

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**Desempenho de Classificadores
Dinâmicos de Partículas**

AUTOR: CESAR RENATO ALVES DA ROSA

ORIENTADOR: PROF. ANTÔNIO AUGUSTO ULSON DE SOUZA, Dr. Eng.

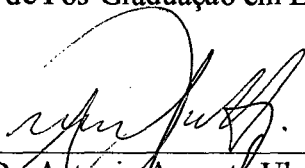
FLORIANÓPOLIS, FEVEREIRO DE 2001

Desempenho de Classificadores Dinâmicos de Partículas

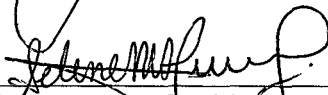
Por

César Renato Alves da Rosa

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Química**, área de concentração **Desenvolvimento de Processos Químicos e Biotecnológicos** e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina.



Prof. Dr. Antonio Augusto Ulson de Souza
Orientador

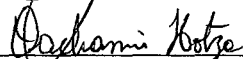


Prof.ª Dr.ª Selene M. A. Guelli Ulson de Souza
Coordenadora do CPGENQ

Banca Examinadora:



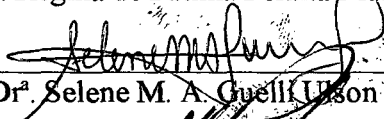
Prof. Dr. Antonio Augusto Ulson de Souza



Prof. Dr. Dachamir Hotza



Prof.ª Dr.ª Regina de Fátima Peralta Muniz Moreira



Prof.ª Dr.ª Selene M. A. Guelli Ulson de Souza



Prof. Dr. Vladilen dos Santos Villar

Florianópolis, 21 de Fevereiro de 2001

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Antônio Augusto Ulson de Souza, que soube orientar com sabedoria, dedicação e paciência.

A Professora Maria Lúcia Cochlar, que muito me incentivou para a realização deste curso de mestrado.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, pela dedicação e profissionalismo.

Ao agente promotor, FUNCITEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, pela viabilização deste projeto.

Às empresas:

- INCOPEBRA – Indústria e Comércio de Pedras Brasileiras Ltda; e
- CYSY - Mineração Ltda;

que muito gentilmente cederam suas instalações para a realização dos testes industriais, necessários para a viabilização deste trabalho.

Ao CTC – Centro de Tecnologia em Cerâmica, pela pronta disposição na realização dos ensaios analíticos necessários.

A todos que não me atrevo a agradecer explicitamente, e por isso peço desculpas, pois receio incorrer num eventual esquecimento.

Ao meu filho peço desculpas pelas horas em que não lhe dei a merecida atenção, e em especial, a minha esposa, que com amor e sabedoria soube suportar as minhas ausências.

Finalmente, a minha mãe e a meu saudoso pai, a quem dedico este trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
Simbologia	viii
Resumo	x
Abstract	xi
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 – Aeroclassificação de Partículas	4
2.2 – Tipos de Classificadores	6
2.3 – Classificação dos Aeroclassificadores	7
2.3.1 – Classificadores estáticos	7
2.3.2 – Classificadores dinâmicos	9
2.4 – Dinâmica da Partícula	15
2.5 – Caracterização das Partículas	20
2.5.1 – Método para a determinação do tamanho de partículas	20
2.5.2 – Apresentação dos resultados da distribuição granulométrica	23
2.5.3 – Representação diferencial da distribuição de tamanhos	25
2.6 – Eficiência de Separação de Partículas	28
2.6.1 – Eficiência total ou recuperação total	29
2.6.2 – Grau de eficiência	29
2.6.3 – Diâmetro de corte	30
2.6.4 – Limite de separação	30
2.6.5 – Índices de precisão	31
2.6.6 – Recirculação de finos	32
2.6.7 – Curva de partição corrigida	32
2.6.8 – Curva de partição reduzida	33

3 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	35
3.1 – Metodologia Experimental	35
3.2.1 – Ensaio de Separação com Classificador do Tipo Turbina	36
3.2.2 – Ensaio de Separação com Classificador à Dispersão	39
3.2.3 – Ensaio com Classificador Estático Tipo Duplo Cone	41
3.2.4 – Ensaio de Classificação em Ciclone	45
4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1 – Resultados dos Ensaio de Classificação com Turboclassificador	50
4.2 – Resultados dos Ensaio com Aeroclassificador à Dispersão	54
4.3 – Resultados dos Ensaio com Aeroclassificador Estático	57
4.4 – Resultados dos Ensaio com Ciclone	60
4.5 – Comparação Entre os Ensaio Experimentais de Aeroclassificação	63
5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
APÊNDICES	72
Apêndice 1 – Resultados do Ensaio de Classificação com Turboclassificador e Boletins de Ensaio Granulométrico no Granulômetro Cilas	73
Apêndice 2 – Resultados do Ensaio com Aeroclassificador à Dispersão e Boletins de Ensaio Granulométrico no Granulômetro Cilas	85
Apêndice 3 – Resultados do Ensaio com Aeroclassificador Estático e Boletins de Ensaio Granulométrico no Granulômetro Cilas	94
Apêndice 4 – Resultados com classificador tipo Ciclone e Boletins de Ensaio Granulométrico no Granulômetro Cilas	106

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Circuito fechado de moagem	5
Figura 2.2 – Circuito aberto de moagem	5
Figura 2.3 – Classificador tipo Zigue-zague	6
Figura 2.4 – Câmara de expansão	8
Figura 2.5 – Classificador Grit	8
Figura 2.6 – Classificadores: (a)gravitacional-inercial, (b)ciclônico, (c)duplo-cone	9
Figura 2.7 – Classificador por dispersão	10
Figura 2.8 – Classificadores de fluxo de ar horizontal (a) e (b)	12
Figura 2.9 – Classificador de palhetas duplas	13
Figura 2.10 – Classificador tipo turbina	14
Figura 2.11 - Vista do rotor do turbo classificador Sturtvant SD	16
Figura 2.12- Coeficiente de arraste versus número de Reynolds	17
Figura 2.13 – Intercepção de partículas	19
Figura 2.14 – Esquema de funcionamento da técnica de difração a “laser”	23
Figura 2.15 – Gráficos de distribuição de freqüência e distribuição acumulada	27
Figura 2.16 – Diagrama esquemático de um separador de partículas	28
Figura 2.17 – Curva de partição	31
Figura 2.18 – Curvas de partição real e corrigida	33
Figura 3.1 – Circuito experimental com turboclassificador	36
Figura 3.2 - Zona de separação do turboclassificador	37
Figura 3.3 – Gráfico da distribuição granulométrica do calcário	38
Figura 3.4 – Circuito experimental com classificador à dispersão	39
Figura 3.5 – Gráfico da distribuição granulométrica do quartzito	41
Figura 3.6 – Circuito experimental com classificador estático	42
Figura 3.7 – Esquema da zona de separação do classificador estático	43
Figura 3.8 – Gráfico da distribuição granulométrica do calcário	44
Figura 3.9 – Circuito experimental com ciclone	46
Figura 3.10 – Ciclone	47
Figura 3.11 – Distribuição granulométrica do calcário alimentado no ciclone	48
Figura 4.1 – Distribuição granulométrica da alimentação, dos finos e dos grossos,	

do ensaio com turboclassificador	51
Figura 4.2 – Curva de partição real e curva de partição corrigida do ensaio com turbo classificador	52
Figura 4.3 – Distribuição granulométrica da alimentação, dos finos e dos grossos do ensaio com classificador a dispersão	55
Figura 4.4 – Curva de partição real e curva de partição corrigida do ensaio com classificador a dispersão	56
Figura 4.5 – Distribuição granulométrica da alimentação, dos finos e dos grossos do ensaio com classificador estático	58
Figura 4.6 – Curva de partição real e curva de partição corrigida do ensaio com classificador estático	59
Figura 4.7 – Distribuição granulométrica da alimentação, dos finos e dos grossos do ensaio com ciclone	61
Figura 4.8 – Curva de partição real e curva de partição corrigida do ensaio com ciclone	62

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Métodos de análise do tamanho de partículas	20
Tabela 2 – Dados de uma distribuição granulométrica típica obtida por peneiramento	23
Tabela 3 – Tabela demonstrativa dos ensaios	49
Tabela 4 – Resultados do ensaio experimental com turboclassificador	50
Tabela 5 – Resultados do ensaio experimental com classificador a dispersão	54
Tabela 6 – Resultados do ensaio experimental com classificador a estático	57
Tabela 7 – Resultados do ensaio experimental com ciclone	60
Tabela 8 – Comparação entre os parâmetros de eficiência dos experimentos	63

Simbologia

a – módulo de distribuição (inclinação da reta)

C_D – coeficiente de arraste

d – diâmetro equivalente da partícula $[\mu\text{m}]$

d_{pin} – diâmetro dos pinos do rotor $[\text{m}]$

E_t – eficiência total em cada corrente $[\%]$

E_k – eficiência de captura de captura das partículas $[\%]$

f_C – força centrífuga $[\text{N}]$

f_D – força de arraste $[\text{N}]$

f_G – força gravitacional $[\text{N}]$

$f(x)$ – distribuição de frequência

$f_L(x)$ – distribuição de comprimento

$f_m(x)$ – distribuição de massa

$f_n(x)$ – distribuição de número

$f_s(x)$ – distribuição de superfície

$F(x)$ – fração acumulada

g – aceleração da gravidade

$G(x)$ – grau de eficiência

$G_c(x)$ – grau de eficiência corrigido

$G_r(x_i)$ – grau de eficiência reduzida ou coeficiente de partição reduzido

H – precisão de separação

I – imperfeição de separação

k – módulo de tamanho

LS – limite de separação $[\mu\text{m}]$

m – é a massa da partícula $[\text{kg}]$

M – vazão mássica da corrente de alimentação, dos finos e dos grossos $[\text{kg/h}]$

M, M_f, M_g – vazão de sólidos da alimentação, de finos e de grossos $[\text{kg/h}]$

M_i – vazão de sólidos de uma corrente i $[\text{kg/h}]$

M_x – vazão de sólidos da corrente da alimentação de tamanho x $[\text{kg/h}]$

M_{x_i} – vazão de sólidos da corrente da alimentação de tamanho x_i $[\text{kg/h}]$

- M_{gx} – vazão de sólidos da corrente de grossos de tamanho x [kg/h]
- N_{Re} – número de Reynolds
- N_{St} – número de Stokes
- Q – vazão volumétrica do ar e sólidos da alimentação, dos finos e dos grossos [m³/h]
- x – tamanho da partícula [μm]
- x_i – diâmetro da partícula reduzido ou adimensionalizado
- x_{98} – limite de separação ou diâmetro da partícula com 98% de eficiência de separação [μm]
- x_{75} – diâmetro da partícula com 75% de eficiência de separação
- x_{50} – diâmetro de corte ou diâmetro da partícula com 50% de eficiência de separação [μm]
- x_{25} – diâmetro da partícula com 25% de eficiência de separação [μm]
- X_{95} – tamanho da partícula onde 95% da massa da amostra é passante ou menor [μm]
- Y – porcentagem de massa passante acumulada até o tamanho x
- Y_{Al} – porcentagem de massa menor que um determinado tamanho x na alimentação
- Y_F – porcentagem de massa passante ou menor que um determinado tamanho x nos finos
- Y_G – porcentagem de massa passante ou menor que um determinado tamanho x nos grossos
- r – raio da trajetória da partícula [m]
- R_f – recuperação de água no fluxo de grossos [%]
- t – tempo [h]
- \vec{u} – vetor velocidade da partícula
- v – velocidade de sedimentação da partícula [m/s]
- v_t – velocidade terminal de sedimentação da partícula [m/s]
- V_a – velocidade angular da partícula [rad/s]
- V_a^{pin} – velocidade angular dos pinos do rotor [rad/s]

Letras gregas

- α – parâmetro do modelo da curva de partição corrigida de Lynch e Rao
- η – parâmetro do modelo da curva de partição corrigida de Plitt
- μ – viscosidade do ar [kg/m.s]
- ρ – massa específica do ar [kg/m³]
- ρ_s – massa específica do sólido [kg/m³]
- Σ – somatório de elementos

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo sobre a separação de partículas a seco, sendo esta operação de importância crescente na indústria química. O processo de separação utilizado foi a aeroclassificação de partículas, que também é conhecida como classificação dinâmica, cuja faixa de aplicação está compreendida entre partículas de diâmetros de 1000 microns até partículas submicrônicas.

Neste trabalho, os principais tipos de classificadores comercialmente disponíveis no mercado foram estudados e agrupados convenientemente em função de seus diferentes princípios de funcionamento.

Face ao escasso número de trabalhos publicados a este respeito, foram realizados uma série de experimentos, utilizando-se para isto aeroclassificadores industriais, tendo por objetivo, o levantamento de parâmetros de eficiência e capacidade dos mesmos. Os equipamentos utilizados nos testes representam as diferentes classes de aeroclassificadores, proporcionando assim maior generalidade ao trabalho.

A avaliação do desempenho de qualquer equipamento de separação de partículas envolve, inicialmente, a caracterização das partículas e posteriormente, a utilização de diferentes critérios de eficiência, os quais foram descritos no corpo deste trabalho.

O conhecimento dos parâmetros de eficiência dos diferentes tipos de classificadores constitui um ponto de partida para a especificação de equipamentos, otimização e simulação de operação dos aeroclassificadores.

Os resultados dos procedimentos experimentais confirmaram a expectativa inicial, em que os classificadores que apresentam elementos de rejeição rotativos, tais como o turboclassificador e o classificador a dispersão, apresentaram limites de separação numa faixa de pequenos a médios diâmetros de partículas, associados a uma boa precisão de corte. No turboclassificador, o limite de separação foi de 27 μm e precisão foi 0,326; no classificador a dispersão o limite de separação foi 70,2 μm , para uma precisão de 0,74. O classificador tipo duplo cone é eficiente para partículas grandes, numa faixa superior a 150 microns. Este equipamento apresentou um baixo índice de precisão, 0,153. O ciclone, que pode ser considerado um classificador estático, apresentou baixo limite de separação, 25,5 μm ; entretanto, com baixa precisão de corte, 0,103. Este comportamento indica que o ciclone é um equipamento apropriado à recuperação e não para classificação de partículas.

Abstract

This work presents a study about the dry separation of particles, being this a growing importance in the chemical industry. The separation process used the air classification of particles, also known as dynamic classification. The application range of this operation is from 1000-micron-diameter particles up to submicron-diameter ones.

In this work the main types of commercially available classifiers in the market were studied and grouped conveniently according to their different principles of operation.

Due to the scarce number of works published about this subject, a series of experiments were performed, using industrial air classifiers, aiming at getting efficiency parameters as well as classifier capacity parameters. The equipment utilized in these experiments represents the different classes of air classifiers, giving the work further broadness.

The performance evaluation of any equipment of particle separation involves the particles characterization and the use of different efficiency criteria, which were described in this work.

The knowledge of efficiency parameters of different kinds of classifiers constitutes a starting point for the equipment specification, optimization and simulation of air classifiers operation.

The results of the experimental procedures confirmed the initial expectation, in that the classifiers that present rejecting rotation elements, such as the turbo classifier and the dispersion classifier presented separation limits in a range of small to medium diameters of particles, associated to a good cut precision. In the turbo classifier, the separation limit was 27 micrometers and sharpness index was 0,326; In the dispersion classifier the separation limit was 70,2 micrometers, for a precision of 0,740. The classifier double cone type is efficient for big particles, in a superior range to 150 microns. This equipment presented a low sharpness index of 0,153. The cyclone, that can be considered as a static classifier, presented low separation limit of 25 mm; however, with low precision cut of 0,103. This behavior indicates that the cyclone is an equipment adapted to the recovery and not for classification of particles.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Um grande número de processos químicos industriais envolve o processamento de materiais sólidos, sendo que em boa parte destes as propriedades desejáveis dos materiais, bem como a reatividade dos mesmos só são obtidas em sua plenitude à medida que os mesmos são submetidos à redução de tamanho.

Os processos de redução de tamanho das matérias-primas, produtos intermediários, co-produtos e produtos finais, são conhecidos por britagem e moagem; estes processos ainda apresentam pouco desenvolvimento em relação a outras operações industriais, (Siriani, 1985).

Existem muitos processos industriais que envolvem a utilização de materiais sólidos particulados. Como exemplo destes processos podem ser citados:

- Indústria de fertilizantes – destacam-se a moagem da rocha fosfática para a produção de ácido fosfórico e superfosfatos;
- Indústria cimenteira – o preparo de matérias-primas e a moagem do clínquer;
- Indústria cerâmica – destacam-se a preparação de argilas e compostos para o esmalte;
- Siderurgia e a Indústria de Geração de Energia – são segmentos importantes que utilizam processos de moagem do carvão mineral;
- Química Fina – destacam-se a preparação de pigmentos e medicamentos, tais como antibióticos finamente divididos.

Durante o processo de moagem, à medida que as dimensões das partículas são reduzidas, a eficiência da operação vai diminuindo em função do aumento da quantidade de material já moído dentro da câmara de moagem. Uma forma de evitar este problema é a remoção do material já moído de dentro da câmara de moagem. Esta operação pode ser realizada mediante a classificação das partículas, onde a fração fina é removida como produto e a fração grossa retorna ao moinho para continuar o processo de moagem. Portanto, este procedimento proporciona aumento da eficiência do processo de moagem.

Os processos de moagem, quando realizados a úmido, apresentam eficiência significativamente superiores aos processos de moagem a seco; entretanto, apresentam o inconveniente de que algumas operações subseqüentes requerem que os materiais moídos sejam utilizados na forma seca, livre de umidade; portanto, sendo necessária a utilização de operações de secagem do material moído. Como reconhecidamente a secagem é uma operação que envolve considerável custo de energia, conseqüentemente, as vantagens que a moagem a úmido apresenta são facilmente absorvidas pela elevação dos custos provocados pela operação posterior de secagem.

Sendo assim, qualquer elevação da eficiência do processo de moagem a seco representa significativa redução de custos operacionais. Daí a importância do estudo da classificação dinâmica de partículas a seco.

Entende-se por classificação ou separação dinâmica de partículas, os processos que envolvem a movimentação das partículas através de um fluido, sendo a separação conseguida graças à diferença de velocidade das diversas partículas, causada pela diferença de tamanho ou massa específica. Os princípios da dinâmica de partículas são o fundamento deste tipo de separação (Gomide, 1980). Com base neste conceito, os equipamentos investigados neste trabalho são enquadrados nesta categoria de separadores de partículas.

Devido à grande aplicação industrial e ao potencial de ampliação da utilização dos aeroclassificadores, o estudo dos fenômenos envolvidos nestes processos, assim como dos diversos parâmetros de projeto, constitui-se em importante etapa para a predição das eficiências destes equipamentos, assim como para a otimização das condições de operação dos mesmos. Convém salientar que existem poucos artigos na literatura sobre este assunto, e modelos adequados para predição de seu desempenho são necessários.

1.2 Objetivos específicos

Os principais objetivos deste trabalho são:

- Apresentar uma revisão dos processos de classificação dinâmica de partículas, tema que é pouco explorado na bibliografia de engenharia química, não obstante a grande aplicação industrial dos aeroclassificadores;
- Apresentar o estado da arte dos equipamentos utilizados na separação de partículas;

- Descrever e avaliar experimentalmente a performance de diferentes categorias de aeroclassificadores, de acordo com critérios usuais de eficiência;
- Comparar os parâmetros de eficiência obtidos nos procedimentos experimentais, com os dados disponíveis na literatura, identificando conseqüentemente, as categorias mais eficientes de arosetadores;
- Obtenção de parâmetros de eficiência típicos de cada classe de arosetador, que permitam a realização de simulações de operação com outros materiais e/ou com diferentes distribuições granulométricas;

1.3 Temática do Trabalho

No **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica** – apresenta-se uma revisão bibliográfica referente à identificação do processo de classificação dinâmica de partículas, bem como dos diferentes tipos de aeroclassificadores, caracterizando assim o “estado da arte”.

É apresentada uma revisão teórica dos fenômenos que ocorrem sobre as partículas no interior dos aeroclassificadores, através dos conceitos da mecânica dos fluidos.

Os processos que envolvem sistemas particulados requerem formas de caracterização específicas; conseqüentemente, são apresentadas algumas formas de caracterização granulométrica dos mesmos.

Diferentes critérios de eficiência são apresentados, a fim de avaliar o desempenho das operações de classificação dinâmica de partículas.

No **Capítulo 3- Procedimento Experimental** – são apresentadas as descrições físicas das instalações utilizadas nos experimentos, bem como os respectivos fluxogramas industriais.

No **Capítulo 4 – Resultados e Discussões** – são apresentados os resultados obtidos em cada procedimento experimental realizado, sendo comparados entre si e com os parâmetros de eficiência disponíveis na bibliografia.

No **Capítulo 5 – Conclusão e Sugestões** – são apresentadas as principais conclusões alcançadas neste trabalho, bem como sugestões para desenvolvimento de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aeroclassificação de Partículas

Classificação é a separação de um material particulado em uma fração pesada e uma fração leve. A separação normalmente ocorre por tamanhos diferentes, mas pode ocorrer também através de outras propriedades da partícula, como a densidade. Dependendo do equipamento usado, a classificação também pode ser efetuada pela forma da partícula, pelo efeito elétrico e magnético, e por propriedades de superfície da partícula.

A massa específica, por exemplo, é uma propriedade que exerce pouca influência na operação de peneiramento, mas é um fator primordial na aeroclassificação, onde as forças de arraste do fluido estão envolvidas.

Este trabalho está limitado aos aeroclassificadores que também são chamados, tradicionalmente, mas menos adequadamente, de separadores de ar. Nestes equipamentos, é possível a classificação de partículas de tamanho médio a partículas submicrônicas (1000 a 0,1 μm), utilizando-se um fluxo de gás, onde está presente a ação combinada das forças gravitacional, arraste, centrífuga e de colisão (Duda, 1977).

Outros equipamentos de classificação, como peneiras e classificadores helicoidais, operam numa faixa de grandes a médios diâmetros de partículas (500 a 0,1 mm).

Nos aeroclassificadores, a premissa básica é que os materiais leves serão coletados numa corrente de ar e serão carregados pela mesma; conseqüentemente a fração pesada será decantada, sendo incapaz de ser carregada pela corrente de ar. A fração leve incorporada no fluxo de ar deve ser separada posteriormente. Normalmente esta operação é realizada com um ciclone, mas pode ser realizada com filtro de mangas ou câmara de sedimentação.

O ar deve ser succionado ou insuflado por um ventilador que pode ser colocado antes ou depois do ciclone. Portanto, os equipamentos de aeroclassificação envolvem duas operações unitárias: a separação das partículas leves das pesadas e a separação da fração leve do fluxo de ar. O ar é usado na maioria das vezes, porém vários gases podem ser utilizados em condições especiais, por exemplo, o nitrogênio, se o material sólido for explosivo.

A operação de classificação de partículas normalmente acompanha ou faz parte das instalações de moagem, como na fabricação do cimento. A grande maioria das instalações de moagem realizam este processo em um circuito fechado, onde o fluxo gasoso recircula no circuito, transportando as partículas entre os equipamentos que compõem o sistema. Somente cerca de 10 a 15 % deste fluxo é renovado para que a fração de partículas ultrafinas possa ser coletada no filtro de mangas.

No circuito aberto não ocorre recirculação dos gases, toda a produção do moinho e do classificador é extraída e coletada no ciclone e no filtro de mangas.

O circuito fechado apresenta uma série de vantagens sobre a moagem em circuito aberto, entre as quais: melhor controle da granulometria do produto, melhor controle do diâmetro máximo do mesmo, obtenção de um produto com curva granulométrica em faixa mais estreita, com menor produção de ultrafinos causados por sobremoagem, maior produção do moinho e menor consumo de energia por tonelada de produto moído. As Figuras 2.1 e 2.2 ilustram os dois tipos de circuitos comentados anteriormente.

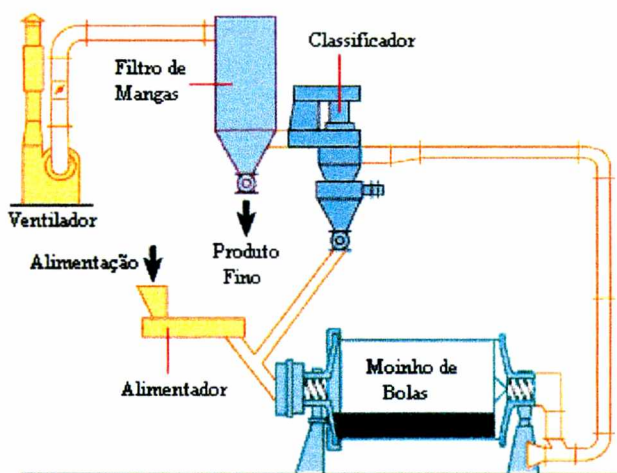


Figura 2.1 - Circuito fechado de moagem

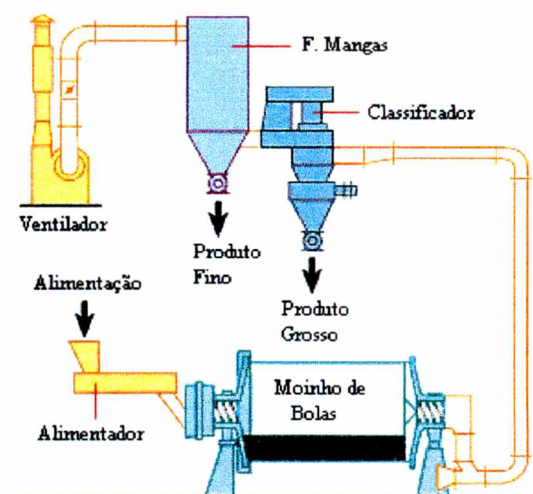


Figura 2.2 - Circuito aberto de moagem

Segundo Taggart (1945), as vantagens do circuito fechado são decorrentes de alguns fatores, tais como: redução do tamanho médio da alimentação, aumento da quantidade de material próximo da granulometria final e passagem mais rápida do material pelo moinho.

As operações de moagem e classificação podem ser realizadas em via úmida; neste caso, os equipamentos classificadores são os decantadores e os hidrociclones. Estes equipamentos não serão estudados neste trabalho.

A indústria que mais utiliza a operação de moagem, e por consequência a classificação de partículas, é a que processa matérias-primas minerais. Entre estas apresentam-se: a indústria cimenteira, a indústria cerâmica, de pigmentos, etc. Isto vem indicar a grande importância da operação de classificação de partículas.

2.2 Tipos de Classificadores

Os classificadores podem ser agrupados convenientemente pelos seguintes critérios:

- **Pelas forças que agem sobre as partículas** – nos processos de separação aerodinâmica de partículas estão envolvidas a força gravitacional, a força de arraste do ar, e a força centrífuga, provocada por um vórtice de ar devido à configuração do equipamento ou devido a uma parte mecânica como um distribuidor giratório. Pode estar presente também, a força de colisão provocada por dispositivo de rejeição de partículas grandes, que normalmente é proporcionado pela presença de um rotor. Um determinado tipo de aeroclassificador pode utilizar predominantemente, uma ou mais destas forças.
- **Pela presença de dispositivos direcionais** – Os aeroclassificadores podem possuir dispositivos direcionais que geram mudanças na direção do fluxo de ar com as partículas, proporcionando colisões das partículas grandes com as paredes, como nos Zigue-zague. A Figura 2.3 apresenta um classificador do tipo Zigue-zague.

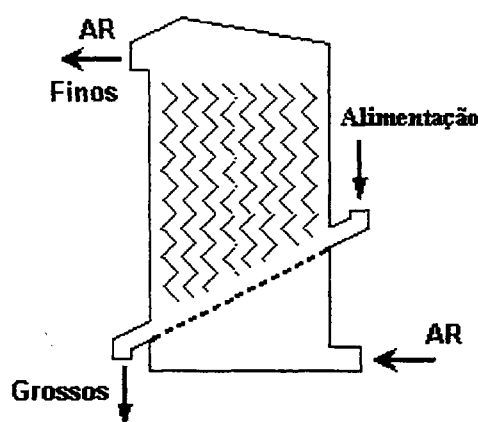


Figura 2.3 - Classificador tipo zigue-zague

- **Pela localização do ventilador e sistema de coleta de partículas** – A localização do ventilador e do dispositivo coletor de finos, embora não afetem diretamente o processo de

separação, são importantes fatores de controle e projeto. Por exemplo, a coleta de finos no interior da seção de expansão ou câmara de finos do classificador de dispersão, que será descrito na seção 2.3.2, é menos eficiente que a separação dos finos em ciclones coletores, que constitui parte do circuito externo de circulação de ar, conforme apresentado nas Figuras 2.1 e 2.2. Quanto ao ventilador, o controle independente do fluxo de ar é difícil se o mesmo estiver montado no mesmo eixo do prato distribuidor giratório, como no classificador de dispersão, ilustrado na Figura 2.7. O controle do fluxo de ar será realizado de forma mais eficiente se o ventilador estiver instalado de forma independente do classificador.

2.3 Classificação dos Aeroclassificadores

Os aeroclassificadores são melhor classificados em dois grandes grupos, os classificadores estáticos e os classificadores dinâmicos. Esta classificação está baseada na presença ou ausência de um dispositivo rotativo de rejeição de partículas dentro do aeroclassificador. Cada um destes dois grupos serão descritos a seguir:

2.3.1 Classificadores estáticos

Estes equipamentos não possuem um elemento de rejeição das partículas na sua construção, e desta forma, são chamados de classificadores estáticos. Entretanto, o princípio da separação das partículas ainda está baseada na dinâmica das partículas dentro de um fluido, o ar neste caso.

Os Classificadores Estáticos evoluíram de dois equipamentos, a Câmara de Expansão Simples e o Separador de Moodie. No anterior, as partículas mais grossas sedimentam quando a velocidade do fluxo diminui ao se expandir num espaço maior. Posteriormente, foram incorporados desviadores de fluxo e dispositivos de impacto na câmara de expansão, para mudar a direção do ar e prover superfícies de colisão para as partículas mais grossas (Ring et al., 1986).

Nas câmaras de expansão, as partículas mais grossas e pesadas são coletadas em função da diminuição da sua velocidade linear, conforme ilustrado na Figura 2.4. No classificador Zigue-zague e no separador Grit, Figura 2.3 e 2.5, respectivamente, a separação é obtida pelas passagens tortuosas e pela colisão das partículas com as superfícies. O

separador Grit é projetado para separar quantias pequenas de finos das partículas de material grosso. A velocidade linear do ar é controlada movendo o cone para cima ou para baixo.

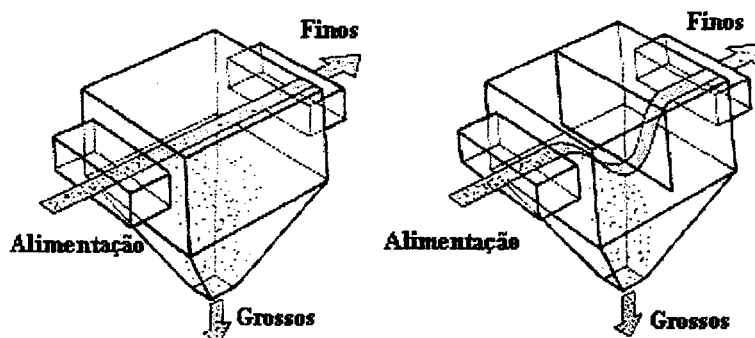


Figura 2.4 - Câmara de expansão

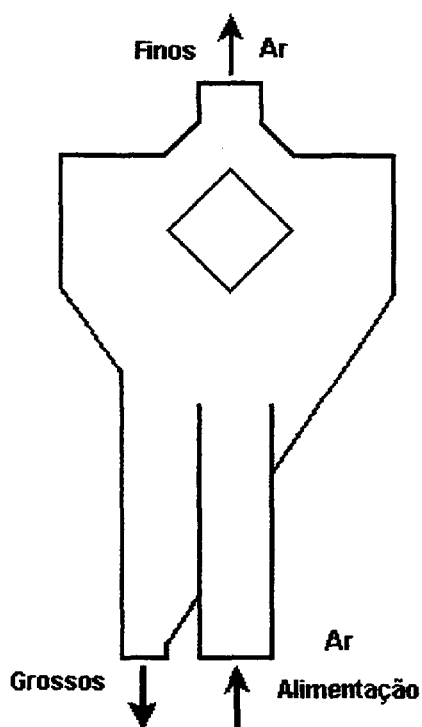


Figura 2.5 - Classificador Grit

O separador gravitacional - inercial e os classificadores centrífugos, apresentados nas Figuras 2.6-(a) e 2.6-(b), respectivamente, usam a força centrífuga gerada pelo fluxo rotacional do ar que é dirigido por curvaturas da parede e por defletores.

