de separação por tamanho, cujo objetivo principal corresponde à separação de um conjunto de partículas em dois grupos distintos, em função da granulometria destas. Os produtos obtidos dessa operação são classificados como *undersize* (passante) e *oversize* (retido) (CHAVES & PERES, 2012).

“O peneiramento é dito ‘a seco’ quando realizado com o material em sua umidade natural; já ‘a úmido’, quando o material é alimentado na forma de polpa e/ou recebe água na forma de *sprays* dispostos sobre os decks de peneiramento” (CHAVES & PERES, 2012, p.132).

Diversos e numerosos são os equipamentos empregados no peneiramento industrial. Basicamente, são divididos em peneiras fixas (inclinadas), vibratórias (inclinadas e horizontais) e rotativas (*trommel*), além das grelhas (fixas e vibratórias). Já a faixa de tamanhos submetidos a essa operação vai desde maticões de 18” a talco (130 μm) (CHAVES & PERES, 2012).

O peneiramento industrial corresponde a uma operação essencial na rota de tratamento de minérios. Entretanto, caso seja realizada de forma equivocada, poderá gerar prejuízos, comprometendo seriamente as etapas posteriores (e.g. moagem, classificação e concentração).

O objetivo geral deste estudo consiste em avaliar o desempenho do sistema de peneiramento da Mineradora Santa Helena. Para tal, como objetivos específicos propõe-se aferir se a operação da peneira industrial da mineradora está na faixa padrão de eficiência, avaliar se a mesma se encontra em valores adequados de excelência, além de determinar a área e a largura necessária de cada *deck* para a execução da operação (dimensionamento). Assim, através dos resultados obtidos, foram sugeridas ações de melhoria visando potencializar o desempenho deste ciclo de operação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Rochas e Minerais Industriais

Rochas e minerais industriais são um conjunto de recursos minerais que, através das suas propriedades físicas e químicas, podem ser utilizados das mais variadas formas (e.g. matérias primas, insumos e aditivos em processos industriais). Ainda faz parte desta classificação os minerais sintéticos (RODRIGUES, 2009).

É bastante comum a classificação dos minerais e rochas industriais por grupos, conforme mostrado abaixo (LUZ & LINS, 2005, p.5):

- ✓ Estruturais ou para construção civil: agregados (brita e areia), minerais para cimento (calcário, areia, argila e gipsita), rochas e pedras ornamentais (granito, gnaisse, quartzito, mármore, ardósia etc.), argilas para cerâmica vermelha, artefatos de uso na construção civil (amianto, gipsita, vermiculita etc.);
- ✓ Indústria química: enxofre, barita, bauxita, fluorita, cromita, pirita etc.;
- ✓ Cerâmicos: argilas, caulins, feldspatos, sílica, talco etc.;
- ✓ Refratários: magnesita, bauxita, cromita, grafita etc.;
- ✓ Isolantes: amianto, vermiculita, mica etc.;
- ✓ Fundentes: fluorita, calcário, criolita etc.;
- ✓ Abrasivos: diamante, granada, quartzito, coríndon etc.;
- ✓ Minerais de carga: talco, gipsita, barita, caulim, calcita etc.;
- ✓ Pigmentos: barita, ocre, minerais de titânio;
- ✓ Agrominerais (minerais e rochas para a agricultura): fosfato, calcário, sais de potássio, enxofre, feldspato, flogopita, gipsita, zeólita etc.;
- ✓ Minerais “ambientais” ou minerais verdes: bentonita, atapulgita, zeólitas, vermiculita etc., utilizados (na forma natural ou modificados) no tratamento de efluentes, na adsorção de metais pesados e espécies orgânicas, ou como dessulfurantes de gases (calcário).

Para Luz & Lins (2005), os minerais industriais são separados em dois grupos: Minerais Físicos e Minerais Químicos. Os minerais físicos englobam aqueles que mantêm a sua característica física original ou, no máximo interagem quimicamente por adsorção nas superfícies das partículas. Os minerais físicos funcionais são o exemplo mais comum deste tipo de grupo, representando uma maior tecnologia em termos de produto e *marketing*. Já os minerais químicos se baseiam na perda da sua característica física original,

tendo como objetivo principal atuar como um iniciador de novos compostos em fases líquidas ou gasosas. As cerâmicas são exemplo mais comum deste grupo.

2.2 Mineradora Santa Helena

A Mineradora Santa Helena está localizada no município de Ibiá/MG, na BR-262. Segundo a empresa (Santa Helena, 2016), a mesma surgiu com o propósito de atender o mercado local de agregados para construção civil e pavimentação, além de fornecer produtos de qualidade através de uma exploração sustentável.

De acordo com o *site* da empresa e informações de funcionários, a Santa Helena foi fundada por um sólido grupo de investidores da cidade de Araxá/MG, tendo suas operações iniciadas em outubro de 2014 e conta atualmente em média com 30 funcionários.

Os produtos desta pedra são pó de brita, brita 0, brita 1, brita 2, brita 3 bica corrida e rachão. Estes materiais são extraídos da rocha composta predominantemente por granito gnáissico. De acordo com o *site* da empresa essa rocha apresenta origem metamórfica, sendo oriunda da deformação de sedimentos arcósicos ou de granitos. Sua granulação situa-se entre média e grossa, sendo que sua estrutura se apresenta muito variável, mostrando características maciça, granitoide e com foliação até bandada, com bandas geralmente milimétricas a centimétricas alternadas com outras mais máficas.

A etapa de produção da Mineradora Santa Helena envolve perfuração, desmonte de rocha por explosivos, carregamento e transporte, britagem primária, peneiramento e britagem secundária resultando em vários produtos finais para posterior venda. A Figura 2.1 mostra o esquema das etapas de produção da empresa.

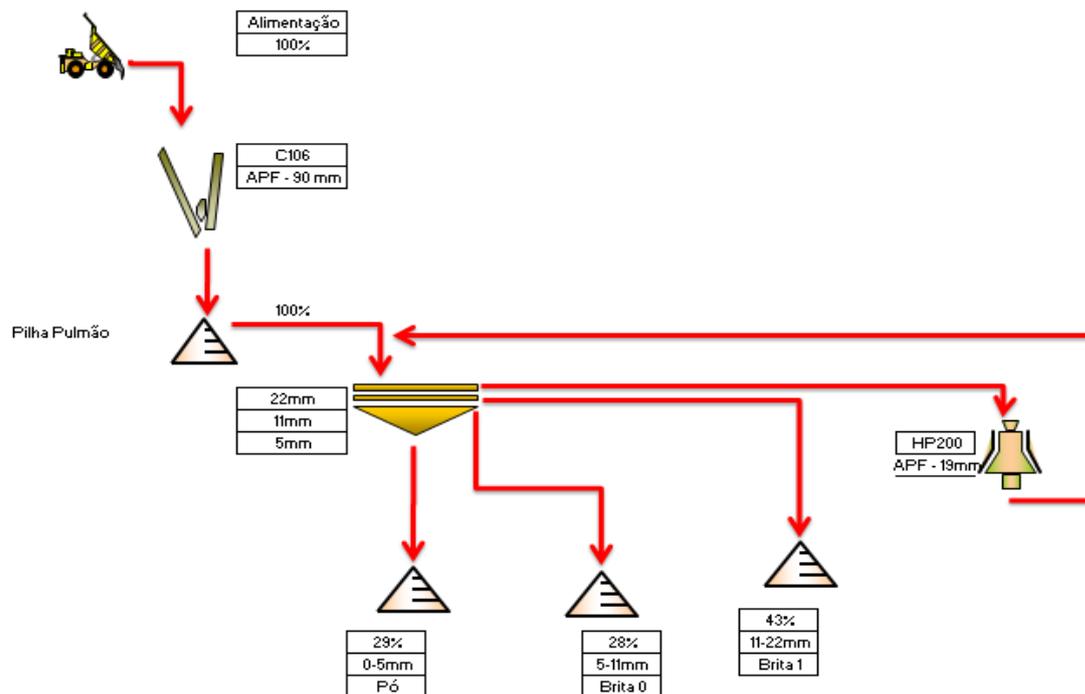


Figura 2.1 :Etapas de produção da mineradora Santa Helena.
Fonte: Cunha, 2017.

2.2.1 Sistema de peneiramento da mineradora Santa Helena

De acordo com o catálogo de produtos da empresa fabricante da peneira industrial, o sistema de peneiramento da Mineradora Santa Helena é composto por duas peneiras vibratórias do tipo CBS 6' X 16' TD dotadas de 3 *decks*, da marca *Metso*, empresa que atua no ramo da mineração na fabricação de equipamentos, serviços e conhecimento dos mais diversos processos. Este sistema pode ser operado em dois cenários (tabela 2.1). A figura 2.2 mostra o sistema de peneiramento do primeiro cenário.

Tabela 2.1 : Cenários dos Sistemas de Peneiramento da Mineradora Santa Helena

Cenário	Abertura (mm)	Produtos
Cenário 1	22	Brita 1
	11	Brita 0
	5	Pó de Brita
Cenário 2	50	Brita 3
	25	Bica Corrida
	5	Pó de Brita

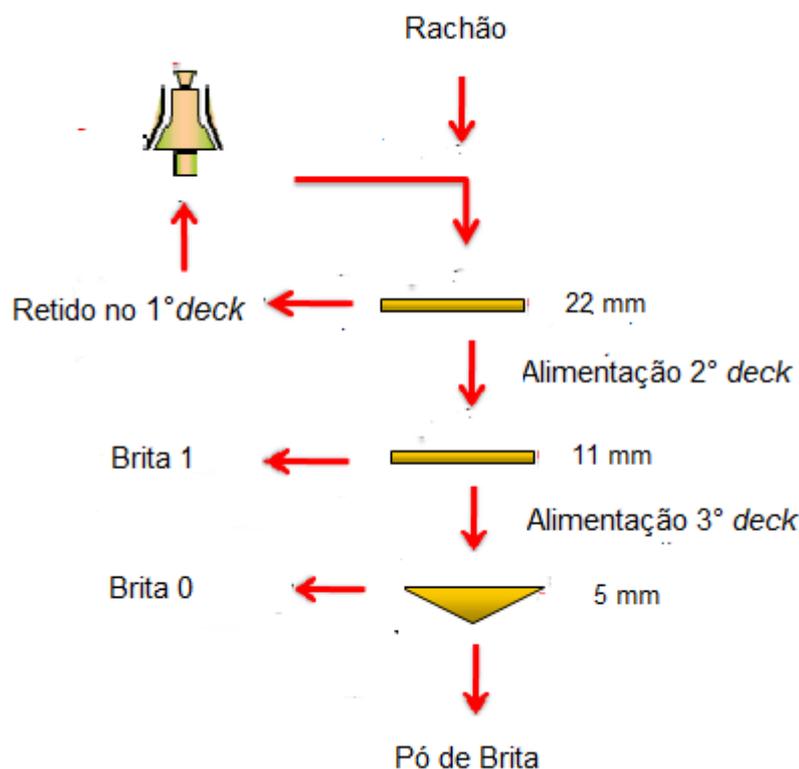


Figura 2.2: Sistema de Peneiramento da Mineradora Santa Helena, considerando a produção de brita 1, brita 0 e pó de brita.

Fonte: Adaptado de Cunha, 2017.

Segundo o catálogo de produtos da empresa fabricante da peneira industrial, o equipamento é destinado a operações de separação intermediária e final, tanto a seco quanto a úmido. O limite granulométrico máximo de material alimentado deve ser inferior a 250 mm (10”) e a sua classificação pode ser realizada em faixas de tamanho que variem de 3 a 100 mm.

2.3 Brita

“Brita é um termo utilizado para denominar fragmentos de rochas duras, originários de processos de beneficiamento (britagem e peneiramento) de blocos maiores, extraídos de maciços rochosos (granito, gnaisse, basalto, calcário) com auxílio de explosivos” (QUARESMA, 2009, p.3). Este material é amplamente empregado em vários segmentos dentre os quais destacamos a indústria de construção civil, sendo utilizada em concreto, edificações, obras de infraestrutura e pavimentações.

Os produtos de uma pedreira são bastante variados, sendo definidos de acordo com a faixa granulométrica. A Tabela 2.2 apresenta os produtos de uma pedreira com suas respectivas granulometrias.

Tabela 2.2: Produtos de uma Pedreira

Produtos de uma pedreira	
Produto	Granulometria
Areia de Brita	Abaixo da malha de 200 # (0,074 mm)
Pó de Brita	Zero a 5 mm
Bica Corrida	Zero a 50 mm
Brita 0	4,8 mm a 9,5 mm
Brita 1	9,5 mm a 19,0 mm
Brita 2	19,0 mm a 25,0 mm
Brita 3	25,0 mm a 38,0 mm
Brita 4	38,0 mm a 76,0 mm
Brita 5	76,0 mm a 100 mm
Gabião	100 mm a 150 mm
Brita Graduada	0 até o especificado pelo consumidor
Rachão	Grosseira, após britagem primária

Fonte : (Quaresma, 2009)

No Brasil, aproximadamente 85% da brita produzida em pedreiras origina-se de gnaiss/granito, sendo que o restante é composta de calcário/dolomito (10%) e de basalto/diabásio (5%) (QUARESMA ,2009).

2.4 Análise Granulométrica

A análise granulométrica pode ser realizada com o objetivo de conhecer a distribuição dos tamanhos em uma amostra. Para que a análise seja executada de forma mais correta possível, devem ser realizados alguns procedimentos que variam desde a preparação e quarteamento da amostra, até a execução dos ensaios (MONTENEGRO et al., 2007).

2.4.1 Preparação das amostras

Em laboratório, duas técnicas bastante utilizadas na preparação de amostras é a homogeneização e quartejamento por meio de cones e pilhas (Figura 2.3). A pilha de homogeneização é muito utilizada na preparação e obtenção de amostras para peneiramento, sendo considerado o método mais simples, devido á ausência de equipamentos especiais, o que permite a amostragem em qualquer local, além de se obter alíquotas com quantidades representativas (DA SILVA & SAMPAIO, 2007).



Figura 2.3: Pilha Cônica Homogeneizada.

Outra alternativa para a redução do volume da amostra é o uso do Quarteador *Jones* (Figura 2.4). Ele consiste em um equipamento capaz de quartear a amostra em duas partes, até se obter alíquotas de massa desejada.

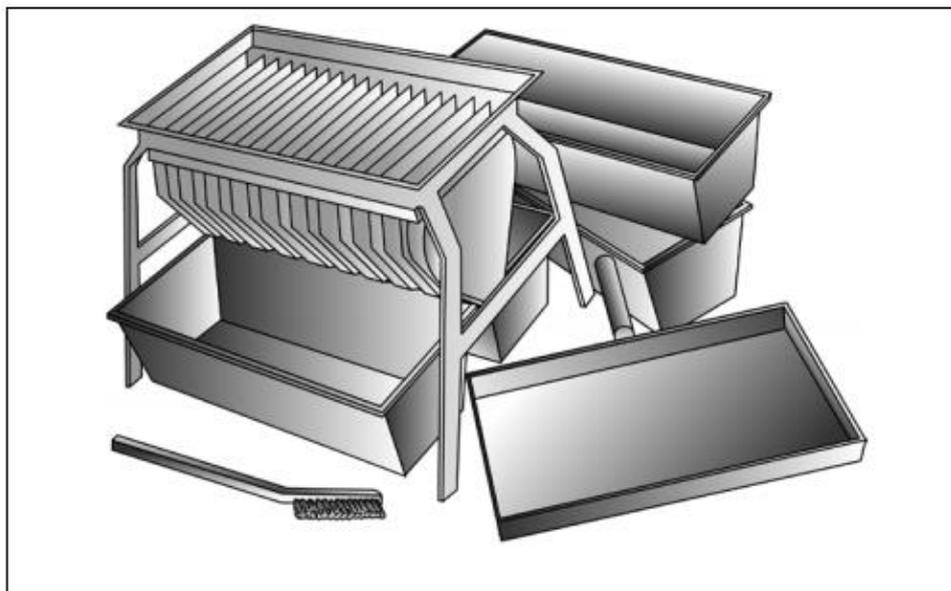


Figura 2.4: Quarteador *Jones*.
 Fonte : Da Silva & Sampaio (2007,p.58).

2.4.2 Equipamentos

As peneiras laboratoriais apresentam um padrão para que os resultados da classificação granulométrica sejam comparados de forma precisa (OLIVEIRA, 2015). A Tabela 2.3 apresenta essas características.

Tabela 2.3: Características de uma Peneira

Características De uma Peneira				
Forma das aberturas	Diâmetro dos fios	Formação da malha	Tamanho e formato	Abertura da Malha
Quadrada	Função das aberturas	Fios de arame	Redonda (d = 200mm e h = 50mm) ou Quadrada (l = 500mm)	Através de escalas padronizadas (e.g. Tyler)

A análise granulométrica pode ser realizada através de peneiradores vibratórios (de bancada e suspensos), sendo a seco ou a úmido. Estes equipamentos empregam dispositivos de vibração através de uma frequência controlada. A Figura 2.5 mostra um peneirador de bancada.