Quando os ciclones forem considerados equipamentos de classificação de partículas, os mesmos poderão ser incluídos nesta classificação, já que não dispõem de elementos rotativos internos, bem como de elementos de rejeição.

O classificador Hukki, apresentado na Figura 2.6-(b), tem defletores ajustáveis e uma saída de ar horizontal perpendicular ao plano de rotação. No classificador Duplo-cone, representado pela Figura 2.6-(c), o ar desenvolve um fluxo rotacional quando atravessa pontos periféricos ajustáveis na parte superior do cone interno. Ao contrário do separador Grit, a bóia de separação deste dispositivo serve como uma fechadura de ar para o material grosso, que flui para baixo depois de ser separado no cone interno.

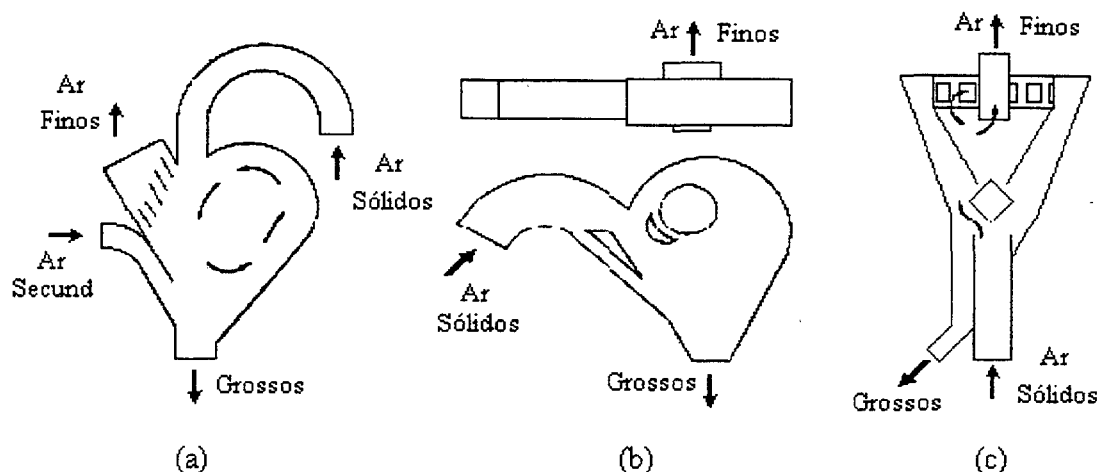


Figura 2.6 - Classificadores: (a) gravitacional-inercial, (b) ciclônico, (c) duplo-cone

2.3.2 Classificadores dinâmicos

Os classificadores dinâmicos apresentam um elemento de rejeição na sua construção; este elemento de rejeição é constituído por um rotor.

Chamam-se classificadores de fluxo ascendente os equipamentos cuja direção do ar principal é verticalmente para cima, na direção da zona de separação. Existe uma grande variedade de equipamentos deste tipo, contudo, a concepção de funcionamento é similar.

O classificador de fluxo ascendente mais utilizado na indústria cimenteira é o de dispersão. Neste separador, o material a ser separado é dispersado por meio de um disco ou prato giratório na zona em que se efetua a separação. A maior parte dos separadores por dispersão geram a corrente de ar dentro deles mesmos, por isso também são chamados de separadores por ar circulante. A Figura 2.7 representa um típico aeroseparador por dispersão. O material alimentado entra pelo tubo, ao longo do qual passa o eixo de acionamento do prato distribuidor, sobre o qual cai o material alimentado. A rotação do eixo do separador gera uma corrente de circulação constante e que carrega o material dispersado pelo prato

distribuidor, provocada pelas pás fixadas no eixo na parte superior do separador.

Sobre o material que cai sobre o prato dispersor atuam a força centrífuga, a força ascendente de arraste do ar e a força de gravidade.

O prato dispersor fornece força centrífuga às partículas suficiente para que atinjam a zona de separação mais rapidamente que o novo material que chega ao prato. As partículas mais grossas e pesadas são lançadas radialmente para fora, perdem força centrífuga e quando se chocam contra a parede do separador, rebatem sobre a sua superfície por ação da gravidade, e são recolhidas na câmara de material grosso. As partículas grossas que foram arrastadas pelo ar ascendente são rejeitadas pelas lâminas do seletor do cone interno, sendo então dirigidas para a câmara de grossos (Duda, 1977).

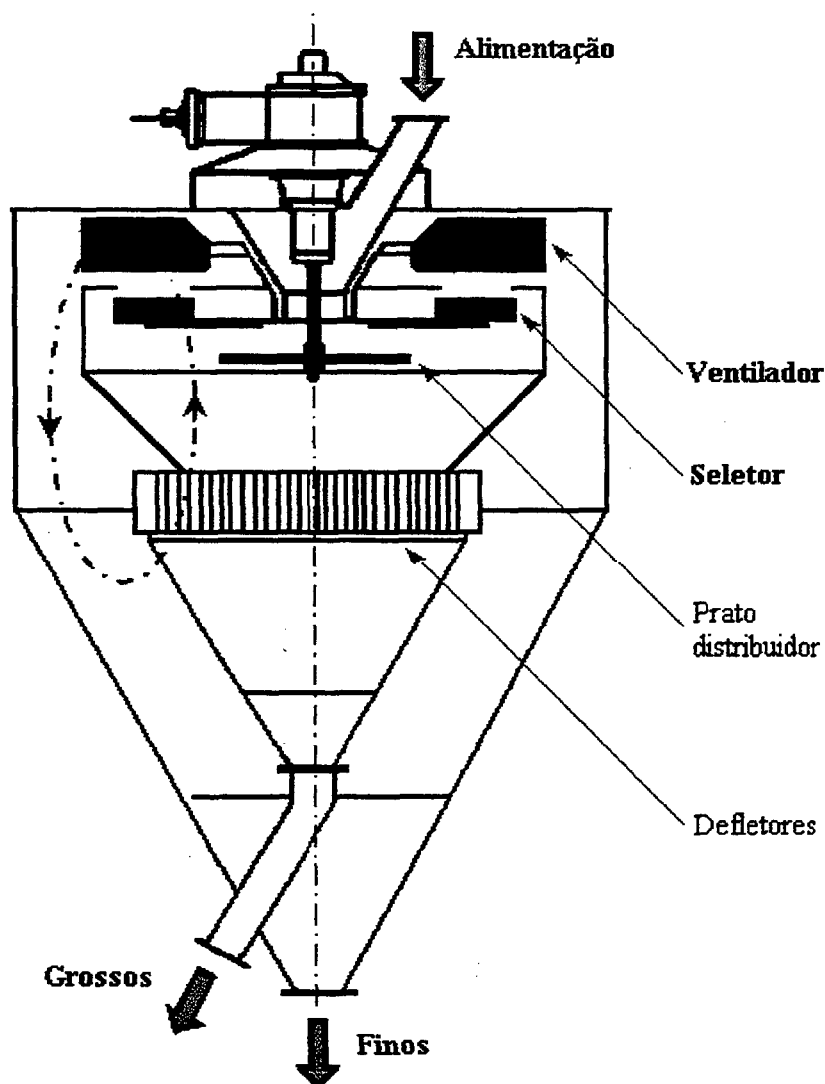


Figura 2.7 - Classificador por dispersão. (Fonte: Duda(1977). Modificado pelo autor)

A velocidade e a vazão de ar, assim como a velocidade de rotação são fatores importantes para separar as partículas finas das grossas.

A corrente de ar ascendente eleva as partículas finas de até certo tamanho que chegam através do espaço compreendido entre os rotores dos ventiladores principal e auxiliar, até a zona mais externa, chocando-se contra a parede e escorregando até o cone externo, que é o cone dos finos. Por baixo da câmara de precipitação está disposta uma coroa de defletores direcionais por onde o rotor aspira a corrente de ar. No cone externo, a decantação dos finos separados pela corrente de ar ocorre por perda de velocidade e por mudança de direção. As frações mais finas, cuja velocidade de sedimentação é pequena, flutuam na corrente de ar, e não é possível impedir que parte destes finos circulem de modo permanente e que também se misturem ao material grosso já separado. O cone externo funciona como um ciclone para a fração de partículas finas. Os ventiladores principal e auxiliar, e o prato distribuidor, estão montados sobre um eixo comum.

Os classificadores de fluxo de ar horizontal, conforme Figuras 2.8 (a) e (b), apresentam concepção diferente. O fluxo de ar é soprado tangencialmente por um ventilador externo através de uma voluta. As partículas acompanham este fluxo e são classificadas na frente, em uma zona de separação estreita do rotor.

As partículas grossas caem pelo espaço anular entre o rotor e a voluta em um ou mais cones de coleta, de forma direta ou depois de serem rejeitadas pelas lâminas ou pinos do rotor. Os finos são aspirados para dentro do rotor e passam aos coletores externos pela descarga de topo, como no classificador O'Sepa, conforme a Figura 2.8-(a), ou por uma tiragem lateral, como no classificador Sturtvant SD apresentado na Figura 2.8-(b) (Ring et al.,1976).

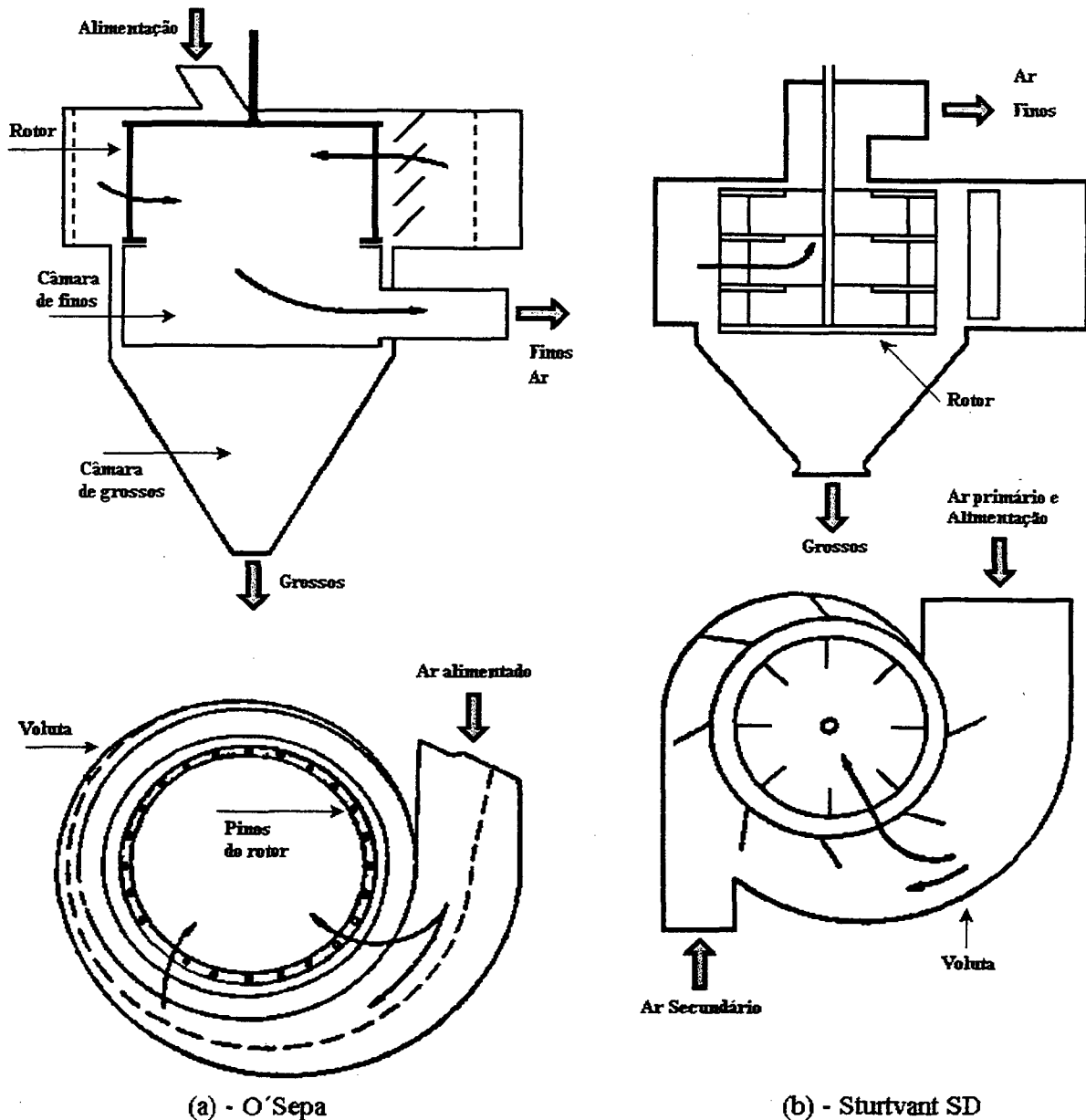


Figura 2.8 - Classificadores de fluxo de ar horizontal (a) e (b)

(Fonte: Ring(1986). Modificado pelo autor)

Classificadores de palhetas ou "Whizzer Separator" - Este aeroclassificador é constituído por um disco rotativo horizontal, no qual está fixado um conjunto de palhetas no sentido radial. O conjunto formado pelo rotor e o corpo cilíndrico compõe o classificador do tipo "whizzer". O fluxo de ar contendo as partículas é forçado a passar perpendicularmente através das palhetas do rotor. O giro produzido pelo disco rotativo provoca o aparecimento

de uma força centrífuga intensa sobre as partículas, fazendo com que as partículas grandes sejam rebatidas e caiam pela parede do classificador. As partículas finas vencem o campo de forças produzido pelo rotor e são arrastadas pelo fluxo de ar através do topo do classificador. A fração fina é coletada externamente num ciclone.

Havendo a necessidade de uma classificação mais eficiente, estes classificadores podem apresentar dois rotores sobrepostos, sendo conhecidos como “Doble Whizzer”. Estes equipamentos normalmente acompanham alguns tipos de moinhos, ou seja, são fornecidos de forma acoplada ao corpo do moinho. A Figura 2.9 representa um classificador de palhetas duplas.

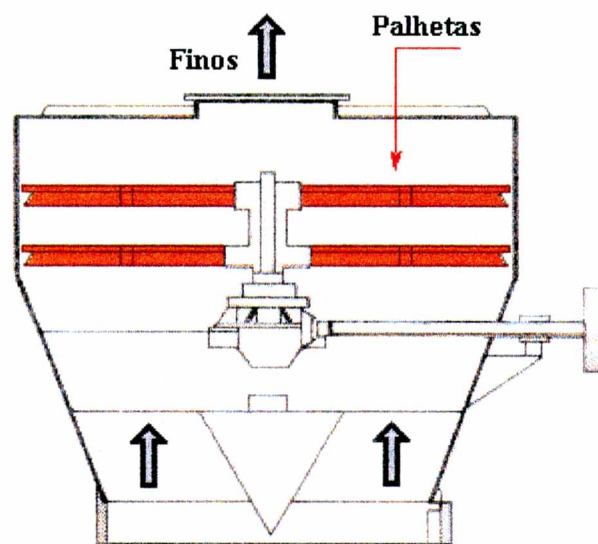


Figura 2.9 - Classificador de palhetas duplas. (Fonte: Gomide (1983). Modificado pelo autor)

Classificadores tipo turbina - Estes equipamentos apresentam o corpo com formato cilíndrico, sendo que o rotor tipo turbina está instalado na parte superior. A alimentação é feita por gravidade na porção anular, entre o rotor e a carcaça deste, onde sofre dispersão provocada pelo vórtice devido ao giro do rotor.

O rotor é composto por palhetas verticais girando a alta velocidade. O fluxo de ar interno é proporcionado por um ventilador externo, o qual força a passagem das partículas através do rotor. As partículas grandes e pesadas são rejeitadas pelo rotor e arremessadas contra as paredes do classificador, que acabarão descendo até uma segunda zona de classificação.

A outra zona de classificação apresenta o formato de um ciclone, onde o fluxo de ar de retorno do ventilador entra tangencialmente criando um segundo vórtice, e proporcionando a recuperação de uma parcela de partículas finas que desceram junto com as partículas grossas da primeira zona de classificação. A fração grossa é retirada continuamente pelo fundo do equipamento, enquanto que a fração fina é carregada através do rotor e coletada externamente por um ciclone.

Existem variantes deste tipo de classificador, como a alimentação realizada na forma pneumática junto com o ar de circulação. Outros equipamentos não apresentam a segunda zona de classificação; neste caso, o ar junto com as partículas entra axialmente pelo fundo até as proximidades do rotor. As partículas grossas são descarregadas em sentido contrário e saem pelo espaço anular entre o tubo de entrada de ar e a porção cônica final da carcaça do classificador. A Figura 2.10 representa um classificador do tipo turbina, com alimentação realizada pneumaticamente.

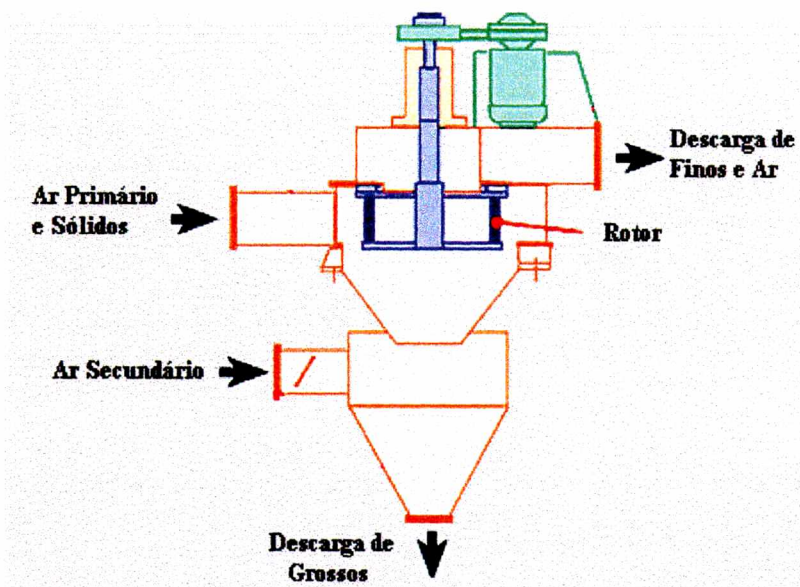


Figura 2.10 - Classificador tipo turbina

Estes tipos de equipamentos estão sendo bastante utilizados atualmente, e dispõem de variação da velocidade de rotação do rotor, proporcionando conseqüentemente variação no tamanho das partículas separadas.

2.4 Dinâmica da Partícula

As forças que atuam individualmente sobre as partículas são responsáveis pela separação das mesmas, em partículas grandes e pequenas nas suas respectivas câmaras de coleta. Durante o processo de classificação, as forças que agem sobre as partículas são: gravitacional, arraste aerodinâmico, força centrífuga, e força de colisão. Cada modelo de aeroclassificador utiliza uma ou mais destas forças. O envolvimento entre estas forças é complexo e não é muito bem entendido. Conseqüentemente, não existem modelos matemáticos conclusivos, que descrevam os aeroclassificadores (Ring et al., 1976).

Todas as forças listadas anteriormente são usadas pelo classificador Sturtevant SD, as quais estão apresentadas na Figura 2.11. Neste equipamento, tanto o rotor como o fluxo de ar na voluta são os responsáveis pelo aparecimento de vetores de força centrífuga. Essas forças são válidas para outros aeroclassificadores, contudo, as suas direções podem ser diferentes e algumas podem nem estar presentes (Ring et al., 1976).

Nos classificadores à dispersão e no classificador Sturtevant SD mostrado na Figura 2.11, a alimentação é introduzida ao centro, em um prato giratório horizontal. O atrito com o prato acelera radialmente as partículas. Uma vez que as partículas possuem velocidade angular, a força centrífuga provocada as acelera e elas saltam e rolam até a extremidade externa do prato até caírem dentro da voluta, onde sofrerão a ação do fluxo de ar. A velocidade final atingida pela queda das partículas será próxima da velocidade angular da extremidade do prato distribuidor da alimentação. Uma vez soltas no ar, as partículas encontram gravidade, arraste aerodinâmico e vetores de força centrífuga. Essas forças, $\sum \vec{f}_i$, mudam o vetor velocidade \vec{u} , ambos em direção e em magnitude, de acordo com a segunda Lei de Newton:

$$\sum_i \vec{f}_i = m \frac{d\vec{u}}{dt} \quad (2.1)$$

onde:

m – é a massa da partícula

$\sum \vec{f}_i$ – resultante das forças

$d\vec{u}/dt$ – aceleração da partícula

A massa da partícula pode ser representada em termos de uma esfera de diâmetro d e densidade ρ_s conforme a expressão $\rho_s \pi d^3 / 6$.

A força de gravidade, \vec{f}_G , será dirigida para baixo no classificador, como mostrado na Figura 2.11, onde \vec{g} é a aceleração gravitacional, e será expressa por:

$$\vec{f}_G = V(\rho_s - \rho)\vec{g} \quad (2.2)$$

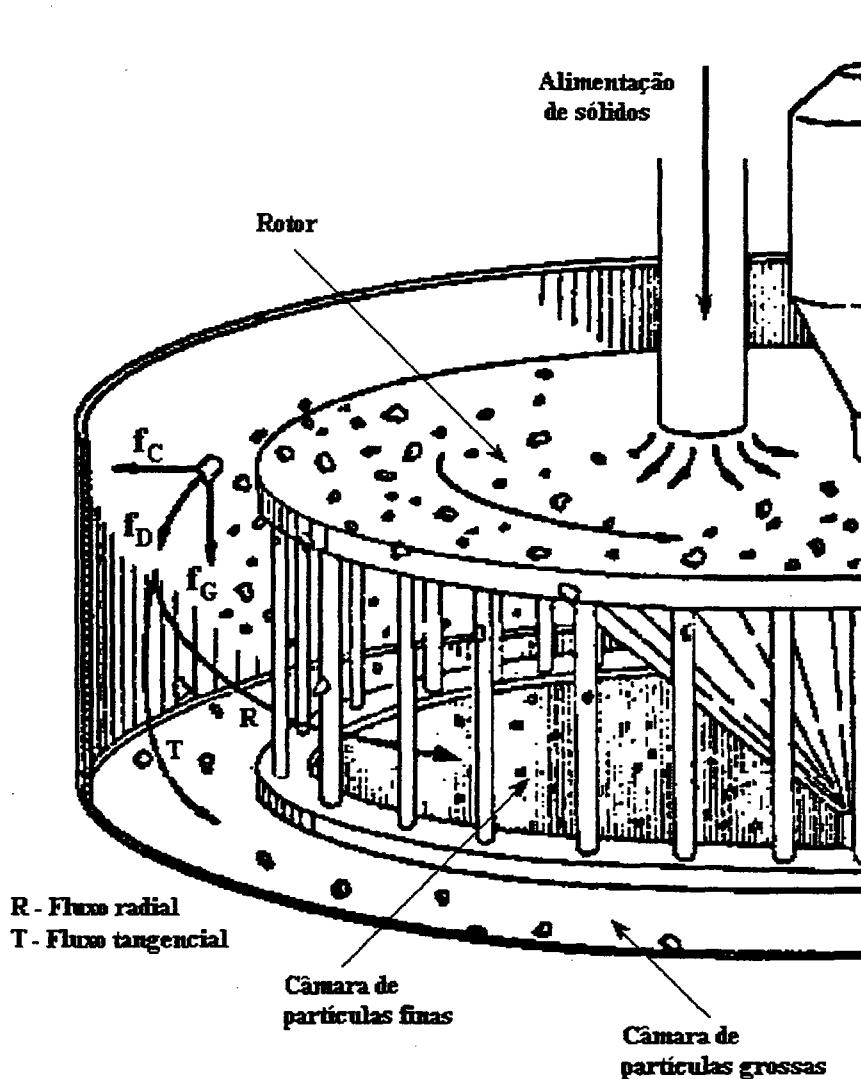


Figura 2.11 - Vista do rotor do turbo classificador Sturtevant SD
(Fonte: Ring (1986). Modificado pelo autor)

O ar entra no classificador tangencialmente e então, de forma gradual, se transforma num fluxo radial no rotor. O campo vetorial existente entre a corrente de ar e a velocidade da partícula conduzirão a uma força de arraste aerodinâmico \vec{f}_D , representada a seguir, que agirá em uma direção oposta ao movimento, conforme apresentado na Figura 2.11.

$$\vec{f}_D = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho \vec{u}^2}{2} \cdot C_D \quad (2.3)$$

Na equação (2.3), $(\pi d^2/4)$ é a área característica, $(1/2\rho u^2)$ é a energia cinética característica do fluxo, e C_D é o coeficiente de arraste. Para esferas, o coeficiente de arraste é determinado como uma função de número de Reynolds ($N_{Re} = u\rho d/\mu$), como mostrado na Figura 2.12.

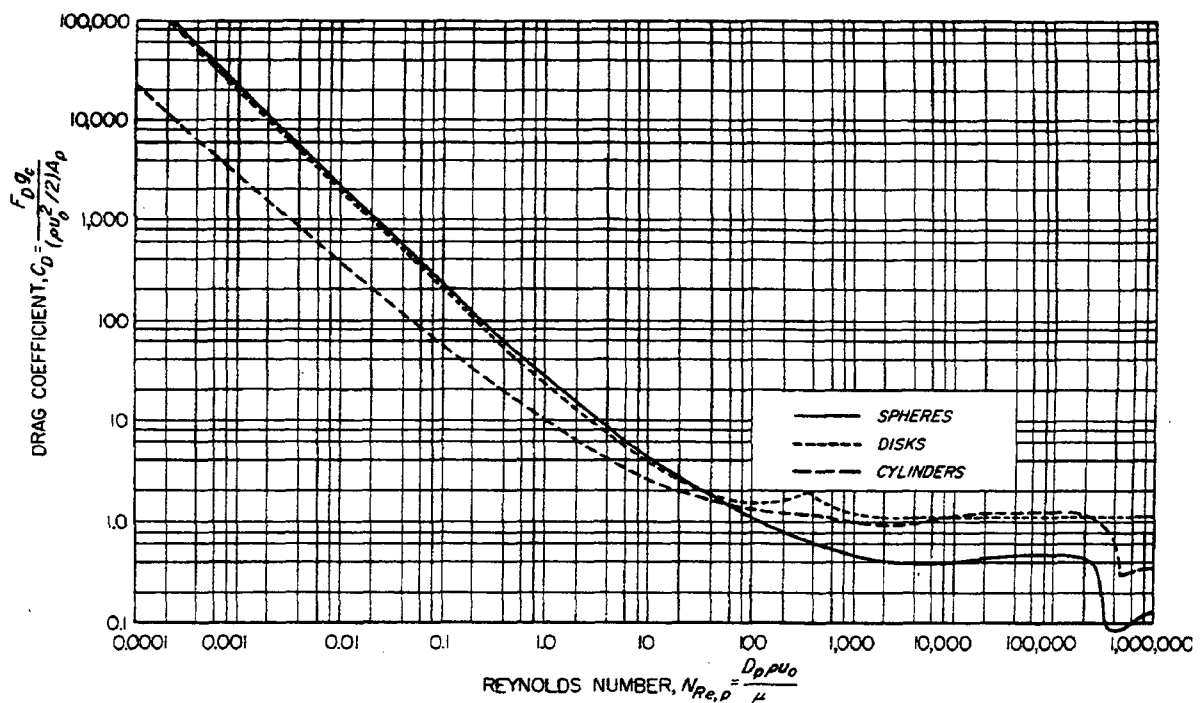


Figura 2.12 – Coeficiente de arraste versus número Reynolds (fonte: McCabe(1993))

A baixos número de Reynolds ($N_{Re} < 1.0$), a Lei de Stokes é aplicável e a força de arraste se reduz à equação (2.4).

$$\vec{f}_D = 3\pi\mu \vec{u}_d \quad (2.4)$$

Devido às forças que agem nas partículas, pode haver um componente de velocidade angular, \vec{V}_a no movimento das partículas. Este componente proporcionará o aparecimento de um vetor de força centrífuga, \vec{f}_C , dirigida radialmente como mostrado na Figura 2.11 na posição radial r , da partícula.

$$\vec{f}_C = m \frac{V_a^2}{r} \quad (2.5)$$

A grandeza de todas estas forças é altamente dependente do diâmetro da partícula, de sua massa que é equivalente a $(\rho_s \pi d^3 / 6)$, do coeficiente de arraste e da área característica da partícula. Como resultado, as partículas grandes serão afetadas principalmente pelas forças de gravidade e centrífuga e menos devido ao arraste aerodinâmico, e assim terminarão na câmara de partículas grossas.

As partículas de tamanho intermediário serão afetadas principalmente pelo arraste aerodinâmico e menos pelas forças de gravidade e centrífuga, e serão dirigidas ao rotor. Partículas suficientemente pequenas atravessarão os pinos sem fazer contato (choques) e serão arrastadas para a câmara de partículas finas pela corrente de ar. As partículas finas são separadas da corrente de ar por um ciclone externo. O impacto das partículas de tamanho intermédio com os pinos redireciona estas partículas para a câmara de partículas grossas.

Para a colisão acontecer, uma partícula deve ser aerodinamicamente capturada pelo pino giratório do rotor do classificador, conforme pode ser verificado na Figura 2.13. Existem três modos principais para isto acontecer: por interceptação direta, colisão inercial, e por precipitação eletrostática.

A precipitação eletrostática e outros mecanismos de captura, como o difusional, não serão considerados neste trabalho, devido ao fato que só afetam as partículas menores que poderiam permanecer aderidas aos pinos até serem derrubadas através da colisão das partículas grandes.

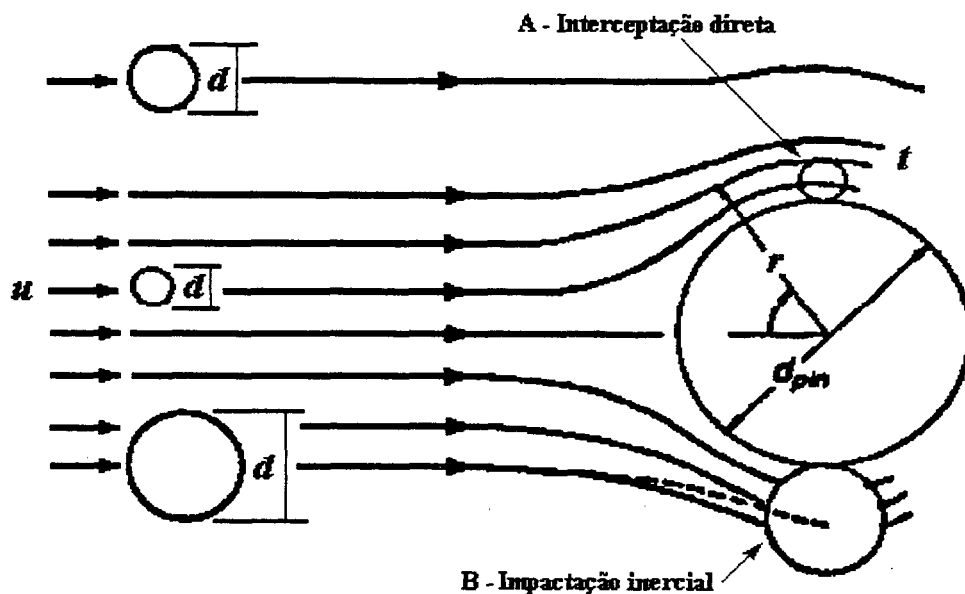


Figura 2.13 - Interceptação de partículas (Fonte: Ring (1986))

A eficiência de captura, E_k , é determinada pela relação da área transversal ao fluxo do fluido, da qual todas as partículas são removidas pela área transversal (direção projetada ao fluxo) do pino. Cada mecanismo de captura tem sua relação de captura em função da eficiência específica. Para interceptação direta, a eficiência de captura é determinada pela equação (2.6)

$$E_k = (1 + d/d_{pin}) - (1 + d/d_{pin})^{-1} \quad (2.6)$$

onde:

d – diâmetro equivalente da partícula

d_{pin} – diâmetro do pino

E_k – eficiência de colisão.

Para colisão inercial, a eficiência de captura é uma função do número de Stokes N_{St} , que é definido pela equação (2.7), onde V_a^{pin} é a velocidade angular do pino.

$$N_{St} = \frac{V_a^{pin} \rho_s d^2}{18\mu d_{pin}} \quad (2.7)$$

Para outras geometrias, existem outras expressões para a eficiência de captura.

A eficiência de captura total para ambos os mecanismos é simplesmente a soma da eficiência de todos os mecanismos ativos. Para os classificadores que usam pinos cilíndricos, como o classificador SD, a eficiência de captura é dependente na velocidade angular dos

pinos, do número de pinos no círculo, do diâmetro dos pinos, do diâmetro e da densidade das partículas. Como resultado, as características da alimentação e as condições de operação determinarão que as partículas de tamanhos intermédios serão chocadas contra os pinos e serão dirigidas para a câmara de partículas grossas.

2.5 Caracterização das Partículas

O conhecimento das propriedades dos sólidos particulados é fundamental para o estudo de muitas operações unitárias que envolvem o processamento de materiais sólidos, na qual está incluída a aeroclassificação de partículas.

Tanto a especificação do tamanho desejado do material, como o cálculo do desempenho de equipamentos de separação de sólidos requerem a definição prévia da distribuição de tamanhos das partículas. A distribuição de tamanhos de um sólido granulado é tecnicamente denominada de “distribuição granulométrica”.

2.5.1 Métodos para a determinação do tamanho das partículas

Uma lista de alguns métodos mais comuns para determinação da distribuição do tamanho das partículas está apresentada na Tabela 1, junto com a sua faixa de aplicação.

Tabela 1 – Métodos de análise do tamanho de partículas

Método	Faixa de uso (μm)
Peneiramento	38 – 100000
Microscopia ótica	0,25 – 50
Sedimentação gravitacional	1 – 40
Sedimentação centrífuga	0,05 – 5
Microscopia Eletrônica	0,005 – 1
Difração à Laser	0,1 - 600

Peneiramento

O peneiramento é o método mais utilizado para análise do tamanho de partículas, uma vez que cobre uma ampla faixa de tamanhos.

Consta basicamente da passagem de uma amostra com massa conhecida através de sucessivas peneiras cada vez mais finas. Com a pesagem da quantidade coletada em cada peneira determina-se a porcentagem em massa de cada fração de tamanho. O peneiramento pode ser efetuado a úmido, a seco ou misto e as peneiras são agitadas para expor todas as partículas às aberturas da malha.

As peneiras usadas na análise granulométrica são padronizadas.

Sedimentação e elutriação

Nas técnicas de sedimentação, o material a ser separado por tamanho é dispersado num fluido e deixado sedimentar sob condições cuidadosamente controladas.

Nas técnicas de elutriação, o material dispersado é deixado sedimentar contra um fluxo ascendente de líquido ou gás, de velocidade constante.

Ambos os métodos empregam o princípio do deslocamento dos sólidos em meio fluido. A resistência a esse deslocamento determina a velocidade terminal “ v_t ” que a partícula atinge quando é deixada cair num fluido sob influência da gravidade. A velocidade terminal atingida pela partícula é determinada pela Lei de Stokes:

$$v_t = \frac{d^2 g (\rho_s - \rho)}{18 \mu} \quad (2.8)$$

A Lei de Stokes foi deduzida para partículas esféricas, e as partículas não esféricas irão atingir a velocidade terminal influenciada pela sua forma. Apesar disso, a velocidade pode ser substituída na equação de Stokes para dar um valor “ d ”, característico da partícula e referido como “diâmetro equivalente esférico de Stokes” ou “diâmetro de Stokes”.

A pipeta de Andreasen constitui um exemplo da técnica de sedimentação gravitacional.

A sedimentação centrífuga obedece o mesmo princípio da sedimentação gravitacional, porém a força gravitacional é substituída pela força centrífuga cujo valor é muitas vezes superior, permitindo a sedimentação rápida de partículas de pequeno diâmetro.

Um exemplo de equipamento que utiliza este princípio é o “Cyclosizer”, que consiste de cinco ciclones colocados em série de tal forma que o “overflow” de um, alimenta o ciclone subsequente. Os ciclones são invertidos em relação aos ciclones convencionais e no “apex” de cada um há uma câmara de retenção do “underflow”.

Análise por microscopia

Os microscópios são usualmente empregados como método absoluto na determinação do tamanho das partículas, uma vez que se trata do único método em que partículas individuais são observadas e medidas. A imagem de uma partícula vista ao microscópio é bidimensional e a partir desta imagem é feita uma estimativa do tamanho real da mesma através da comparação da sua área projetada com as áreas de círculos de referência, de tamanhos conhecidos (Coulson, 1991).

A grande limitação do emprego dessa técnica é que esses métodos são empregados com amostras pequenas, o que diminui a representatividade do resultado.

Análise por difração a Laser

Esta técnica consiste na passagem contínua da amostra suspensa numa fase líquida ou gasosa, em uma região na qual está incidindo um feixe de raio “laser”. A passagem da luz provoca a difração da luz emitida, cujo efeito produzido é detectado por um fotodetector instalado perpendicularmente ao eixo do gerador da luz.

A difração produzida é uma função da distribuição de tamanhos da partícula, na qual assume-se que as mesmas sejam esféricas.

O sinal produzido pelo fotodetector é interpretado por um “software” específico, que fornece o resultado da distribuição de tamanhos das partícula.

Esta moderna técnica permite a determinação do tamanho de partículas numa faixa de 0,04 a 500 μm .

A Figura 2.14 representa o esquema de funcionamento do granulômetro por difração a “laser”.

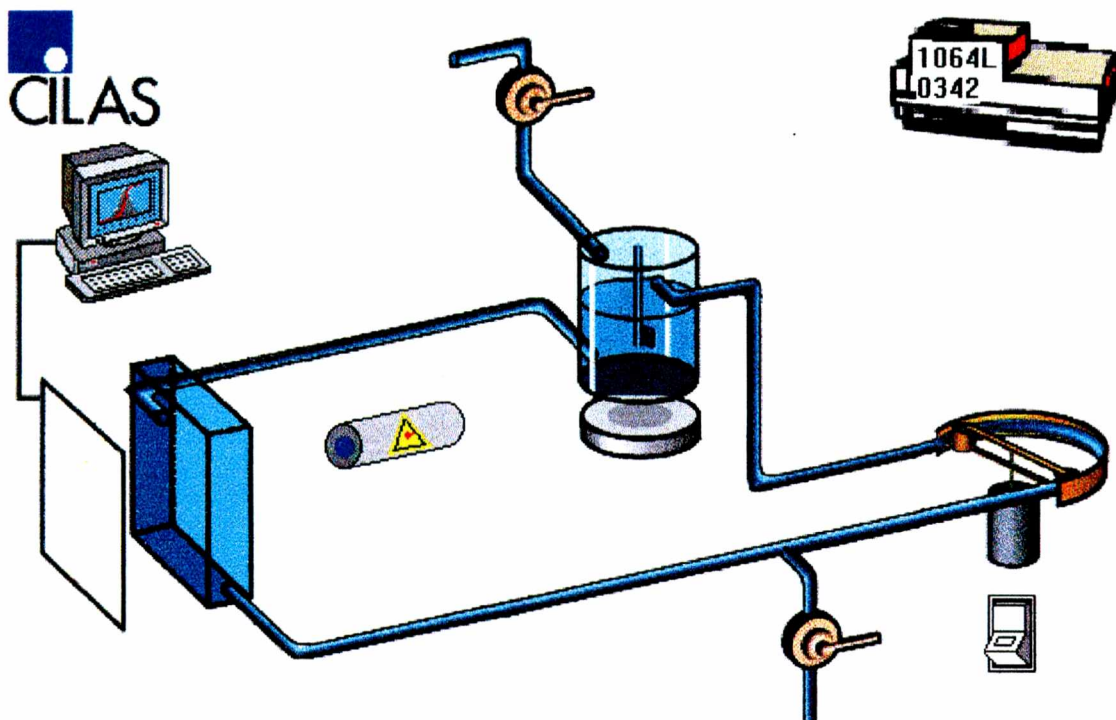


Figura 2.14 - Esquema de funcionamento da técnica de difração a "laser"
(Fonte: manual do granulômetro Cilas)

2.5.2 Apresentação dos resultados da distribuição granulométrica

Existem diversas maneiras pelas quais podem ser representados os resultados de uma análise granulométrica. A Tabela 2 apresenta, como ilustração, os dados de uma análise granulométrica típica obtida por peneiramento.

Tabela 2 – Dados de uma distribuição granulométrica típica obtida por peneiramento

1	2	3	4	5	6
Peneira			Abertura	Passantes	Retidos
(μm)	Massa (g)	(%) Massa	(μm)	(%)	(%)
+ 250	0,02	0,04	250	99,96	0,04
-250+180	1,32	2,96	180	97,00	3,00
-180+125	4,23	9,50	125	87,50	12,50
-125+90	9,44	21,19	90	66,31	33,69
-90+63	13,10	29,43	63	36,88	63,12
-63+45	11,56	25,95	45	10,93	89,07
-45	4,87	10,93			100,0

Esta tabela mostra:

- Na coluna (1) as faixas de tamanho entre as peneiras utilizadas, expressas em microns;
- Na coluna (2) a massa de material retido em cada faixa de tamanho, dada em gramas;
- O percentual de massa retida em cada faixa de tamanho, na coluna (3);
- Na coluna (4) o tamanho de abertura nominal das peneiras usadas, dada em microns;
- A porcentagem de massa passante acumulada, na coluna (5);
- Na última coluna (6), a porcentagem de massa retida acumulada em cada peneira.

A limitação básica da apresentação de resultados de análise granulométrica por tabelas é a dificuldade de interpolação quando se precisa dos dados em valores que não correspondem a nenhuma peneira utilizada. Por isto é mais comum a sua apresentação na forma gráfica. A forma de apresentação gráfica permite interpretar a análise granulométrica em sua plenitude.

Na representação gráfica, a fração de massa passante e eventualmente, a fração retida acumulada são representadas versus o diâmetro das partículas. Inicialmente utilizava-se escala linear; contudo, a mesma apresentava o inconveniente de que as frações de pequenos diâmetros apresentavam-se congestionadas. Para evitar estes problemas, utilizam-se papéis com escala semi-logarítmica ou log-normal.

O problema do congestionamento dos pontos nas duas extremidades da curva granulométrica ainda continuaram, para atenuar este efeito, vários modelos de distribuições foram propostos, entre os mais aceitos tem-se: o método de Gates-Gaudin-Schumann e o método de Rosin-Rammler.

Esses métodos são tentativas de se representar as curvas de distribuição de tamanhos por meio de uma reta, expandindo e contraindo a escala em algumas regiões.

a- método de Gates-Gaudin-Schumann

$$Y = 100 \cdot (x/k)^a \quad (2.9)$$

linearizando-se a equação (2.9), obtém-se

$$\ln(Y/100) = a \ln(x) - a \ln(k) \quad (2.10)$$

Esse método expande consideravelmente a região abaixo de 50% na curva de passantes, especialmente abaixo de 25%. Obviamente, isto representa uma contração da região acima de 50%, o que constitui uma desvantagem desse método.

b- método de Rosin-Rammler

$$Y = 100 \cdot \exp(-x/k)^a \quad (2.11)$$

linearizando-se a equação (2.11), obtém-se

$$\ln(-\ln(Y/100)) = a \ln(x) - a \ln(k) \quad (2.12)$$

Esse método expande também a região abaixo de 25%, embora em menor escala que o método anterior. Em compensação a região acima de 75% não é tão contraída quanto no método anterior. A sua contração se concentra na região entre 30 e 60%, tendo sido provado que essa contração é sempre insuficiente para causar efeitos adversos.

Esse método é mais usado para representar resultados de distribuição granulométrica de produtos que tenham sido moídos, sobretudo em moinhos de bolas.

Os parâmetros das equações de ambos os métodos apresentados são definidos como:

Y – porcentagem de massa passante acumulada até o tamanho x

a – módulo de distribuição (inclinação da reta)

k – módulo de tamanho

x – tamanho da partícula

2.5.3 Representação diferencial da distribuição de tamanhos

As técnicas de medida do tamanho das partículas estão baseadas na determinação de um diâmetro equivalente, tais como:

- uma esfera de mesmo volume da partícula;
- uma esfera de mesma área superficial;
- uma esfera de mesma área por unidade de volume;
- uma esfera de mesma área projetada sobre um plano normal à direção do movimento;
- uma esfera na qual a partícula passa de forma justa sobre uma abertura de peneira;
- uma esfera de mesma área projetada, vista do plano sobre a qual a partícula está depositada, como exemplo a lâmina de um microscópio;
- uma esfera que tem a mesma velocidade de sedimentação num fluido especificado.

Com base nos critérios para medida do tamanho das partículas apresentados acima, a distribuição de frequência $f(x)$ e a distribuição de frequência acumulada $F(x)$, podem ser baseadas no número de partículas, na área superficial, num comprimento linear ou no

volume ou massa das partículas. Nestes casos, devem ser indicadas com a utilização de índices subscritos para diferenciá-las, tais como:

- distribuição de número $f_n(x)$
- distribuição de comprimento $f_L(x)$
- distribuição de superfície $f_s(x)$
- distribuição de massa $f_m(x)$

A distribuição de tamanhos pode ser apresentada na forma de frequência (forma diferencial) ou acumulada (forma integral), tal como mostrado a seguir:

- Representando uma fração de partículas de tamanho “ x ” como uma distribuição de frequência definida como $f(x)$, conforme (Svarovsky, 1981), obtém-se:

$$f(x) = \text{distribuição de frequência} \quad (2.13)$$

- Se a distribuição do tamanho das partículas é colocada como uma função em massa, logo a distribuição de frequência baseada na massa será:

$$f_m(x) = (\text{massa das part. de tamanho } x)/(\text{massa total das partículas}) \quad (2.14)$$

Integrando a função em toda faixa de tamanhos de partículas, obtém-se:

$$\int_0^{\infty} f_m(x) dx = 1 \quad (2.15)$$

Integrando a função $f_m(x)$ de 0 até um tamanho intermediário “ x ”, obtém-se a fração acumulada $F(x)$, que corresponde à área abaixo da curva.

$$F(x) = \int_0^x f_m(x) dx \quad (2.16)$$

A representação gráfica da $f(x)$ e da $F(x)$ tem o formato definido pela Figura 2.15.

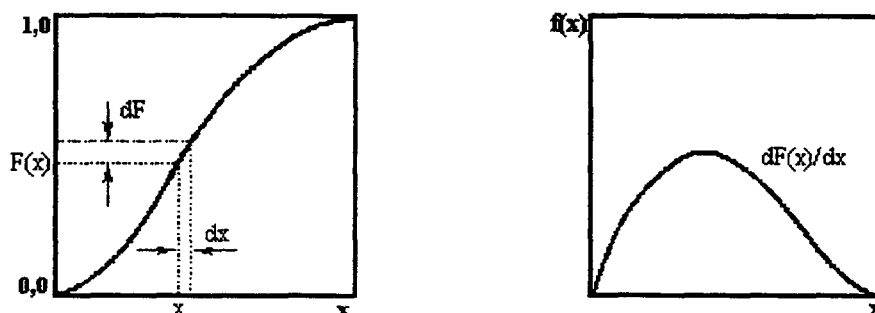


Figura 2.15 - Gráficos de distribuição de frequência e distribuição acumulada (Fonte: Coulson (1991))

Logo, as funções $f(x)$ e $F(x)$ são relacionados pela equação (2.17).

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (2.17)$$

A distribuição do tamanho de partículas pode ser vista mais facilmente num gráfico, onde a mesma apresenta-se na forma de uma “curva de frequência”, tal como mostrado na Figura 2.15, em que a inclinação (dF/dx) da curva acumulada é representada versus o tamanho da partícula (x).

Quando dispõe-se de dados experimentais (tais como uma análise de peneiramento), os mesmos estão na forma discreta. Para estes dados é fácil trabalhar a equação integral na forma discretizada:

$$F_n(x_i) = \sum_{j=1}^i f_n(x_j) \quad (2.18)$$

onde:

$$f_n(x_j) = \frac{n_j}{N} \quad (2.19)$$

sendo:

n_j – o número de partículas na peneira “j”

N – o número de partículas total.

2.6 Eficiência de Separação de Partículas

A maioria dos processos que envolve a separação de partículas não são 100% eficientes. Considerando-se um processo de aeroclassificação de partículas como exemplo, pode-se verificar que um classificador 100% eficiente repassaria toda a fração de material abaixo de determinado tamanho como produto fino; as frações granulométricas superiores a esta seriam reportadas ao fluxo de grossos. Como a operação não é totalmente eficiente, o equipamento deixa passar algumas partículas com granulometria superior ao especificado ao fluxo de finos, assim como permite que partículas finas sejam incorporadas ao fluxo de grossos.

Estes fatos trazem a necessidade da definição de critérios que caracterizem a eficiência de uma operação de separação de partículas.

Considerando-se um equipamento genérico de separação de partículas (Svarovisky, 1981), representado pelo esquema abaixo, tem-se:

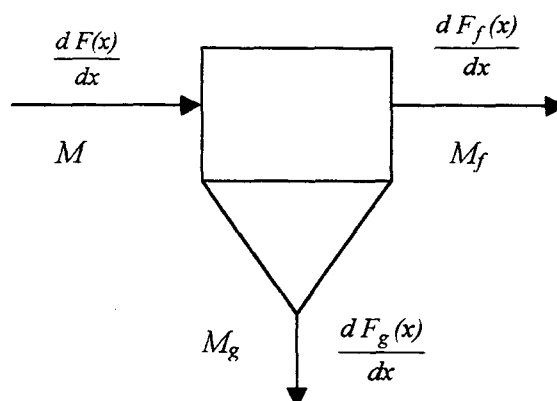


Figura 2.16 – Diagrama esquemático em um separador de partículas onde:

M, M_f, M_g – vazão de sólidos da alimentação, de finos e de grossos, respectivamente.

$dF_i(x)/dx$ – distribuição da frequência de tamanhos da alimentação, dos finos e dos grossos.

Do balanço de material total e por faixa granulométrica, tem-se:

$$M = M_f + M_g \quad (2.20)$$

$$M \cdot \frac{dF(x)}{dx} = M_f \cdot \frac{dF_f(x)}{dx} + M_g \cdot \frac{dF_g(x)}{dx} \quad (2.21)$$

Partindo do equacionamento anterior, é possível definir alguns critérios de eficiência que são normalmente utilizados para avaliar a performance de processos de separação de partículas.

2.6.1 Eficiência total ou recuperação total

É definida como a razão entre o fluxo de grossos e o fluxo da alimentação:

$$E_t = M_g / M \quad (2.22)$$

O desempenho dos equipamentos de separação é altamente dependente do tamanho das partículas. A Eficiência Total “ E_t ” definida pela equação (2.22) depende muito da distribuição dos sólidos alimentados, e conseqüentemente não permite a caracterização da eficiência de um equipamento quando processa materiais diferentes (Svarovisky, 1981).

2.6.2 Grau de eficiência

Se a recuperação em massa for encontrada para cada partícula de tamanho “ x ” da alimentação, é definida uma função que é normalmente independente da distribuição granulométrica dos sólidos, a qual é constante para determinadas condições operacionais.

A função, ou curva assim obtida, tem o formato de um “S”, quando representada graficamente em função do diâmetro da partícula. Esta curva é conhecida como curva do grau de eficiência, curva de eficiência individual, curva de seletividade, curva de partição ou curva de Tromp; que constitui a forma mais adequada para descrever a classificação.

Este conceito foi desenvolvido por Tromp em 1937 e aplicado por Terra, em 1938. Posteriormente foi aprimorado, descrevendo satisfatoriamente a classificação ao atribuir a cada classe de tamanho uma probabilidade de que esta se dirija para a fração grossa (Lima, 1998).

Por definição, o grau de eficiência é definido pela seguinte equação:

$$G(x) = \frac{M_{gx}}{M_x} \quad (2.23)$$

A fração de partículas com um determinado tamanho presente em uma corrente que flui através do separador apresentado na Figura 2.16 é definido por

$$M_{xi} = M_i \frac{dF_i(x)}{dx} \quad (2.24)$$

substituindo-se a equação (2.24) na equação (2.23), obtém-se:

$$G(x) = \frac{M_g \frac{dF_g(x)}{dx}}{M \frac{dF(x)}{dx}} \quad (2.25)$$

A equação (2.25) pode ser definida também, em função das correntes de finos e de grossos que saem do separador de partículas, da seguinte forma:

$$G(x) = \frac{M_g \frac{dF_g(x)}{dx}}{M_g \frac{dF(x)}{dx} + M_f \frac{dF_f(x)}{dx}} \quad (2.26)$$

onde:

$G(x)$ – grau de eficiência

M_i – vazão de sólidos de uma corrente i

M_{xi} – vazão de sólidos da corrente da alimentação de tamanho x

M_{gx} – vazão de sólidos da corrente de grossos de tamanho x

M_x – vazão de sólidos da corrente da alimentação de tamanho x

2.6.3 Diâmetro de corte – x_{50}

Corresponde ao diâmetro da partícula que apresenta igual probabilidade de ser reportada ao fluxo de grossos e ao fluxo de finos. Em outras palavras, apresenta um coeficiente de partição igual a 50% ou grau de eficiência igual a 0,5.

2.6.4 Limite de separação – LS ou x_{98}

Ponto correspondente a 98% de probabilidade da partícula ser reportada ao fluxo de grossos ou grau de eficiência igual a 0,98. Defini-se o ponto a 98% em função da melhor visualização do mesmo na curva de partição, quando comparado a 100% de partição.

A Figura 2.17 representa a curva de partição, para um processo de classificação de partículas, onde estão representados o diâmetro de corte e o limite de separação.

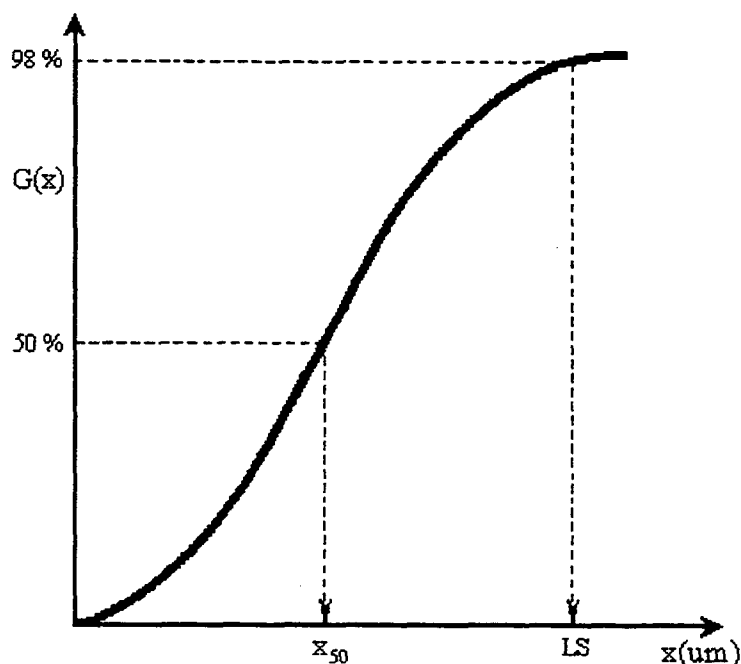


Figura 2.17 - Curva de partição

2.6.5 Índices de precisão

O diâmetro de corte não descreve bem o processo de separação, uma vez que diferentes separações podem apresentar o mesmo valor do x_{50} (Lima, 1998). Portanto é necessário outro parâmetro para definir melhor a eficiência da separação. Este parâmetro pode ser definido de diferentes formas, algumas vezes como a tangente à curva de eficiência, no diâmetro de corte, ou mais freqüentemente, como a razão de dois tamanhos correspondentes a duas porcentagens diferentes sobre a curva do grau de eficiência em ambos os lados do x_{50} .

- **Imperfeição do corte.** Representa o coeficiente angular da reta que une os pontos cuja partição é 25% e 75%. Quanto mais próximo de zero o valor de $I_{25/75}$, melhor a eficiência do processo (Lima, 1998).

$$I_{25/75} = \frac{x_{75} - x_{25}}{2 \cdot x_{50}} \quad (2.27)$$

▪ **Precisão de corte.** Representa a razão de diâmetros das partículas às probabilidades de 25% e a 75%, na curva de eficiência. Valores de $H_{25/75}$ próximos a 1,0 indicam operação eficiente. Como a curva de partição apresenta simetria, é possível estabelecer a precisão de corte em outros padrões de probabilidade, tais como a 20 e 80%, a 35 e 65% e outros menos usuais.

$$H_{25/75} = x_{25}/x_{75} \quad (2.28)$$

2.6.6 Recirculação de finos

A porção inferior da curva de partição deveria passar pela origem, entretanto, em processos reais, tal afirmativa não é verificada. Isto deve-se ao fato de que existem partículas ultrafinas que não sofrem classificação conforme descrito pela curva de partição, sendo distribuídas tanto ao fluxo de finos como ao fluxo de grossos. Este efeito, conhecido como “by-pass” é bastante estudado no projeto de hidrociclones, que é um separador de partículas a úmido; no caso dos aeroclassificadores, poucas informações a respeito estão publicadas.

Existem diferentes modelos para descrever o “by-pass” para o cálculo de hidrociclones. O modelo de Kelsall postula que a fração que não sofre classificação é diretamente proporcional à quantidade de líquido que é descartado juntamente com a fração grossa (Lima, 1998). O desenvolvimento de modelos para previsão do “by-pass” em aeroclassificadores poderá proporcionar maior precisão no projeto de aeroclassificadores.

Fundamentalmente, o “by-pass” não altera de forma significativa a distribuição granulométrica da fração de finos; entretanto, a fração de grossos é alterada, aumentando a razão do fluxo de grossos sobre o fluxo de finos, e diminuindo a recuperação de partículas finas para o fluxo de finos.

Portanto, o “by-pass” passa a ser um parâmetro de eficiência para processos de classificação de partículas. Quanto maior o valor do “by-pass”, menos eficiente será o processo de separação.

2.6.7 Curva de partição corrigida

Para se avaliar somente a ação das forças que proporcionam a classificação das partículas num aeroclassificador, é necessário subtrair o efeito do “by-pass”, ou seja, efeito

da recirculação de finos. No caso de hidrociclones, Kelsall estabeleceu uma equação que corrige a curva de partição real, definindo desta forma a curva de partição corrigida (Lima, 1998). Por conseqüência, haverá um diâmetro de corte corrigido, x_{50c} .

$$G_c(x) = \frac{G(x) - R_f}{1 - R_f} \quad (2.29)$$

Sendo:

$G_c(x)$ – grau de eficiência corrigido

R_f – recuperação de água no fluxo de grossos

A Figura 2.18 representa a curva de partição real, a curva de partição corrigida, bem como o “by-pass” de finos.

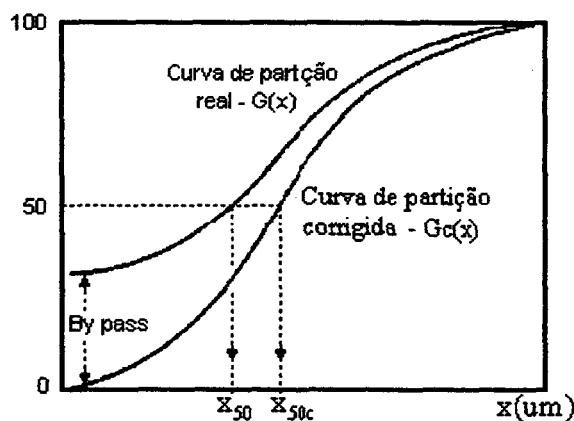


Figura 2.18 - Curvas de partição real e corrigida

2.6.8 Curva de partição reduzida

Através de inúmeras investigações, Lynch e Rao, propuseram uma curva que para um dado material independe das dimensões do equipamento e das condições operacionais. Conseqüentemente, esta curva pode representar uma classe de equipamentos geometricamente similares (da Luz, 1998). A equação do modelo é dada por:

$$G_r(x_i) = \frac{\exp(\alpha \cdot x_i) - 1}{\exp(\alpha \cdot x_i) + \exp(\alpha) - 2} \quad (2.30)$$

sendo $x_i = x/x_{50}$ (2.31)

onde:

α – parâmetro do modelo, representa a inclinação da curva de partição corrigida;

$G_r(x_i)$ – grau de eficiência reduzida ou coeficiente de partição reduzido.

Para separações utilizando hidrociclones, o parâmetro α costuma ficar em torno de 4; para menores valores de α , a eficiência é menor e vice-versa (da Luz et al., 1998).

Plitt (1976), em seus trabalhos, demonstrou que a curva de partição reduzida pode ser representada por uma equação do tipo Rosin-Rammler:

$$G_r(x_i) = 1 - \exp\left(-0,693\left(x_i/x_{50}\right)^\eta\right) \quad (2.32)$$

Nesta equação, o valor de η representa uma medida direta da eficiência da separação. No caso de hidrociclones, valores de η superiores a 3 denotam uma separação eficiente; valores inferiores a 2 significam uma pobre eficiência de separação.

O parâmetro α da expressão de Lynch e Rao, e o parâmetro η da expressão de Plitt podem ser relacionados pela seguinte expressão:

$$\alpha = 1,54 \eta - 0,47 \quad (2.33)$$

A seguir será descrito o procedimento experimental adotado para a obtenção dos resultados deste trabalho.

CAPÍTULO 3

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Metodologia Experimental

Os ensaios experimentais realizados foram estabelecidos conforme as diferentes categorias de aeroclassificadores, ou seja, cada uma das instalações utilizadas caracterizam os principais tipos de aeroclassificadores, já descritos nas seções anteriores deste trabalho.

Os ensaios experimentais foram realizados em instalações industriais de aeroclassificação de partículas, em função de que as mesmas proporcionam maior representatividade dos resultados, quando comparados com protótipos experimentais de pequena escala. Para demonstrar este efeito considerar-se-á dois turboclassificadores geometricamente similares, onde o diâmetro do rotor de um é dez vezes menor do que o do outro. Para que ambos operem com as mesma condições, as velocidades periféricas dos rotores devem ser iguais. Para atender esta restrição, a velocidade de rotação do classificador menor deverá ser dez vezes a do maior. Comparando-se o turboclassificador utilizado nos ensaios experimentais, operando com rotor de 700 mm de diâmetro e rotação de 1160 rpm, com um protótipo de 70 mm, a rotação deste último deverá ser de 11600 rpm, para que a velocidade periférica seja mantida constante. Rotação desta ordem de grandeza constitui uma restrição na montagem de equipamentos em escala laboratorial em função da elevação dos custos envolvidos.