Figura 2.5: Série de peneiras no peneirador de bancada.

2.4.3 Séries de Peneiras e Padronização

Uma nova série de peneira foi estabelecida através do professor alemão *R. von Rittinge*. Ele estabeleceu, que a razão entre as aberturas de duas peneiras sucessivas é constante e igual a $\sqrt{2}$, enquanto a razão entre as áreas é igual a 2. Esta série ganhou cada vez mais notoriedade, sendo aceita pelos fabricantes de peneiras, e ficou conhecida como série *Tyler* (DA SILVA & SAMPAIO, 2007).

Para a construção desta série basta tomar como parâmetro, a peneira com abertura equivalente a 0,074mm e multiplicar esse valor por $\sqrt{2}$. O produto desta operação corresponde a peneira imediatamente superior. A operação se repete de maneira sucessiva, até que a série seja completada. De modo semelhante, para se determinar a abertura da peneira inferior em relação a peneira tida como referência, dividiu-se o valor correspondente de 0,074 mm

por $\sqrt{2}$ (DA SILVA & SAMPAIO, 2007). A Tabela 2.4 mostramos os resultados da série *tyler* para cada malha de peneira.

Tabela 2.4: Série Tyler

Aberturas (malha)		Aberturas	
Série Tyler	mm	μm	Polegadas
2 1/2	8.000	8000	5/16
3	6.730	6730	0.265
3 1/2	5.613	5613	0.221
4	4.800	4800	0.185
5	4.000	4000	0.157
6	3.400	3400	0.131
7	2.840	2840	0.11
8	2.400	2400	0.093
9	2.000	2000	0.079
10	1.700	1700	0.065
12	1.420	1420	0.055
14	1.200	1200	0.046
16	1.000	1000	0.039
20	0.85	850	0.0331
24	0.71	710	0.0278
28	0.6	600	0.0234
32	0.5	500	0.0197
35	0.425	425	0.0165
42	0.355	355	0.0139
48	0.300	300	0.0117
60	0.250	250	0.0098
65	0.212	212	0.0083
80	0.180	180	0.0069
100	0.150	150	0.0058
115	0.125	125	0.0049
150	0.104	104	0.0041
170	0.090	90	0.0035
200	0.074	74	0.0029
250	0.063	63	0.0025
270	0.053	53	0.0021
325	0.045	45	0.0017
400	0.037	37	0.0014
635	0.020	20	0.00079

Fonte : Da Silva & Sampaio (2007,p.61).

2.4.4 Procedimentos para Ensaios de Análise Granulométrica

Para um ensaio de análise granulométrica por peneiramento ser executado de maneira eficiente, deve conter os principais fatores: tempo de peneiramento, massa de *Gaudin* e técnica de peneiramento.

2.4.4.1 *Tempo de Peneiramento*

De acordo com Da Silva & Sampaio (2007), materiais com granulometria mais grosseira requerem um tempo menor de peneiramento, já materiais com granulometria mais fina devem ter um tempo maior, em função destas possuírem uma certa dificuldade de passar pela abertura da peneira.

2.4.4.2 *Massa de Gaudin*

Na análise granulométrica existe uma quantidade máxima de material que pode ficar retido em cada faixa de peneira. Esta quantidade máxima de material é denominada massa de *Gaudin*, e não pode ultrapassar 3 camadas de material sobre a tela metálica da peneira (OLIVEIRA, 2015). Esse parâmetro pode ser calculado através da seguinte fórmula (equação 2.1).

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{n \cdot (d_i + d_s) \cdot A \cdot d}{2} \quad (2.1)$$

Onde:

$M_{m\acute{a}x}$ = massa de material que poderia ficar retida em uma peneira cessado o peneiramento

d_i = abertura (cm) da peneira em análise

d_s = abertura da peneira imediatamente superior

A = área da peneira

d = densidade aparente do minério

n = número de camadas de partículas (1 a 3)

Caso a massa de material retida ao final do ensaio seja maior que a massa de *Gaudin*, deve-se refazer o ensaio, empregando massa ensaiada menor.

2.4.4.3 *Técnicas de Peneiramento*

O tipo de peneiramento, dependerá da característica do material como: granulometria e umidade. São três as principais técnicas de peneiramento (a seco, a úmido e combinado).

Segundo OLIVEIRA (2015) a operação a seco é a de mais fácil execução. Os ensaios a seco são indicados para minérios com granulometria grossa e poucas quantidades de fração fina. A operação a úmido requer grande quantidade de água, sendo destinada a partículas mais finas. Já a operação combinada é uma composição dos peneiramentos a seco e a úmido, sendo realizado quando existe grande quantidade de finos no material.

2.5 Peneiramento Industrial

O peneiramento industrial pode ser definido como a operação de separação por tamanho realizada industrialmente cujas superfícies utilizadas apresentam aberturas geométricas de formas diversificadas (MONTENEGRO et al., 2007).

Nas usinas industriais, esta operação tem por objetivo ajustar a granulometria dos produtos do processamento, possuindo uma variada gama de aplicação, passando desde maiores tamanhos até partículas de granulometria fina (250 μm), (MONTENEGRO et al., 2007).

De acordo com Carrisso & Correia (2004), operação a seco é aplicada a fragmentos com tamanhos de até 6 mm. Contudo, a metodologia possibilita peneirar a seco com razoável eficiência em frações que chegam até 1,7 mm. Para operações a úmido, o peneiramento industrial pode ser realizado para partículas de até 0,4 mm, mas já tem sido possível aplicar o método a partículas mais finas, no tamanho de 50 μm .

2.5.1 Mecanismo de Peneiramento

Quanto ao funcionamento de uma peneira industrial, ele se dá por dois aspectos: pela ação coletiva das partículas ou pelo aspecto individual das mesmas.

Segundo Chaves & Peres (2012), em seu comportamento coletivo, uma peneira deve exercer três ações independentes e diferentes sobre o conjunto de partículas que é alimentada sobre a mesma.

- ✓ Deve ocorrer o **transporte** das partículas do material ainda retido de uma extremidade do *deck* até a outra. Este transporte é garantido pelo movimento de vibração da peneira através da tela que dá um impulso as partículas, tendo a capacidade de levantá-la e lançá-la à frente.

- ✓ Deve ocorrer a **estratificação** do leito, ou seja, as partículas se organizarem de maneira que as de granulometria mais grosseira se mantenham por cima das partículas finas. Ou seja, as partículas menores são capazes de percolar pelos interstícios entre as partículas maiores. A estratificação é realizada porque as partículas grosseiras e as mais finas apresentam massas diferentes. Cada partícula adquire uma quantidade de movimento, que é o produto de sua massa (m) pela sua velocidade (v). Elas possuem a mesma velocidade, pois a massa do *deck* é infinitamente superior à massa das partículas. Como as partículas maiores apresentam uma maior massa, estas acabam tendo uma quantidade de movimento maior, sendo lançadas mais longe e ficando na porção superior do leito.

- ✓ **Peneiramento propriamente dito**, em que as partículas finas remanescentes no leito executam diversas tentativas até conseguirem atravessar a abertura da tela.

A Figura 2.6 mostra o esquema do comportamento coletivo das partículas.

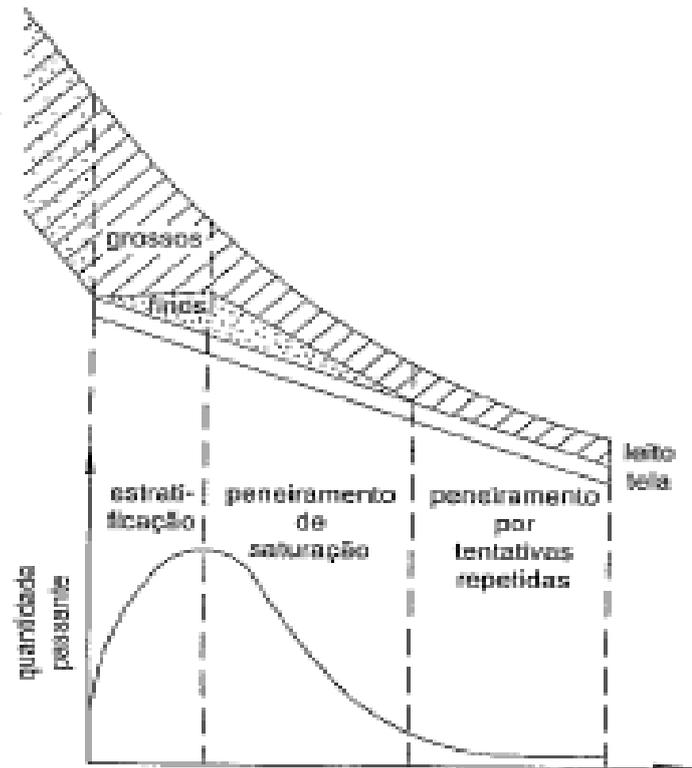


Figura 2.6: Comportamento coletivo das partículas.
Fonte: Chaves & Peres (2003,p.524).

Quanto ao aspecto individual, as partículas sofrem comportamentos diferentes ao passarem pela abertura de uma tela, de acordo com o seu diâmetro (CHAVES & PERES, 2012).

- ✓ Partículas maiores que uma vez e meia a abertura da tela não conseguem passar pela malha da peneira ficando assim retidas. O grande problema deste tipo de granulometria está no desgaste que poderá fazer a tela.
- ✓ Partículas entre uma vez e meia a malha e a malha também ficam retidas na peneira, só que estas por possuírem um tamanho próximo a malha, irão fazer várias tentativas pra passar, podendo ficar presa em alguma abertura.
- ✓ Partículas menores que a abertura da tela e maiores que metade da abertura, estão na faixa de tamanho denominada de faixa crítica. Ou seja, só passarão pela abertura se caírem numa

posição correta ou conveniente, precisando assim de um número elevado de tentativas.

- ✓ Partículas menores que metade da abertura, vão atravessar com facilidade.
- ✓ Partículas muito menores que a abertura, deve-se fazer o peneiramento a úmido. Devido a sua área de superfície elevada muitas vão aderir as partículas maiores e ficarão retidas e outras vão acompanhar o material passante.

2.5.2 Equipamentos

Diversos são os tipos de peneiras industriais usados em uma usina para a separação de partículas. De acordo com Carrisso & Correia (2004), estes equipamentos são classificados através do tipo de movimento que executam sendo divididos em duas classes:

- ✓ Fixos, cujo movimento se dá através da força da gravidade, possuindo assim uma certa inclinação tendo como exemplo mais comuns as grelhas fixas e as peneiras DSM.
- ✓ Móveis, movimento executado a partir da vibração mecânica do equipamento. Os exemplos mais comuns deste tipo são as peneiras vibratórias.

2.5.2.1 Peneiras DSM

As peneiras DSM (*Dutch State Mines*), apresentadas na figura 2.7, correspondem ao equipamento composto com barras em posição horizontal, formando uma superfície curva. (MONTENEGRO et al., 2007).

Esse tipo de peneira pode ser utilizada para desaguamento em suspensões e uma separação mais efetiva para partículas de granulometria mais fina. Atualmente vem sendo utilizadas em circuito fechado de moagem quando o produto apresenta uma granulometria mais grosseira (CARRISSO &

CORREIA, 2004). A faixa de atuação varia dependendo do material, mas geralmente está compreendida entre 0,3 mm e 40 μm (MONTENEGRO et al., 2007).

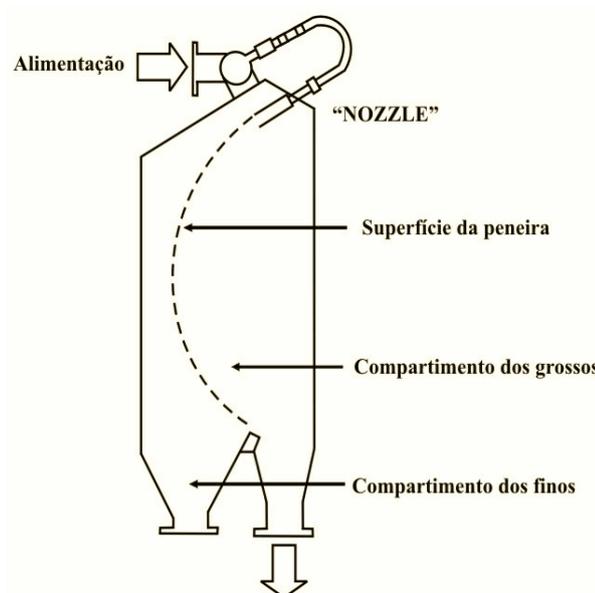


Figura 2.7: Representação esquemática de uma peneira fixa DSM.
Fonte: Carriso e Correia (2004, p.221)

2.5.2.2 Peneiras vibratórias

Peneiras Vibratórias são equipamentos constituídos por uma grande estrutura de suporte apoiada em molas, por meio de um movimento vibratório e um, dois ou três *decks* (CHAVES & PERES, 2012).

De acordo com Carriso & Correia (2004), as peneiras vibratórias podem ser divididas em dois grupos: aquelas em que o movimento vibratório é retilíneo (peneiras vibratórias horizontais) e aquelas em que o movimento é circular (peneiras vibratórias inclinadas).

As peneiras vibratórias inclinadas (Figura 2.7) apresentam inclinações que variam de 15° e 35° , possuindo um movimento vibratório circular que faz as partículas serem lançadas para cima e para frente causando desse modo a estratificação das partículas sobre a tela (CHAVES & PERES, 2012).

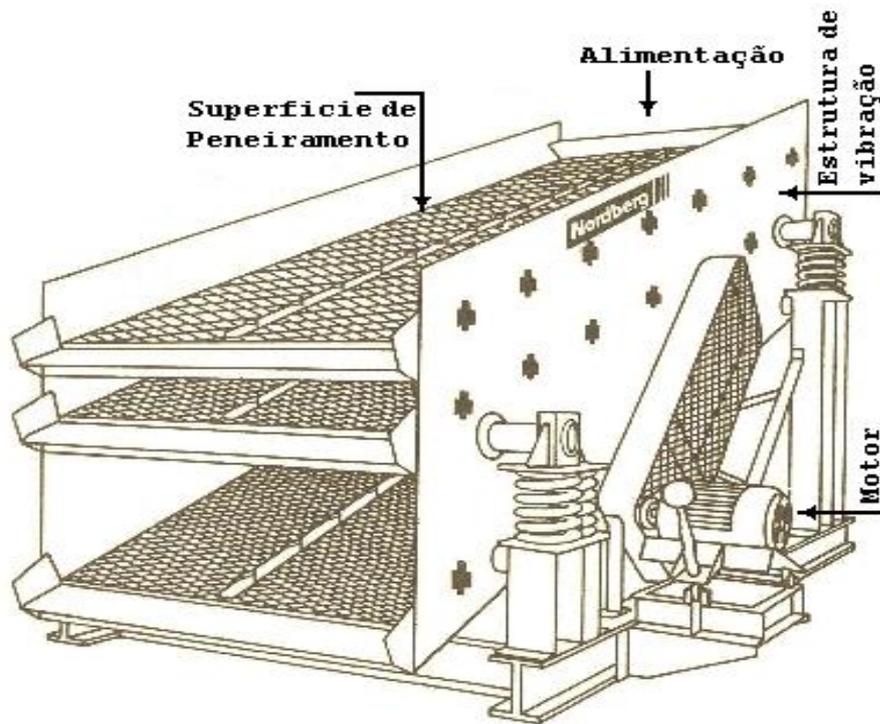


Figura 2.8: Representação esquemática de uma peneira vibratórias.
 Fonte: Carrisso & Correia (2004,p. 224).

2 5.3 Eficiência de Peneiramento

Segundo o Manual de Britagem da *Metso* (2005), a eficiência em peneiramento é definida como a qualidade no processo de separação de partículas que uma peneira industrial possui.

De acordo com o manual de britagem da *Metso* (2005), uma peneira que trabalha com uma eficiência elevada, acarretará algumas vantagens:

1. Originará menos carga circulante ao processo. Ou seja, como a maioria das partículas irão ter a capacidade de passar pela tela, menos material irá voltar para os processos de britagem diminuindo assim a capacidade destes equipamentos, reduzindo conseqüentemente o consumo energético dos mesmos;

2. Irá diminuir a geração de produtos contaminados com outras partículas de dimensões fora da especificação;
3. Facilitará processos posteriores de cominuição e concentração, devido ao produto se encontrar na granulometria especificada para as operações.

De acordo com o Manual de Britagem da *Metso* (2005), este parâmetro é calculado de duas formas, de acordo com o produto considerado, US (passante no *deck* da peneira) e OS (retido no *deck* da peneira).

$$E(US) = \frac{\% \text{ da alimentação que realmente passa}}{\% \text{ da alimentação que deveria passar}} \times 100 \quad (2.2)$$

$$E(OS) = \frac{\% \text{ da alimentação que deveria ficar retida}}{\% \text{ da alimentação que é realmente retida}} \times 100 \quad (2.3)$$

É mais comum o cálculo de eficiência para saber a quantidade de material que realmente passa na peneira (E_{US}). De acordo com a *Metso*, uma peneira industrial deve trabalhar com 90% de eficiência ou mais, sendo a faixa de 90% a 95% considerada operacionalmente ideal.