As instalações industriais utilizadas na elaboração deste trabalho são constituídas pelos seguintes tipos de arosetadores: classificador estático do tipo duplo cone, classificador a dispersão, classificador do tipo turbina e um classificador do tipo ciclone.

A utilização de só um tipo de material poderia proporcionar maior representatividade a este trabalho; contudo, as instalações utilizadas não o permitiam, em função dos problemas de contaminação do produto com a utilização de materiais diferentes. Entretanto, as massas específicas destes materiais eram muito próximas, proporcionando comportamentos similares, quando submetidos ao processo de aeroclassificação.

As amostras extraídas nos experimentos sofreram caracterização granulométrica, utilizando a técnica da Difração a Laser, descrita na seção 2.5 desse trabalho.

3.2.1 Ensaio de Separação com Classificador do Tipo Turbina

Descrição da instalação experimental

A instalação experimental opera de forma contínua num circuito fechado de aeroclassificação. Um esquema da unidade experimental pode ser visto na Figura 3.1. A alimentação da unidade é constituída de material previamente moído, que chega continuamente ao classificador (TC) através da descarga de um elevador de canecos (EL).

Do elevador, o material cai por gravidade no aeroclassificador, e sofre classificação pela ação da corrente de ar de circulação proporcionada pelo ventilador centrífugo (VE), que está disposto fora do aeroclassificador e pela ação do rotor do mesmo.

O material classificado como fino é arrastado pela corrente de ar que sai do aeroclassificador com o auxílio do ventilador centrífugo, transportando-o pneumáticamente até o ciclone (CL). Neste último, o material fino é coletado e ensacado continuamente na ensacadeira (ES) disposta na descarga inferior do ciclone.

O fluxo de grossos é descarregado pela saída inferior do aeroclassificador, sendo acondicionado diretamente em “big bags” (BG).

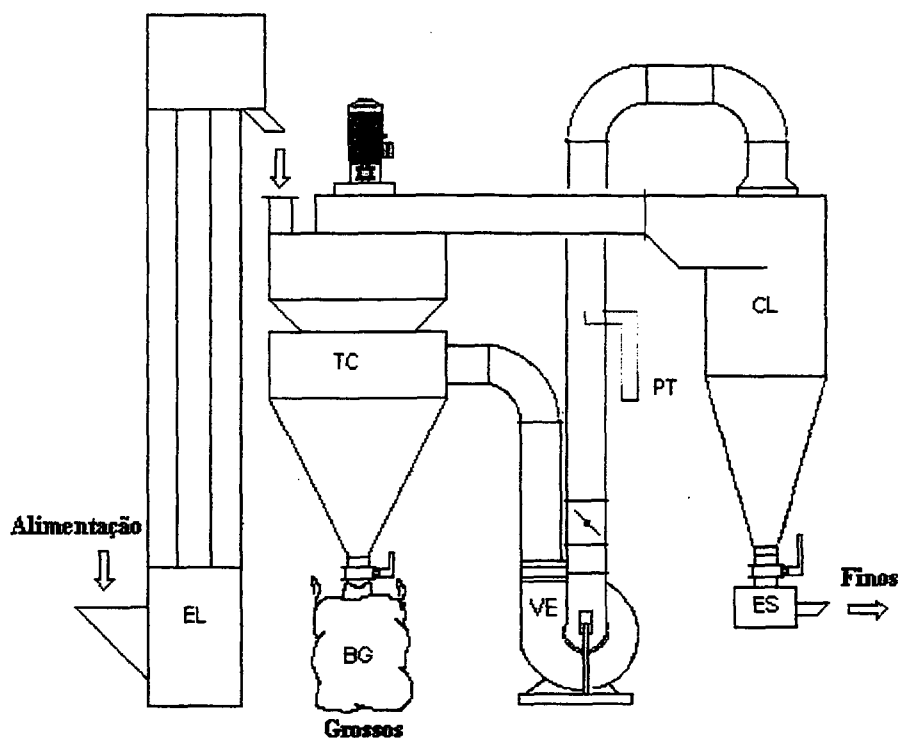


Figura 3.1 - Circuito experimental com turboclassificador

Características técnicas do circuito

- Aeroclassificador:
 - diâmetro externo 1100 mm
 - diâmetro do rotor 700 mm
 - rotação 1160 rpm
 - potência do motor 20 CV - 4 polos
- Ventilador centrífugo:
 - vazão 7500 m³/h
 - potência do motor 30 CV - 4 polos
- Ciclone: diâmetro 1000 mm
- Esquema da zona de separação do classificador, conforme Figura 3.2

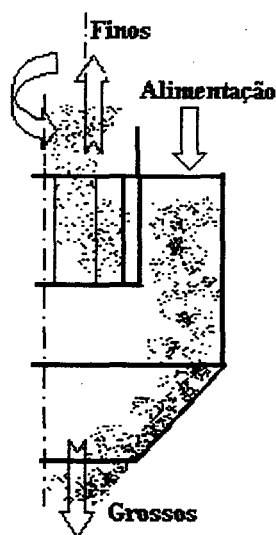


Figura 3.2 - Zona de separação do turboclassificador

Procedimento experimental

O ensaio experimental foi realizado durante cerca de uma hora. Devido ao curto período do teste, todo o material produzido foi acondicionado e as amostras da fração de finos e da fração de grossos foram coletadas destes recipientes. Posteriormente, as mesmas foram preparadas e conduzidas ao laboratório, onde foram analisadas conforme procedimento descrito na seção 2.5 deste trabalho.

Os fluxos de finos e de grossos do circuito de classificação foram pesados ao final da jornada operacional.

Caracterização do material alimentado no classificador

O material empregado neste ensaio de aeroclassificação foi o calcário de conchas marinhas, material originado de sambaquis da região litorânea sul de Santa Catarina.

As amostras foram preparadas e conduzidas ao laboratório, onde a distribuição granulométrica da alimentação e dos produtos foram determinadas pela a técnica da Difração a Laser, conforme descrito na seção 2.5. A massa específica dos real dos sólidos foi também determinada no laboratório, por picnometria.

Massa específica dos sólidos - $2,76 \text{ g/cm}^3$

A distribuição granulométrica do calcário alimentado no classificador está representada na Figura 3.3.

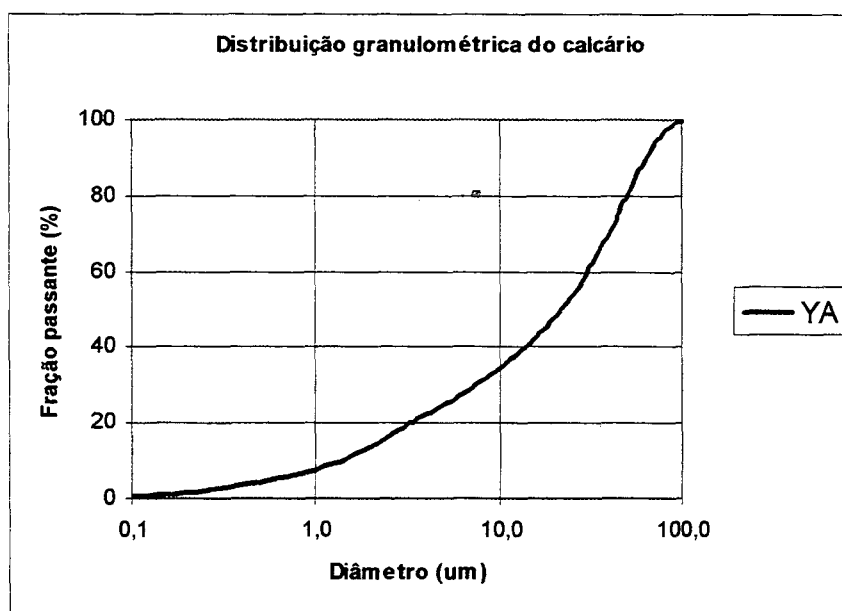


Figura 3.3 – Gráfico da distribuição granulométrica do calcário

Parâmetros de processo

Este tipo de sistema de classificação permite variar a rotação do rotor do aeroclassificador e a variação do fluxo de ar de circulação proporcionado pelo ventilador, através de uma válvula de controle de fluxo.

Estas variáveis não foram manipuladas a fim de não alterar a especificação do material produzido e comercializado pela empresa.

3.2.2 Ensaio de Separação com Classificador à Dispersão

Descrição da instalação experimental

A instalação experimental opera de forma contínua e utiliza um circuito aberto de moagem e classificação, através do alimentador (AL). O material bruto é alimentado no moinho de bolas (MO), que moí o material e descarrega-o continuamente no elevador de canecos (EL). O elevador transfere o material moído continuamente ao classificador à dispersão (CD), que realiza a separação das partículas em dois fluxos: o fluxo de finos e o fluxo de grossos, os quais são acondicionados continuamente em grandes sacos de tecido, conhecidos por “big bags” (BG_i).

A Figura 3.4 representa o circuito de moagem e classificação de partículas descrito anteriormente.

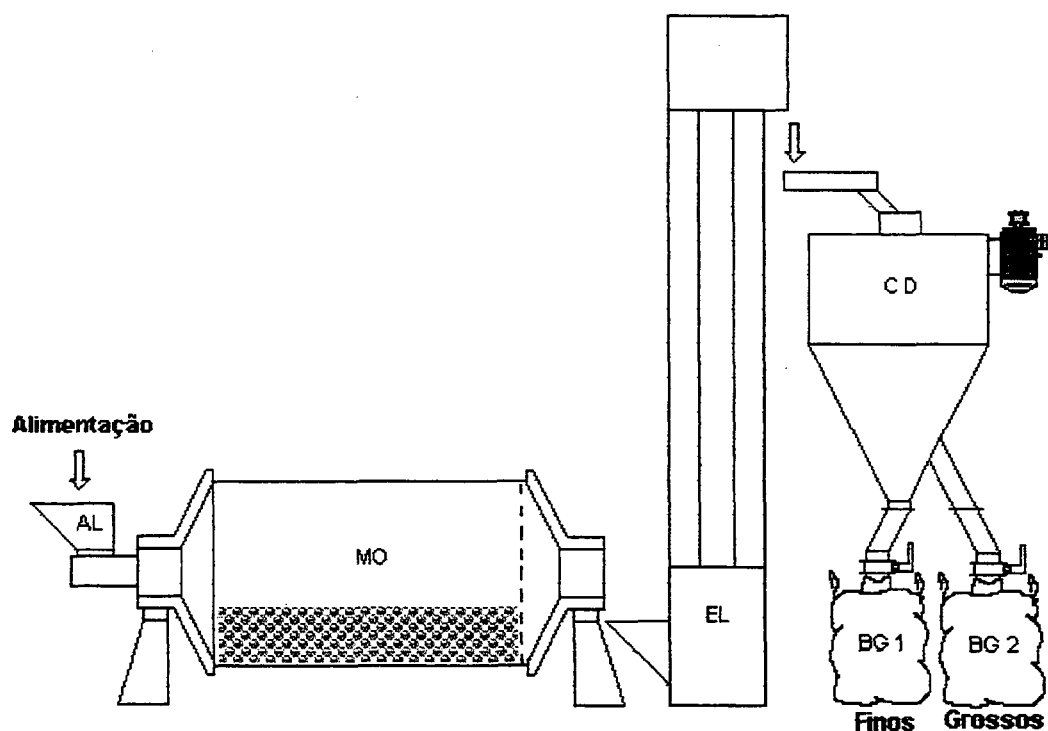


Figura 3.4 - Circuito experimental com classificador à dispersão

Características Técnicas do Circuito

- Aeroclassificador:
 - tipo à dispersão
 - diâmetro externo 1700 mm
 - potência do motor 30 CV - 4 polos
 - rotação do rotor 900 rpm
- Moinho de bolas:
 - diâmetro externo 1900 mm
 - comprimento 4000 mm
 - potência do motor 50 CV - 4 polos
 - bolas de alumina com massa específica de $3,6 \text{ kg/m}^3$
 - diâmetro das bolas entre 20 e 60 mm

Procedimento experimental

O trabalho experimental foi realizado na linha de produção da unidade ilustrada na Figura 3.4, durante a jornada operacional de 10 horas. Foram amostrados os produtos do aeroclassificador de forma intermitente ao longo da jornada operacional, através da coleta de alíquotas em intervalos de 30 minutos. Estas alíquotas constituíram a amostra global do fluxo de finos e do fluxo de grossos, respectivamente.

A quantidade total de finos e de grossos produzida e acondicionada nos “big bags” foi pesada ao final da jornada operacional.

Caracterização do material alimentado no classificador

O material empregado neste ensaio de aeroclassificação foi a areia de quartzo, também conhecida por quartzito, material bastante comum em todo o Brasil.

As amostras foram preparadas e conduzidas ao laboratório, onde a distribuição granulométrica da alimentação e dos produtos foram determinadas pela a técnica da Difração a Laser, conforme descrito na seção 2.5 deste trabalho. A massa específica dos sólidos foi também determinada no laboratório por picnometria.

Massa específica dos sólidos - $2,62 \text{ g/cm}^3$.

A distribuição granulométrica do quartzito alimentado no classificador está representada na Figura 3.5.

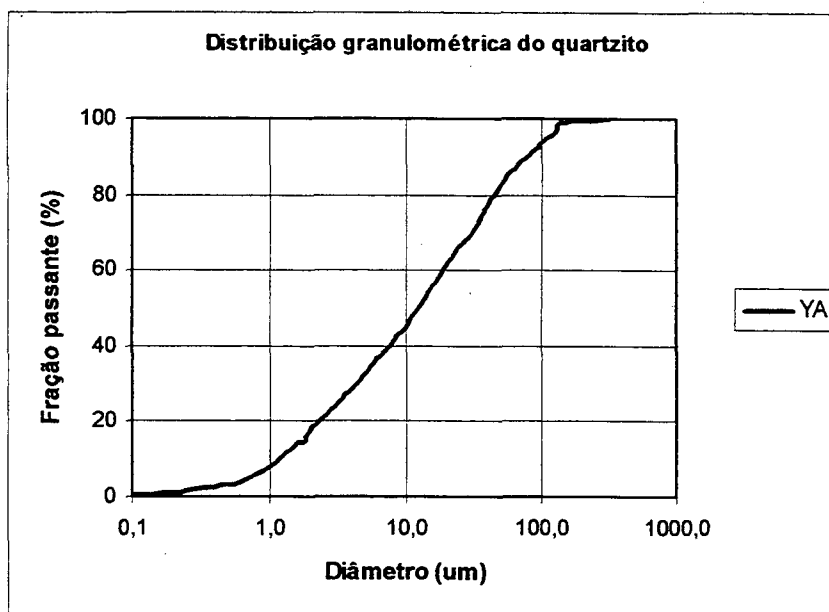


Figura 3.5 – Gráfico da distribuição granulométrica do quartzito

Parâmetros de processo

Os classificadores a dispersão permitem alterar a rotação do rotor e o número de palhetas do mesmo.

No classificador utilizado nos experimentos, estas variáveis foram mantidas constantes, pois ambos os procedimentos requerem paradas operacionais para a sua efetivação, portanto, não sendo possível a realização destes ajustes neste trabalho.

3.2.3 Ensaio com Classificador Estático Tipo Duplo Cone

Descrição do processo experimental

O circuito de classificação utilizado nos ensaios experimentais realizados neste trabalho foi montado de acordo com um circuito aberto. Um esquema da unidade experimental pode ser visto na Figura 3.6. Nesta instalação, o classificador está disposto no início da linha de classificação, a alimentação é realizada através do alimentador de correia

(AL), o qual promove a dosagem do material de forma contínua, para dentro do tubo de entrada do classificador estático (CE).

Depois de classificada, a fração grossa sai do classificador por gravidade e é depositada continuamente na caixa (CX 1).

O material classificado como fino é carregado pelo ar de circulação até o ciclone (CL), que coleta a maior parte do material. A fração de “underflow” coletada no ciclone é depositada continuamente na caixa (CX 2).

A fração ultrafina não coletada no ciclone sai arrastada pelo fluxo ar de circulação provocado pelo ventilador (VE) e passa através do filtro de mangas (FM), de onde praticamente todo o material particulado é coletado e depositado na caixa (CX 3).

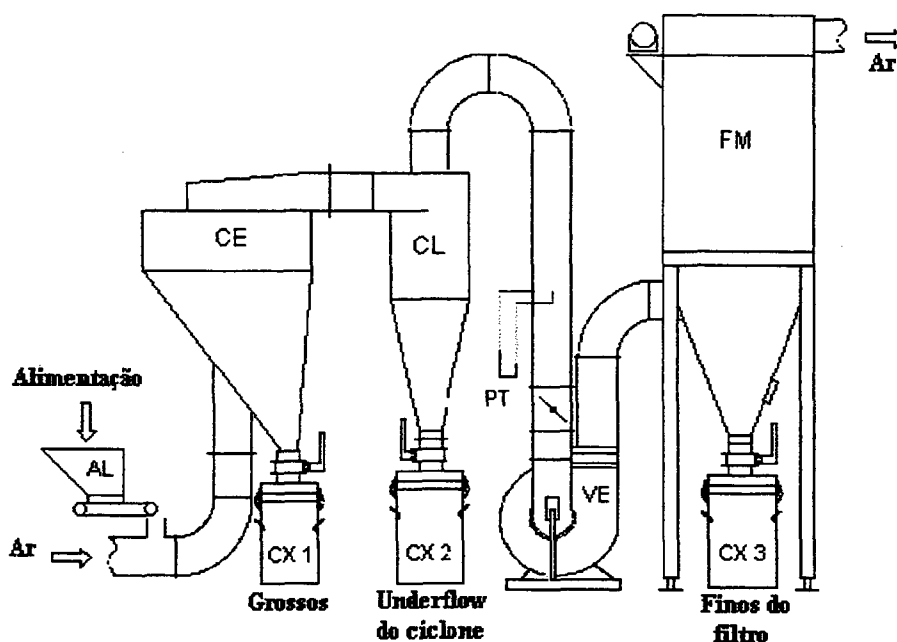


Figura 3.6 - Circuito experimental com classificador estático

Características técnicas do circuito

- classificador estático, do tipo duplo cone possui diâmetro interno de 950 mm;
- ciclone de gás com diâmetro de 500 mm;
- filtro de mangas provido de limpeza automática das mangas por meio de jato de ar pulsante, com mangas de poliéster agulhado com fibras de aço, e área de filtração total de 21,7 m²;

- ventilador centrífugo com capacidade de até 4000 m³/h a 800 mm c.a.;
- um conjunto de alimentação, composto por uma caixa de aproximadamente 500 litros e um alimentador de correia acionado por um motoredutor de ½ CV;
- medidor de velocidade em tubulação do tipo Pitot (PT), instalado conforme o esquema da Figura 3.6;
- caixas para coleta do material classificado;
- válvula do tipo borboleta para controle do fluxo de ar no sistema;

O esquema da Figura 3.7 ilustra a zona de separação do classificador estático utilizado no experimento.

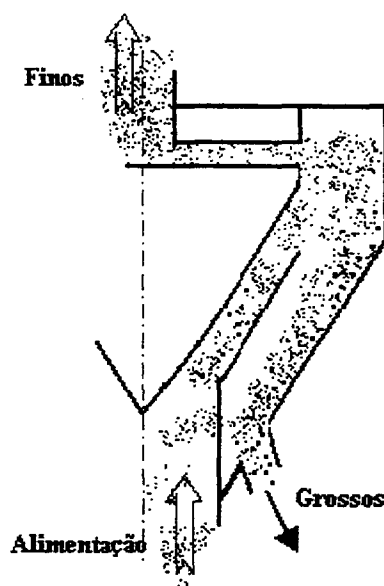


Figura 3.7 - Esquema da zona de separação do classificador estático

Caracterização do material alimentado no classificador

O material empregado neste ensaio de aeroclassificação foi o calcário de conchas marinhas, similar ao utilizado no experimento com o turboclassificador, apresentado na seção 3.2.1 deste trabalho, diferindo apenas na sua distribuição granulométrica.

As amostras foram preparadas e conduzidas ao laboratório, onde a distribuição granulométrica da alimentação e dos fluxos produzidos foram determinadas pela técnica da Difração a Laser, conforme descrito na seção 2.5.

A distribuição granulométrica do calcário alimentado no classificador está representada na Figura 3.8.

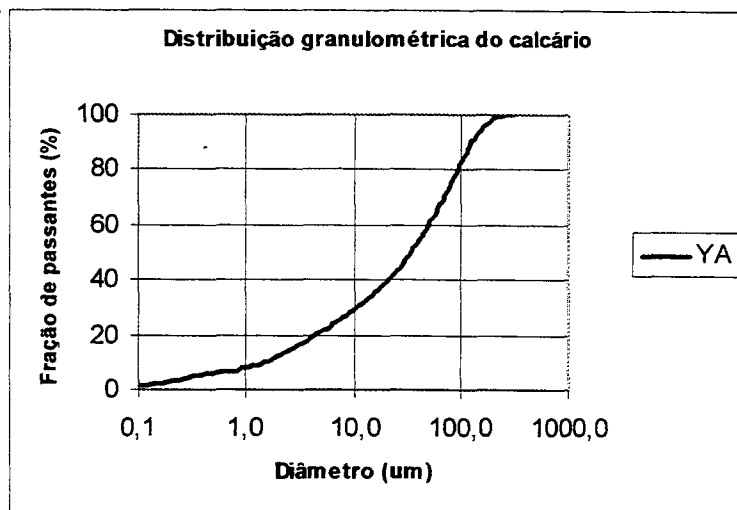


Figura 3.8 – Gráfico da distribuição granulométrica do calcário

Procedimento experimental

O trabalho experimental realizado na unidade de aeroclassificação, descrita anteriormente, baseou-se nos seguintes critérios:

- Procedimento preliminar:
 - inicialmente, o circuito foi colocado em funcionamento, sem alimentação da carga de material particulado;
 - foi estabelecida a curva característica da perda de carga do circuito, através da regulagem da válvula borboleta disposta na sucção do ventilador. Esta operação foi realizada através de um medidor de velocidade em tubulações, do tipo Pitot;
 - estabelecida a curva de perda de carga do sistema, foi realizada uma corrida experimental com alimentação de sólidos particulados, a fim de estabelecer uma faixa de operação para o circuito, ou seja, uma relação de concentração envolvendo massa de sólidos alimentados por volume de ar alimentado;
- Metodologia experimental:
 - Foram realizadas duas corridas experimentais, procurando-se manter a vazão do ar no valor máximo, e de forma constante.

- O tempo de duração de cada teste foi determinado pelo término do material sólido previamente pesado e depositado no alimentador da unidade;
- Ao final de cada teste, foram extraídas amostras representativas do material depositado nas caixas coletoras, que depois de preparadas eram enviadas ao laboratório para análise;
- Os sólidos classificados e depositados nas caixas coletoras foram pesados para determinar o valor das vazões utilizadas;
- Cada corrida experimental partia de aproximadamente 70 kg de material particulado.

Parâmetros de processo

As variáveis manipuladas nos testes realizados foram as seguintes:

- Vazão de ar. O fluxo de ar de circulação foi controlado por meio da regulagem da válvula borboleta instalada a montante do ventilador, cuja medição foi realizada através do tubo de Pitot, instalado conforme indicado na Figura 3.6;
- Vazão de sólidos. Os sólidos foram alimentados no circuito por meio do alimentador de correia, o qual está provido de um sistema de comporta que estrangula a passagem do material alimentado.

3.2.4 Ensaios de Classificação em Ciclone

Descrição do processo experimental

A instalação utilizada para a realização dos ensaios com classificador estático foi a mesma empregada para a realização do ensaio de classificação em ciclone. Neste caso, a alimentação do ciclone foi constituída pela fração fina, descarregada pelo classificador estático, tipo duplo cone.

Os procedimentos experimentais utilizados com classificador do tipo duplo cone e com o ciclone foram os mesmos, entretanto, para avaliar o desempenho do ciclone foi amostrado o fluxo de “underflow”, que constitui o material grosso retido na caixa CX 2. O fluxo de material fino do mesmo foi coletado pelo filtro de mangas FM e depositado na caixa CX 3. Um esquema da unidade experimental está representado pela Figura 3.9.

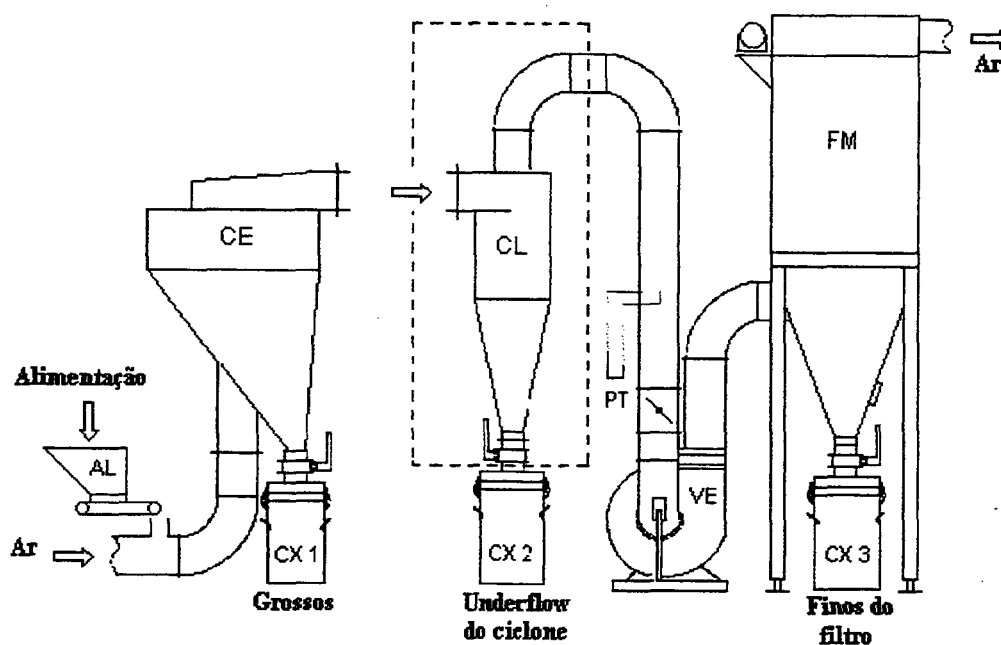


Figura 3.9 - Circuito experimental com ciclone

Para fechamento do balanço material, considerou-se que a recuperação de sólidos no filtro de mangas foi total, uma vez que a eficiência de coleta deste tipo de equipamento é superior a 99%, que é um valor de eficiência confirmado tanto na bibliografia especializada, quanto por fabricantes (Gomide, 1983).

Características técnicas do circuito

- ciclone de gás com diâmetro de 553 mm, diâmetro do vórtex 237 mm, diâmetro do apex 110 mm, altura do vórtex 950 mm, altura da seção cônica 790 mm, diâmetro da seção cilíndrica central 664 mm, altura total das duas seções cilíndricas 1138 mm, área de entrada de $0,0319 \text{ m}^2$. Um esquema do ciclone utilizado no ensaio experimental está representado pela Figura 3.10.
- demais equipamentos, conforme esquema e caracterização do ensaio 3.2.3.

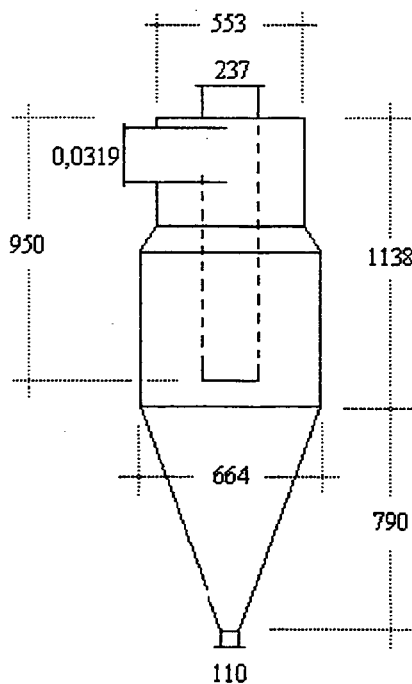


Figura 3.10 - Ciclone

Caracterização do material alimentado no ciclone

O material utilizado no ensaio foi o calcário de conchas, previamente classificado no classificador estático, conforme descrito na seção 3.2.3.

A distribuição granulométrica do material alimentado no ciclone foi obtida através de cálculo do balanço material nos limites deste equipamento, utilizando-se os fluxos de “underflow” do ciclone e do fluxo coletado no filtro de mangas. A distribuição granulométrica do calcário alimentado no ciclone, obtida conforme o procedimento já descrito, está representada na Figura 3.11.

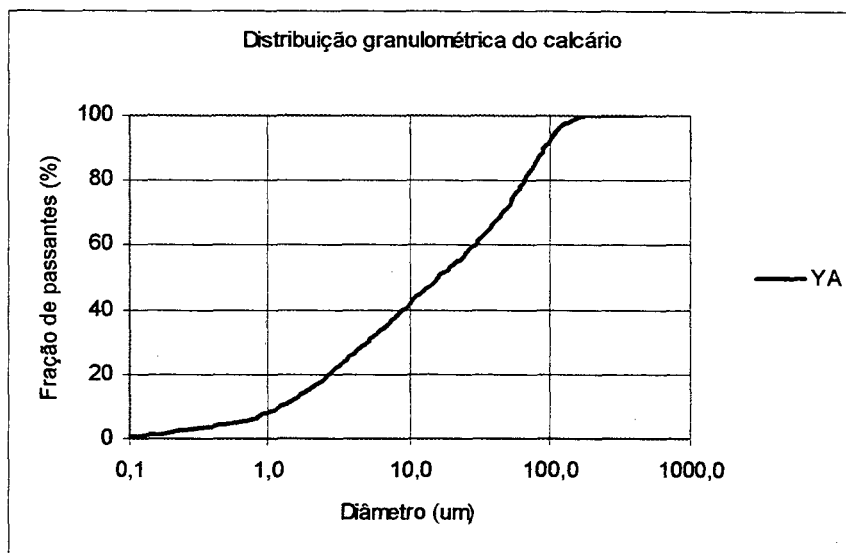


Figura 3.11 – Distribuição granulométrica do calcário alimentado no ciclone

Parâmetros de processo

Os parâmetros de processo tais como: vazão de ar de circulação e a vazão de sólidos alimentados foram as mesmas utilizadas nos testes experimentais com classificador estático, tipo duplo cone.

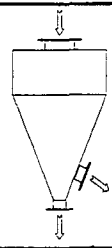
CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tabelas que serão apresentadas no início de cada experimento descrito neste capítulo, contém o resumo dos resultados obtidos dos ensaios experimentais.

Os parâmetros operacionais e de eficiência utilizados para avaliar os resultados experimentais obtidos estão definidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela demonstrativa dos ensaios

Fluxo	Alimentação	Fino	Grosso		
M (kg/h)					
Et (%)					
X ₉₅ (um)					
x (um)	Y _A	Y _F	Y _G	G(x)	G _c (x)

Sendo:

M – vazão mássica da corrente da alimentação, dos finos e dos grossos [kg/h]

Q – vazão volumétrica do ar e sólidos da alimentação, dos finos e dos grossos [m³/h]

E_t – eficiência total em cada corrente [%]

X_{95} – tamanho da partícula onde 95% da massa da amostra é passante ou menor [μm]

x – tamanho da partícula [μm]

Y_A – porcentagem de massa menor que um determinado tamanho x na alimentação

Y_F – porcentagem de massa passante ou menor que um determinado tamanho x nos finos

Y_G – porcentagem de massa passante ou menor que um determinado tamanho x nos grossos

$G(x)$ e $G_c(x)$ – grau de eficiência e grau de eficiência corrigido, respectivamente.