2.5.4 Modelos Empíricos de Distribuição Granulométrica

De acordo com Montenegro et al, (2007), diversos são os modelos propostos para se descrever a distribuição granulométrica de uma amostra. Neste quesito duas merecem ser abordadas:

A equação de *Gates-Gaudin-Schumann* é representada segundo a equação 2.4

$$Y = 100 \cdot (x/k)^m \quad (2.4)$$

Onde:

Y = % passante acumulada no tamanho x .

x = abertura da peneira em micrômetros.

m, k = constantes.

Pode-se também aplicar o logaritmo decimal em ambos os membros desta equação obtendo-se assim uma equação linearizada:

$$\log y = m \log x + \log 100 - m \log k. \quad (2.4)$$

Já a equação de *Rosin- Rammler* (equação 2.5) é descrita por:

$$Y = 100.e - (x/k)^m \quad (2.5)$$

Onde:

Y = % retida acumulada;

x = abertura da peneira em micrômetros;

m, k = constantes.

Esta equação também pode ser obtida usando o artifício de multiplicar duas vezes o logaritmo neperiano em ambos os membros, obtendo-se a seguinte equação, obtendo-se assim uma equação linearizada:

$$\ln (\ln (100/Y)) = m \ln x - m \ln k \quad (2.5)$$

2.5.5 Excelência de Peneiramento

O conceito de excelência em peneiramento foi citado no Manual de Britagem da *Metso*, a fim de se obter uma avaliação de eficiência de separação mais objetiva que as tradicionais técnicas de controle e avaliação do peneiramento industrial em relação ao material passante e retido.

A excelência no peneiramento considera a situação ideal que deveria ocorrer em todo processo de peneiramento: a divisão do material alimentado em duas frações de tamanhos distintos. De acordo com o manual de britagem da empresa, peneiras industriais devem trabalhar com excelências entre 80% e 90%.

Os cálculos de excelência são determinados a partir da construção das curvas granulométricas do *undersize* e *oversize* industriais para cada *deck*. Inicialmente, são determinadas as granulometrias referentes a 99% de material passante acumulado do *undersize* (D) e a 1 % de material passante acumulado do *oversize* (d) para cada *deck*. A partir desses dados, pode ser calculada a excelência (E) de peneiramento (equação 2.6)

$$E = 100 \cdot \left[1 - \frac{AD}{(D+d)} \right] \quad (2.6)$$

Onde :

E = excelência

AD = D-d.

D = tamanho de 99% do passante no *undersize*

d = tamanho de 1% do passante no *oversize* (99% > d).

2.5.6 Dimensionamento de Peneira Industrial

Dimensionar um equipamento significa calcular o seu tamanho, dependendo principalmente da sua capacidade (CORREIA, 2010).

Diversos são os métodos desenvolvidos para se dimensionar uma peneira industrial. Eles variam de acordo com o modelo da peneira, tipo de operação (a seco ou a úmido), densidade do material a peneirar, capacidade do equipamento, etc.

Apesar de todas essas variações, duas características devem ser comuns quando se dimensiona uma peneira:

1. A área que melhor defina a passagem de material; deve ser calculada;
2. A altura do leito tem que ser no máximo quatro vezes a abertura da tela para que ocorra uma estratificação eficiente (CHAVES, PERES, 2012).

Um dos métodos mais utilizados industrialmente para o cálculo deste parâmetro corresponde ao método de dimensionamento proposto pela *Metso*. De acordo com Chaves & Peres (2012), a metodologia é baseada na vazão alimentada à peneira, ao invés da quantidade de material passante (equação 2.7).

$$A = \frac{T \times P}{C \times M \times Q_n} \quad (2.7)$$

Sendo:

- A : a área do *deck* da peneira em m².
- T (alimentação) do *deck* da peneira em m³/h.
- P (função do conhecimento do Material): é a certeza que se tem dos dados do material a ser peneirado. Esse valor costuma variar entre 1 a 1,4. Nas situações em que são conhecidos e confiáveis os dados do material e abertura da superfície da peneira, costuma-se adotar a função de conhecimento do material igual a 1.
- C (fator de capacidade): Corresponde a capacidade para a separação desejada de material em m³ por hora por 1 metro quadrado da área da peneira. São dois gráficos do fator de capacidade dependendo da granulometria do material (Gráficos 2.1 e 2.2): se é maior ou menor que 1" (25,4 mm).

GRÁFICO B - FATOR DE CAPACIDADE C

Para separações maiores que 25 mm (1")

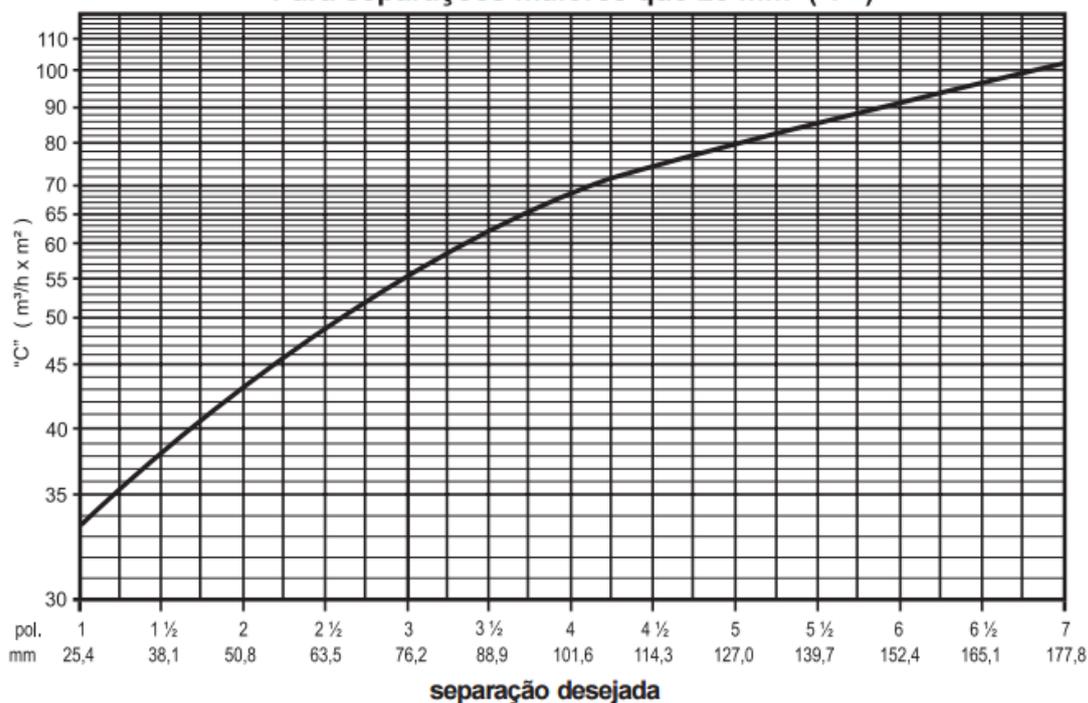


Gráfico 2.1: Fator de Capacidade para materiais maiores que 1".

Fonte : Manual de Britagem da Metso (2005).

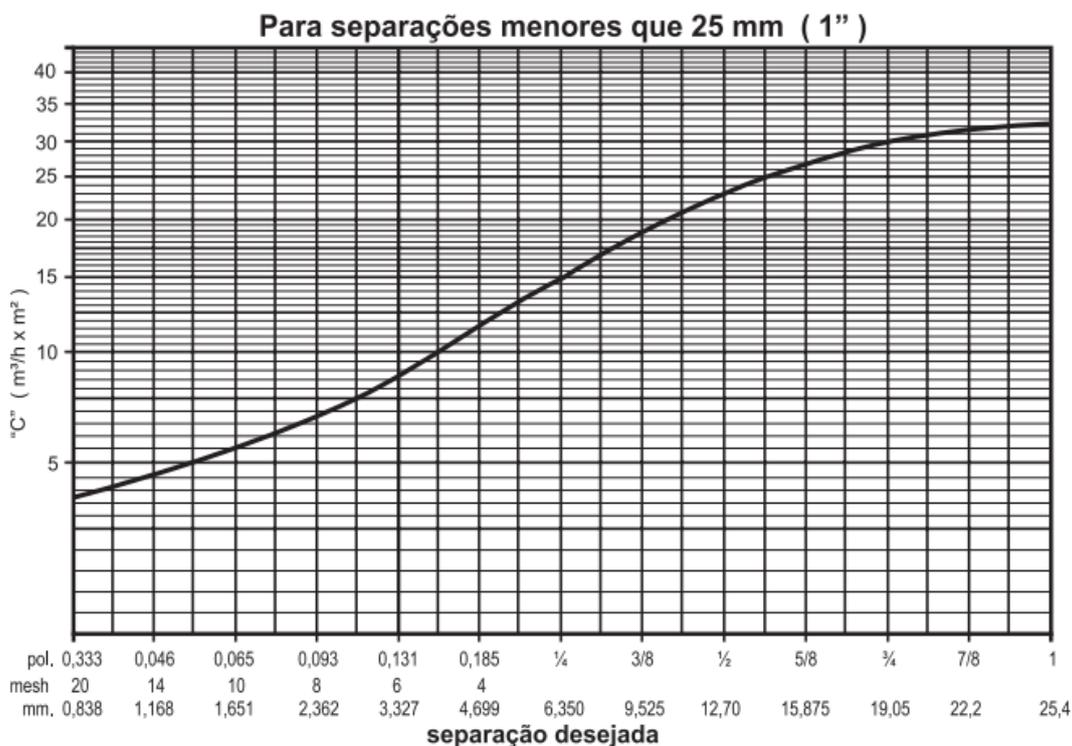


Gráfico 2.2: Fator de Capacidade para materiais menores que 1".

Fonte : Manual de Britagem da Metso (2005).

- M (fator de material retido): fator que depende da porcentagem de material retido em cada deque (Gráfico 2.3).

GRÁFICO C - FATOR DE MATERIAL RETIDO "M"

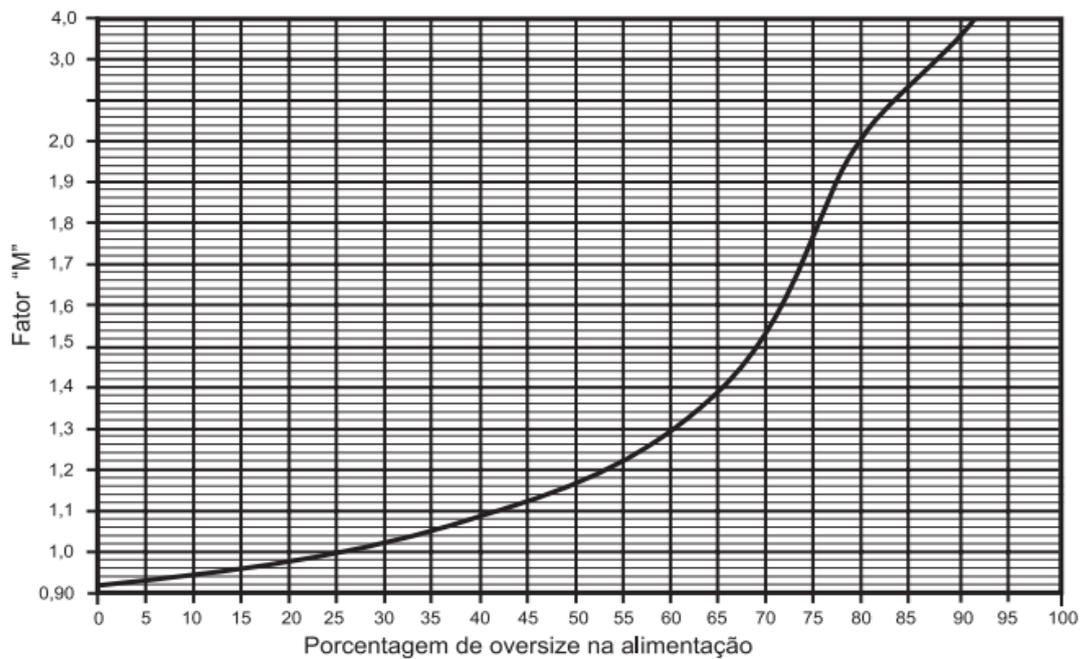


Gráfico 2.3: Fator de Material Retido (M)
Fonte : Manual de Britagem da Metso (2005)

- k (Fator de correção): Corresponde a porcentagem de material da alimentação inferior à metade do tamanho da separação que se deseja obter (Gráfico 2.4).

GRÁFICO D - FATOR DE CORREÇÃO K

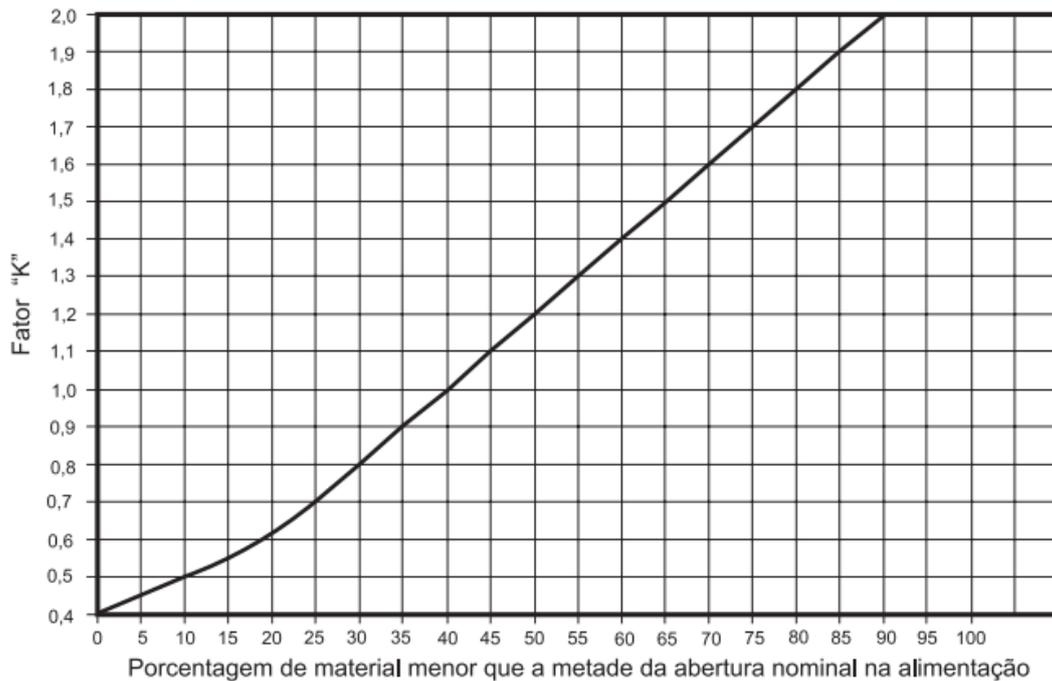


Gráfico 2.4: Fator de Correção (K)
Fonte: Manual de Britagem da Metso

- Q_n (Fator de correção): Está ligado ao produto de vários fatores auxiliares como por exemplo, o tipo de abertura da tela (Q_1), o formato das partículas (Q_2), se ele é realizado por via úmida, ou via seca (Q_3), a porcentagem da umidade da superfície das partículas (Q_4), a área efetiva correspondente a cada *deck* (Q_5), e a porcentagem da área aberta da peneira (Q_6). Todos esses fatores estão ligados a um fator de correção.

O cálculo da largura (W) é feito segundo a equação 2.8:

$$W = \frac{100.Tf}{6.S.D} + 0,15 \quad (2.8)$$

Sendo:

- W a largura de cada *deck* da peneira em m;
- D é a espessura da camada de material na extremidade de descarga em mm;
- Tf é quantidade de material produzida como *oversize* em m³/h, obtida ao dividir a capacidade do material em t/h pela densidade aparente do material em t/m³.
- S é o fator de velocidade do material, que leva em consideração, o tipo da peneira, se é horizontal ou inclinada, o seu modelo, a rotação, se a abertura da tela é maior ou menor que 1". Este fator é consultado por meio de uma tabela.

3 METODOLOGIA

3.1 Amostras

Foram empregadas cinco amostras neste trabalho: pó de brita, brita 0, brita 1, rachão e o material que ficou retido no 1° *deck* da peneira. Todas elas foram coletadas no primeiro cenário de sistema de peneiramento (ver 2.2.1). Estes materiais foram disponibilizados pela Mineradora Santa Helena, sendo oriundos de uma rocha composta por granito gnáissico.

A coleta das amostras foi realizada quando o material passava por correias transportadoras, tanto no meio quanto no final de seu trajeto (Figura 3.1). Alguns produtos (e.g. pó de brita, brita 0 e brita 01) foram coletados com um corte no fluxo da correia. Cada corte teve duração de 5 a 15 segundos (em função da granulometria e vazão do material), sendo realizados em média 6 cortes para cada produto.