Os índices Y_A , Y_F e Y_G , são correspondentes à distribuição de frequência acumulada $F(x)$ da representação diferencial da distribuição de tamanhos das partículas, descritas na seção 2.5.3. Estas porcentagens de massa passante foram obtidas da amostragem realizada nos experimentos e analisadas conforme a técnica descrita na seção 2.5 deste trabalho.

4.1 Resultados dos Ensaio de Classificação com Turboclassifier

Os resultados obtidos utilizando-se o turboclassifier conforme a montagem experimental ilustrada na Figura 3.1, e utilizando os procedimentos descritos na seção 3.2.1, são representados Tabela 4.

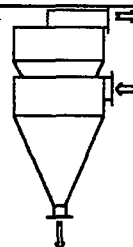
Observando-se a Tabela 4, pode-se constatar que os diâmetros das partículas correspondentes a 95% de passantes da alimentação, da fração de finos e da fração de grossos X_{95} , apresentaram valores bem distintos. Esta característica veio indicar que a separação das partículas foi efetiva.

A distribuição granulométrica do fluxo de finos não apresentou material retido em 30 μm , enquanto que os fluxos da alimentação e dos grossos apresentaram retenção de partículas a diâmetros pouco superior a 100 μm , confirmando a classificação das partículas.

Tabela 4 – Resultados do ensaio experimental com turboclassifier

Fluxo	Alimentação	Fino	Grosso
M (kg/h)	598,2	204,0	394,2
Q (m ³ /h)	7500	7500	-
Et (%)	100,0	34,1	65,9
X_{95} (μm)	74,1	19,2	76,1

x (μm)	Y_A	Y_F	Y_G	G(x)	$G_c(x)$
80	96,89	100,00	96,41	1,000	1,000
75	95,37	100,00	94,60	1,000	1,000
71	93,84	100,00	92,76	1,000	1,000
30	59,95	100,00	46,22	1,000	1,000
28	57,68	99,88	42,86	0,988	0,981
20	48,18	96,00	29,88	0,809	0,706
19	46,93	94,73	28,39	0,771	0,648
18	45,67	93,20	26,93	0,733	0,589
17	44,38	91,41	25,52	0,694	0,529
16	43,06	89,32	24,15	0,653	0,466
15	41,72	86,94	22,85	0,611	0,401
10	34,38	71,42	17,29	0,453	0,158
5	24,75	50,51	12,69	0,352	0,003



A Figura 4.1 apresenta a distribuição granulométrica acumulada da alimentação Y_A , dos finos Y_F e dos grossos Y_G , a fim de facilitar a análise dos resultados apresentados na Tabela 4. O gráfico dessa figura foi extraído dos resultados das análises granulométricas dos produtos amostrados, os quais podem ser observados integralmente no Apêndice 1.

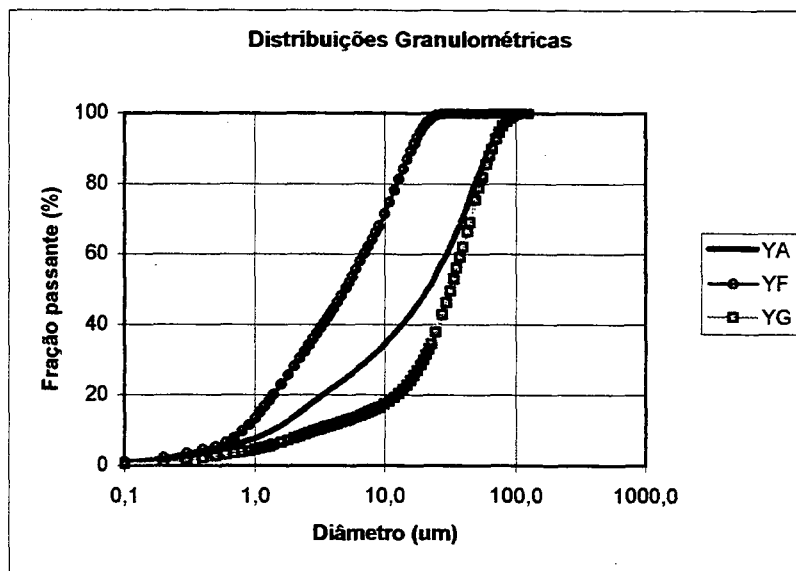


Figura 4.1 – Distribuição granulométrica da alimentação, dos finos e dos grossos, do ensaio com turboclassificador

A capacidade $M(\text{kg/h})$ apresentada pela instalação experimental situou-se próxima de 600 kg/h , com uma eficiência total ou recuperação total $E_t(\%)$ de $65,9\%$ para o fluxo de grossos. O valor da eficiência total foi obtida através da equação (2.22).

A vazão volumétrica do ar de circulação $Q(\text{m}^3/\text{h})$ utilizada no ensaio experimental foi de $7500 \text{ m}^3/\text{h}$. Este valor foi obtido através da medida da velocidade na tubulação de circulação do ar através de um tubo de Pitot, instalado conforme apresentado Figura 3.1, e multiplicado pela área de seção reta da tubulação.

A partir das análises granulométricas dos fluxos envolvidos no processo e da eficiência total, foi determinada a curva de partição real $G(x)$ do equipamento experimental, também conhecida por eficiência individual de separação, através da equação (2.25).

O gráfico apresentado na Figura 4.2 ilustra os coeficientes de partição, representados pelas funções $G(x)$ e $G_c(x)$ para cada diâmetro de partícula correspondente.

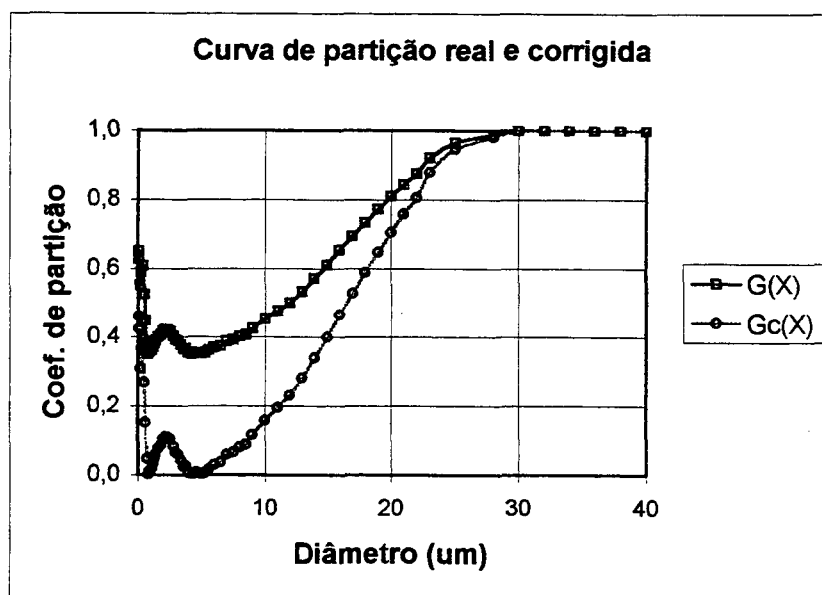


Figura 4.2 – Curva de partição real e curva de partição corrigida do ensaio com turbo classificador

Os índices de eficiência que avaliam o desempenho do equipamento de aeroseparação são obtidos através da Figura 4.2 ou da Tabela 4, os quais estão definidos nas seções 2.6.3, 2.6.4 e 2.6.5. Os resultados do ensaio experimental estão apresentados a seguir:

- O limite de separação x_{98} apresentado foi de 27 μm , que corresponde ao diâmetro cujo coeficiente de partição é igual a 98%.
- O diâmetro de corte x_{50} apresentado foi de 12 μm , diâmetro correspondente a um coeficiente de partição de 50%.
- Para determinar a precisão de corte $H_{25/75}$ foi necessário extrapolar a curva de partição, onde foi obtido um índice de 0,326. Este procedimento deveu-se a que a curva de partição real não apresentou coeficientes de partição inferiores a 0,4. Esta característica é devida à recirculação de finos, efeito que será discutido nos próximos itens deste trabalho. Uma forma alternativa para determinar este parâmetro é através da determinação da precisão em outros padrões de coeficientes de partição, como a $H_{35/65}$. A precisão de corte obtida com este novo padrão foi de 0,313, demonstrando assim, valores praticamente coincidentes.

- Imperfeição de corte $I_{25/75}$. Da mesma forma, por extrapolação da curva ou tomando-se a metade do segmento da curva de partição, foi obtido o valor de 0,533 para a imperfeição do corte.
- A recirculação de finos ou “by-pass” foi determinada de acordo com a seção 2.6.8 deste trabalho, e apresentou um valor estimado de 35%.

Com base nos índices de eficiência apresentados no ensaio experimental, verificou-se que o classificador do tipo turbina separou praticamente todas as partículas maiores do que $27\ \mu\text{m}$ e apresentou um diâmetro de corte de $12\ \mu\text{m}$.

Em função da grande presença de material ultrafino no calcário alimentado, conforme demonstrado na Figura 4.1, verificou-se que houve um grande percentual de recirculação dos finos. Este fato é justificado pela faixa de operação do turboclassificador encontrar-se numa região de tamanhos de partículas consideravelmente pequenas, para as quais a ação das forças responsáveis pela separação foram insuficientes para realizá-la.

Observando-se a Figura 4.2, pode-se verificar uma elevação dos coeficientes de partição à medida que o diâmetro da partícula diminui na região de menor tamanho de partícula, sendo que este efeito contraria o balanço material do processo, nas respectivas faixas granulométricas. A causa do efeito apresentado é devido à quebra de uma fração de partículas pela ação do choque violento contra o rotor do classificador, que constitui o elemento de rejeição do mesmo (Ring et al., 1976).

Para corrigir-se o efeito do “by-pass” na curva de partição real, foi determinada a curva de partição corrigida através do procedimento descrito na seção 2.6.7, a qual está representada na Figura 4.2, pela curva $G_c(x)$. Com este procedimento determinou-se somente o efeito das forças de separação sobre as partículas alimentadas.

A partir da curva de partição corrigida ou curva de eficiência individual de separação corrigida verificou-se que o limite de separação corrigido x_{98} foi de $27\ \mu\text{m}$ e o diâmetro de corte corrigido x_{50c} foi de $16,5\ \mu\text{m}$. Observou-se também, uma pequena diferença entre os limites de separação real e corrigido; este fato deve-se a que ambos os limites situarem-se na região de coeficientes de partição próximos à unidade, onde estão os maiores diâmetros de partículas. Já o diâmetro de corte corrigido apresentou uma variação de cerca de 37% em relação ao real, confirmando o forte efeito do “by-pass”.

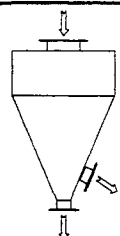
Os coeficientes de partição real e corrigido estão apresentados na Tabela 4.

O índice de precisão obtido $H_{25/75}$ apresentou-se abaixo dos valores encontrados na literatura, o qual normalmente situa-se entre 0,5 e 0,8. Este fato deveu-se a que o material alimentado foi constituído de partículas consideravelmente finas, acentuando-se desta forma o efeito do “by-pass”.

4.2 Resultados dos Ensaio com Aeroclassificador a Dispersão

Os resultados obtidos utilizando-se o classificador a dispersão, conforme a montagem experimental ilustrada na Figura 3.4, utilizando os procedimentos descritos na seção 3.2.2, são representados Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados do ensaio experimental com classificador a dispersão

Fluxo	Alimentação	Fino	Grosso				
M (kg/h)	275,0	220,0	55,0				
Et (%)	100,0	80,0	20,0				
X_{95} (um)	112,2	46,5	150,0				
x (um)	Y_A	Y_F	Y_G	G(x)	$G_c(x)$		
125	96,31	100,00	81,55	1,0000	1,0000		
112	94,98	100,00	74,91	1,0000	1,0000		
100	93,44	100,00	67,21	1,0000	1,0000		
71	88,58	100,00	42,88	1,0000	1,0000		
66	87,57	99,85	38,43	0,8812	0,8794		
63	86,88	99,64	35,84	0,7551	0,7514		
60	86,12	99,32	33,34	0,6614	0,6562		
56	84,95	98,64	30,19	0,5366	0,5296		
53	83,87	97,83	28,02	0,4011	0,3920		
50	82,60	96,74	26,03	0,3134	0,3029		
45	80,02	94,24	23,15	0,2236	0,2118		
40	76,84	90,83	20,87	0,1313	0,1181		
34	72,44	85,82	18,90	0,0757	0,0616		
30	69,41	82,26	17,99	0,0557	0,0413		
10	44,87	52,41	14,71	0,0285	0,0137		
5	32,49	37,61	12,03	0,0510	0,0365		
1	7,86	9,02	3,21	0,0646	0,0503		

Observando-se a Tabela 5, pode-se constatar que os diâmetros das partículas correspondentes a 95% de passantes da alimentação, da fração de finos e da fração de

grossos apresentou valores bem distintos. Esta característica veio indicar que a separação das partículas foi efetiva, conforme pode ser verificado na linha X_{95} , da referida tabela.

A Figura 4.3 apresenta a distribuição granulométrica acumulada da alimentação Y_A , da fração de finos Y_F e da fração de grossos Y_G . As Tabelas do Apêndice 2, apresentam os dados de forma integral.

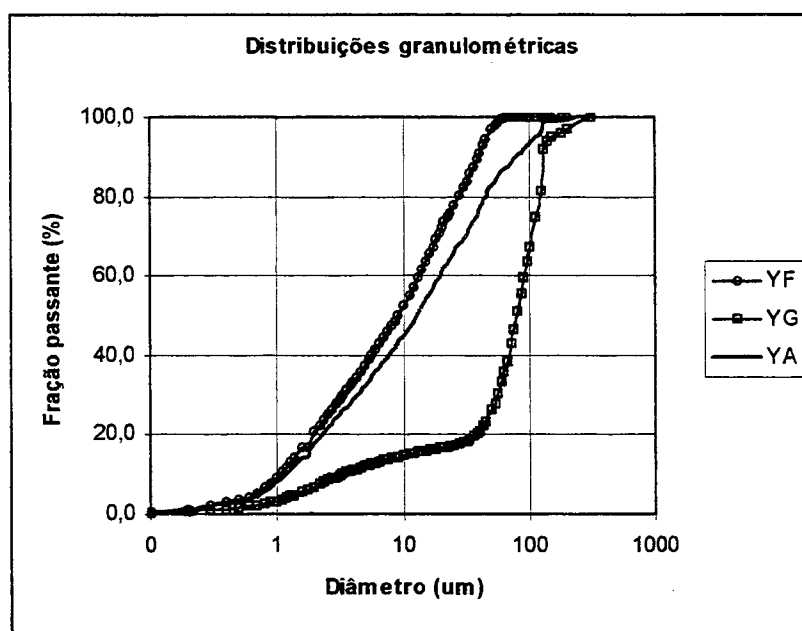


Figura 4.3 – Distribuição granulométrica da alimentação, dos finos e dos grossos do ensaio com classificador a dispersão

A distribuição granulométrica da alimentação foi obtida através do balanço material realizado nos limites do aeroclassificador, uma vez que não foi possível a obtenção de amostras representativas deste fluxo.

A capacidade $M(\text{kg/h})$ da instalação experimental foi de 275 kg/h de material alimentado, com eficiência total $E_t(\%)$ de 20,0% para o fluxo de grossos, utilizando-se a equação (2.22).

A eficiência individual de coleta $G(x)$ ou curva de partição foi determinada conforme o procedimento descrito na seção 2.6.2, e está apresentada na Figura 4.4.

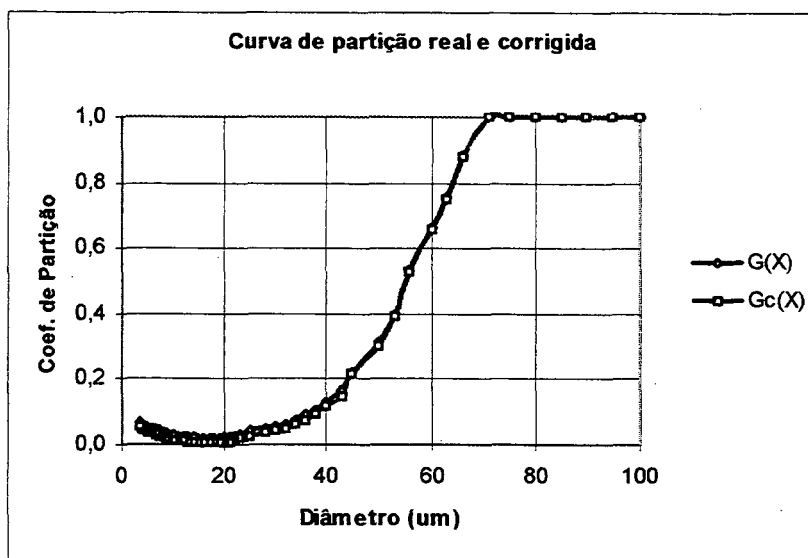


Figura 4.4 – Curva de partição real e curva de partição corrigida do ensaio com classificador a dispersão

Com base no gráfico da Figura 4.4 e na Tabela 5, foram obtidos os índices de eficiência, cujos resultados estão apresentados a seguir:

- Com base nos índices de eficiência apresentados no ensaio experimental, verificou-se que o classificador a dispersão separou praticamente todas as partículas maiores do que 70,2 μm , que corresponde ao limite de separação x_{98} . O diâmetro de corte x_{50} obtido ficou em 55,2 μm ;
- Para determinar a precisão de corte $H_{25/75}$ utilizou-se os dados da Figura 4.4, para que fossem obtidos os diâmetros de partícula correspondentes a 25 e 75%. Este procedimento foi necessário devido à dispersão dos dados. O resultado obtido foi de 0,74.
- O índice de imperfeição de corte $I_{25/75}$ foi de 0,147;
- Observando-se a curva de partição real verificou-se que mesma tende a zero na região de pequenos diâmetros, indicando desta forma um pequeno valor para o “by-pass” de finos. Consequentemente, verificou-se através da Figura 4.4 a superposição da curva de partição real com a curva de partição corrigida. O valor do “by-pass” apresentado no ensaio foi de 1,5%.

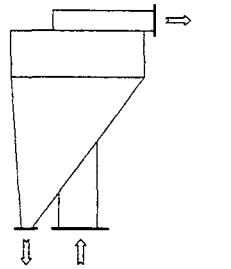
Os coeficientes de partição real e corrigido estão apresentados na Tabela 5 e podem ser observados integralmente no Apêndice 2 deste trabalho.

O valor obtido para o índice de precisão $H_{25/75}$ foi de 0,74. A faixa de valores encontrados na literatura situa-se entre 0,5 e 0,8, para classificadores dinâmicos similares ao utilizado neste ensaio. Este parâmetro indicou uma boa condição operacional da instalação experimental.

4.3 Resultados dos Ensaios com Aeroclassificador Estático

Os resultados obtidos utilizando-se o classificador estático conforme a montagem experimental ilustrada na Figura 3.6, e utilizando os procedimentos descritos na seção 3.2.3 são representados Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados do ensaio experimental com classificador estático

Fluxo	Alimentação	Fino	Grosso		
M (kg/h)	742,0	563,1	178,9		
Q (m ³ /h)	2800	2800	-		
Et (%)	100,0	75,9	24,1		
X ₉₅ (um)	157,2	146,4	187,5		
x (um)	Y _A	Y _F	Y _G	G(x)	G _c (x)
250	99,74	100,00	98,71	0,769	0,734
240	99,62	100,00	98,38	0,663	0,612
224	99,31	99,82	97,69	0,536	0,467
212	98,95	99,57	97,00	0,462	0,382
200	98,47	99,21	96,14	0,432	0,347
190	97,94	98,79	95,26	0,400	0,311
180	97,27	98,24	94,20	0,381	0,289
160	95,36	96,62	91,39	0,353	0,257
150	94,06	95,50	89,54	0,343	0,245
100	82,52	85,34	73,65	0,319	0,218
50	60,48	65,06	46,06	0,272	0,164
30	47,37	52,09	32,50	0,233	0,118
20	39,18	43,43	25,81	0,176	0,053

Observando-se a Tabela 6, pode-se constatar que os diâmetros das partículas correspondentes a 95% de passantes da alimentação, da fração de finos e da fração de grossos, apresentaram valores distintos. Esta característica veio indicar que ocorreu

separação das partículas; contudo, para uma faixa maior de tamanhos de partículas, conforme pode ser verificado na linha X_{95} , da referida tabela.

Analisando-se a Figura 4.5, a qual apresenta a distribuição granulométrica acumulada da alimentação, da fração de finos e da fração de grossos, verificou-se que as curvas da distribuição granulométrica estão mais próximas umas das outras. Este fato indica uma separação de partículas menos eficiente, e ocorrendo numa região de maior diâmetro de partículas.

A distribuição granulométrica da fração de finos foi obtida através do balanço material realizado nos limites do aeroclassificador, uma vez que não foi possível a obtenção de amostras representativas deste fluxo.

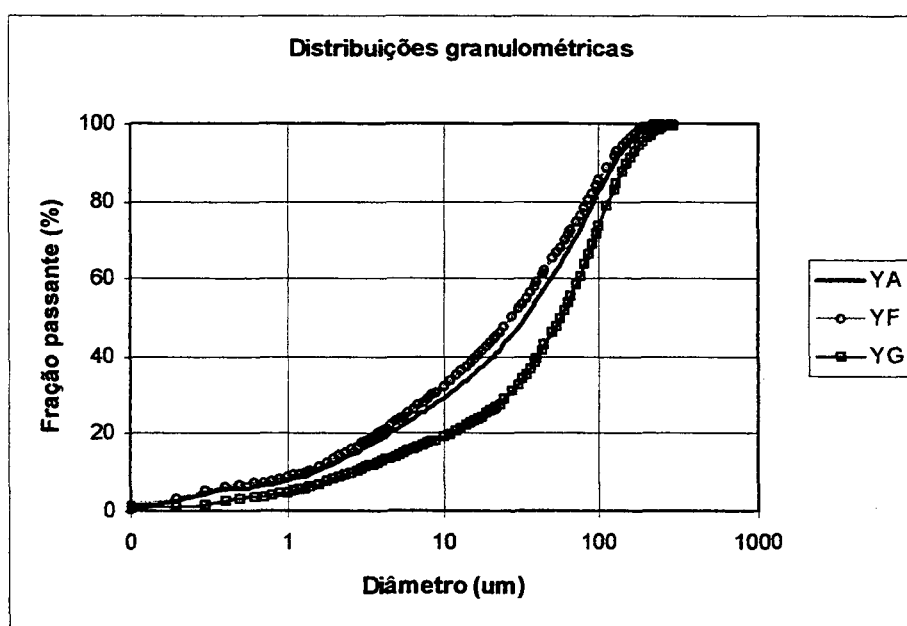


Figura 4.5 – Distribuição granulométrica da alimentação, dos finos e dos grossos do ensaio com classificador estático

A capacidade $M(\text{kg/h})$ da instalação experimental foi de 742 kg/h de material alimentado, com eficiência total $E_t(\%)$ de 24,1% para o fluxo de grossos.

A eficiência individual de coleta $G(x)$ ou curva de partição foi determinada conforme o procedimento descrito na seção 2.6.2, e encontra-se representada na Figura 4.6.

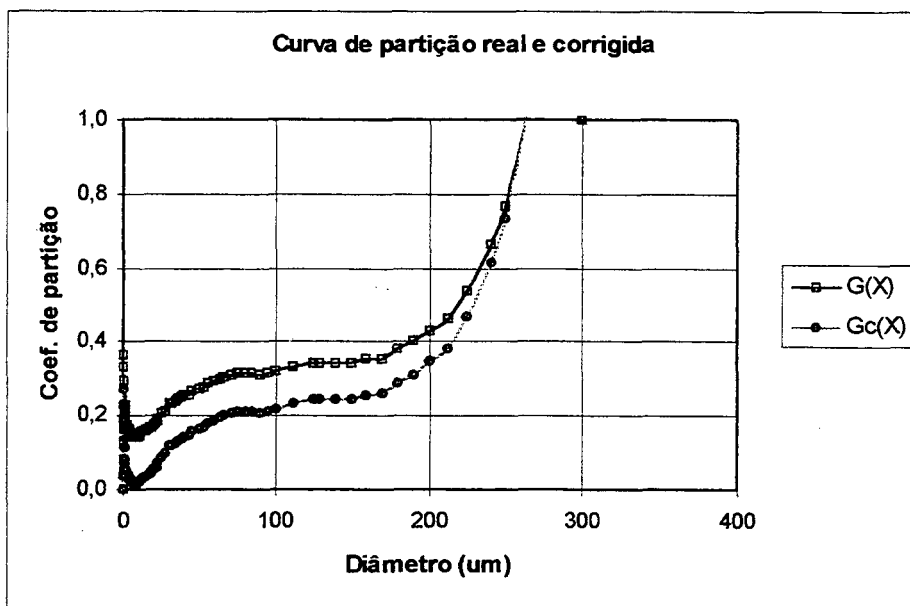


Figura 4.6 – Curva de partição real e curva de partição corrigida do ensaio com classificador estático

A partir dos dados da Figura 4.6 e da Tabela 6, foram obtidos os índices de eficiência, cujos resultados estão apresentados a seguir:

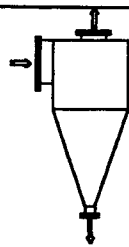
- Com base nos índices de eficiência apresentados no ensaio experimental, verificou-se que o classificador estático separou praticamente todas as partículas maiores do que 260 μm , que corresponde ao limite de separação x_{98} . O diâmetro de corte x_{50} obtido ficou em 218,2 μm .
- Para determinar a precisão de corte $H_{25/75}$ utilizou-se a Tabela 6 e o Apêndice 3, para que fossem obtidos os diâmetros de partícula correspondentes a 25 e 75% de partição. O resultado obtido foi de 0,153.
- O índice apresentado pela imperfeição de corte $I_{25/75}$, de acordo com o procedimento descrito na seção 2.6.5, foi de 0,482.
- A recirculação de finos ou “by-pass” apresentou um valor estimado de 13,0%, o qual foi determinado de acordo com a seção 2.6.8 deste trabalho. Com a curva de partição corrigida determinou-se o limite de separação e o diâmetro de corte corrigidos, os quais, respectivamente são, 260 μm e 227,6 μm .
- Os coeficientes de partição real e corrigido estão apresentados na Tabela 6 e podem ser observados integralmente no Apêndice 3 deste trabalho.

O índice de precisão obtido $H_{25/75}$ apresentou um baixo valor, caracterizando uma pobre precisão de separação, valor que foi confirmado de forma inversa pelo índice de imperfeição, ou seja, o valor da precisão de separação $H_{25/75}$ é inverso ao valor do índice de imperfeição $I_{25/75}$.

4.4 Resultados dos Ensaio com Ciclone

Os resultados obtidos utilizando-se o ciclone conforme a montagem experimental ilustrada na Figura 3.6, e utilizando os procedimentos descritos na seção 3.2.4, são representados Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados do ensaio experimental com ciclone

Fluxo	Alimentação	Fino	Grosso		
M (kg/h)	563,1	158,0	405,1		
Q (m3/h)	2850	2850	-		
Et (%)	100,0	28,1	71,9		
X_{95} (um)	113,5	15,3	122,7		
x (um)	Y_A	Y_F	Y_G	$G(x)$	$G_c(x)$
130	97,38	100,00	96,36	1,0000	1,0000
125	96,79	100,00	95,53	1,0000	1,0000
112	94,74	100,00	92,68	1,0000	1,0000
100	92,06	100,00	88,96	1,0000	1,0000
30	60,05	100,00	44,43	1,0000	1,0000
28	58,75	99,96	42,63	0,9914	0,9875
25	56,76	99,80	39,91	0,9775	0,9674
20	53,17	98,62	35,40	0,8551	0,7900
19	52,38	98,13	34,49	0,8261	0,7479
17	50,64	96,74	32,62	0,7570	0,6478
16	49,68	95,79	31,65	0,7231	0,5987
15	48,64	94,64	30,65	0,6898	0,5504
14	47,50	93,26	29,60	0,6605	0,5080
10	41,82	84,92	24,94	0,5524	0,3513
8,5	39,03	80,18	22,94	0,5027	0,2793
8	37,99	78,31	22,23	0,4926	0,2647
5	29,84	61,95	17,28	0,3965	0,1253
2	15,49	30,33	9,69	0,3817	0,1039
1	8,07	13,20	6,07	0,3264	0,0638

Observando-se a Tabela 7, pode-se constatar que os diâmetros das partículas correspondentes a 95% de passantes da alimentação, da fração de finos e da fração de grossos, apresentaram valores bem distintos. Esta característica veio indicar que a separação das partículas foi efetiva, conforme pode ser verificado na linha X_{95} , da referida tabela.

A distribuição granulométrica do fluxo de finos não apresentou material retido em 30 μm , enquanto que os fluxos da alimentação e da fração de grossos apresentaram retenção de partículas a diâmetros pouco superiores a 200 μm .

A capacidade $M(\text{kg/h})$ da instalação experimental foi de 563,1 kg/h de material alimentado, com eficiência total $E_t(\%)$ de 71,9% para o fluxo de grossos, utilizando-se a equação (2.22).

A vazão volumétrica do ar $Q(\text{m}^3/\text{h})$ utilizado no ensaio experimental foi de 2850 m^3/h . Este valor foi obtido através da medida da velocidade na tubulação de circulação do ar através de um tubo de Pitot, instalado conforme apresentado na Figura 3.1, e multiplicando-se pela área de seção reta transversal da tubulação.

A Figura 4.7 apresenta a distribuição granulométrica acumulada da alimentação, da fração de finos e da fração de grossos. As tabelas do Apêndice 4 apresentam os dados de forma integral.

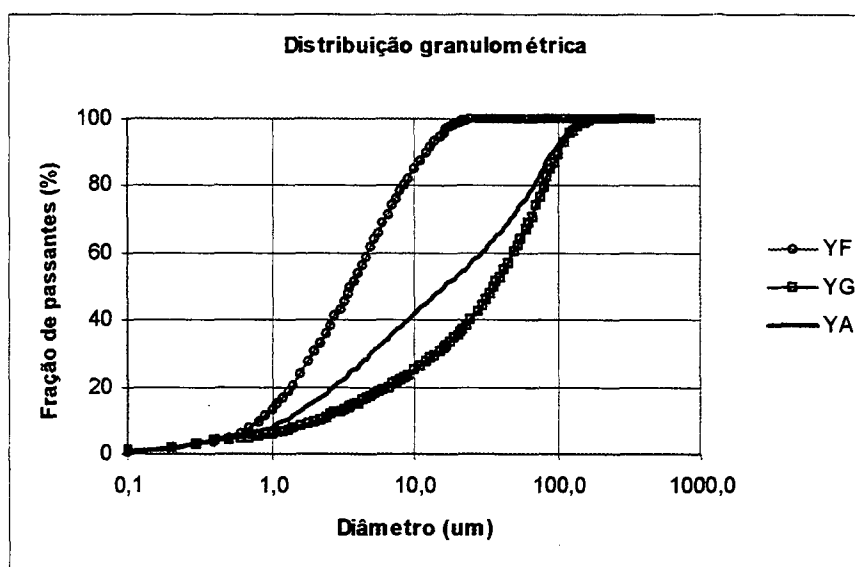


Figura 4.7 – Distribuição granulométrica da alimentação, dos finos e dos grossos do ensaio com ciclone

A distribuição granulométrica da alimentação foi obtida através do balanço material realizado nos limites do ciclone, uma vez que não foi possível a obtenção de amostras representativas deste fluxo.

A eficiência individual de coleta $G(x)$ ou curva de partição foi determinada conforme o procedimento descrito na seção 2.6.2, e encontra-se representada na Figura 4.8.