Figura 3.1: Coleta de Amostra durante percurso do Material na Correia

Após a coleta, as amostras foram distribuídas em baldes separados e encaminhadas para o Laboratório de Tratamento de Minérios (LTM) do CEFET-MG (Campus IV), sendo colocadas em uma balança (UPX, C6MT) com capacidade de 30 kg para a determinação da massa inicial. As massas coletadas para cada material amostrado segue apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Massa inicial correspondente a cada material.

Amostra	Massa Inicial (kg)	Granulometria (mm)
Rachão	42,096	Acima de 100
Retido no 1° <i>deck</i>	35,036	-
Pó De Brita	37,56	Zero a 5
Brita 0	35,066	4,8 a 9,5
Brita 1	28,1	9,5 a 19

Após a determinação da massa inicial referente a cada produto, foi determinada a densidade aparente¹ dos sólidos que compunham cada amostra, pelo método da proveta, para o cálculo da massa de *Gaudin*. Esses testes foram feitos em triplicata para cada produto através dos seguintes passos:

- a) Primeiramente registrou-se a massa da proveta vazia de 1000 ml.
- b) Preencheu-se completamente a proveta com as amostras até o limite de 1000ml.
- c) Pesou-se a proveta com cada tipo de amostra. A massa da amostra em gramas dividida pelo seu volume em centímetros cúbico fornece a densidade aparente dos materiais (equação 3.1).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.1)$$

¹ Massa de determinada amostra em gramas em uma proveta dividida pelo volume da mesma em cm³ considerando os vazios intersticiais entre as partículas.

3.2 Homogeneização e Quarteamento

A homogeneização do material foi realizada através da técnica de homogeneização em lona. Ou seja, cada amostra foi colocada em uma lona quadrada e seus vértices foram levantados de forma alternada, fazendo com que o material da base da pilha de um dos lados fosse deslocado para o topo da pilha. Este procedimento foi repetido cinco vezes para cada produto, resultando em uma pilha cônica homogênea (Figura 3.2).



Figura 3.2: Pilha cônica homogeneizada – Brita.

Para as amostras identificadas como rachão e material retido no 1° *deck*, foi realizado o escalpe em uma peneira de 2", antes das amostras serem levadas para a lona e acontecer o processo de homogeneização. O material que passou em 2" foi colocado na lona para passar pela operação de homogeneização e quarteamento, garantindo assim maior representatividade aos testes.

Depois da homogeneização, a pilha cônica formada foi dividida em 4 partes através de um quarteamento manual (Figura 3.3). Em seguida, duas frações em diagonal foram reunidas e as outras duas foram descartadas. Esta atividade foi repetida até se chegar em uma massa final próxima a 1kg para cada material, que corresponde à alimentação da etapa de análise granulométrica.



Figura 3.3: 3° Quarteamento - Pó de Brita

Tabela 3.2: Massa final correspondente a cada material.

Amostra	Massa Final (kg)
Rachão	1,176 kg
Retido no 1° <i>deck</i>	1,466 kg
Pó De Brita	1,012 kg
Brita 0	0,974 kg
Brita 1	0,980 kg

3.3 Análise Granulométrica

Como os produtos coletados são constituídos por uma granulometria predominantemente grosseira, havendo pouca quantidade de finos, a análise granulométrica foi realizada somente por uma técnica (a seco).

3.3.1 Peneiramento a Seco

Antes da realização da análise granulométrica a seco, foi feito o peneiramento manual, selecionando a primeira peneira (a BROZINOX, Fobras, Granutest, Solotest, Rodotest e TPL) de acordo com o tamanho de cada amostra. O objetivo desta técnica seria determinar a peneira na qual não ficaria retido nenhum material, limitando superiormente a faixa granulométrica inicial da análise granulométrica da amostra. Assim, a metodologia estaria corroborando com a literatura (CORREIA, 2010).

Após esta técnica, foi feita uma análise granulométrica para cada amostra, dividida em duas séries pela limitação do peneirador suspenso (CDC, PV-08). A Tabela 3.3 apresenta a série de peneiras que foi empregada na análise granulométrica de cada um dos produtos.

Tabela 3.3: Série de Peneiras empregada para cada amostra.

Rachão		Retido no 1 ° Deck		Brita 1		Brita 0		Pó De Brita	
Abertura (#)	Abertura (mm)	Abertura (#)	Abertura (mm)	Abertura (#)	Abertura (mm)	Abertura (#)	Abertura (mm)	Abertura (#)	Abertura (mm)
2"	50,80	2"	50,80	1"	25,4	3/4"	19,00	3/8"	9,52
1 ½ "	38,10	1 ½ "	38,10	3/4"	19,00	3/8"	9,52	4	4,76
1 ¼ "	31,7	1 ¼ "	31,7	3/8"	9,52	4	4,76	6	3,36
1"	25,4	1"	25,4	4	4,76	6	3,36	10	1,70
3/4"	19,00	3/4"	19,00	6	3,36	10	1,70	16	1,19
3/8"	9,52	3/8"	9,52	10	1,70	16	1,19	20	0,84
4	4,76	10	1,70	16	1,19	20	0,84	28	0,59
6	3,36	20	0,84	20	0,84	35	0,42	30	0,57
8	2,38	48	0,30	35	0,42	48	0,297	35	0,42
10	1,70	65	0,21	48	0,297	65	0,21	48	0,297
20	0,84	100	0,15	65	0,21	100	0,148	70	0,21
28	0,59	150	0,105	100	0,148	150	0,105	100	0,148

Para cada amostra avaliada, a primeira série de peneiras foi encaminhada para o peneirador suspenso (Figura 3.4). Foi utilizada massa de alimentação de aproximadamente 1kg, conforme mostrado na Tabela 3.2. O tempo de peneiramento empregado nos ensaios corresponde a 20 minutos em razão da granulometria predominantemente grosseira dos produtos. Após o término do peneiramento, foi registrada a massa de material retido em cada uma das peneiras e do fundo, com o auxílio de uma balança semi-analítica (GEHAKA, BG 2000). O mesmo método foi aplicado novamente para o material que ficou retido no fundo da primeira série de peneiras, procedendo a segunda parte da análise granulométrica com o auxílio da série de peneira remanescente.

A partir dos dados coletados, foi possível o cálculo da perda mássica e a construção da tabela granulométrica do ensaio, composta pelos resultados para massa retida simples, porcentagem retida simples e acumulada, além da porcentagem passante acumulada. A construção da curva granulométrica foi realizada considerando a abertura da peneira e a porcentagem passante acumulada do material (Anexo A).



Figura 3.4: Série de Peneiras no peneirador suspenso.

3.3.2 Massa de *Gaudin*

Após feita a análise granulométrica de cada amostra, foi realizado o cálculo da massa de *Gaudin* (Anexo B) segundo a equação 2.1 para verificar a representatividade dos ensaios de análise granulométrica.

3.3.3 Análise Granulométrica da alimentação de cada *deck*

Para se obter a alimentação de cada *deck* (Figura 3.5), somaram-se o *undersize* (US) e o *oversize* (OS) referente a cada um destes. Este cálculo foi possível através da mineradora Santa Helena que forneceu a massa (t/h) correspondente a cada produto. A definição destes materiais varia de acordo com a mudança de *deck*, ou seja, a alimentação referente ao terceiro *deck*, passa a ser o *undersize* quando se refere ao segundo *deck*, conforme mostrado na figura 2.2.

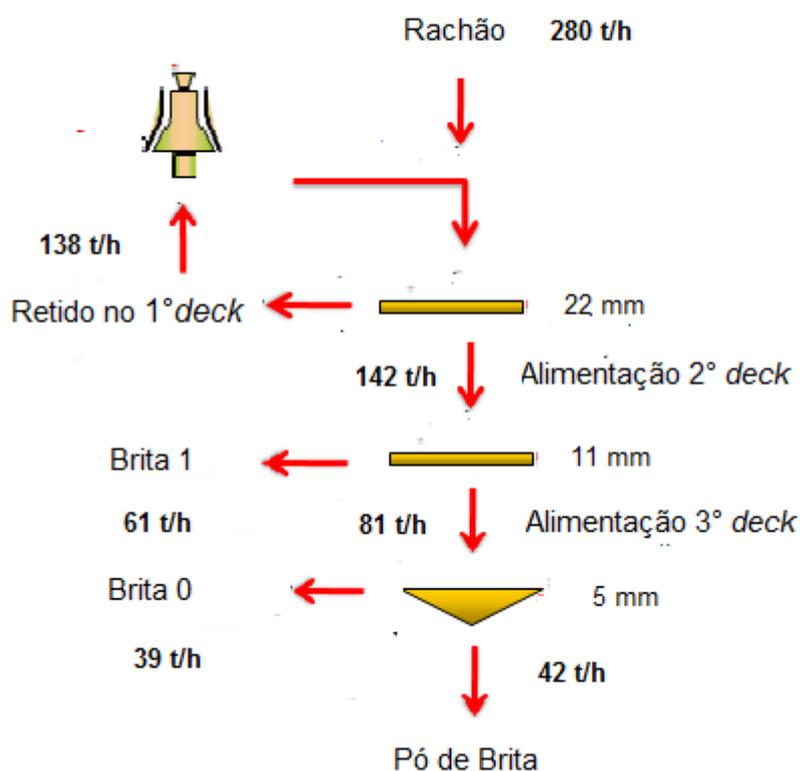


Figura 3.5 : Massa correspondente a cada produto.

Obtidas as alimentações referentes ao 2° e 3° *decks*, foram determinadas as análises granulométricas das mesmas, sendo obtidos os valores de porcentagens de retido simples a partir do cálculo da média destas para *undersize* e *oversize*, correspondente a cada alimentação. A partir da massa retida foram calculadas a porcentagem de retido simples, retido acumulado e passante acumulado para cada alimentação.

3.3.4 Aplicação dos modelos empíricos para Análise Granulométrica

Inicialmente, foram testadas duas equações bastante similares: equação de *Gates-Gaudin-Schumann* (GGS) e equação de *Rosin Rammeler* (RR) já descritas na seção 2.6, representadas pelas equações 2.4 e 2.5 respectivamente.

Foi empregado somente um modelo para representação da distribuição granulométrica. O critério de escolha foi baseado no valor do coeficiente de correlação da equação, o que indica um maior grau de linearização das curvas granulométricas, ou seja, o quão próximo uma curva granulométrica se encontra de uma reta.

Foram obtidos gráficos, as equações linearizadas e o coeficiente de correlação do modelo GGS para cada produto através do cálculo do logaritmo para abertura de peneira e o logaritmo do passante acumulado. Os mesmos gráficos, equações e coeficientes foram determinados para o modelo RR por meio do logaritmo neperiano da abertura da peneira e logaritmo neperiano de 100 dividido pela retido acumulado (Anexo C).

3.3.5 Cálculo de Eficiência da Peneira

Determinou-se a Eficiência para o material passante (*undersize*), sendo a quantidade real que passou pelo *deck*, dividida pela quantidade que deveria passar em cada *deck* (equação 3.2).

O cálculo de Eficiência do retido (*oversize*) é dado pela quantidade real que ficou retido no *deck*, dividido pela quantidade que deveria ficar retida em cada *deck* (equação 3.3).

$$E(US) = \frac{\%PA(US) \times Vazão\ de\ US\left(\frac{t}{h}\right)}{\%PA(US) \times Vazão\ de\ US\left(\frac{t}{h}\right) + \%PA(OS) \times Vazão\ de\ OS\left(\frac{t}{h}\right)} \quad (3.2)$$

$$E(OS) = \frac{\%RA(OS) \times Vazão\ de\ OS\left(\frac{t}{h}\right) + \%RA(US) \times Vazão\ de\ US\left(\frac{t}{h}\right)}{\%RA(OS) \times Vazão\ de\ OS\left(\frac{t}{h}\right)} \quad (3.3)$$

Onde:

% RA (US) = porcentagem de retido acumulado no *undersize*.

% RA (OS) = porcentagem de retido acumulado no *oversize*

% PA (US) = porcentagem de passante acumulado no *undersize*

% PA (OS) = porcentagem de passante acumulado no *oversize*.

3.3.6 Cálculo da Excelência de Peneiramento

Os cálculos de excelência foram determinados pelo método proposto pela *Metso* em seu Manual de Britagem, através da construção das curvas granulométricas dos produtos *oversize* e *undersize* de cada *deck*. Inicialmente, foram determinados os tamanhos referentes a 99% de material passante acumulado para o *undersize* (D) e de 1 % de material passante acumulado no *oversize* (d) para cada *deck*, sendo elaborado três gráficos.

3.3.7 Cálculo de Dimensionamento da Peneira

Para o cálculo de dimensionamento da peneira industrial da mineradora Santa Helena, foram determinados a área, a largura e o comprimento de cada *deck* da peneira a partir da metodologia proposta pela *Metso* (ver 2.5.6).

A alimentação (T) de cada *deck* foi determinada, através das massas em t/h para cada alimentação, fornecida pela mineração Santa Helena. Como a

unidade para este fator é em m^3/h dividiu a alimentação de cada *deck* pela densidade do material da peneira (Granito Gnáissico).

Para o fator de conhecimento do material (P), procurou ser usado o valor para cada *deck*, baseado nas situações comuns usadas industrialmente. O valor mais usado na indústrias é igual a 1.

O fator de capacidade (C) foi determinado ao plotar a abertura de cada *deck* no gráfico de capacidade (Gráfico 2.2), obtendo-se assim seus respectivos fatores de capacidade;

O fator de material retido (M) é obtido em cada *deck* através da porcentagem de *oversize* em cada alimentação. A porcentagem de retido acumulado é encontrada do mesmo modo que no cálculo de eficiência, por meio das equações linearizadas. Ao plotar a porcentagem de retido acumulado no Gráfico 2.3, foram estabelecidos os fatores de material retido para cada *deck*.

O fator relacionado à quantidade menor que meia abertura da peneira (K) é obtido para cada *deck* através da quantidade da alimentação passante a metade das aberturas. A obtenção da passante para essas alimentações acontece por substituições das equações de 1° grau através do logaritmo da metade das aberturas, como realizado para o cálculo de eficiência. Ao plotar a porcentagem de alimentação passante a metade das aberturas no gráfico 2. 4, foram estabelecidos os fatores correspondentes para cada *deck*.

O Fator de Correlação Q_n , foi determinado ao olhar cada parâmetro dependendo da característica de cada material nas tabelas de fator de correlação.

Para se determinar a quantidade de T_f , correspondente para cada *deck* foi calculada a quantidade em porcentagem de retido acumulado para cada abertura, baseada nas equações linearizadas da alimentação dos produtos.

Espessura da camada do material na extremidade da descarga (D) é determinada por meio de uma tabela que leva em consideração a densidade do

material dentro de uma determinada faixa, e a altura máxima de determinada camada.

O fator de velocidade (S) é determinado por meio de uma tabela que leva em consideração o tipo e o modelo da peneira, a abertura da tela de cada *deck* e a rotação do motor.

A partir da área e do comprimento de cada *deck* da peneira foram calculados as largura, já que a mesma possui formato retangular.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Massa de *Gaudin*

Segundo o anexo B, as massas de *Gaudin* encontradas para as aberturas das peneiras em cada amostra foram superiores às massas retidas em cada faixa de peneira. Tal cenário indica que foram empregadas quantidades corretas de massa de alimentação da operação de peneiramento de todos os produtos, constatando a representatividade dos testes de laboratório.

4.2 Determinação do modelo empírico para análise granulométrica

Os coeficientes de correlação dos dois modelos para cada produto foram comparados resultando na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Coeficiente de Correlação dos produtos para cada equação.

Coeficiente de Correlação (R^2)		
Produto	<i>Gates-Gaudin-Schumann</i> (GGS)	<i>Rosin Rammeler</i> (RR)
Brita 1	0,731	0,6123
Brita 0	0,7625	0,6277
Pó de Brita	0,9847	0,9791
Retido no 1° Deck	0,7711	0,7596
Alimentação do 1° Deck	0,9948	0,953
Alimentação do 2° Deck	0,9845	0,9472
Rachão	0,9933	0,9922

Através da análise da Tabela 4.1, percebe-se que o modelamento proposto por *Gates-Gaudin-Schumann* (GGS), apresenta um coeficiente de correlação maior que proposto por *Rosin-Rammeler*. Portanto, esse modelo corresponde ao que melhor representa a distribuição granulométrica das partículas presentes nos materiais.

4.3 Eficiência de Peneiramento

A partir do modelamento empírico das análises granulométricas, segundo a teoria de *Gates-Gaudin-Schuman* (Tabela 4.2), foram obtidos os resultados da porcentagem de passante e retido acumulado para cada produto (Tabela 4.3).