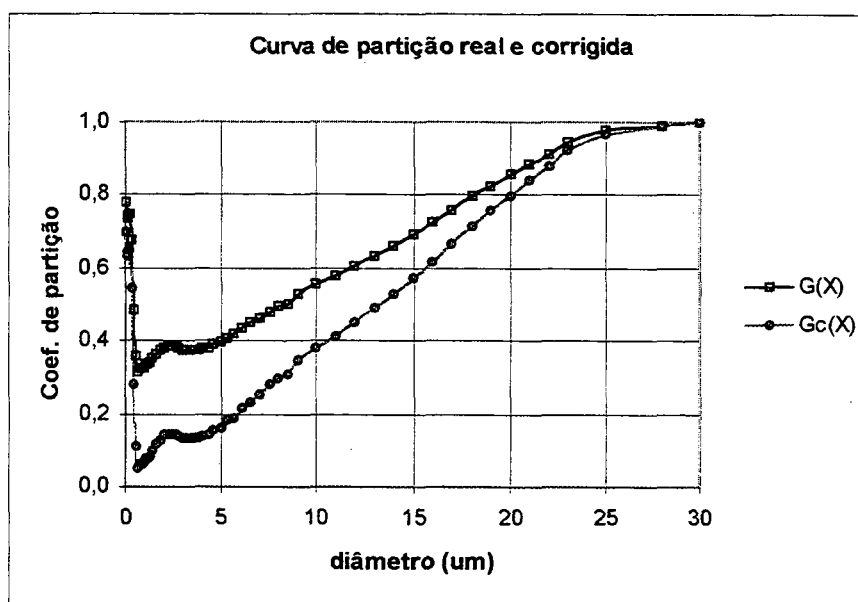


Figura 4.8 – Curva de partição real e curva de partição corrigida do ensaio com ciclone

A partir dos dados da Figura 4.8 e da Tabela 7, foram obtidos os índices de eficiência, cujos resultados estão apresentados a seguir:

- Com base nos índices de eficiência apresentados no ensaio experimental, verificou-se que o ciclone separou praticamente todas as partículas maiores do que 25,5 μm , que corresponde ao limite de separação x_{98} . O diâmetro de corte x_{50} obtido foi de 8,5 μm ;
- Para determinar a precisão de corte $H_{25/75}$ seria necessário extrapolar a curva de partição. Para evitar este procedimento, foi estabelecida a precisão de corte a partir dos coeficientes de partição em 35 e 65%. Com estes índices, o valor da precisão de corte $H_{35/65}$ apresentado foi de 0,103, o qual é similar ao $H_{25/75}$;
- O índice apresentado pela imperfeição de corte $I_{25/75}$, de acordo com o procedimento descrito na seção 2.6.5, foi de 0,976;

- A recirculação de finos ou “by-pass”, apresentou um valor estimado de 28,0%, o qual foi determinado de acordo com a seção 2.6.8 deste trabalho.
- Com a curva de partição corrigida, determinou-se o limite de separação e o diâmetro de corte corrigidos, os quais são, respectivamente, 25,5 μm e 13,3 μm .

O índice de precisão obtido $H_{25/75}$, bem como a imperfeição $I_{25/75}$ apresentaram valores muito ruins, caracterizando uma pobre precisão de separação. Estes parâmetros de eficiência demonstram que embora o ciclone seja capaz de coletar partículas com dimensões reduzidas, a forma com que isto é realizado apresenta pouca precisão. Por consequência destes fatores, o campo de aplicação dos ciclones é direcionado aos processos de coleta de partículas e não aos processos de separação das mesmas, ou seja, quando é desejável separar partículas em tamanhos previamente determinados.

4.5 Comparação Entre os Ensaios Experimentais de Aeroclassificação

A Tabela 8 apresenta um resumo dos principais parâmetros de eficiência utilizados para avaliar os ensaios experimentais realizados neste trabalho.

Tabela 8 – Comparação entre os parâmetros de eficiência dos experimentos

PARÂMETRO	CLASSIFICADOR			
	Turboclassificador	A Dispersão	Estático	Ciclone
Et (%)	65,9	20,0	24,1	71,9
x_{98} (μm)	27,0	70,2	260,0	25,5
x_{60} (μm)	12,0	55,2	218,2	8,5
x_{50c} (μm)	16,5	55,4	227,6	13,8
$I_{25/75}$	0,533	0,147	0,482	0,976
$H_{25/75}$	0,326	0,740	0,153	0,103
by-pass	35,0	1,5	13,0	28,0
x_{75} (μm)	18,4	62,8	248,2	16,8
x_{25} (μm)	-	46,5	38,2	-

Analisando-se os dados reunidos na Tabela 8, foi possível estabelecer as seguintes considerações:

- A eficiência total Et(%) obtida em cada ensaio experimental não apresentou qualquer correlação entre os ensaios, confirmando o fato que este índice não serve para comparar

equipamentos ou instalações de separação de partículas por não levar em consideração o diâmetro das mesmas no cálculo;

- O ciclone e o classificador do tipo turbina apresentaram os menores limites de separação, enquanto que o classificador estático apresentou o maior índice. Este fato vem indicar que o campo de aplicação do classificador estático seria para partículas grosseiras, enquanto que o turboclassificador para separação de materiais finamente divididos. A mesma conclusão poderia ser obtida caso fosse realizada esta análise tomando-se como critério, o diâmetro de corte;
- Através da precisão de corte $H_{25/75}$ ou da imperfeição $I_{25/75}$, constatou-se que o classificador a dispersão apresentou os melhores índices de eficiência, ou seja, é o equipamento que apresentou a melhor precisão de separação. Já o ciclone foi o equipamento que apresentou a pior precisão de separação, fato que leva este equipamento a ser usado como um coletor de partículas, e não como um separador de partículas;
- O turboclassificador apresentou uma precisão de separação relativamente baixa; entretanto, salienta-se que o material que foi submetido à separação era consideravelmente fino, em comparação com o material utilizado nos outros testes.

A princípio, a comparação do desempenho de equipamentos quando processam materiais diferentes deve ser realizada com restrições, entretanto cabe salientar os seguintes aspectos:

- A massa específica do calcário e do quartzito são muito próximas, assegurando desta forma, comportamentos similares quando as partículas destes materiais estiverem sujeitas a ação das forças de separação presentes nos aeroclassificadores, exceto no que tange a forma das partículas;
- Satisfeitas as condições de massa específica e forma das partículas similares, sob determinadas condições operacionais, os critérios de eficiência que avaliam o desempenho de um equipamento de classificação, tais como a imperfeição, a precisão de corte e a própria curva de partição independem do material, ou seja, são características exclusivas do equipamento de separação (Rubio, 1988).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Este trabalho teve por objetivo principal avaliar o desempenho de uma classe de equipamentos responsáveis pela operação de classificação de partículas por diferença de tamanhos, por via seca. A operação de classificação de partículas a seco é especialmente recomendável para os casos em que a remoção da umidade resultante dos processos a úmido torna-se economicamente proibitiva.

Na busca deste objetivo, foi realizada uma revisão dos processos de classificação dinâmica de partículas, onde os tipos de equipamentos responsáveis por esta operação foram agrupados em diferentes categorias, procurando-se classificá-los de acordo com os diferentes princípios de funcionamento.

A partir das diferentes categorias dos aeroclassificadores, foram realizados uma série de experimentos que tiveram por objetivo determinar o desempenho destes equipamentos, de forma que abrangesse as principais categorias de separadores.

A determinação do desempenho dos aeroseparadores através do conhecimento de critérios de eficiência adequados permite a seleção e especificação destes equipamentos, em função dos diferentes campos de aplicações industriais.

Com referência aos ensaios experimentais realizados, foi possível constatar que:

- A eficiência total, E_t , obtida em cada ensaio experimental não apresentou qualquer correlação entre os ensaios, confirmando o fato que este índice não serve para comparar equipamentos ou instalações de separação de partículas por não levar em consideração o diâmetro das mesmas no cálculo;
- O ciclone e o classificador do tipo turbina apresentaram, respectivamente, os valores de $25,5\mu\text{m}$ e $27\mu\text{m}$ como limites de separação, enquanto que o classificador estático apresentou o maior limite, $260\mu\text{m}$. Este fato vem indicar que o campo de aplicação do classificador estático seria para partículas grosseiras, enquanto que o turboclassificador para separação de materiais finamente divididos. A mesma conclusão poderia ser obtida caso fosse realizada esta análise tomando-se como critério o diâmetro de corte;
- Através da precisão de corte, constatou-se que o classificador a dispersão apresentou os melhores índices de eficiência, ou seja, $H_{25/75}$ igual a 0,740. É o equipamento que

apresentou a melhor precisão de separação. Já o ciclone foi o equipamento que apresentou a pior precisão de separação, $H_{25/75}$ igual a 0,103, fato que leva este equipamento a ser usado como um coletor de partículas e não como um separador de partículas;

- O turboclassificador apresentou uma precisão de separação relativamente baixa, $H_{25/75}$ igual a 0,326; entretanto, salienta-se que o material que foi submetido à separação era consideravelmente fino, em comparação com o material utilizado nos outros testes.

Tendo como base as considerações anteriores, sobre o desempenho dos aeroclassificadores estabelecidos através dos critérios de eficiência, é possível indicar os campos de aplicação para cada categoria de aeroseparador.

Os classificadores estáticos possuem aplicação eficiente para partículas de tamanho relativamente grande, numa faixa superior a 150 microns. Uma aplicação potencial desta categoria de equipamento é na preparação de massa cerâmica, em empresas que utilizam a moagem via seca.

Os classificadores do tipo turbina são capazes de operar numa faixa granulométrica consideravelmente fina, o que foi comprovado através dos procedimentos experimentais realizados. A otimização dos processos de moagem fina constitui a principal aplicação desta categoria de aeroclassificador.

Os classificadores a dispersão operam de forma eficiente para partículas de tamanho médio até partículas finas, contudo, numa faixa de tamanho de partículas pouco superior a dos turbo classificadores. A principal aplicação industrial desta categoria está centrada na indústria cimenteira e na moagem de materiais em geral.

O ciclone foi o equipamento que apresentou a pior precisão de separação, fato que leva esta categoria de equipamentos a ser utilizada como coletores de partículas, e não como classificadores de partículas.

Outros aspectos importantes relativos à separação dinâmica de partículas, que não foram objeto do presente trabalho, serão deixados como sugestões para futuros trabalhos, sendo descritas a seguir:

- Estabelecer modelos que permitam a previsão do efeito da recirculação de finos nos processos de separação;
- Estabelecer modelos que possam estimar a geração de finos pela quebra das partículas, principalmente nos processos que utilizam turboclassificadores;

- Estudar e modelar os mecanismos de choque de partículas contra dispositivos de interceptação fixos e móveis, que constituem a principal ação utilizada nos turboclassificadores;
- Desenvolver modelos empíricos, a partir de procedimentos experimentais, correlacionando as principais variáveis de processo, as características dos materiais e construtivas do equipamento. Salienta-se que os turbo classificadores são mais eficientes e são encontrados poucos trabalho na literatura;
- Desenvolvimento de modelos com forte embasamento fenomenológico, a partir das equações de conservação, utilizando para isto, metodologia numérica e “softwares” do tipo CFX e Fluent, como simuladores.

As sugestões apresentadas para a continuidade do estudo sobre este assunto, estão todas relacionadas a obtenção de metodologias e procedimentos que permitam a especificação e o dimensionamento dos classificadores de partículas, de forma mais precisa e segura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERALDO, J. L., - *Moagem de Minérios em Moinhos Tubulares*, Editora Edgard Blucher Ltda., 1987.

BIRD, R. B., STEWART, W. E. and LIGHTFOOT, E. N.,- *Transport Phenomena*, John Wiley, New York, 1960.

COELHO, M. A Z. e MEDRONHO, R. A , “Equações para Performance de Hidrociclones”, XXII ENEMP – Encontro sobre escoamento em meios porosos, UFSC, Florianópolis – SC, 1994.

COULSON, J. M. & RICHARDSON, J. F. with BACKHURST, J. R. & HARKER, J. H., *Chemical Engineering,- Particle Technology and Separation Processes*, Volume 2, 4th ed., Butterworth Heinemann, 1991.

DA LUZ, A B., POSSA, M. V. e ALMEIDA, S. L., *Tratamento de Minérios*, 2ª Edição, CETEM-Centro de Tecnologia Mineral-CNPq/MCT, Rio de Janeiro, 1998.

DUDA, W. H.,- *Manual Tecnológico del Cemento*, Editores Técnicos Asociados S/A, Barcelona, España, página 142 a153, 1977.

FORTUNA, A O.,- *Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos – Conceitos Básicos e Aplicações*, Editora da Universidade de São Paulo, SP, 2000.

FOUST, A S., WENZEL, L. A, CLUMP, C. W., MAUS, L. e ANDERSEN, L. B.,- *Princípios das Operações Unitárias*, Segunda edição, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1982.

FREIRE, J. T e GUBULIN, J. C., - *Tópicos Especiais de Sistemas Particulados*, Volume 2, Edição dos autores, 1986.

GOMIDE, R.,- *Operações Unitárias, 1º Volume: Operações com Sistemas Sólidos Granulares*, Edição do autor, São Paulo, 1983.

GOMIDE, R., - *Operações Unitárias, 3º Volume: Separações mecânicas*, Edição do autor, São Paulo, 1980.

LASKOWSKI, J., - *Mineral Processing – Developments in Mineral Processing*, Volume 2, part A, Elsevier Scientific Publishing & Polish Scientific Publishers, Warszawa, p. 417 a 418, 1981.

LIMA, J. R. B., “Estudo da modelagem Matemática de Classificação de Minérios Ultrafinos”, Anais do XVII Encontro Nacional de tratamento de minérios e Metalurgia Extrativa e I Seminário de Química de Colóides Aplicada à Tecnologia Mineral, 1º volume, ABM, São Paulo, SP, p. 81 a 98 , 1998.

MASSARANI, G., - *Problemas em Sistemas Particulados*, Editora Edgar Blucher Ltda., São Paulo, SP, 1984.

MASSARANI, G., - *Fluidodinâmica em Sistemas Particulados*, Editora Edgar UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

McCABE, W. L. e SMITH, J. C.,- *Operaciones Básicas de Ingeniería Química*, Vol. II. Editorial Reverté. Espanã. 1981.

McCABE, W. L., SMITH, J. C. and HARRIOTT, P.,- *Unit Operations of Chemical Engineering*, 5th ed., McGraw-Hill, 1993.

MEIER, H. F., - *Modelagem Fenomenológica e Simulação Bidimensional de Ciclones por Técnicas da Fluidodinâmica Computacional*, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 1998.

PEREIRA, C. M. S. e MASSARANI, G., “Separação Sólido-Fluido Não-Newtoniano em Hidrociclones II”, XXII ENEMP – Encontro sobre escoamento em meios porosos, UFSC, Florianópolis – SC, 1994.

PERRY R. H., GREEN, D. H., and J. O. MALONEY,- *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 6th ed. McGraw Hill, NY, 1984.

PLITT, L. R., “A Mathematical Model of the Hydrocyclone Classifier”, Mineral Processing, CIM Bulletin, December, 1976.

RING, T. A, CURRIER, F. N., and KLUMPAR, I. V., “Air Classifiers”, Chemical Engineering, March, 1986.

RUBIO, J.,- *Carvão Mineral Caracterização e Beneficiamento*. Volume 1, Nova Linha Artes Gráficas, Porto Alegre, p. 53 a 60, 1988.

SIRIANI, F. A, “Britagem: carência de avanços tecnológicos?”, Brasil Mineral, Junho, 1985.

SOMASUNDARAN, P., *Fine Particles Processing*, Volume 1, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., New York, NY, p. 181 a 208, 1980.

SOUZA, D. P.,- *Aplicação das Equações Fundamentais para a Solução do Escoamento em Ciclones e Hidrociclones*, Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2000.

SVAROVSKY, L.,- *Solid-Gas Separation, Handbook of Powder Technology*, Vol. 3, Elsevier Scientific Publishing Company, 1981.

SVAROVSKY, L.,- *Solid-Liquid Separation*, Vol. 5, Elsevier Scientific Publishing B. V., p. 18 a 28, 1985.

SVAROVSKY, L.,- *Hydrocyclones*, Technomic Publishing CO., Inc., 1984.

SVAROVSKY, L. and THEW, M. T.,- *Hydrocyclones Analysis and Applications*, Kluwer Academic Publishers, 1992.

TAGGART, A F.,- *Handbook of Mineral Dressing – Ores and Industrial Minerals – Wiley Handbook Series*, John Wiley & Sons, Inc, 1945.

TARJÁN, G.,- *Mineral Processing – Fundamentals, Comminution, Sizing and Classification*, Volume I, Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary, p. 563 a 573, 1981.

VESILING, P., AARNE & RIMER, A.,- *Unit Operations in Resource Recovery Engineering*, Prentice-Hall, Inc., N. J., 1981.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

**Resultados do Ensaio de Classificação com Turboclassificador e Boletins de Ensaio
Granulométrico no Granulômetro Cilas**

Cálculo da curva de partição / Turboclassificador

x (um)	Alim		Fino		Grosso		(A-F)/(G-A)	A . y _A	F . y _F	G . y _G	Coef. Part.	
	y _A	Y _A	y _F	Y _F	y _G	Y _G					G(X)	G _c (X)
100,00	0,31	100,00	0,00	100,00	0,35	100,00	-	1,20	0,00	1,01	1,000	1,000
95,00	0,65	99,35	0,00	100,00	0,73	99,27	8,125	2,52	0,00	2,10	1,000	1,000
90,00	0,52	98,83	0,00	100,00	0,59	98,68	7,800	2,01	0,00	1,70	1,000	1,000
85,00	0,81	98,02	0,00	100,00	0,94	97,74	7,071	3,14	0,00	2,70	1,000	1,000
80,00	1,13	96,89	0,00	100,00	1,33	96,41	6,479	4,38	0,00	3,82	1,000	1,000
75,00	1,52	95,37	0,00	100,00	1,81	94,60	6,013	5,89	0,00	5,20	1,000	1,000
71,00	1,53	93,84	0,00	100,00	1,84	92,76	5,704	5,93	0,00	5,29	1,000	1,000
66,00	2,35	91,49	0,00	100,00	2,89	89,87	5,253	9,10	0,00	8,30	1,000	1,000
63,00	1,67	89,82	0,00	100,00	2,08	87,79	5,015	6,47	0,00	5,98	1,000	1,000
60,00	1,87	87,95	0,00	100,00	2,36	85,43	4,782	7,24	0,00	6,78	1,000	1,000
56,00	2,82	85,13	0,00	100,00	3,61	81,82	4,492	10,92	0,00	10,37	1,000	1,000
53,00	2,36	82,77	0,00	100,00	3,07	78,75	4,286	9,14	0,00	8,82	1,000	1,000
50,00	2,56	80,21	0,00	100,00	3,38	75,37	4,089	9,91	0,00	9,71	1,000	1,000
45,00	4,64	75,57	0,00	100,00	6,30	69,07	3,758	17,97	0,00	18,10	1,000	1,000
43,00	1,94	73,63	0,00	100,00	2,71	66,36	3,627	7,51	0,00	7,79	1,000	1,000
40,00	2,99	70,64	0,00	100,00	4,28	62,08	3,430	11,58	0,00	12,30	1,000	1,000
38,00	2,04	68,60	0,00	100,00	2,98	59,10	3,305	7,90	0,00	8,56	1,000	1,000
36,00	2,10	66,50	0,00	100,00	3,09	56,01	3,194	8,13	0,00	8,88	1,000	1,000
34,00	2,14	64,36	0,00	100,00	3,19	52,82	3,088	8,29	0,00	9,16	1,000	1,000
32,00	2,18	62,18	0,00	100,00	3,27	49,55	2,994	8,44	0,00	9,39	1,000	1,000
30,00	2,23	59,95	0,00	100,00	3,33	46,22	2,917	8,64	0,00	9,57	1,000	1,000
28,00	2,27	57,68	0,12	99,88	3,36	42,86	2,848	8,79	0,12	9,65	0,988	0,981
25,00	3,48	54,20	0,53	99,35	5,01	37,85	2,761	13,48	0,53	14,39	0,964	0,945
23,00	2,37	51,83	0,81	98,54	3,28	34,57	2,706	9,18	0,81	9,42	0,921	0,878
22,00	1,20	50,63	0,66	97,88	1,59	32,98	2,677	4,65	0,66	4,57	0,874	0,806
21,00	1,22	49,41	0,84	97,04	1,57	31,41	2,646	4,73	0,84	4,51	0,843	0,758
20,00	1,23	48,18	1,04	96,00	1,53	29,88	2,613	4,76	1,04	4,40	0,809	0,706
19,00	1,25	46,93	1,27	94,73	1,49	28,39	2,578	4,84	1,27	4,28	0,771	0,648
18,00	1,26	45,67	1,53	93,20	1,46	26,93	2,536	4,88	1,53	4,19	0,733	0,589
17,00	1,29	44,38	1,79	91,41	1,41	25,52	2,494	5,00	1,79	4,05	0,694	0,529
16,00	1,32	43,06	2,09	89,32	1,37	24,15	2,446	5,11	2,09	3,94	0,653	0,466
15,00	1,34	41,72	2,38	86,94	1,30	22,85	2,396	5,19	2,38	3,73	0,611	0,401
14,00	1,38	40,34	2,70	84,24	1,25	21,60	2,343	5,34	2,70	3,59	0,571	0,340
13,00	1,42	38,92	2,97	81,27	1,18	20,42	2,289	5,50	2,97	3,39	0,533	0,282
12,00	1,46	37,46	3,18	78,09	1,11	19,31	2,239	5,65	3,18	3,19	0,501	0,232
11,00	1,51	35,95	3,27	74,82	1,04	18,27	2,199	5,85	3,27	2,99	0,477	0,196
10,00	1,57	34,38	3,40	71,42	0,98	17,29	2,167	6,08	3,40	2,82	0,453	0,158
9,00	1,65	32,73	3,53	67,89	0,91	16,38	2,150	6,39	3,53	2,61	0,425	0,116
8,50	0,87	31,86	1,84	66,05	0,44	15,94	2,148	3,37	1,84	1,26	0,407	0,088
8,00	0,89	30,97	1,88	64,17	0,44	15,50	2,146	3,45	1,88	1,26	0,402	0,080
7,50	0,92	30,05	1,96	62,21	0,44	15,06	2,145	3,56	1,96	1,26	0,392	0,065
7,00	0,96	29,09	2,04	60,17	0,45	14,61	2,146	3,72	2,04	1,29	0,388	0,058
6,50	1,00	28,09	2,16	58,01	0,45	14,16	2,148	3,87	2,16	1,29	0,374	0,038
6,00	1,05	27,04	2,31	55,70	0,47	13,69	2,147	4,07	2,31	1,35	0,369	0,029
5,60	0,88	26,16	1,98	53,72	0,39	13,30	2,143	3,41	1,98	1,12	0,361	0,018
5,30	0,69	25,47	1,57	52,15	0,30	13,00	2,140	2,67	1,57	0,86	0,354	0,007
5,00	0,72	24,75	1,64	50,51	0,31	12,69	2,136	2,79	1,64	0,89	0,352	0,003
4,60	1,00	23,75	2,30	48,21	0,44	12,25	2,127	3,87	2,30	1,26	0,355	0,007
4,30	0,79	22,96	1,81	46,40	0,34	11,91	2,121	3,06	1,81	0,98	0,351	0,001
4,00	0,84	22,12	1,88	44,52	0,36	11,55	2,119	3,25	1,88	1,03	0,355	0,008

Cálculo da curva de partição / Turboclassificador

x (um)	Alim		Fino		Grosso		(A-F)/(G-A)	A . y _A	F . y _F	G . y _G	Coef. Part.	
	y _A	Y _A	y _F	Y _F	y _G	Y _G					G(X)	G _c (X)
3,80	0,60	21,52	1,29	43,23	0,26	11,29	2,122	2,32	1,29	0,75	0,367	0,026
3,60	0,62	20,90	1,34	41,89	0,27	11,02	2,124	2,40	1,34	0,78	0,367	0,026
3,40	0,67	20,23	1,37	40,52	0,29	10,73	2,136	2,59	1,37	0,83	0,378	0,043
3,20	0,71	19,52	1,44	39,08	0,32	10,41	2,147	2,75	1,44	0,92	0,390	0,061
3,00	0,77	18,75	1,51	37,57	0,34	10,07	2,168	2,98	1,51	0,98	0,393	0,066
2,80	0,84	17,91	1,61	35,96	0,38	9,69	2,196	3,25	1,61	1,09	0,404	0,083
2,60	0,92	16,99	1,72	34,24	0,43	9,26	2,232	3,56	1,72	1,24	0,418	0,105
2,40	1,00	15,99	1,86	32,38	0,47	8,79	2,276	3,87	1,86	1,35	0,421	0,109
2,20	1,07	14,92	2,01	30,37	0,51	8,28	2,327	4,14	2,01	1,47	0,422	0,110
2,00	1,13	13,79	2,20	28,17	0,55	7,73	2,373	4,38	2,20	1,58	0,418	0,105
1,80	1,18	12,61	2,43	25,74	0,58	7,15	2,405	4,57	2,43	1,67	0,407	0,087
1,60	1,21	11,40	2,67	23,07	0,62	6,53	2,396	4,69	2,67	1,78	0,400	0,077
1,40	1,25	10,15	2,93	20,14	0,65	5,88	2,340	4,84	2,93	1,87	0,389	0,060
1,30	0,63	9,52	1,58	18,56	0,34	5,54	2,271	2,44	1,58	0,98	0,382	0,049
1,20	0,62	8,90	1,65	16,91	0,34	5,20	2,165	2,40	1,65	0,98	0,372	0,034
1,10	0,62	8,28	1,72	15,19	0,34	4,86	2,020	2,40	1,72	0,98	0,362	0,019
1,00	0,61	7,67	1,79	13,40	0,35	4,51	1,813	2,36	1,79	1,01	0,360	0,015
0,90	0,59	7,08	1,86	11,54	0,36	4,15	1,522	2,29	1,86	1,03	0,357	0,011
0,80	0,59	6,49	1,86	9,68	0,35	3,80	1,186	2,29	1,86	1,01	0,351	0,001
0,70	0,61	5,88	1,77	7,91	0,38	3,42	0,825	2,36	1,77	1,09	0,381	0,048
0,60	0,68	5,20	1,41	6,50	0,40	3,02	0,596	2,63	1,41	1,15	0,449	0,152
0,50	0,77	4,43	1,12	5,38	0,43	2,59	0,516	2,98	1,12	1,24	0,524	0,268
0,40	0,87	3,56	0,87	4,51	0,47	2,12	0,660	3,37	0,87	1,35	0,608	0,397
0,30	0,89	2,67	1,00	3,51	0,50	1,62	0,800	3,45	1,00	1,44	0,590	0,369
0,20	0,93	1,74	1,29	2,22	0,55	1,07	0,716	3,60	1,29	1,58	0,551	0,309
0,10	1,09	0,65	1,13	1,09	0,66	0,41	1,833	4,22	1,13	1,90	0,627	0,426
0,07	0,35	0,30	0,34	0,75	0,22	0,19	4,091	1,36	0,34	0,63	0,650	0,462
0,04	0,29	0,01	0,51	0,24	0,18	0,01						



AMOSTRA: Calcário – AL data 14/12/00
EMPRESA: CPGENQ/UFSC
RELATÓRIO N°: 2055E507

PÁG. N°: 1 de 1
FORMA: Pó
DATA: 21/12/00

RELATÓRIO DE ENSAIOS

Amostra recebida em: 18/12/00
Finalizada em: 21/12/00

RESULTADOS:

Densidade Real de Sólidos [g/cm ³]	2,76
--	------

Distribuição de tamanho de partículas

10 % das partículas abaixo de [µm]	1,38
50 % das partículas abaixo de [µm]	21,48
90 % das partículas abaixo de [µm]	63,32
100 % das partículas abaixo de [µm]	112,00

Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

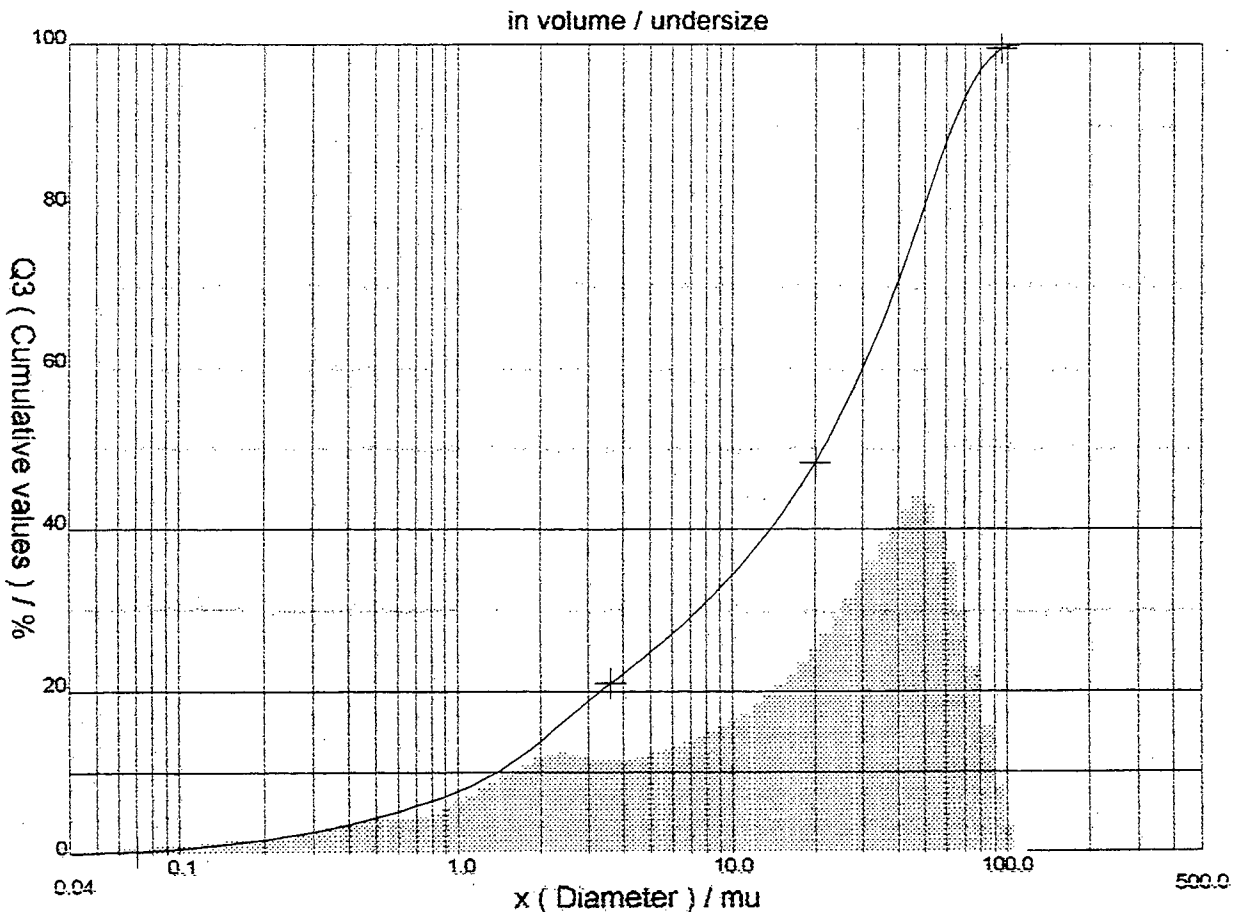
CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-1
Type produit : Calcário - AL data 14/12/00
Client : CPGENQ - UFSC
Comments :
Liquid : Álcool Hidratado 96 GL
Dispersing agent : Nenhum
Operator : Juliane
Company : CTC
Location : Criciúma
Date : 19/12/2000 Time : 15:06:52
Measurement number 1299

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 162
Diameter at 10% : 1.38 mu
Diameter at 50% : 21.48 mu
Diameter at 90% : 63.32 mu
Fraunhofer
Density/Factor : _____
Specific surface : _____
Auto. dilution/top up : No / No
Nb Measur./Rins. : 20 / 4





PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-1
 Type produit : Calcário - AL data 14/12/00
 Client : CPGENQ - UFSC
 Comments :
 Liquid : Álcool Hidratado 96 GL
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Juliane
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 19/12/2000 Time : 15:06:52
 Measurement number 1299

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 162
 Diameter at 10% : 1.38 mu
 Diameter at 50% : 21.48 mu
 Diameter at 90% : 63.32 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

		Standards classes					in volume / undersize				
x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	
Q3	0.01	0.30	0.65	1.74	2.67	3.56	4.43	5.20	5.88	6.49	
q3	0.01	0.03	0.05	0.11	0.20	0.22	0.26	0.38	0.54	0.76	
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	
Q3	7.08	7.67	8.28	8.90	9.52	10.15	11.40	12.61	13.79	14.92	
q3	0.90	1.02	1.10	1.18	1.24	1.30	1.37	1.44	1.49	1.53	
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	
Q3	15.99	16.99	17.91	18.75	19.52	20.23	20.90	21.52	22.12	22.96	
q3	1.55	1.55	1.55	1.55	1.53	1.53	1.54	1.55	1.57	1.60	
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	
Q3	23.75	24.75	25.47	26.16	27.04	28.09	29.09	30.05	30.97	31.86	
q3	1.62	1.64	1.65	1.65	1.65	1.62	1.62	1.63	1.66	1.70	
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	
Q3	32.73	34.38	35.95	37.46	38.92	40.34	41.72	43.06	44.38	45.67	
q3	1.75	1.83	1.95	2.05	2.13	2.18	2.20	2.20	2.17	2.13	
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00	
Q3	46.93	48.18	49.41	50.63	51.83	54.20	57.68	59.95	62.18	64.36	
q3	2.08	2.01	1.93	1.85	1.77	1.63	1.57	1.63	1.77	1.84	
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	
Q3	66.50	68.60	70.64	73.63	75.57	80.21	82.77	85.13	87.95	89.82	
q3	1.89	1.93	1.91	1.83	1.71	1.47	1.16	0.92	0.61	0.41	
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0	
Q3	91.49	93.84	95.37	96.89	98.02	98.83	99.35	99.69	100.00	100.00	
q3	0.28	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0	
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0	
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %



AMOSTRA: Calcário – FN data 14/12
EMPRESA: CPGENQ/UFSC
RELATÓRIO N°: 2055E509

PÁG. N°: 1 de 1
FORMA: Pó
DATA: 21/12/00

RELATÓRIO DE ENSAIOS

Amostra recebida em: 18/12/00
Finalizada em: 21/12/00

RESULTADOS:

EQUIPAMENTO:

Analisador de tamanho de partícula por difração à laser CILAS 1064L

PARÂMETROS DE ENSAIO:

Meio suspensor: álcool comum 96 °GL

Temperatura de realização dos ensaios: $23,0 \pm 1,0$ °C

RESULTADOS :

10 % das partículas abaixo de [μm]	0,82
50 % das partículas abaixo de [μm]	4,91
90 % das partículas abaixo de [μm]	16,32
100 % das partículas abaixo de [μm]	30,00


Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

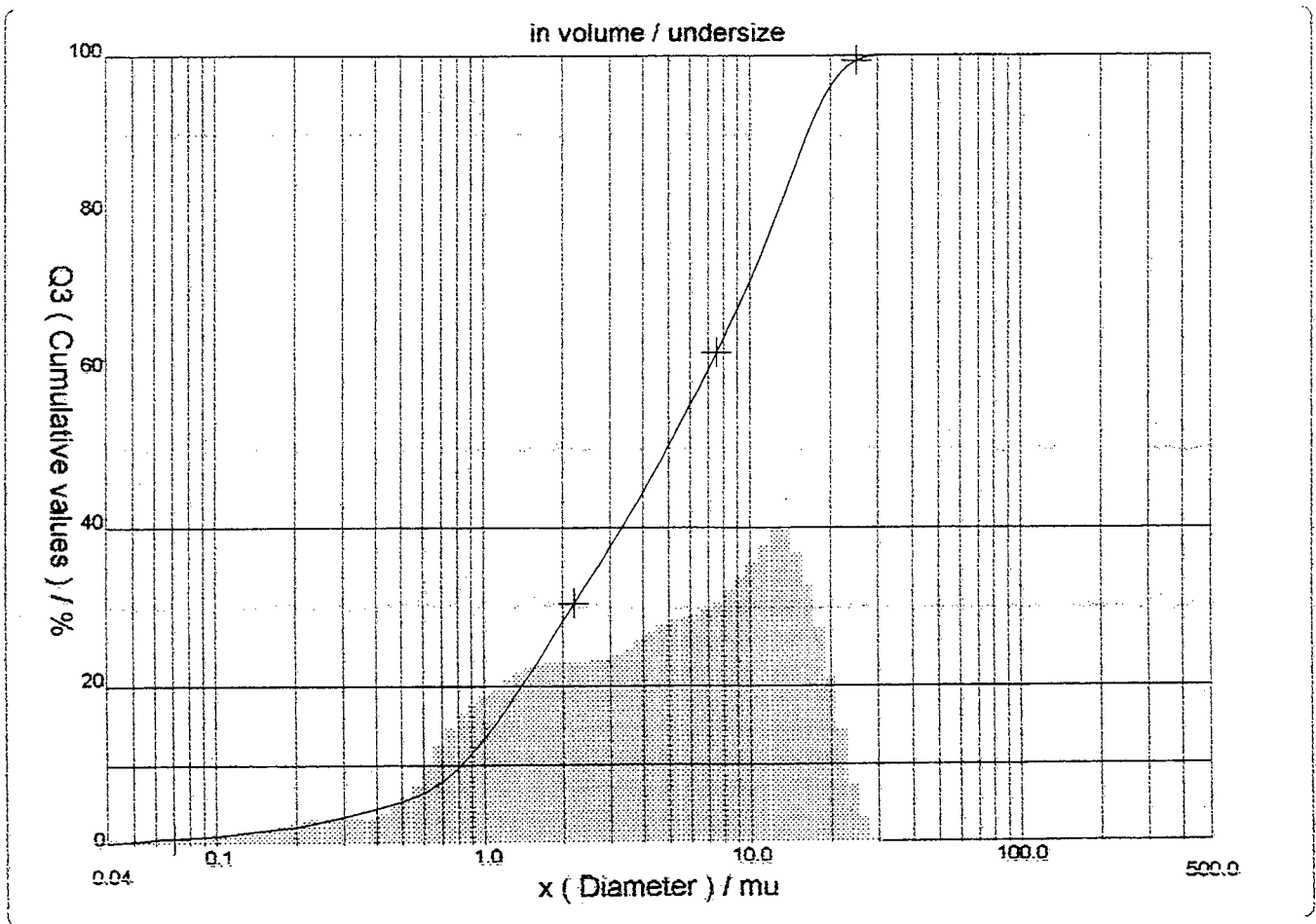
CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 μ m - 500.00 μ m / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-3
Type produit : Calcário - FN data 14/12/00
Client : CPGENQ - UFSC
Comments :
Liquid : Álcool Hidratado 96 GL
Dispersing agent : Nenhum
Operator : Juliane
Company : CTC
Location : Criciúma
Date : 19/12/2000 Time : 15:19:50
Measurement number 300

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 156
Diameter at 10% : 0.82 μ m
Diameter at 50% : 4.91 μ m
Diameter at 90% : 16.32 μ m
Fraunhofer
Density/Factor : _____
Specific surface : _____
Auto. dilution/top up : No / No
Nb Measur./Rins. : 20 / 4



✓



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid



Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Sample Ref : 2055/2000-3
 Type produit : Calcário - FN data 14/12/00
 Client : CPGENQ - UFSC
 Comments :
 Liquid : Álcool Hidratado 96 GL
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Juliane
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 19/12/2000 Time : 15:19:50
 Measurement number 1300

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 156
 Diameter at 10% : 0.82 mu
 Diameter at 50% : 4.91 mu
 Diameter at 90% : 16.32 mu
 Fraunhofer :
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

Standards classes in volume / undersize

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.24	0.75	1.09	2.22	3.51	4.51	5.38	6.50	7.91	9.68
q3	0.01	0.03	0.05	0.11	0.20	0.22	0.26	0.38	0.54	0.76
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	11.54	13.40	15.19	16.91	18.56	20.14	23.07	25.74	28.17	30.37
q3	0.90	1.02	1.10	1.18	1.24	1.30	1.37	1.44	1.49	1.53
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	32.38	34.24	35.96	37.57	39.08	40.52	41.89	43.23	44.52	46.40
q3	1.55	1.55	1.55	1.55	1.53	1.53	1.54	1.55	1.57	1.60
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	48.21	50.51	52.15	53.72	55.70	58.01	60.17	62.21	64.17	66.05
q3	1.62	1.64	1.65	1.65	1.65	1.62	1.62	1.63	1.66	1.70
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	67.89	71.42	74.82	78.09	81.27	84.24	86.94	89.32	91.41	93.20
q3	1.75	1.83	1.95	2.05	2.13	2.18	2.20	2.20	2.17	2.13
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	94.73	96.00	97.04	97.88	98.54	99.35	99.88	100.00	100.00	100.00
q3	2.08	2.01	1.93	1.85	1.77	1.63	1.57	1.63	1.77	1.84
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	1.89	1.93	1.91	1.83	1.71	1.47	1.16	0.92	0.61	0.41
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.28	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %

A

RELATÓRIO DE ENSAIOS

Amostra recebida em: 18/12/00
Finalizada em: 21/12/00

RESULTADOS:

EQUIPAMENTO:

Analisador de tamanho de partícula por difração à laser CILAS 1064L

PARÂMETROS DE ENSAIO:

Meio suspensor: álcool comum 96 °GL

Temperatura de realização dos ensaios: $23,0 \pm 1,0$ °C

RESULTADOS :

10 % das partículas abaixo de [μm]	2,96
50 % das partículas abaixo de [μm]	32,27
90 % das partículas abaixo de [μm]	66,21
100 % das partículas abaixo de [μm]	112,00


Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

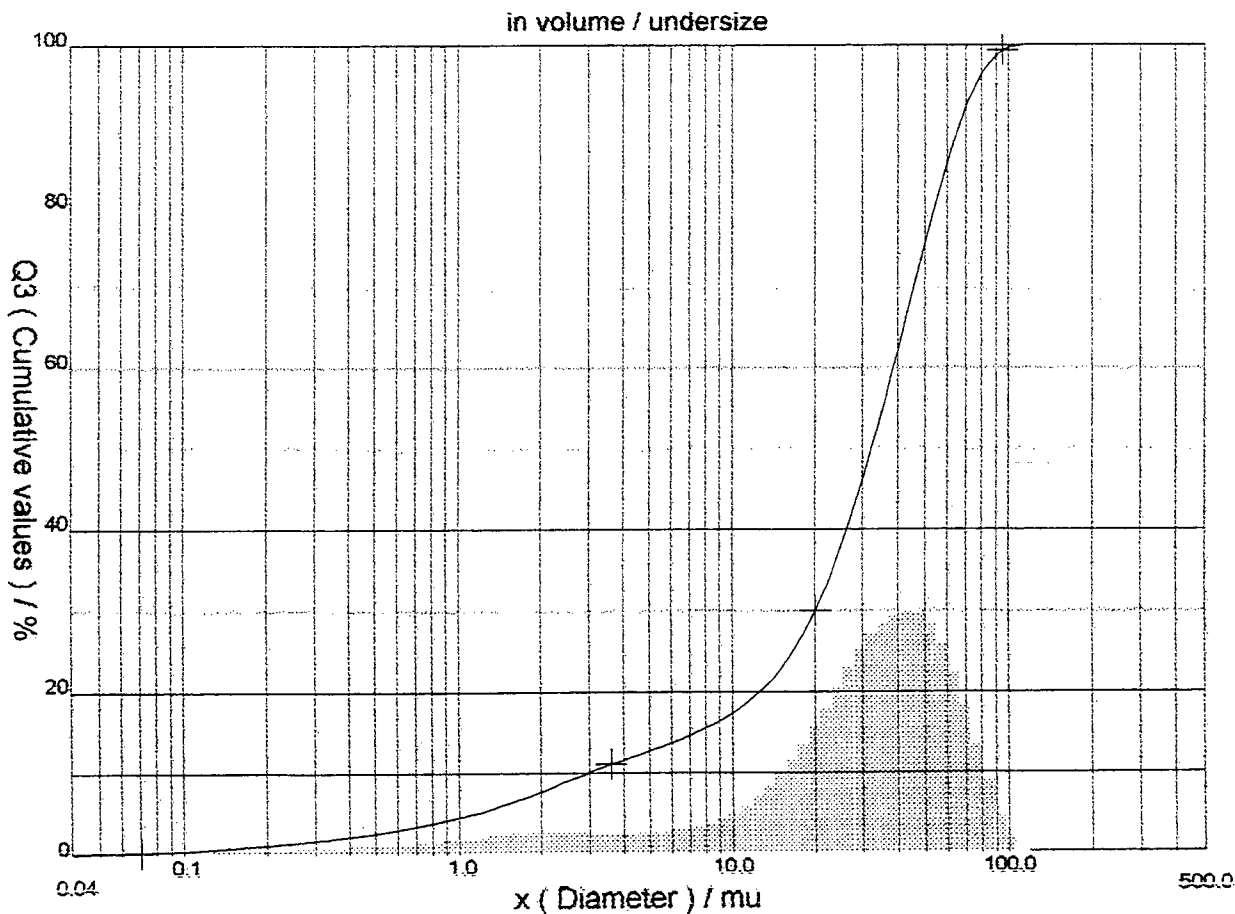
CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 μ m - 500.00 μ m / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-2
Type produit : Calcário - GR data 14/12
Client : CPGENQ - UFSC
Comments :
Liquid : Álcool Hidratado 96 GL
Dispersing agent : Nenhum
Operator : Cleverton Gonçalves
Company : CTC
Location : Criciúma
Date : 19/12/2000 Time : 12:05:28
Measurement number 298

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 157
Diameter at 10% : 2.96 μ m
Diameter at 50% : 32.27 μ m
Diameter at 90% : 66.21 μ m
Fraunhofer
Density/Factor : _____
Specific surface : _____
Auto. dilution/top up : No / No
Nb Measur./Rins. : 20 / 4





PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-2
 Type produit : Calcário - GR data 14/12
 Client : CPGENQ - UFSC
 Comments :
 Liquid : Álcool Hidratado 96 GL
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Cleverton Gonçalves
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 19/12/2000 Time : 12:05:28
 Measurement number 1298

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 157
 Diameter at 10% : 2.96 mu
 Diameter at 50% : 32.27 mu
 Diameter at 90% : 66.21 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

	Standards classes					in volume / undersize				
x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.01	0.19	0.41	1.07	1.62	2.12	2.59	3.02	3.42	3.80
q3	0.01	0.03	0.05	0.11	0.20	0.22	0.26	0.38	0.54	0.76
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	4.15	4.51	4.86	5.20	5.54	5.88	6.53	7.15	7.73	8.28
q3	0.90	1.02	1.10	1.18	1.24	1.30	1.37	1.44	1.49	1.53
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	8.79	9.26	9.69	10.07	10.41	10.73	11.02	11.29	11.55	11.91
q3	1.55	1.55	1.55	1.55	1.53	1.53	1.54	1.55	1.57	1.60
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	12.25	12.69	13.00	13.30	13.69	14.16	14.61	15.06	15.50	15.94
q3	1.62	1.64	1.65	1.65	1.65	1.62	1.62	1.63	1.66	1.70
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	16.38	17.29	18.27	19.31	20.42	21.60	22.85	24.15	25.52	26.93
q3	1.75	1.83	1.95	2.05	2.13	2.18	2.20	2.20	2.17	2.13
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	28.39	29.88	31.41	32.98	34.57	37.85	42.86	46.22	49.55	52.82
q3	2.08	2.01	1.93	1.85	1.77	1.63	1.57	1.63	1.77	1.84
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	56.01	59.10	62.08	66.36	69.07	75.37	78.75	81.82	85.43	87.79
q3	1.89	1.93	1.91	1.83	1.71	1.47	1.16	0.92	0.61	0.41
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	89.87	92.76	94.60	96.41	97.74	98.68	99.27	99.65	100.00	100.00
q3	0.28	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %

h

APÊNDICE 2

**Resultados do Ensaio com Aeroclassificador à Dispersão e Boletins de Ensaio
Granulométrico no Granulômetro Cilas**

Cálculo da curva de Partição / Classificador à Dispersão

x (um)	Fino		Grosso		Alimentação		F . y _F	G . y _G	Coef. Part.	
	y _F	Y _F	y _G	Y _G	y _A	Y _A			G(X)	G _c (X)
315,00	0,00	100,00	0,21	99,79	0,04	99,96	0,00	0,04	1,0000	1,0000
200,00	0,00	100,00	2,97	96,82	0,59	99,36	0,00	0,59	1,0000	1,0000
180,00	0,00	100,00	0,69	96,13	0,14	99,23	0,00	0,14	1,0000	1,0000
150,00	0,00	100,00	1,01	95,12	0,20	99,02	0,00	0,20	1,0000	1,0000
140,00	0,00	100,00	1,31	93,81	0,26	98,76	0,00	0,26	1,0000	1,0000
130,00	0,00	100,00	1,68	92,13	0,34	98,43	0,00	0,34	1,0000	1,0000
125,00	0,00	100,00	10,58	81,55	2,12	96,31	0,00	2,12	1,0000	1,0000
112,00	0,00	100,00	6,64	74,91	1,33	94,98	0,00	1,33	1,0000	1,0000
100,00	0,00	100,00	7,70	67,21	1,54	93,44	0,00	1,54	1,0000	1,0000
95,00	0,00	100,00	3,67	63,54	0,73	92,71	0,00	0,73	1,0000	1,0000
90,00	0,00	100,00	3,93	59,61	0,79	91,92	0,00	0,79	1,0000	1,0000
85,00	0,00	100,00	4,19	55,42	0,84	91,08	0,00	0,84	1,0000	1,0000
80,00	0,00	100,00	4,39	51,03	0,88	90,21	0,00	0,88	1,0000	1,0000
75,00	0,00	100,00	4,51	46,52	0,90	89,30	0,00	0,90	1,0000	1,0000
71,00	0,00	100,00	3,64	42,88	0,73	88,58	0,00	0,73	1,0000	1,0000
66,00	0,15	99,85	4,45	38,43	1,01	87,57	0,12	0,89	0,8812	0,8794
63,00	0,21	99,64	2,59	35,84	0,69	86,88	0,17	0,52	0,7551	0,7514
60,00	0,32	99,32	2,50	33,34	0,76	86,12	0,26	0,50	0,6614	0,6562
56,00	0,68	98,64	3,15	30,19	1,17	84,95	0,54	0,63	0,5366	0,5296
53,00	0,81	97,83	2,17	28,02	1,08	83,87	0,65	0,43	0,4011	0,3920
50,00	1,09	96,74	1,99	26,03	1,27	82,60	0,87	0,40	0,3134	0,3029
45,00	2,50	94,24	2,88	23,15	2,58	80,02	2,00	0,58	0,2236	0,2118
43,00	1,26	92,98	0,98	22,17	1,20	78,82	1,01	0,20	0,1628	0,1500
40,00	2,15	90,83	1,30	20,87	1,98	76,84	1,72	0,26	0,1313	0,1181
38,00	1,59	89,24	0,74	20,13	1,42	75,42	1,27	0,15	0,1042	0,0906
36,00	1,68	87,56	0,66	19,47	1,48	73,94	1,34	0,13	0,0894	0,0756
34,00	1,74	85,82	0,57	18,90	1,51	72,44	1,39	0,11	0,0757	0,0616
32,00	1,78	84,04	0,49	18,41	1,52	70,91	1,42	0,10	0,0644	0,0501
30,00	1,78	82,26	0,42	17,99	1,51	69,41	1,42	0,08	0,0557	0,0413
28,00	1,72	80,54	0,35	17,64	1,45	67,96	1,38	0,07	0,0484	0,0339
25,00	2,64	77,90	0,44	17,20	2,20	65,76	2,11	0,09	0,0400	0,0254
23,00	1,99	75,91	0,25	16,95	1,64	64,12	1,59	0,05	0,0305	0,0157
22,00	1,15	74,76	0,12	16,83	0,94	63,17	0,92	0,02	0,0254	0,0106
21,00	1,26	73,50	0,12	16,71	1,03	62,14	1,01	0,02	0,0233	0,0084
20,00	1,36	72,14	0,12	16,59	1,11	61,03	1,09	0,02	0,0216	0,0067
19,00	1,49	70,65	0,13	16,46	1,22	59,81	1,19	0,03	0,0213	0,0064
18,00	1,60	69,05	0,13	16,33	1,31	58,51	1,28	0,03	0,0199	0,0050
17,00	1,72	67,33	0,14	16,19	1,40	57,10	1,38	0,03	0,0199	0,0050
16,00	1,83	65,50	0,16	16,03	1,50	55,61	1,46	0,03	0,0214	0,0065
15,00	1,94	63,56	0,17	15,86	1,59	54,02	1,55	0,03	0,0214	0,0065
14,00	2,05	61,51	0,18	15,68	1,68	52,34	1,64	0,04	0,0215	0,0066
13,00	2,16	59,35	0,21	15,47	1,77	50,57	1,73	0,04	0,0237	0,0089
12,00	2,24	57,11	0,23	15,24	1,84	48,74	1,79	0,05	0,0250	0,0102
11,00	2,31	54,80	0,25	14,99	1,90	46,84	1,85	0,05	0,0263	0,0115
10,00	2,39	52,41	0,28	14,71	1,97	44,87	1,91	0,06	0,0285	0,0137
9,00	2,47	49,94	0,33	14,38	2,04	42,83	1,98	0,07	0,0323	0,0176
8,50	1,28	48,66	0,19	14,19	1,06	41,77	1,02	0,04	0,0358	0,0211
8,00	1,31	47,35	0,21	13,98	1,09	40,68	1,05	0,04	0,0385	0,0239
7,50	1,37	45,98	0,24	13,74	1,14	39,53	1,10	0,05	0,0420	0,0274
7,00	1,43	44,55	0,26	13,48	1,20	38,34	1,14	0,05	0,0435	0,0289
6,50	1,52	43,03	0,30	13,18	1,28	37,06	1,22	0,06	0,0470	0,0325
6,00	1,64	41,39	0,34	12,84	1,38	35,68	1,31	0,07	0,0493	0,0348
5,60	1,43	39,96	0,30	12,54	1,20	34,48	1,14	0,06	0,0498	0,0354
5,30	1,14	38,82	0,25	12,29	0,96	33,51	0,91	0,05	0,0520	0,0375
5,00	1,21	37,61	0,26	12,03	1,02	32,49	0,97	0,05	0,0510	0,0365
4,60	1,71	35,90	0,40	11,63	1,45	31,05	1,37	0,08	0,0552	0,0409
4,30	1,37	34,53	0,33	11,30	1,16	29,88	1,10	0,07	0,0568	0,0424
4,00	1,43	33,10	0,37	10,93	1,22	28,67	1,14	0,07	0,0608	0,0465
3,80	0,99	32,11	0,26	10,67	0,84	27,82	0,79	0,05	0,0616	0,0473
3,60	1,03	31,08	0,30	10,37	0,88	26,94	0,82	0,06	0,0679	0,0537
3,40	1,06	30,02	0,32	10,05	0,91	26,03	0,85	0,06	0,0702	0,0560
3,20	1,11	28,91	0,34	9,71	0,96	25,07	0,89	0,07	0,0711	0,0570

Cálculo da curva de Partição / Classificador à Dispersão

x (um)	Fino		Grosso		Alimentação		F · y _F	G · y _G	Coef. Part.	
	y _F	Y _F	y _G	Y _G	y _A	Y _A			G(X)	G _c (X)
3,00	1,17	27,74	0,39	9,32	1,01	24,06	0,94	0,08	0,0769	0,0629
2,80	1,24	26,50	0,43	8,89	1,08	22,98	0,99	0,09	0,0798	0,0658
2,60	1,33	25,17	0,47	8,42	1,16	21,82	1,06	0,09	0,0812	0,0672
2,40	1,42	23,75	0,52	7,90	1,24	20,58	1,14	0,10	0,0839	0,0699
2,20	1,55	22,20	0,57	7,33	1,35	19,23	1,24	0,11	0,0842	0,0702
2,00	1,71	20,49	0,61	6,72	1,49	17,74	1,37	0,12	0,0819	0,0679
1,80	3,89	16,60	0,65	6,07	3,24	14,49	3,11	0,13	0,0401	0,0255
1,60	0,10	16,50	0,67	5,40	0,21	14,28	0,08	0,13	0,6262	0,6205
1,40	2,31	14,19	0,71	4,69	1,99	12,29	1,85	0,14	0,0714	0,0572
1,30	1,24	12,95	0,37	4,32	1,07	11,22	0,99	0,07	0,0694	0,0552
1,20	1,28	11,67	0,37	3,95	1,10	10,13	1,02	0,07	0,0674	0,0532
1,10	1,31	10,36	0,37	3,58	1,12	9,00	1,05	0,07	0,0660	0,0517
1,00	1,34	9,02	0,37	3,21	1,15	7,86	1,07	0,07	0,0646	0,0503
0,90	1,32	7,70	0,37	2,84	1,13	6,73	1,06	0,07	0,0655	0,0513
0,80	1,29	6,41	0,37	2,47	1,11	5,62	1,03	0,07	0,0669	0,0527
0,70	1,19	5,22	0,36	2,11	1,02	4,60	0,95	0,07	0,0703	0,0562
0,60	0,96	4,26	0,34	1,77	0,84	3,76	0,77	0,07	0,0813	0,0673
0,50	0,78	3,48	0,32	1,45	0,69	3,07	0,62	0,06	0,0930	0,0792
0,40	0,63	2,85	0,30	1,15	0,56	2,51	0,50	0,06	0,1064	0,0928
0,30	0,72	2,13	0,32	0,83	0,64	1,87	0,58	0,06	0,1000	0,0863
0,20	0,90	1,23	0,33	0,50	0,79	1,08	0,72	0,07	0,0840	0,0700
0,10	0,82	0,41	0,33	0,17	0,72	0,36	0,66	0,07	0,0914	0,0776
0,07	0,20	0,21	0,10	0,07	0,18	0,18	0,16	0,02	0,1111	0,0976
0,04	0,19	0,02	0,07	0,00	0,17	0,02	0,15	0,01	0,0843	0,0704

RELATÓRIO DE ENSAIOS

Amostra recebida em: 10/01/01

Finalizada em: 11/01/01

RESULTADOS:

Densidade Real de Sólidos [g/cm ³]	2,62
Distribuição de tamanho de partículas	
10 % das partículas abaixo de [µm]	1,07
50 % das partículas abaixo de [µm]	9,02
90 % das partículas abaixo de [µm]	38,94
100 % das partículas abaixo de [µm]	71,00


Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Saivo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se toma responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid



Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Sample Ref : 2055/2000-9
 Type produit : Quartzito - M/325 - FN
 Client : CPGENQ/UFSC
 Comments :
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Juliane
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 10/01/2001 Time : 15:40:33
 Measurement number 1361

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 156
 Diameter at 10% : 1.07 mu
 Diameter at 50% : 9.02 mu
 Diameter at 90% : 38.94 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

Standards classes in volume / undersize

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.02	0.21	0.41	1.23	2.13	2.85	3.48	4.26	5.22	6.41
q3	0.01	0.03	0.04	0.09	0.16	0.19	0.21	0.32	0.46	0.66
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	7.70	9.02	10.36	11.67	12.95	14.19	16.50	18.60	20.49	22.20
q3	0.81	0.93	1.04	1.11	1.18	1.24	1.28	1.32	1.33	1.33
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	23.75	25.17	26.50	27.74	28.91	30.02	31.08	32.11	33.10	34.53
q3	1.32	1.31	1.33	1.33	1.34	1.36	1.37	1.41	1.43	1.46
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	35.90	37.61	38.82	39.96	41.39	43.03	44.55	45.98	47.35	48.66
q3	1.50	1.52	1.54	1.53	1.53	1.52	1.52	1.53	1.57	1.60
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	49.94	52.41	54.80	57.11	59.35	61.51	63.56	65.50	67.33	69.05
q3	1.66	1.74	1.86	1.97	2.07	2.16	2.20	2.23	2.23	2.23
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	70.65	72.14	73.50	74.76	75.91	77.90	80.54	82.26	84.04	85.82
q3	2.19	2.15	2.06	2.01	1.92	1.77	1.72	1.85	2.04	2.17
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	87.56	89.24	90.83	92.98	94.24	96.74	97.83	98.64	99.32	99.64
q3	2.25	2.30	2.29	2.20	2.05	1.76	1.38	1.09	0.73	0.49
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	99.85	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.33	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

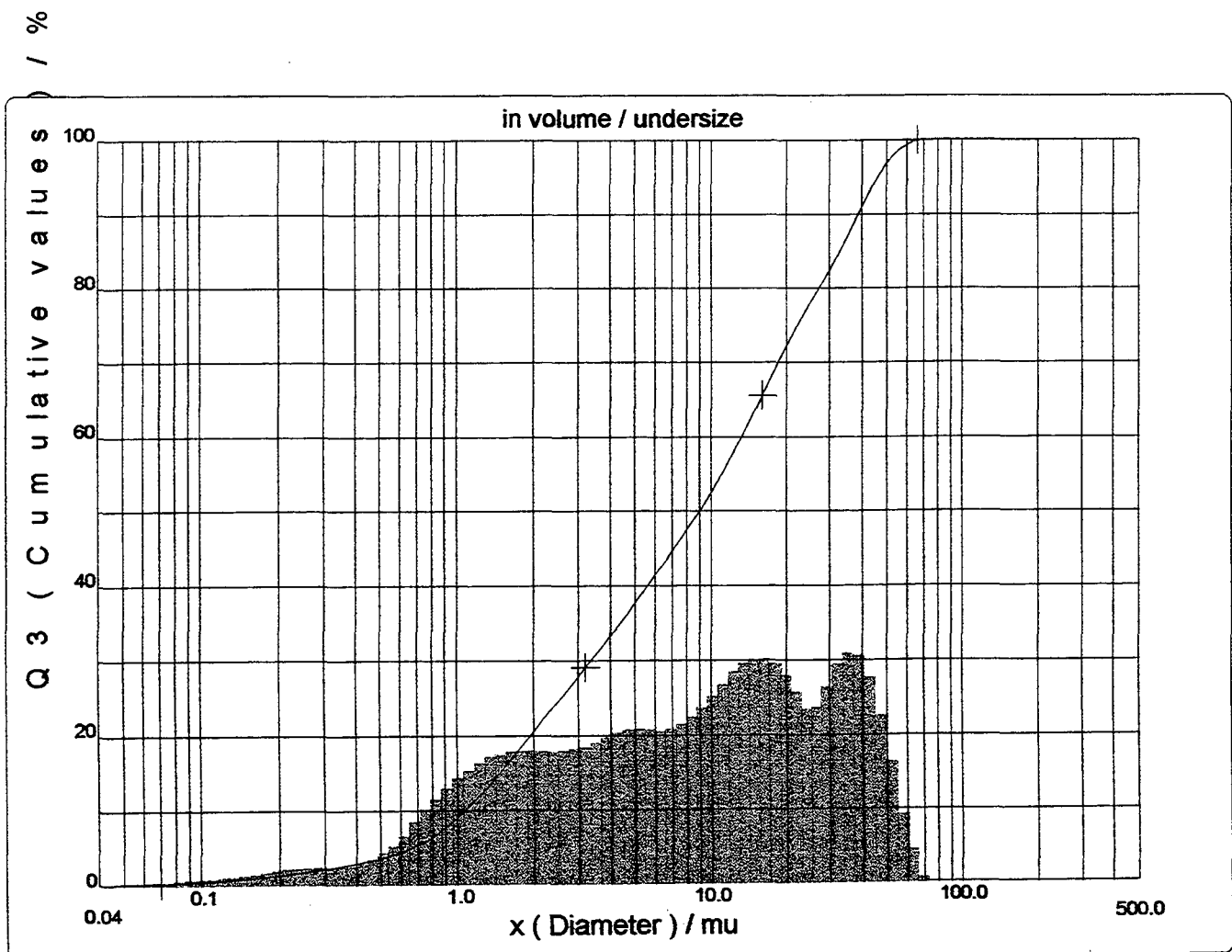
CILAS 1064 Liquid



Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Sample Ref : 2055/2000-9
Type produit : Quartzito - M/325 - FN
Client : CPGENQ/UFSC
Comments :
Liquid : Água
Dispersing agent : Nenhum
Operator : Juliane
Company : CTC
Location : Criciúma
Date : 10/01/2001 Time : 15:40:33
Measurement number 1361