Tabela 4.2: Modelamento empírico segundo a teoria de *Gates-Gaudin-Schumann*

Produtos	m	k
Brita 1	0,7577	249
Brita 0	0,8895	287
Pó de Brita	0,5246	1,02
Material Retido no 1° deck	0,7998	1620
Alimentação do 2° deck	0,5918	10
Alimentação do 3° deck	-0,1154	$1,10 \times 10^{19}$
Rachão	0,6173	48

Tabela 4.3: Porcentagem de Passante e Retido acumulado para cada produto

	Produto	%PA	%RA
1° deck	Retido no 1° deck	8,06	91,94
	Alimentação do 2° Deck	95,38	4,62
2° deck	Brita 1	17,63	82,37
	Alimentação do 3° Deck	53,84	46,16
3° deck	Brita 0	12,72	87,28
	Pó de Brita	85,96	14,04

Baseadas nas equações linearizadas de *Gates-Gaudin-Schumann* e nos valores de porcentagem de passante e retido acumulado para cada produto, foram realizados os cálculos de eficiência dos produtos para o *undersize* e *oversize*, de acordo com as equações 3.2 e 3.3 respectivamente, obtendo-se assim os seguintes resultados (Tabela 4.4).

Tabela 4.4: Resultados de eficiência do peneiramento da Mineradora Santa Helena

	E(US) %	E(OS) %
1° Deck	92,41	95,08
2° Deck	80,22	57,33
3° Deck	87,92	85,23

Através da análise dos resultados percebe-se que, apesar das eficiências para cada *deck* serem relativamente altas, somente no 1° *deck*, ela se encontra na faixa recomendada (acima de 90%), segundo o Manual de Britagem da *Metso* (2005). Industrialmente, o desempenho da operação se dá em relação à eficiência para o *undersize*, pois deseja-se recuperar o máximo possível de material passante presente na alimentação, portanto as análises feitas para este parâmetro serão mais baseadas neste tipo de cálculo.

O 2° e 3° *deck*, tanto no *undersize* como no *oversize*, apresentaram eficiências menores. Este fato pode ser explicado por dois fatores: características do material a ser peneirado e dimensionamento incorreto da peneira.

A partir dos cálculos realizados, obteve-se uma faixa crítica de 15,26% para o rachão, de 21,56% para a alimentação referente ao 2° *deck*. Não foi possível a determinação da faixa de tamanho crítica em relação ao 3° *deck* devido a uma incoerência matemática que está ligada ao modelo de Gates Gaudin Schumann.

Por se tratar de um material constituído basicamente por partículas de granulometria mais grosseira e homogênea, muitos desses materiais se encontram numa faixa de tamanho denominada “faixa crítica”. Esse termo é definido para partículas menores que a abertura da tela e maiores que a metade da abertura, que só passam pela malha se caírem em uma posição conveniente, sendo necessário um número elevado de tentativas.

Outro fator que possa ter causado essa redução de eficiência nos dois últimos *decks* é a baixa estratificação das partículas. Esse fenômeno ocorre quando as partículas menores escoam através dos espaços criados pelas

partículas maiores, encaminhando-se para parte inferior do leito de partículas sobre a tela, atingindo a superfície de peneiramento (CHAVES & PERES, 2012). Este mecanismo é potencializado pelo efeito de vibração do equipamento, sendo influenciado por fatores como: umidade, amplitude, frequência e inclinação.

4.4 Excelência de Peneiramento

Para o 1° *deck*, foram construídos os gráficos da porcentagem de passante acumulado para o material que foi alimentado no 2° *deck*, e o material retido no 1° *deck*, respectivamente (Gráfico 4.1).

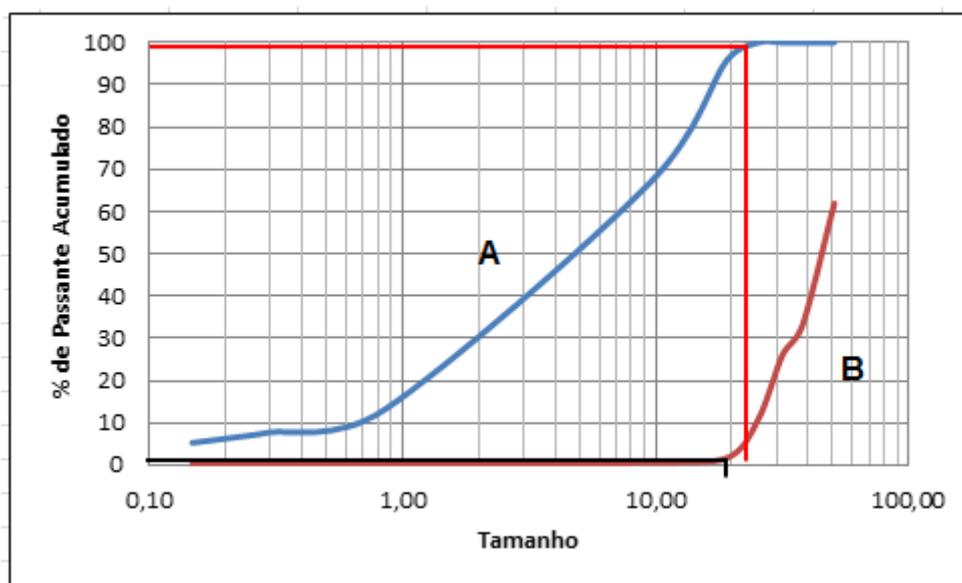


Gráfico 4.1: Gráfico de Excelência para o 1° *Deck* da peneira.

(A) Porcentagem de Passante Acumulado (US).

(B) Porcentagem de Passante Acumulado (OS).

Através da análise dos gráficos, o tamanho de 99% do passante no *undersize* foi igual a 22 mm. O tamanho de 1% do material passante no *oversize* foi de 19 mm, resultando em uma excelência de 92,7%.

Para o 2° *Deck*, foram construídos os gráficos da porcentagem de passante acumulado para a alimentação referente ao 3° *deck* e brita 1 (Gráfico 4.2).

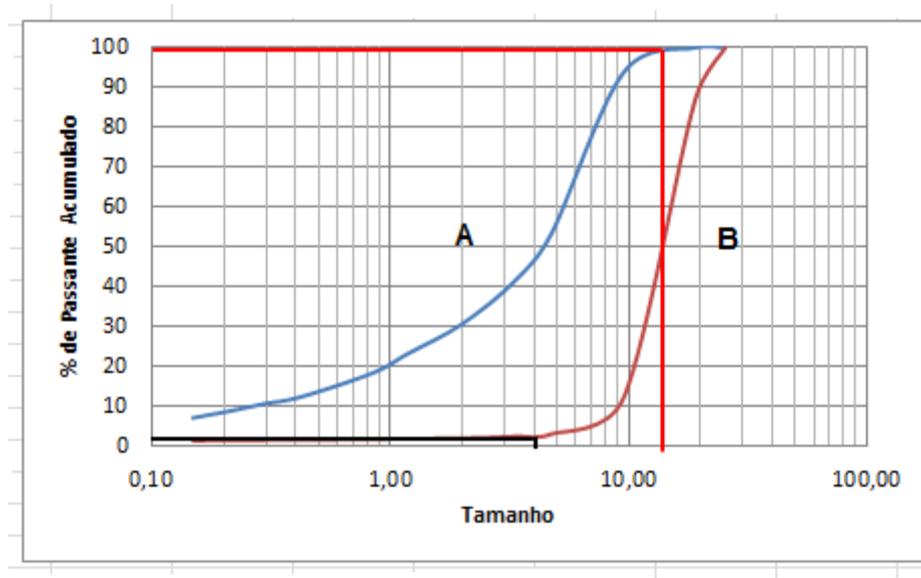


Gráfico 4.2: Gráfico de Excelência para o 2° *Deck* da peneira.

(A) Porcentagem de Passante Acumulado (US).

(B) Porcentagem de Passante Acumulado (OS).

Através da análise do gráfico, o tamanho de 99% do passante no *undersize* foi igual a 15mm. O tamanho de 1% do material passante no *oversize* foi de 4mm, retornando uma excelência de 42,0%.

Para o 3° *Deck*, foram construídos os gráficos da porcentagem de passante acumulado para o pó de brita e brita 0 (Gráfico 4.3).

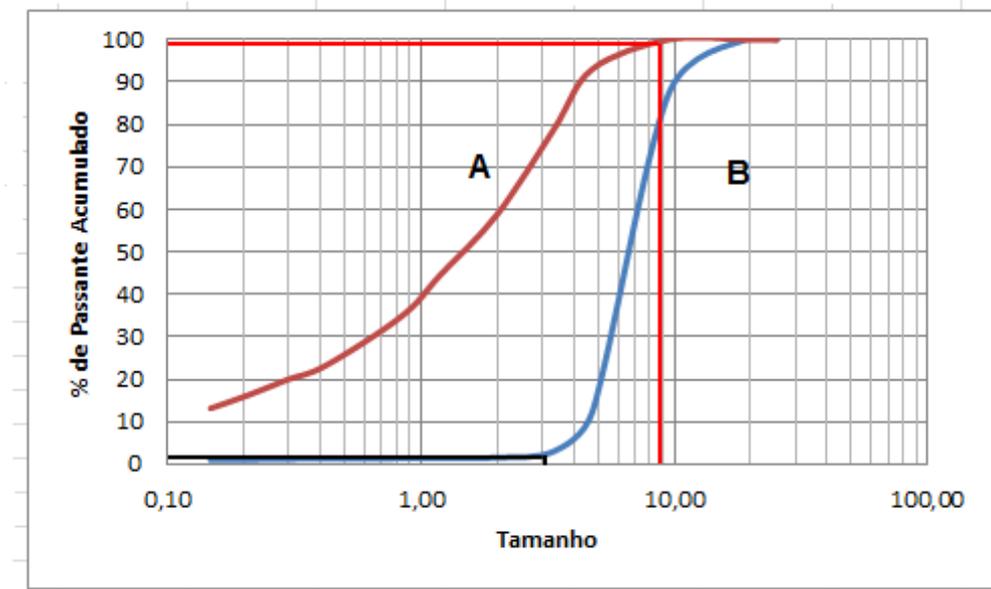


Gráfico 4.3: Gráfico de Excelência para o 3º Deck da peneira.

(A) Porcentagem de Passante Acumulado (US).

(B) Porcentagem de Passante Acumulado (OS).

Através da análise do gráfico, o tamanho de 99% do passante no *undersize* foi igual a 9 mm. O tamanho de 1% do material passante no *oversize* foi de 3 mm, proporcionando uma excelência de 50,0%.

Através da análise dos resultados constatou-se que somente o 1º deck, encontra-se na faixa ideal de excelência, de acordo com o Manual de Britagem da Metso (entre 80% e 90%). Este deck foi o que apresentou menor distância entre os tamanhos d e D , significando que a operação foi mais precisa.

Como o conceito de excelência é influenciado de maneira semelhante ao de eficiência, percebe-se que os resultados destes parâmetros corroboram entre si. Ou seja, os decks que possuírem alta eficiência são os mesmos que possuem alta excelência. Além disso, os fatores que foram determinantes para a baixa eficiência dos dois últimos decks, são os mesmos para o caso de excelência como a faixa crítica do material e o comprimento do deck da peneira.

4.5 Dimensionamento da Peneira Industrial da Mineradora Santa Helena

4.5.1 Alimentação (T)

Primeiramente foi determinada a alimentação de cada *deck*. As vazões fornecidas pela mineradora de alimentação foram de: 280 t/h (1° *deck*), 142 t/h (2° *deck*) e 81 t/h (3° *Deck*). Como a alimentação requerida para o cálculo de dimensionamento tem que estar em m³/h, dividiu-se essas vazões mássicas pela densidade do material da pedreira (granito gnáissico), que é de 2,7 t/m³, obtendo-se assim as alimentações de 103,70 m³/h para o 1° *deck*, 52,59 m³/h para o 2° *deck* e 30,0 m³/h para o 3° *deck*.

4.5.2 Função do conhecimento do Material (P)

A função de conhecimento do material no dimensionamento varia de 1 a 1,4. Por convenção na maioria das operações industriais emprega-se o valor igual a 1. Portanto, ficou estabelecido que a função de conhecimento para todos os materiais foi 1.

4.5.3 Fator de capacidade (C)

O fator de capacidade da peneira está relacionado com o tamanho de abertura de cada *deck*. Foram obtidos os seguintes fatores de correção de 30, 21 e 12 m³/h.m², para o 1°, 2° e 3° *decks*, respectivamente (Gráfico 4.4).

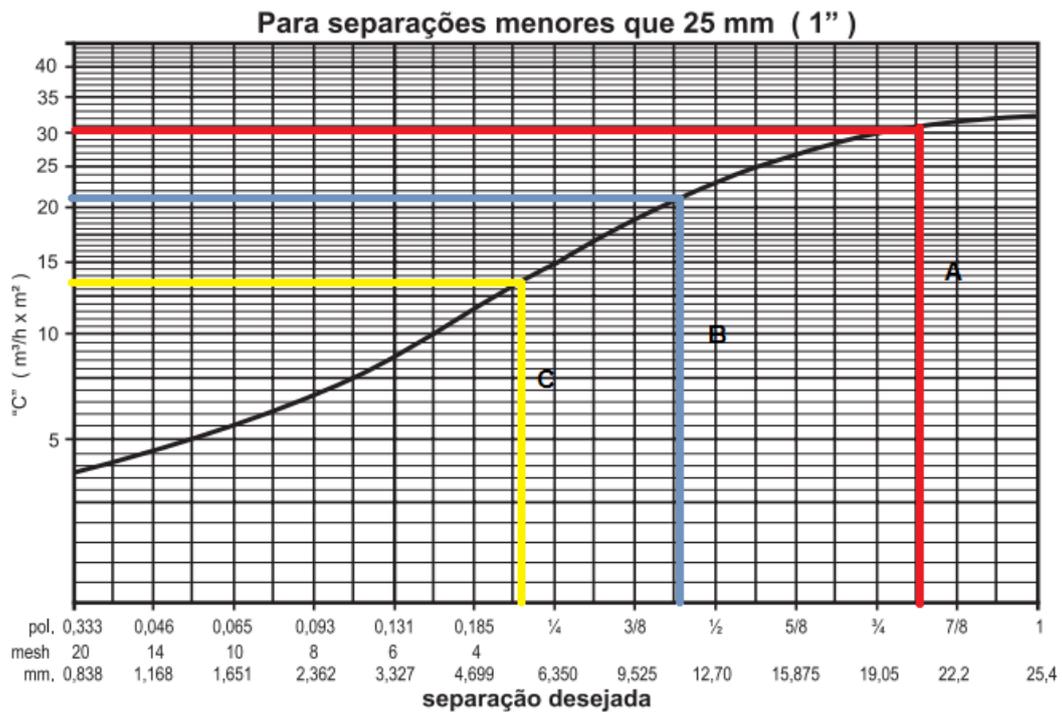


Gráfico 4.4: Fator de Capacidade (m³/h.m²).

Fonte: Manual de Britagem da Metso (2005).

(A) 1º deck. (B) 2º deck. (C) 3º deck.

4.5.4 Fator de Material Retido (M)

Foi calculado a porcentagem de retido acumulado para a alimentação referente a cada abertura, sendo obtido 56,18% de *oversize* para o rachão, 36,72% para a alimentação referente ao 2º deck e 41,03% referente a alimentação do 3º deck. Pelo Gráfico 4.5, o fator de material retido foi de 1,21 para o 1º deck, 1,06 para o 2º deck e 1,10 para o 3º deck.

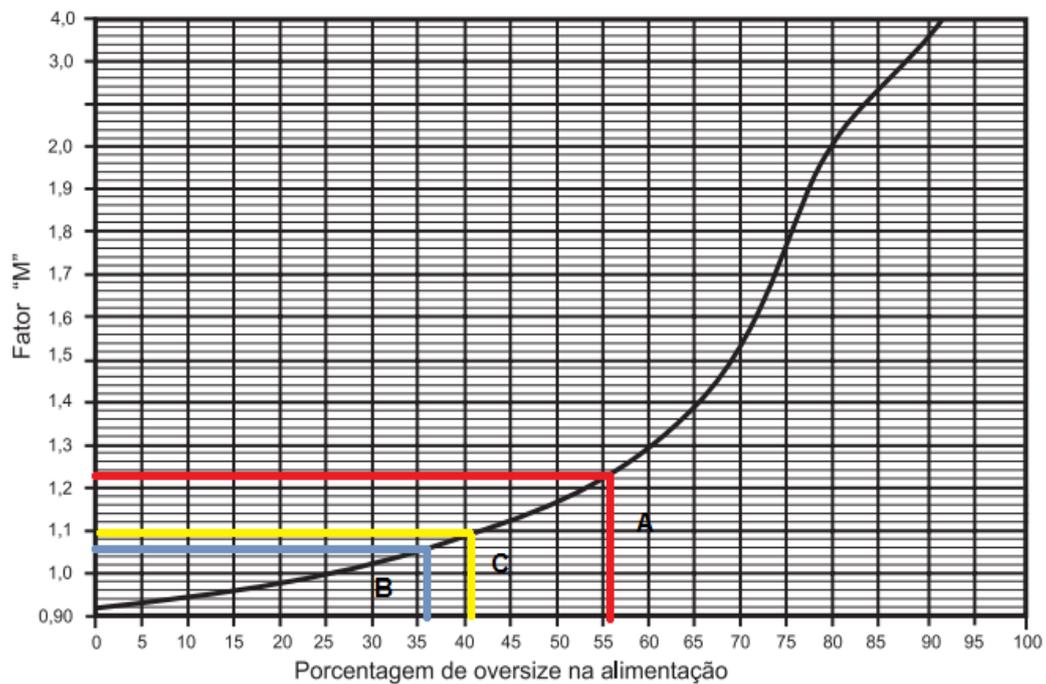


Gráfico 4.5: Fator de Material Retido (Fator M)

Fonte: Manual de Britagem da Metso (2005).

A) 1º deck.- (B) 2º deck. (C) 3º deck.

4.5.5 Fator relacionado à quantidade menor que meia abertura da peneira (K)

O fator relacionado à quantidade menor que meia abertura da peneira significa que se deseja obter a quantidade da alimentação passante correspondente à metade das aberturas. Ou seja, material passante em *decks* de 11; 5,5 e 2,5 mm, respectivamente.

Foi calculado a porcentagem de passante acumulado na alimentação referente a cada um desses valores de abertura, sendo obtido 28, 57 % de *undersize* para o rachão, 41,99% para a alimentação referente ao 2º *deck* e 63,88% referente a alimentação do 3º *deck*. Pelo Gráfico 4.6, o fator relacionado à quantidade menor que meia abertura da peneira obtido foi de 0,77, 1,04 e 1,44 para o 1º, 2º e 3º *decks*, respectivamente.

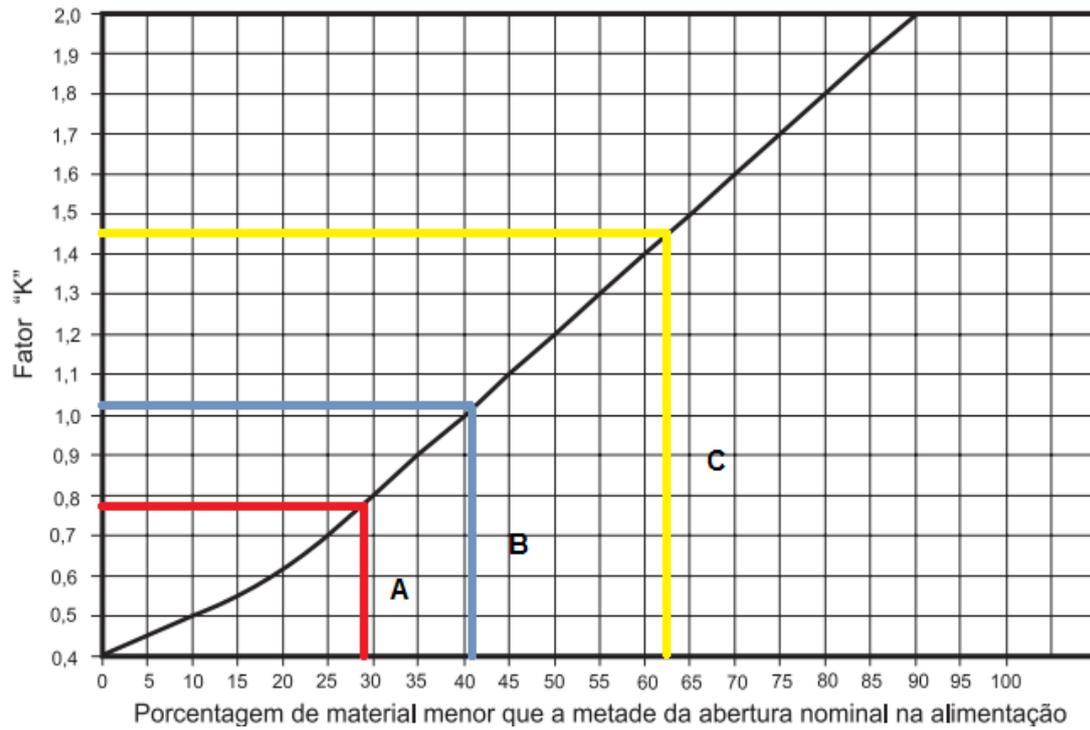


Gráfico 4.6: Fator relacionado à quantidade menor que meia abertura da peneira.

Fonte: Adaptado do Manual de Britagem da *Metso*.

(A) 1º deck. - (B) 2º deck. (C) 3º deck

4.5.6 Fator de Correção Q

Para a determinação dos outros fatores relacionados a Q, foi consultado uma tabela de Fator de Correção Q (Tabela 4.5).

Tabela 4.5: Fator de Correção Q

Fator de Correção Q						
Fatores	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Fator de correção	Tipo de abertura da tela	Formato da Partícula	Peneiramento via úmida	% da umidade da superfície	Área efetiva depeneiramento	% da área aberta da tela
1,4			n°35 1/4 "			70
1,3			1/4 "- 1/2"			65
1,25	Ret 4 x 1		1/2"- 1"			62,5
1,2	Ret 3 x 1		1"- 1 1/2"			60
1,15	Ret 2 x 1		1 1/2" - 2"			57,5
1,1			2"- 3"			55
1	Quadrada	Cúbica	Peneiramento seco ou > 3"	Menos que 3% ou via úmida		50
0,9		Lamelar			Deck Superior	45
0,85				3% a 6%		42,5
0,8	Redonda				Segundo deck	40
0,75				6 a 9%		37,5
0,7					Terceiro deck	35
0,6						30
0,5						25

Fonte: Adaptado do Manual de Britagem da *Metso* (2005)

Para o tipo de abertura da tela (Q_1), foi determinado o fator de correção igual a 1 para os três *decks*, já que os mesmos possuem o tipo de abertura de tela quadrada.

Com relação ao formato da partícula (Q_2), como ela se aproxima do formato cúbica, ficou definido que os *decks*, possuem fator de correção igual a 1.

O fator de correção Q_3 corresponde ao peneiramento via úmida. Como o peneiramento realizado foi via seca, ficou definido que o seu fator de correção foi igual a 1.

Verificando que a umidade em todo o processo estava baixa, a porcentagem de umidade na superfície foi considerada menor que 3%, determinado assim um fator de correção Q_4 igual a 1.

Para a área efetiva do peneiramento (Q_5), são levados em consideração o *deck* superior, o segundo e terceiro *decks*, sendo que cada um está ligado a um fator de correlação. Portanto, foram determinados os valores de 0,90; 0,80 e 0,70 para o 1°, 2° e 3° *decks*, respectivamente.

Para se determinar a porcentagem de área aberta, dividiu-se a abertura referente a cada *deck*, por 25,4 mm que corresponde a abertura de 1". Após, foi verificada qual malha, em polegada, mais se aproximava desse valor obtido, para cada um dos *decks*. Considerando o modelo *Standard*, foi verificada a porcentagem de malha aberta correspondente a cada *deck* (Tabela 4.6).

Tabela 4.6: Características estruturais das telas.

Malha (pol.)	Tipo leve			Tipo standard			Tipo pesado		
	Fio	Peso da tela	Abert. livre	Fio	Peso da tela	Abert. livre	Fio	Peso da tela	Abert. livre
	Pol.	kg / m ²	%	Pol.	kg / m ²	%	Pol.	kg / m ²	%
1/8	0,054	6,0	45	0,072	8,9	40	0,092	15,1	29
3/16	0,080	7,6	51	0,092	10,2	45	0,120	16	38
1/4	0,105	9,8	49	0,120	13,1	46	0,135	16,4	40
5/16	0,120	11,4	52	0,135	13,5	49	0,148	16,4	46
3/8	0,135	12,5	53	0,148	14,0	51	0,162	15,8	47
7/16	0,148	13,2	55	0,162	14,6	53	0,177	17,8	50
1/2	0,162	13,9	57	0,177	15,4	54	0,192	18,6	52
5/8	0,177	12,5	62	0,192	14,8	58	0,225	20	56
3/4	0,192	13,2	64	0,207	14,7	61	0,250	26	56
7/8	0,207	13,0	65	0,225	15,3	63	0,250	18,6	59
1	0,225	14,8	66	0,250	16,4	64	0,3125	26,5	57
1 1/8	0,225	13,6	69	0,250	14,9	67	0,3125	24	61
1 1/4	0,250	13,4	70	0,3125	20,5	64	0,375	30	60
1 3/8	0,250	12,6	72	0,3125	18,9	66	0,375	29	62
1 1/2	0,250	12,0	73	0,3125	17,6	68	0,375	28	63
1 3/4	0,3125	16,7	73	0,375	21,6	68	0,4375	28	64
2	0,3125	15,2	74	0,375	18,8	70	0,4375	25	67
2 1/4	0,375	17,5	74	0,4375	23,2	70	0,500	28	68
2 1/2	0,375	16,8	76	0,4375	21,2	72	0,500	27	70
2 3/4	0,375	16,8	78	0,4375	19,5	74	0,500	24	72
3	0,4375	20	76	0,500	23,2	73	0,625	33	68

Fonte: Manual de Britagem da Metso (2005).

Foram obtidos os valores de porcentagem de área aberta de 63% (1^o *deck*), 55% (2^o *deck*) e 45% (3^o *deck*). Os fatores encontrados foram 1,25; 1,10 e 0,90, respectivamente.

4.5.7 Quantidade de material produzida como oversize (T_f)

Para se determinar a quantidade de T_f , correspondente para cada *deck* foi calculada a quantidade em porcentagem de retido acumulado para cada abertura, baseada nas equações linearizadas da alimentação dos produtos. A partir dessas, considerando a densidade do material, foram obtidas as quantidades de material produzida como *oversize* para os materiais de 58,26 (1^o *deck*); 19,31 (2^o *deck*) e 12,30 m³/h (3^o *deck*).

4.5.8 Espessura da camada do material na extremidade da descarga (D)

A determinação da espessura da camada do material na extremidade da descarga é obtida através da análise da Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Espessura da camada do material na extremidade da descarga.

Densidade – t/m ³	Altura máxima da camada
>1,6	4a
1,6 - 0,8	3a
< 0,8	2,5a
a = abertura nominal da tela	

Como o granito gnáissico possui densidade superior a 1,6, esperava-se que a altura máxima de cada camada fosse quatro vezes a abertura da tela de cada *deck* da peneira. Mas de acordo com o manual de britagem da *Metso*, por convenção para este caso emprega-se uma altura de camada de duas vezes a abertura nominal da tela. Desse modo, as aberturas do 1°, 2° e 3° *deck* foram multiplicadas por dois, resultando em espessuras da camada do material na extremidade da descarga de 44mm, 22mm e 10mm, respectivamente.

4.5.9 Fator de Velocidade do Material (S)

O fator de velocidade do material foi determinado com base na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Fator de velocidade do Material (S)

Tipo de Peneira	Inclinada			Horizontal	
	Modelo	XH	SH e MN	LH e HN	
Abertura de Tela	>1'	> 1'	< 1'	>1'	<1'
Rotação do motor (rpm)	750	800	800	800	800
Fator de velocidade (m/min)	38	30	30	12	12

Por se tratar de uma peneira inclinada do modelo SH e por todas as aberturas das telas serem menores do que 1", ficou estabelecido que o fator de velocidade para os três *decks* foi de 30m/min.

Ao serem obtidos os fatores para área e largura ideais para cada *deck* da peneira industrial, foram determinados os cálculos de dimensionamento da área e largura para cada superfície de peneiramento, de acordo com as equações 2.7 e 2.8, respectivamente, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Resultados de dimensionamento da peneira da Mineradora Santa Helena

	A (m ²)	W (m)	L (m)
1° Deck	3,29	0,89	3,72
2° Deck	2,58	0,64	4,05
3° Deck	2,73	0,83	3,28

O dimensionamento da peneira tem influência direta na eficiência e excelência da operação. De acordo com Chaves & Peres (2012), quanto maior for o comprimento da peneira, maior será a eficiência do equipamento, pois as partículas na faixa crítica terão maiores chances de passarem pela tela, devido ao maior tempo de residência destas sobre a superfície de peneiramento.

O modelo da peneira usado na mineradora (CBS TD 6' X 16 TD) apresenta a área de peneiramento de 8,6 m², de acordo com o catálogo da *Metso*, sendo maior que as áreas obtidas pelo dimensionamento realizado no trabalho. Ou seja, como a área da peneira é maior que a área sugerida, percebe-se que ela tem tamanho suficiente para promover a execução satisfatória da operação. Assim, as dimensões da peneira industrial empregada no circuito de produção de agregados para construção civil não se mostrou como fator determinante para os baixos valores de eficiência e excelência encontrados para o 2° e 3° *decks*.

4.5.10 Sugestões de Melhoria

Como uma das possíveis causas da queda de eficiência e excelência dos últimos *decks* está relacionado com a baixa estratificação das partículas,

uma das ações de melhoria propostas é alteração dos parâmetros ligados a esse mecanismo: amplitude, frequência e inclinação da peneira.

Um aumento na frequência do equipamento irá aumentar as oportunidades das partículas serem peneiradas, fazendo com que as partículas finas fiquem por baixo e se apresentem à tela para atravessá-la.

Esse aumento na frequência irá diminuir, conseqüentemente, a amplitude, o que é considerado um fator positivo, já que para amplitudes elevadas para uma malha menor a partícula corre o risco de ser lançada para muito longe passando por várias aberturas e diminuindo a chance de atravessar a tela (CHAVES & PERES, 2012).

Outra recomendação seria na redução da inclinação da peneira. Ao reduzir esse parâmetro, a velocidade de transporte do *oversize* para a descarga também será menor, gerando assim um maior tempo de residência entre as partículas e, conseqüentemente, melhor desempenho da operação (maiores valores de eficiência e excelência).

O aumento do comprimento da peneira seria outro fator a se considerar, já que a área do equipamento foi bastante superior a área sugerida nos cálculos de dimensionamento. O aumento deste fator implicaria em maior tempo de residência das partículas, aumentando os parâmetros de desempenho da operação (eficiência e excelência). No entanto, como o equipamento já se encontra projetado, instalado e em operação, essa indicação não se mostra tão simples de ser implantada.

5 CONCLUSÃO

A partir dos cálculos de parâmetros para desempenho da peneira industrial da mineradora Santa Helena pode-se concluir, que eles apresentaram falhas quanto aos resultados para aberturas de 11 e 5 mm com valores de eficiência no *undersize* de 80,22 e 87,92%, e excelência de 42 e 50% (respectivamente). Em contrapartida, o primeiro *deck* apresentou eficiência satisfatória quanto ao passante de material (92,41%), indicando assim que este *deck*, apresentou o melhor desempenho nas separação por tamanho das partículas.

Como os produtos analisados apresentam granulometria bem grosseira, mesmo a área de cada *deck*, tendo um valor maior que área sugerida, isso pode não ser suficiente para a passagem das partículas pela malha, fazendo com que muitas fiquem presas às aberturas, necessitando assim de um número elevado de tentativas.

Amplitudes elevadas para aberturas menores também influenciam o processo de estratificação. Ou seja, as partículas podem ser lançadas para muito longe correndo o risco de passarem por várias aberturas diminuindo a chance de atravessarem a tela, interferindo na eficiência e excelência da operação.

Como ação de melhoria para a operação, recomenda-se alterar os fatores ligados a estratificação do material, como amplitude, frequência e inclinação com o objetivo de proporcionar tempo de residência maior sobre a tela, potencializando o desempenho (eficiência e excelência) da operação.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO

- Realizar o estudo da imperfeição da malha da peneira industrial;
- Avaliar o emprego de malha de borracha na eficiência de operação da peneira industrial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARISSO, C.C.R e CORREIA, G.C.J. Classificação e Peneiramento. In: LUZ, A.B, SAMPAIO, J.A. e DE ALMEIDA, M.L.S (Eds). **Tratamento de Minérios** CETEM – MCT. Rio de Janeiro, 2004. p.197- 237.

CHAVES, A. P. e PERES, A. E.C. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**, Volume 3. São Paulo: Editora Signus, 2012. p.324.

CORREIA, G.C.J. Classificação e Peneiramento. In: LUZ, A.B, SAMPAIO, J.A e FRANÇA, A.C.S (Eds). **Tratamento de Minérios**. CETEM - MCT. Rio de Janeiro, 2010. p.257- 296.

DA SILVA, G.N.A.F e SAMPAIO, A.J. Análise Granulométrica por Peneiramento. In: SAMPAIO,J.A; FRANÇA, S.C.A e BRAGA, P.F.A, (Eds). **Tratamento De Minérios: Práticas Laboratoriais**. CETEM-MCT, Rio de Janeiro, 2007. p. 55 -72.

LUZ, A.B e LINS, F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2005.p.727.

METSO. **Manual de Britagem Metso**. 6ª Edição. 2005. p.501.

METSO. **Peneiras Vibratórias CBS**. Disponível em:
<[http:// www.metso.com.br/produtos/peneiras/peneira-vibratoria-serie-cbs](http://www.metso.com.br/produtos/peneiras/peneira-vibratoria-serie-cbs)>

MONTENEGRO,L.C.M; GALERY, R.; VALADÃO, G.E.S.;. Separação por Tamanho. In: VALADÃO, G.E.S.; ARAUJO, A.C (Orgs). **Introdução ao Tratamento de Minérios**. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2007.

OLIVEIRA, M.S;. **Apostila de tratamento de minérios**. Araxá: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Unidade Araxá. 2015. Apostila.

QUARESMA, L.F. **Perfil de brita para construção civil**. 2009.Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22_RT30_Perfil_de_brita_para_construcao_civil.pdf/01c75ac7-ecd2-4d85-a127-3ecddecb2a31>
Acesso em: 16 de outubro. 2016.

RODRIGUES, A.F.S; Mineração De Rochas e Minerais Industriais. Disponível em:<http://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3992> Acesso em: 3 de outubro de 2016.

SANTA HELENA MINERAÇÃO. Disponível em: <http://shmineracao.com.br>> Acesso em: 17 de outubro de 2016.

ANEXO A – CURVA GRANULOMÉTRICA DOS PRODUTOS

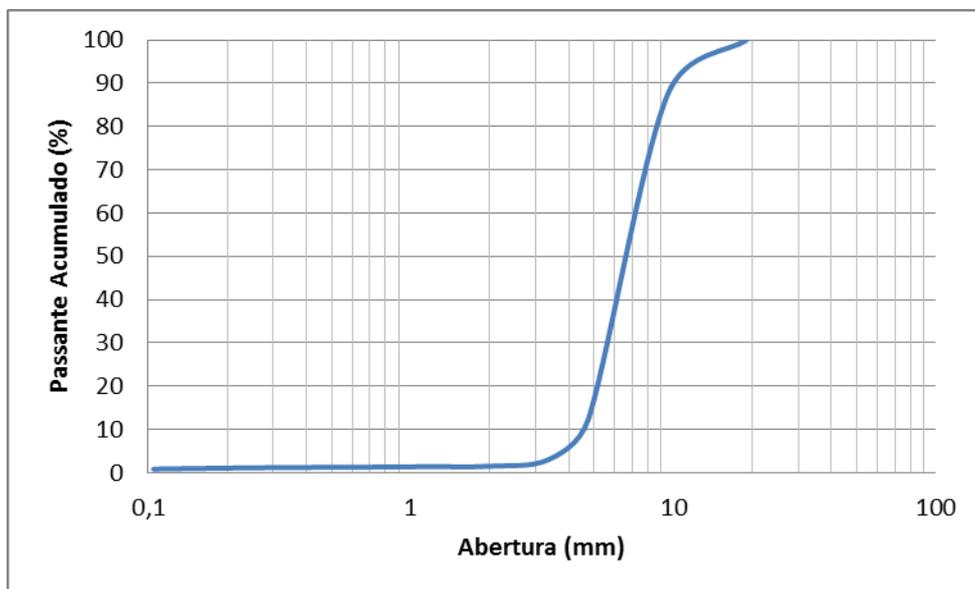


Gráfico A.1: Curva Granulométrica - Brita 0.

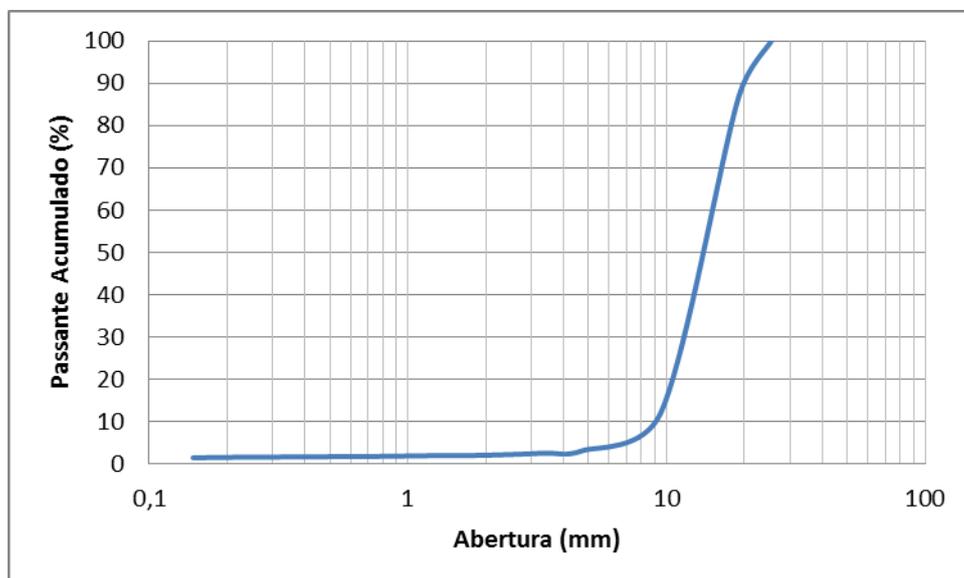


Gráfico A. 2: Curva Granulométrica - Brita 1.

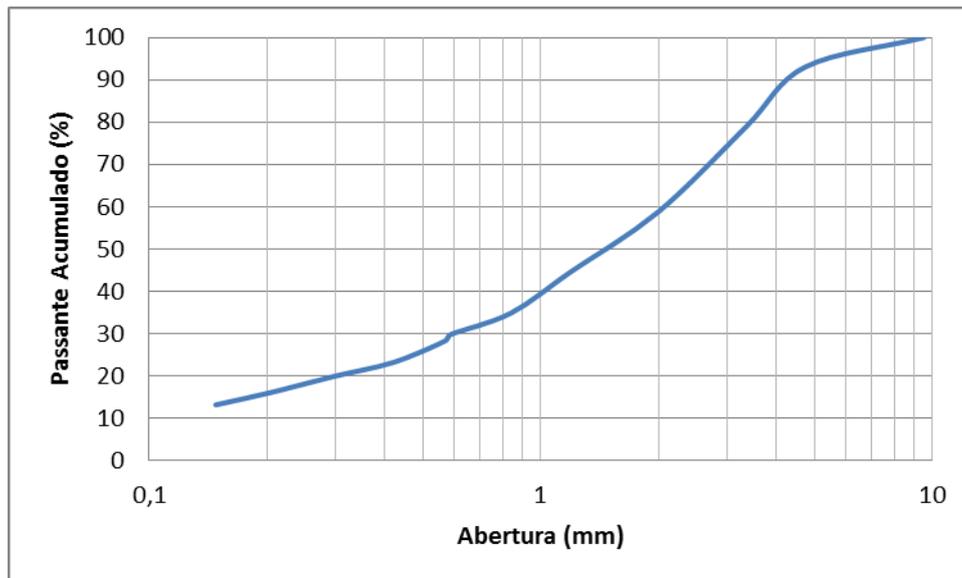


Gráfico A.3: Curva Granulométrica - Pó de Brita.

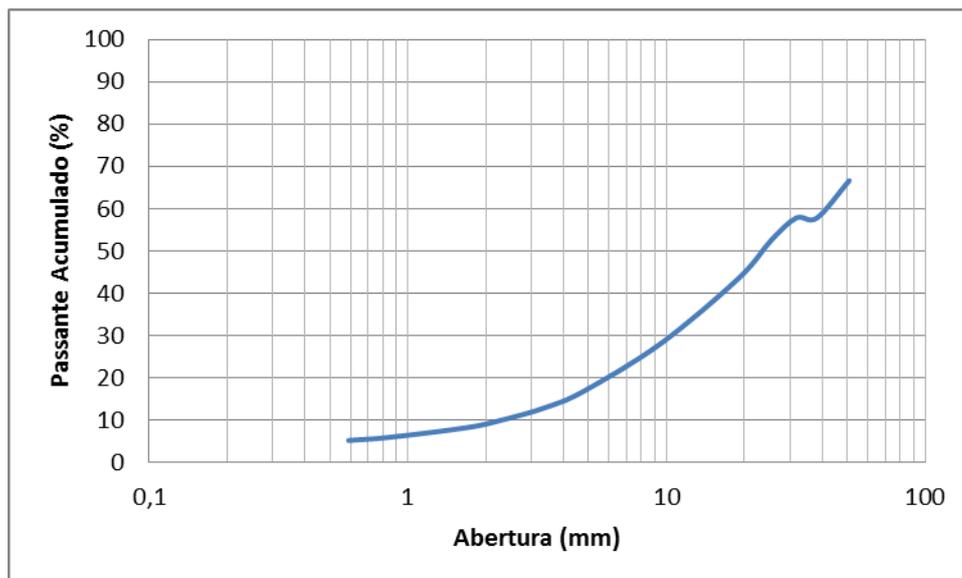


Gráfico A.4: Curva Granulométrica - Rachão

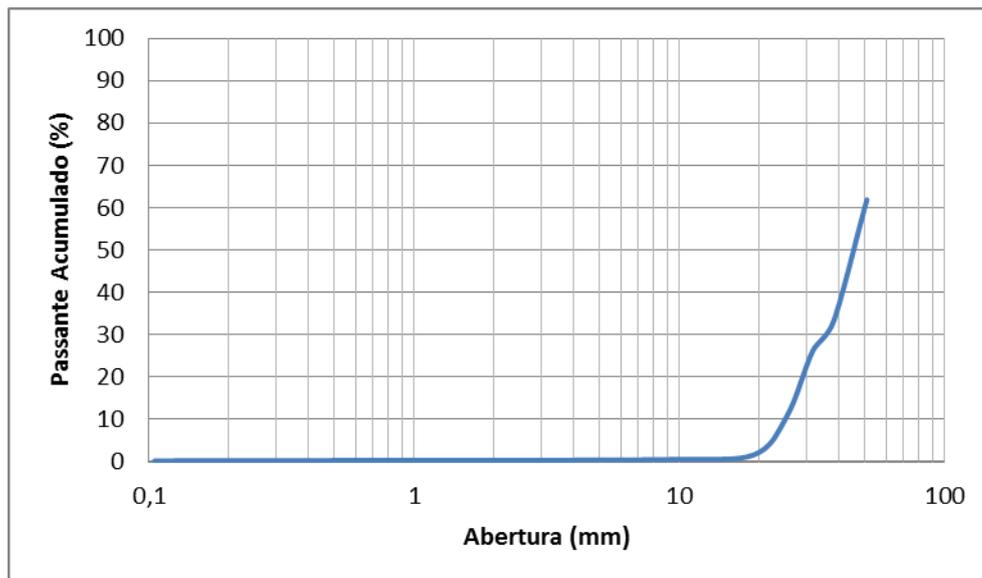


Gráfico A.5 : Curva Granulométrica - Material Retido no 1º Deck

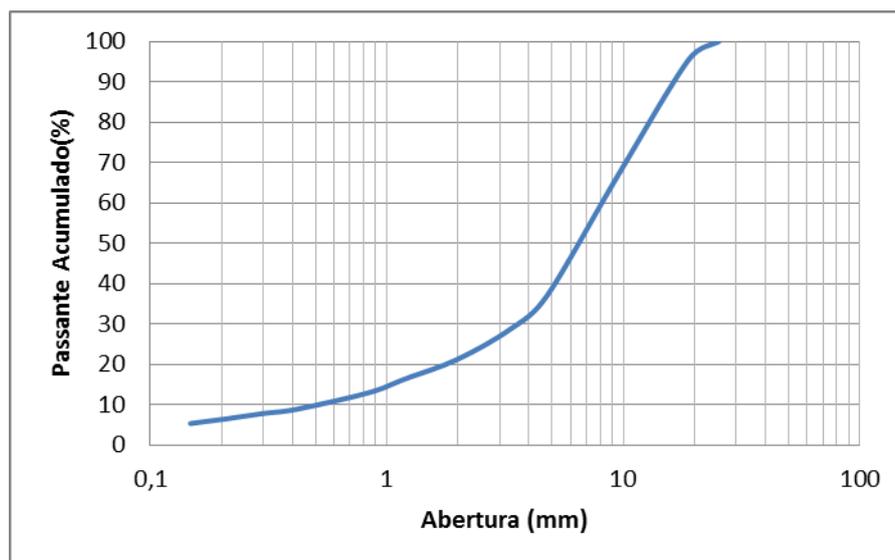


Gráfico A.6: Curva Granulométrica – Alimentação do 2º deck.

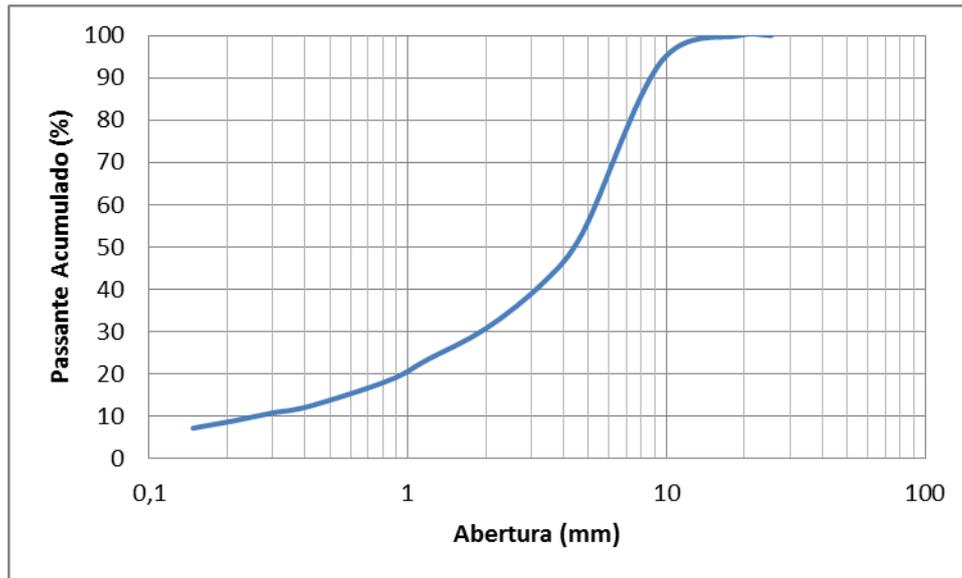


Gráfico A.7: Curva Granulométrica – Alimentação do 3º deck.

ANEXO B – MASSA DE GAUDIN DOS PRODUTOS

Tabela B.1: Massas de *Gaudin* - Brita 0

Área da Peneira (cm ²)	Densidade da amostra (g/cm ³)	Número de camadas (n)	Abertura da peneira em questão (cm)	Abertura da peneira acima (cm)	Massa máxima retida (g)	Massa retida no peneiramento a seco (g)
314,16	1,352	3	1,9	2,54	2828,79	0
			0,952	1,9	1817	122
			0,475	0,952	909,16	726
			0,335	0,475	516,06	90
			0,2	0,335	340,85	14,62
			0,119	0,2	203,24	1,03

Tabela B.2: Massas de *Gaudin* - Brita 1

Área da Peneira (cm ²)	Densidade da amostra (g/cm ³)	Número de camadas (n)	Abertura da peneira em questão (cm)	Abertura da peneira acima (cm)	Massa máxima retida (g)	Massa retida no peneiramento a seco (g)
314,16	1,45	3	2,54	-	-	0
			1,9	2,54	3033,8	128
			0,952	1,9	1948,76	724
			0,475	0,952	975,06	88
			0,335	0,475	553,47	6
			0,2	0,335	365,56	4,64

Tabela B.3: Massas de *Gaudin* - Pó de Brita

Área da Peneira (cm ²)	Densidade da amostra (g/cm ³)	Número de camadas (n)	Abertura da peneira em questão (cm)	Abertura da peneira acima (cm)	Massa máxima retida (g)	Massa retida no peneiramento a seco (g)
314,16	1,52	3	0,952	1,9	-	0
			0,475	0,952	1022,1	69,49
			0,335	0,475	580,19	142,28
			0,2	0,335	383,21	201,81
			0,118	0,2	227,77	143,67
			0,0841	0,118	144,76	96,94

Tabela B.4: Massas de *Gaudin* - Rachão

Área da Peneira (cm ²)	Densidade da amostra (g/cm ³)	Número de camadas (n)	Abertura da peneira em questão (cm)	Abertura da peneira acima (cm)	Massa máxima retida (g)	Massa retida no peneiramento a seco (g)
314,16	1,072	3	5,08	-	-	0
			3,81	5,08	4490,95	154,82
			3,17	3,81	3526,08	0
			2,54	3,17	2884,51	92,07
			1,9	2,54	2242,95	157,91
			0,952	1,9	1440,74	270,46

Tabela B.5: Massas de *Gaudin* - Material Retido no 1° Deck

Área da Peneira (cm ²)	Densidade da amostra (g/cm ³)	Número de camadas (n)	Abertura da peneira em questão (cm)	Abertura da peneira acima (cm)	Massa máxima retida (g)	Massa retida no peneiramento a seco (g)
314,16	0,988	3	5,08	-	-	0
			3,81	5,08	4139,05	676,64
			3,17	3,81	3249,78	170,02
			2,54	3,17	2658,49	360,59
			1,9	2,54	2067,19	216,89
			0,952	1,9	1327,84	24,98

ANEXO C – GRÁFICOS DOS MODELOS EMPÍRICOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

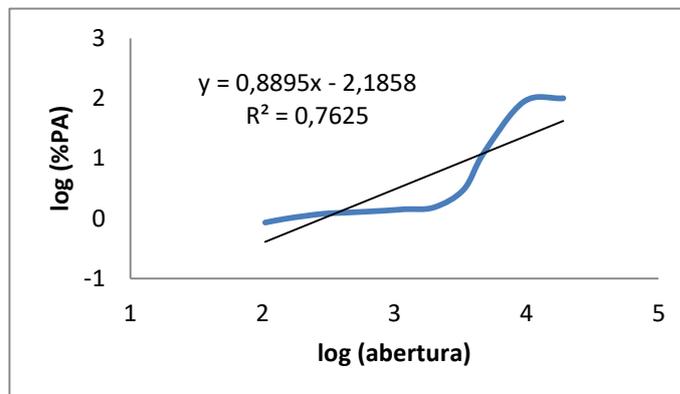


Gráfico C.1: Modelo de *Gates-Gaudin-Schumann* – Brita 0

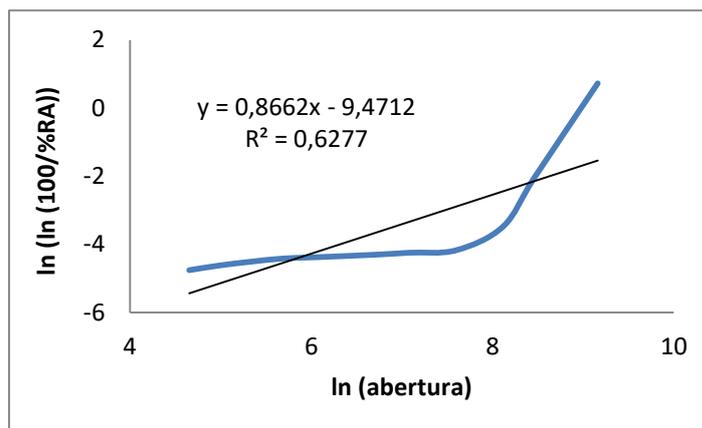
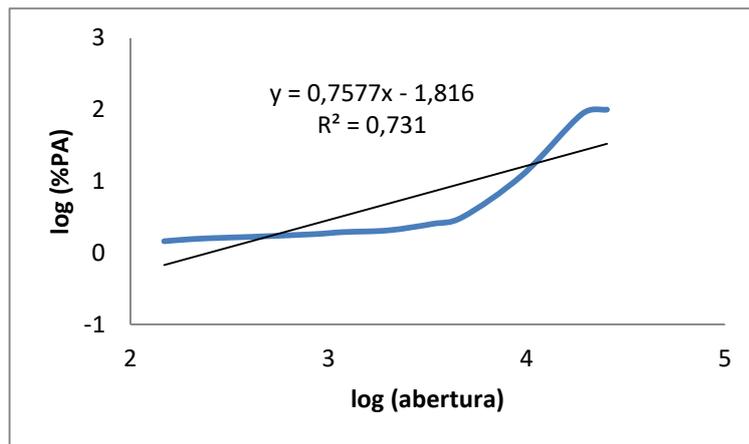
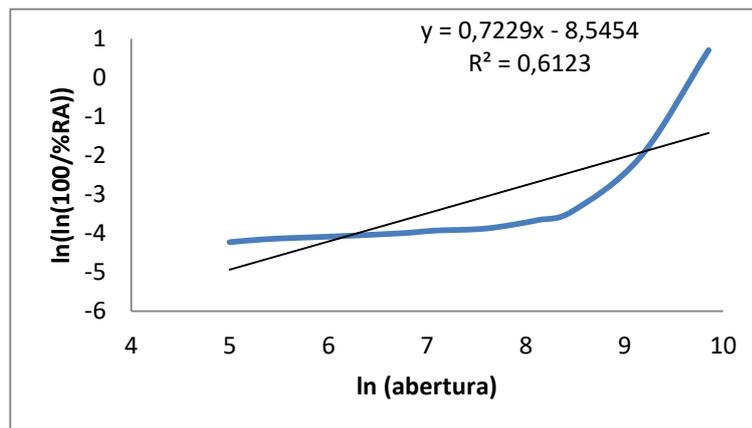


Gráfico C.2: Modelo de *Rosin Rammeler* – Brita 0

Gráfico C.3: Modelo de *Gates-Gaudin-Schumann* – Brita 1Gráfico C.4: Modelo de *Rosin Rammeler* – Brita 1

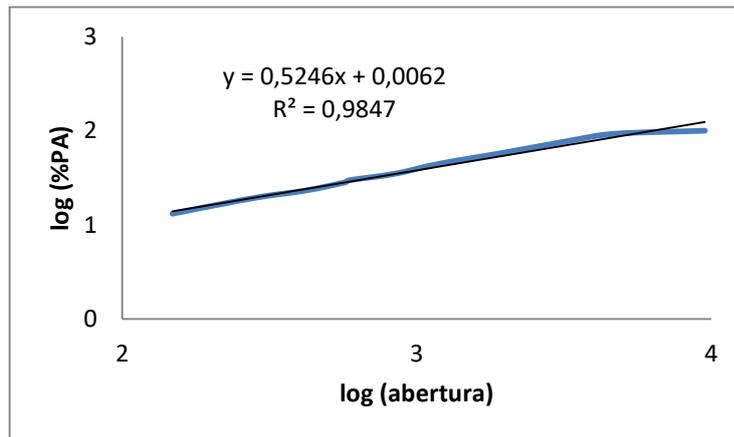


Gráfico C.5: Modelo de *Gates-Gaudin-Schumann* – Pó de Brita

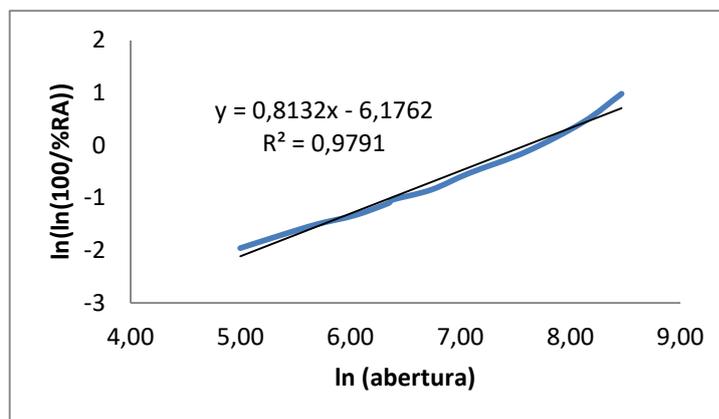


Gráfico C.6: Modelo de *Rosin Rammeler* – Pó de Brita

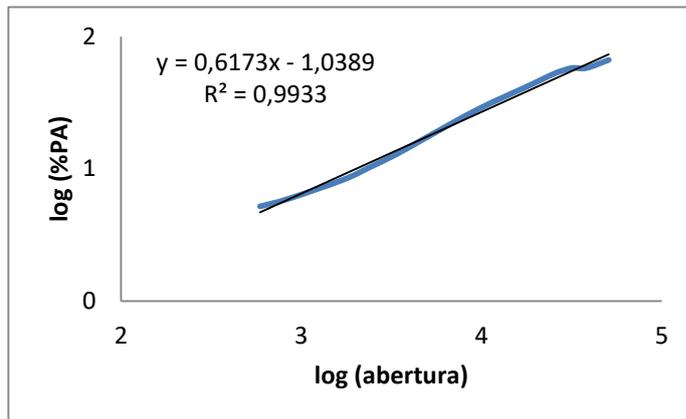


Gráfico C.7: Modelo de Gates-Gaudin-Schumann – Rachão

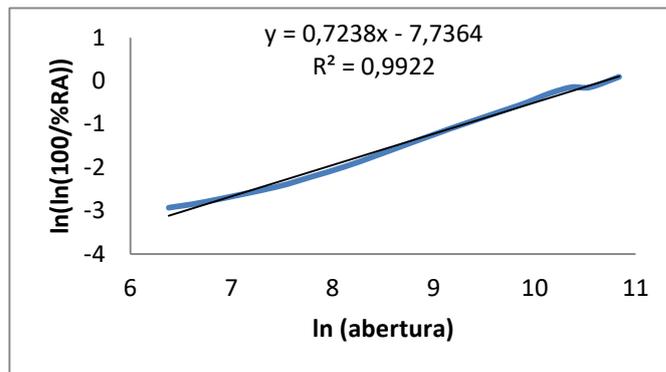


Gráfico C.8: Modelo de Rosin Rammeler – Rachão

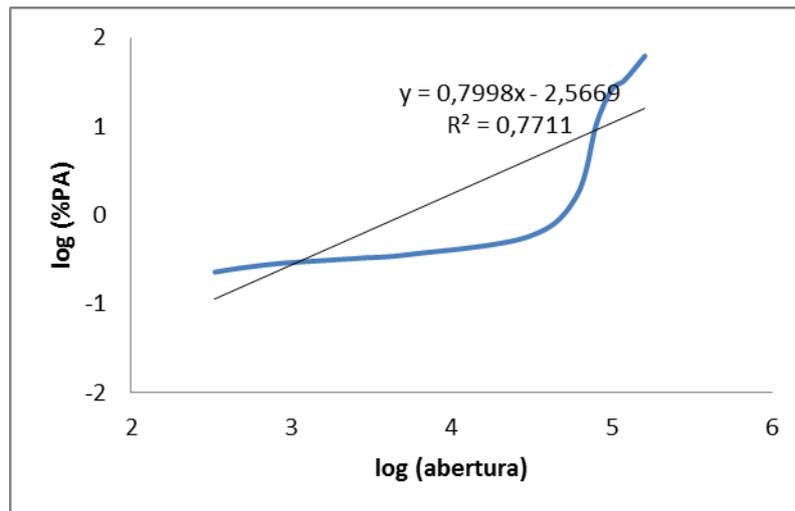


Gráfico C.9 : Modelo de *Gates-Gaudin-Schumann* – Material Retido no 1° Deck

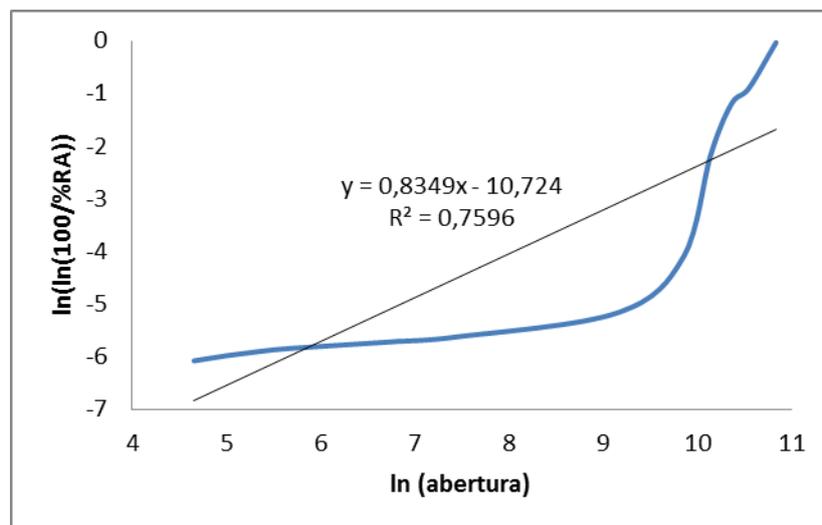


Gráfico C.10: Modelo de *Rosin Rammeler* – Material Retido no 1° Deck

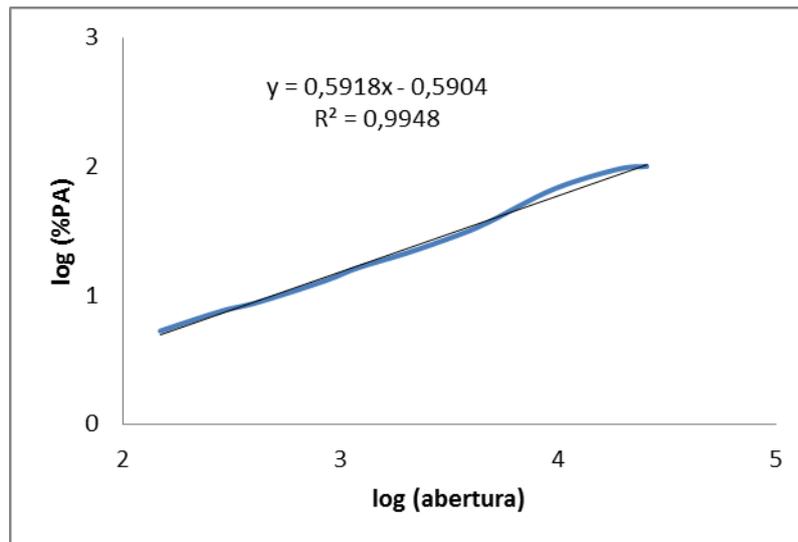


Gráfico C.11 : Modelo de *Gates-Gaudin-Schumann* – Alimentação do 2º Deck

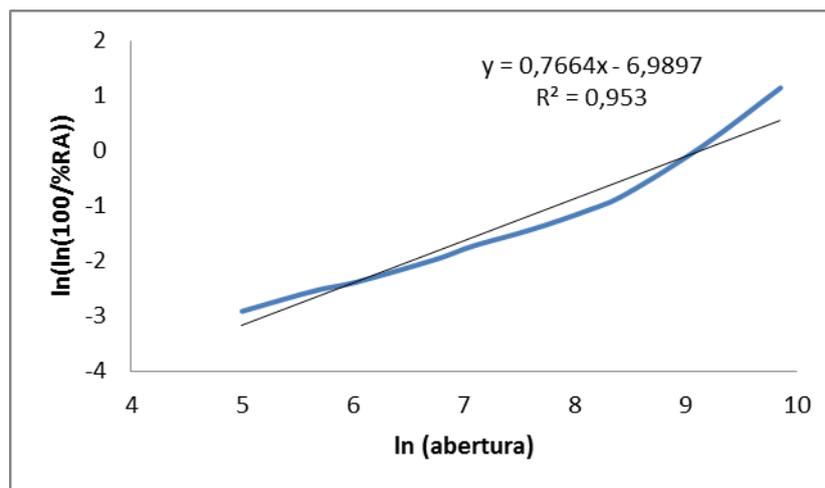


Gráfico C.12: Modelo de *Rosin Rammeler* – Alimentação do 2º Deck

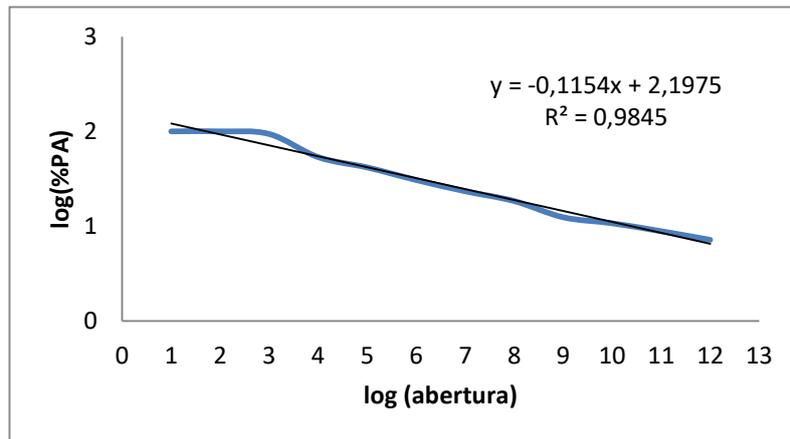


Gráfico C.13 : Modelo de Gates-Gaudin-Schumann – Alimentação do 3ºDeck

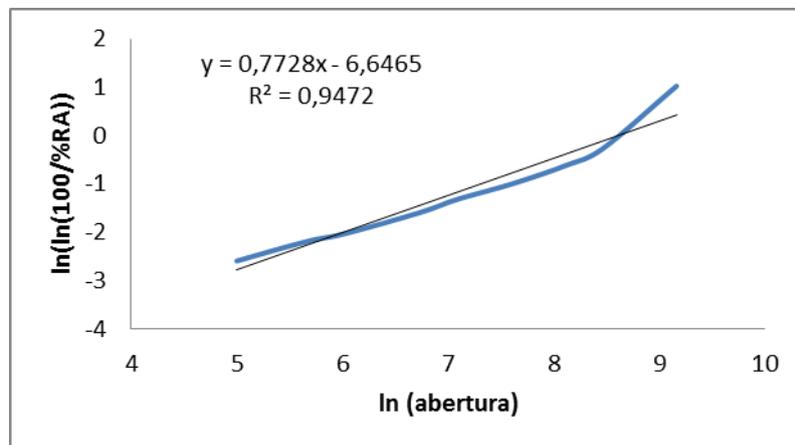


Gráfico C.14: Modelo de Rosin Rammeler – Alimentação do 3º Deck