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 156
Diameter at 10% : 1.07 mu
Diameter at 50% : 9.02 mu
Diameter at 90% : 38.94 mu
Fraunhofer
Density/Factor : _____
Specific surface : _____
Auto. dilution/top up : No / No
Nb Measur./Rins. : 20 / 4





AMOSTRA: Quartzito - GR PÁG. N°: 1 de 1
EMPRESA: CPGENQ/UFSC FORMA: Pó
RELATÓRIO N°: 2055E558 DATA: 11/01/01

RELATÓRIO DE ENSAIOS

Amostra recebida em: 10/01/01
Finalizada em: 10/01/01

RESULTADOS:

EQUIPAMENTO:

Analisador de tamanho de partícula por difração à laser CILAS 1064L

PARÂMETROS DE ENSAIO:

Meio suspensor: água destilada

Temperatura de realização dos ensaios: $23,0 \pm 1,0$ °C

RESULTADOS :

10 % das partículas abaixo de [µm]	3,37
50 % das partículas abaixo de [µm]	78,83
90 % das partículas abaixo de [µm]	150,09
100 % das partículas abaixo de [µm]	400,00


Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-8
 Type produit : Quartzito - GR
 Client : CPGENQ/UFSC
 Comments :
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Juliane
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 10/01/2001 Time : 14:58:22
 Measurement number 1360

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 154
 Diameter at 10% : 3.37 mu
 Diameter at 50% : 78.83 mu
 Diameter at 90% : 150.09 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

Standards classes in volume / undersize

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.00	0.07	0.17	0.50	0.83	1.15	1.45	1.77	2.11	2.47
q3	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.18
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	2.84	3.21	3.58	3.95	4.32	4.69	5.40	6.07	6.72	7.33
q3	0.21	0.24	0.26	0.29	0.31	0.34	0.36	0.38	0.42	0.43
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	7.90	8.42	8.89	9.32	9.71	10.05	10.37	10.67	10.93	11.30
q3	0.44	0.44	0.43	0.42	0.41	0.38	0.38	0.37	0.34	0.35
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	11.63	12.03	12.29	12.54	12.84	13.18	13.48	13.74	13.98	14.19
q3	0.33	0.32	0.30	0.31	0.29	0.29	0.27	0.25	0.25	0.23
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	14.38	14.71	14.99	15.24	15.47	15.68	15.86	16.03	16.19	16.33
q3	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	16.46	16.59	16.71	16.83	16.95	17.20	17.64	17.99	18.41	18.90
q3	0.16	0.17	0.17	0.17	0.18	0.20	0.26	0.34	0.44	0.55
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	19.47	20.13	20.87	22.17	23.15	26.03	28.02	30.19	33.34	35.84
q3	0.67	0.82	0.97	1.21	1.46	1.85	2.31	2.66	3.09	3.46
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	38.43	42.88	46.52	51.03	55.42	59.61	63.54	67.21	74.91	81.55
q3	3.76	4.12	4.49	4.72	4.89	4.95	4.91	4.83	4.59	4.09
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	83.66	87.22	89.98	92.13	93.81	95.12	96.13	96.92	97.65	98.20
q3	3.64	3.25	2.70	2.25	1.87	1.55	1.26	1.04	0.85	0.68
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	98.74	98.99	99.49	99.69	99.79	99.93	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.53	0.41	0.30	0.20	0.14	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

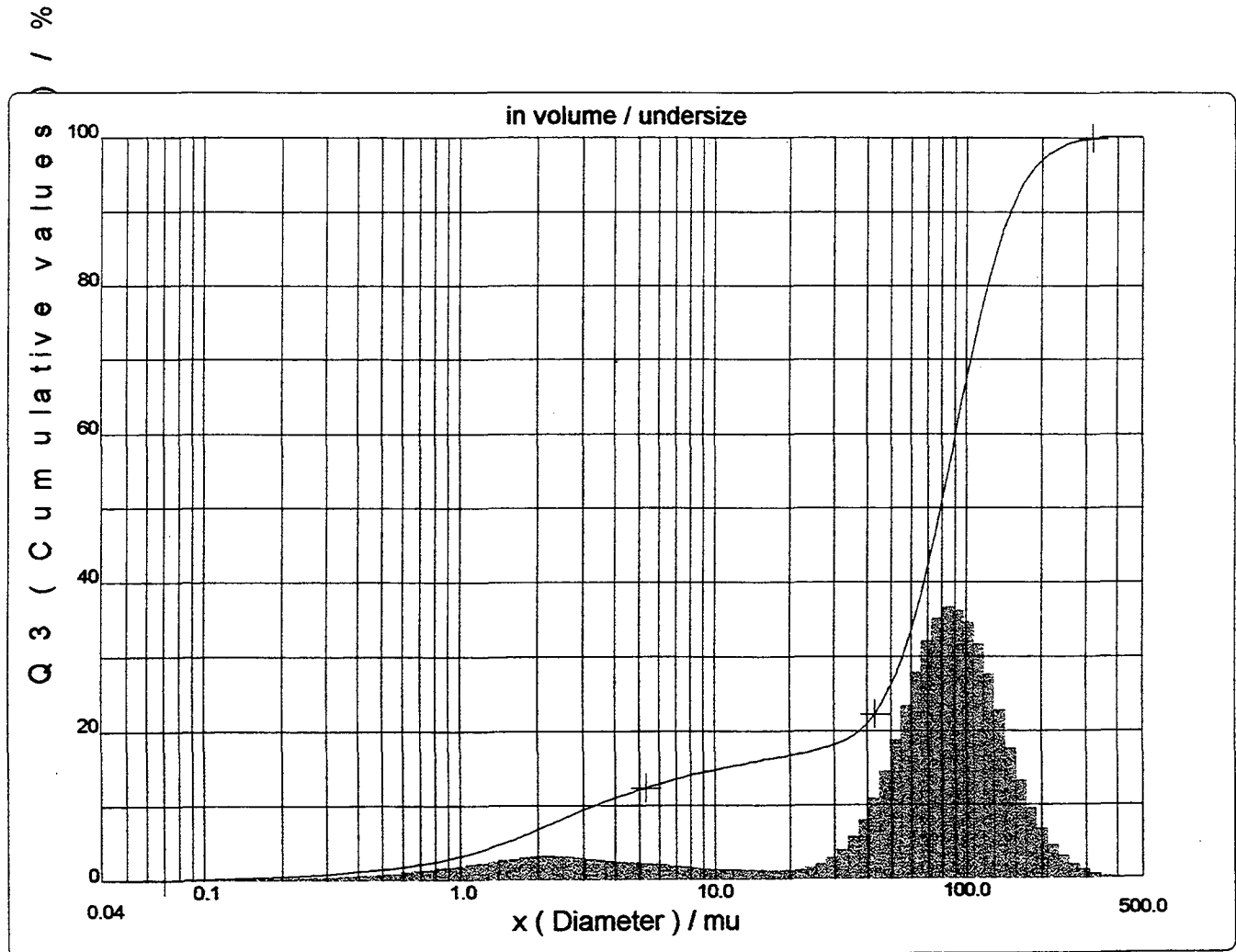
CILAS 1064 Liquid



Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Sample Ref : 2055/2000-8
Type produit : Quartzito - GR
Client : CPGENQ/UFSC
Comments :
Liquid : Água
Dispersing agent : Nenhum
Operator : Juliane
Company : CTC
Location : Criciúma
Date : 10/01/2001 Time : 14:58:22
Measurement number 1360

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 154
Diameter at 10% : 3.37 mu
Diameter at 50% : 78.83 mu
Diameter at 90% : 150.09 mu
Fraunhofer
Density/Factor : _____
Specific surface : _____
Auto. dilution/top up : No / No
Nb Measur./Rins. : 20 / 4



APÊNDICE 3

**Resultados do Ensaio com Aeroclassificador Estático e Boletins de Ensaio
Granulométrico no Granulômetro Cilas**

Cálculo da curva de partição / Classificador Estático A

x (um)	Alimentação		Fino		Grosso		(A-F)/(G-A)	A . y _A	F . y _F	G . y _G	Coef. G(X)	Part. G _c (X)
	y _A	Y _A	y _F	Y _F	y _G	Y _G						
300,0	0,00	100,0	0,00	100,11	0,36	99,64	0,318	0,00	0,00	0,09	1,000	1,000
280,0	0,05	99,95	-0,02	100,13	0,26	99,38	0,318	0,05	-0,01	0,06	1,253	1,291
250,0	0,21	99,74	0,06	100,07	0,67	98,71	0,318	0,21	0,05	0,16	0,769	0,734
240,0	0,12	99,62	0,05	100,01	0,33	98,38	0,318	0,12	0,04	0,08	0,663	0,612
224,0	0,31	99,31	0,19	99,82	0,69	97,69	0,318	0,31	0,14	0,17	0,536	0,467
212,0	0,36	98,95	0,26	99,57	0,69	97,00	0,318	0,36	0,19	0,17	0,462	0,382
200,0	0,48	98,47	0,36	99,21	0,86	96,14	0,318	0,48	0,27	0,21	0,432	0,347
190,0	0,53	97,94	0,42	98,79	0,88	95,26	0,318	0,53	0,32	0,21	0,400	0,311
180,0	0,67	97,27	0,55	98,24	1,06	94,20	0,318	0,67	0,41	0,26	0,381	0,289
170,0	0,86	96,41	0,73	97,51	1,27	92,93	0,318	0,86	0,55	0,31	0,356	0,260
160,0	1,05	95,36	0,89	96,62	1,54	91,39	0,318	1,05	0,68	0,37	0,353	0,257
150,0	1,30	94,06	1,13	95,50	1,85	89,54	0,318	1,30	0,85	0,45	0,343	0,245
140,0	1,57	92,49	1,36	94,13	2,22	87,32	0,318	1,57	1,03	0,54	0,341	0,242
130,0	1,89	90,60	1,64	92,49	2,68	84,64	0,318	1,89	1,24	0,65	0,342	0,243
125,0	1,07	89,53	0,93	91,57	1,52	83,12	0,318	1,07	0,70	0,37	0,342	0,244
112,0	3,29	86,24	2,89	88,67	4,54	78,58	0,318	3,29	2,20	1,09	0,333	0,233
100,0	3,72	82,52	3,34	85,34	4,93	73,65	0,318	3,72	2,53	1,19	0,319	0,218
95,00	1,75	80,77	1,58	83,76	2,29	71,36	0,318	1,75	1,20	0,55	0,315	0,213
90,00	1,87	78,90	1,70	82,06	2,42	68,94	0,318	1,87	1,29	0,58	0,312	0,209
85,00	1,98	76,92	1,79	80,27	2,58	66,36	0,318	1,98	1,36	0,62	0,314	0,212
80,00	2,08	74,84	1,88	78,39	2,71	63,65	0,318	2,08	1,43	0,65	0,314	0,211
75,00	2,18	72,66	1,97	76,42	2,83	60,82	0,318	2,18	1,50	0,68	0,313	0,210
71,00	1,80	70,86	1,64	74,78	2,31	58,51	0,318	1,80	1,24	0,56	0,309	0,206
66,00	2,32	68,54	2,13	72,65	2,92	55,59	0,318	2,32	1,62	0,70	0,303	0,199
63,00	1,43	67,11	1,32	71,33	1,77	53,82	0,318	1,43	1,00	0,43	0,298	0,193
60,00	1,46	65,65	1,36	69,97	1,77	52,05	0,318	1,46	1,03	0,43	0,292	0,186
56,00	2,01	63,64	1,89	68,08	2,38	49,67	0,318	2,01	1,44	0,57	0,285	0,179
53,00	1,55	62,09	1,47	66,60	1,79	47,88	0,318	1,55	1,12	0,43	0,278	0,170
50,00	1,61	60,48	1,54	65,06	1,82	46,06	0,318	1,61	1,17	0,44	0,272	0,164
45,00	2,84	57,64	2,75	62,31	3,12	42,94	0,318	2,84	2,09	0,75	0,265	0,155
43,00	1,22	56,42	1,19	61,11	1,30	41,64	0,318	1,22	0,91	0,31	0,257	0,146
40,00	1,91	54,51	1,88	59,24	2,02	39,62	0,318	1,91	1,42	0,49	0,255	0,144
38,00	1,33	53,18	1,31	57,92	1,38	38,24	0,318	1,33	1,00	0,33	0,250	0,138
36,00	1,39	51,79	1,38	56,54	1,41	36,83	0,318	1,39	1,05	0,34	0,244	0,132
34,00	1,44	50,35	1,44	55,10	1,44	35,39	0,318	1,44	1,09	0,35	0,241	0,128
32,00	1,48	48,87	1,49	53,61	1,44	33,95	0,318	1,48	1,13	0,35	0,234	0,120
30,00	1,50	47,37	1,52	52,09	1,45	32,50	0,318	1,50	1,15	0,35	0,233	0,118
28,00	1,60	45,77	1,66	50,43	1,42	31,08	0,318	1,60	1,26	0,34	0,214	0,096
25,00	2,42	43,35	2,53	47,90	2,07	29,01	0,318	2,42	1,92	0,50	0,206	0,088
23,00	1,65	41,70	1,75	46,15	1,32	27,69	0,318	1,65	1,33	0,32	0,193	0,072
22,00	0,83	40,87	0,89	45,25	0,63	27,06	0,318	0,83	0,68	0,15	0,183	0,061
21,00	0,84	40,03	0,91	44,35	0,63	26,43	0,318	0,84	0,69	0,15	0,181	0,058
20,00	0,85	39,18	0,92	43,43	0,62	25,81	0,318	0,85	0,70	0,15	0,176	0,053
19,00	0,86	38,32	0,94	42,49	0,61	25,20	0,318	0,86	0,71	0,15	0,171	0,047
18,00	0,87	37,45	0,95	41,53	0,61	24,59	0,318	0,87	0,72	0,15	0,169	0,045
17,00	0,90	36,55	0,99	40,54	0,62	23,97	0,318	0,90	0,75	0,15	0,166	0,041
16,00	0,93	35,62	1,03	39,52	0,63	23,34	0,318	0,93	0,78	0,15	0,163	0,038
15,00	0,96	34,66	1,06	38,46	0,64	22,70	0,318	0,96	0,81	0,15	0,161	0,035
14,00	1,00	33,66	1,11	37,35	0,66	22,04	0,318	1,00	0,84	0,16	0,159	0,033

Cálculo da curva de partição / Classificador Estático A

x (um)	Alimentação		Fino		Grosso		(A-F)/(G-A)	A . y _A	F . y _F	G . y _G	Coef.	Part.
	y _A	Y _A	y _F	Y _F	y _G	Y _G					G(X)	G _c (X)
13,00	1,04	32,62	1,15	36,20	0,69	21,35	0,318	1,04	0,87	0,17	0,160	0,034
12,00	1,10	31,52	1,22	34,97	0,71	20,64	0,318	1,10	0,93	0,17	0,156	0,029
11,00	1,18	30,34	1,32	33,65	0,73	19,91	0,318	1,18	1,00	0,18	0,149	0,022
10,00	1,25	29,09	1,40	32,25	0,77	19,14	0,318	1,25	1,06	0,19	0,148	0,021
9,00	1,34	27,75	1,51	30,74	0,80	18,34	0,318	1,34	1,15	0,19	0,144	0,016
8,50	0,71	27,04	0,80	29,94	0,42	17,92	0,318	0,71	0,61	0,10	0,143	0,014
8,00	0,75	26,29	0,85	29,09	0,44	17,48	0,318	0,75	0,64	0,11	0,141	0,013
7,50	0,77	25,52	0,87	28,22	0,46	17,02	0,318	0,77	0,66	0,11	0,144	0,016
7,00	0,82	24,70	0,92	27,29	0,49	16,53	0,318	0,82	0,70	0,12	0,144	0,016
6,50	0,86	23,84	0,97	26,32	0,51	16,02	0,318	0,86	0,74	0,12	0,143	0,015
6,00	0,91	22,93	1,02	25,30	0,55	15,47	0,318	0,91	0,78	0,13	0,146	0,018
5,60	0,76	22,17	0,85	24,45	0,47	15,00	0,318	0,76	0,65	0,11	0,149	0,022
5,30	0,60	21,57	0,67	23,77	0,37	14,63	0,318	0,60	0,51	0,09	0,149	0,021
5,00	0,62	20,95	0,69	23,08	0,39	14,24	0,318	0,62	0,53	0,09	0,152	0,025
4,60	0,86	20,09	0,96	22,12	0,55	13,69	0,318	0,86	0,73	0,13	0,154	0,028
4,30	0,69	19,40	0,77	21,35	0,44	13,25	0,318	0,69	0,58	0,11	0,154	0,027
4,00	0,72	18,68	0,80	20,55	0,47	12,78	0,318	0,72	0,61	0,11	0,157	0,031
3,80	0,50	18,18	0,55	20,00	0,34	12,44	0,318	0,50	0,42	0,08	0,164	0,039
3,60	0,52	17,66	0,57	19,43	0,35	12,09	0,318	0,52	0,44	0,08	0,162	0,037
3,40	0,56	17,10	0,62	18,81	0,38	11,71	0,318	0,56	0,47	0,09	0,164	0,039
3,20	0,58	16,52	0,64	18,17	0,39	11,32	0,318	0,58	0,49	0,09	0,162	0,037
3,00	0,62	15,90	0,68	17,49	0,43	10,89	0,318	0,62	0,52	0,10	0,167	0,043
2,80	0,67	15,23	0,73	16,76	0,47	10,42	0,318	0,67	0,56	0,11	0,169	0,045
2,60	0,71	14,52	0,78	15,98	0,50	9,92	0,318	0,71	0,59	0,12	0,170	0,046
2,40	0,77	13,75	0,84	15,14	0,54	9,38	0,318	0,77	0,64	0,13	0,169	0,045
2,20	0,80	12,95	0,87	14,27	0,58	8,80	0,318	0,80	0,66	0,14	0,175	0,051
2,00	0,85	12,10	0,93	13,34	0,61	8,19	0,318	0,85	0,70	0,15	0,173	0,049
1,80	0,87	11,23	0,95	12,40	0,63	7,56	0,318	0,87	0,72	0,15	0,175	0,051
1,60	0,88	10,35	0,95	11,45	0,66	6,90	0,318	0,88	0,72	0,16	0,181	0,058
1,40	0,88	9,47	0,95	10,50	0,67	6,23	0,318	0,88	0,72	0,16	0,183	0,061
1,30	0,43	9,04	0,46	10,04	0,34	5,89	0,318	0,43	0,35	0,08	0,191	0,070
1,20	0,44	8,60	0,47	9,57	0,35	5,54	0,318	0,44	0,36	0,08	0,192	0,071
1,10	0,43	8,17	0,46	9,11	0,34	5,20	0,318	0,43	0,35	0,08	0,191	0,070
1,00	0,42	7,75	0,44	8,67	0,35	4,85	0,318	0,42	0,34	0,08	0,201	0,081
0,90	0,43	7,32	0,46	8,22	0,35	4,50	0,318	0,43	0,35	0,08	0,196	0,076
0,80	0,42	6,90	0,44	7,77	0,35	4,15	0,318	0,42	0,34	0,08	0,201	0,081
0,70	0,39	6,51	0,40	7,38	0,37	3,78	0,318	0,39	0,30	0,09	0,229	0,113
0,60	0,30	6,21	0,27	7,11	0,41	3,37	0,318	0,30	0,20	0,10	0,329	0,229
0,50	0,31	5,90	0,26	6,85	0,47	2,90	0,318	0,31	0,20	0,11	0,365	0,271
0,40	0,44	5,46	0,41	6,44	0,54	2,36	0,318	0,44	0,31	0,13	0,296	0,191
0,30	1,06	4,40	1,22	5,23	0,56	1,80	0,318	1,06	0,93	0,13	0,127	-0,003
0,20	1,77	2,63	2,14	3,08	0,60	1,20	0,318	1,77	1,63	0,14	0,082	-0,056
0,10	1,38	1,25	1,58	1,50	0,74	0,46	0,318	1,38	1,20	0,18	0,129	-0,001
0,07	0,35	0,90	0,38	1,12	0,24	0,22	0,318	0,35	0,29	0,06	0,165	0,041
0,04	0,59	0,31	0,78	0,34	0,00	0,22	0,318	0,59	0,59	0,00	0,000	-0,149

RELATÓRIO DE ENSAIO

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS À LASER

Amostra recebida em: 08/02/01

Finalizada em: 09/02/01

EQUIPAMENTO:

Analisador de tamanho de partícula por difração à laser CILAS 1064L

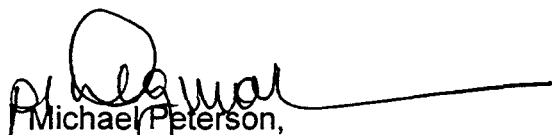
PARÂMETROS DE ENSAIO:

Meio suspensor: água destilada

Temperatura de realização dos ensaios: $23,0 \pm 1,0$ °C

RESULTADOS :

10 % das partículas abaixo de	1,52	µm
50 % das partículas abaixo de	33,51	µm
90 % das partículas abaixo de	127,18	µm
100 % das partículas abaixo de	300,00	µm



Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

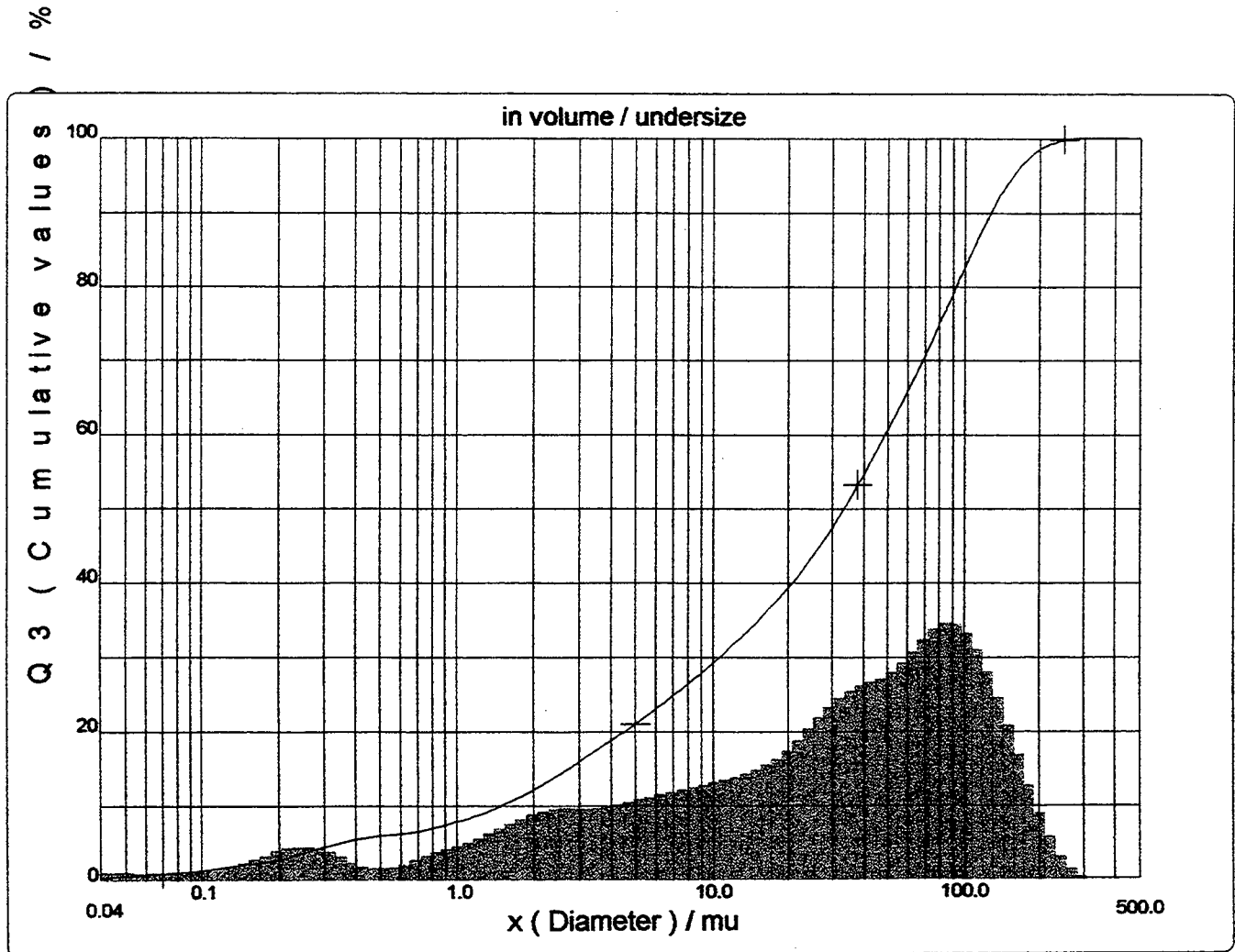
CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 μ m - 500.00 μ m / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-11
Type produit : Calcário FA Alim
Client : CPGENQ/UFSC
Comments :
Liquid : Água
Dispersing agent : Nenhum
Operator : Juliane
Company : CTC
Location : Criciúma
Date : 09/02/2001 Time : 10:09:04
Measurement number 1440

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 160
Diameter at 10% : 1.52 μ m
Diameter at 50% : 33.51 μ m
Diameter at 90% : 127.18 μ m
Fraunhofer
Density/Factor : _____
Specific surface : _____
Auto. dilution/top up : No / No
Nb Measur./Rins. : 20 / 4





PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid



Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Sample Ref : 2055/2000-11
 Type produit : Calcário FA Alim
 Client : CPGENQ/UFSC
 Comments :
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Juliane
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 09/02/2001 Time : 10:09:04
 Measurement number 1440

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 160
 Diameter at 10% : 1.52 mu
 Diameter at 50% : 33.51 mu
 Diameter at 90% : 127.18 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

Standards classes in volume / undersize

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.31	0.90	1.25	2.63	4.40	5.46	5.90	6.21	6.51	6.90
q3	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	7.32	7.75	8.17	8.60	9.04	9.47	10.35	11.23	12.10	12.95
q3	0.20	0.23	0.25	0.27	0.30	0.32	0.35	0.39	0.42	0.45
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	13.75	14.52	15.23	15.90	16.52	17.10	17.66	18.18	18.68	19.40
q3	0.48	0.49	0.51	0.52	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	20.09	20.95	21.57	22.17	22.93	23.84	24.70	25.52	26.29	27.04
q3	0.59	0.61	0.64	0.65	0.67	0.69	0.72	0.75	0.77	0.80
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	27.75	29.09	30.34	31.52	32.62	33.66	34.66	35.62	36.55	37.45
q3	0.83	0.86	0.91	0.95	0.99	1.02	1.05	1.08	1.11	1.15
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	38.32	39.18	40.03	40.87	41.70	43.35	45.77	47.34	48.87	50.35
q3	1.18	1.23	1.27	1.33	1.38	1.47	1.60	1.71	1.78	1.84
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	51.79	53.18	54.51	56.42	57.64	60.48	62.09	63.64	65.65	67.11
q3	1.89	1.93	1.96	1.99	2.02	2.06	2.14	2.22	2.34	2.45
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	68.54	70.86	72.66	74.84	76.92	78.90	80.77	82.52	86.24	89.53
q3	2.55	2.68	2.83	2.94	3.02	3.06	3.06	3.01	2.82	2.41
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	90.60	92.49	94.06	95.36	96.41	97.27	97.94	98.47	98.95	99.31
q3	2.10	1.84	1.51	1.22	0.96	0.73	0.49	0.34	0.22	0.13
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	99.62	99.74	99.95	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %



AMOSTRA: Calcário A Fino PÁG. N°: 1 de 1
EMPRESA: CPGENQ/UFSC FORMA: Pó
RELATÓRIO N°: 2055E567 DATA: 12/02/01

RELATÓRIO DE ENSAIO

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS À LASER

Amostra recebida em: 08/02/01
Finalizada em: 09/02/01

EQUIPAMENTO:

Analisador de tamanho de partícula por difração à laser CILAS 1064L

PARÂMETROS DE ENSAIO:

Meio suspensor: água destilada

Temperatura de realização dos ensaios: $23,0 \pm 1,0$ °C

RESULTADOS :

10 % das partículas abaixo de	2,09	µm
50 % das partículas abaixo de	36,41	µm
90 % das partículas abaixo de	103,22	µm
100 % das partículas abaixo de	240,00	µm


Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se toma responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-14
 Type produit : Calcário A Fino
 Client : CPGENQ/UFSC
 Comments :
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Juliane
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 09/02/2001 Time : 13:52:28
 Measurement number 1444

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 147
 Diameter at 10% : 2.09 mu
 Diameter at 50% : 36.41 mu
 Diameter at 90% : 103.22 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

Standards classes in volume / undersize

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.22	0.64	0.90	1.93	3.27	4.10	4.47	4.74	5.01	5.35
q3	0.05	0.05	0.05	0.10	0.23	0.20	0.12	0.10	0.12	0.18
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	5.71	6.07	6.43	6.80	7.16	7.52	8.25	8.98	9.69	10.39
q3	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.34	0.38	0.43	0.47	0.51
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	11.06	11.69	12.29	12.85	13.37	13.87	14.35	14.81	15.25	15.89
q3	0.53	0.55	0.56	0.57	0.57	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	16.50	17.28	17.84	18.39	19.09	19.93	20.73	21.49	22.23	22.94
q3	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	23.62	24.94	26.19	27.38	28.51	29.60	30.65	31.65	32.62	33.57
q3	0.83	0.87	0.91	0.95	0.99	1.02	1.05	1.08	1.12	1.15
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	34.49	35.40	36.30	37.20	38.10	39.91	42.63	44.43	46.21	47.95
q3	1.19	1.23	1.28	1.34	1.41	1.51	1.67	1.81	1.92	2.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	49.65	51.31	52.92	55.24	56.73	60.29	62.35	64.37	67.04	69.01
q3	2.07	2.13	2.18	2.23	2.29	2.35	2.46	2.56	2.68	2.81
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	70.95	74.15	76.65	79.63	82.38	84.86	87.04	88.96	92.68	95.53
q3	2.91	3.04	3.18	3.21	3.15	3.02	2.80	2.61	2.28	1.81
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	96.36	97.66	98.52	99.10	99.47	99.71	99.84	99.92	99.97	99.99
q3	1.47	1.22	0.87	0.62	0.43	0.29	0.17	0.11	0.06	0.03
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

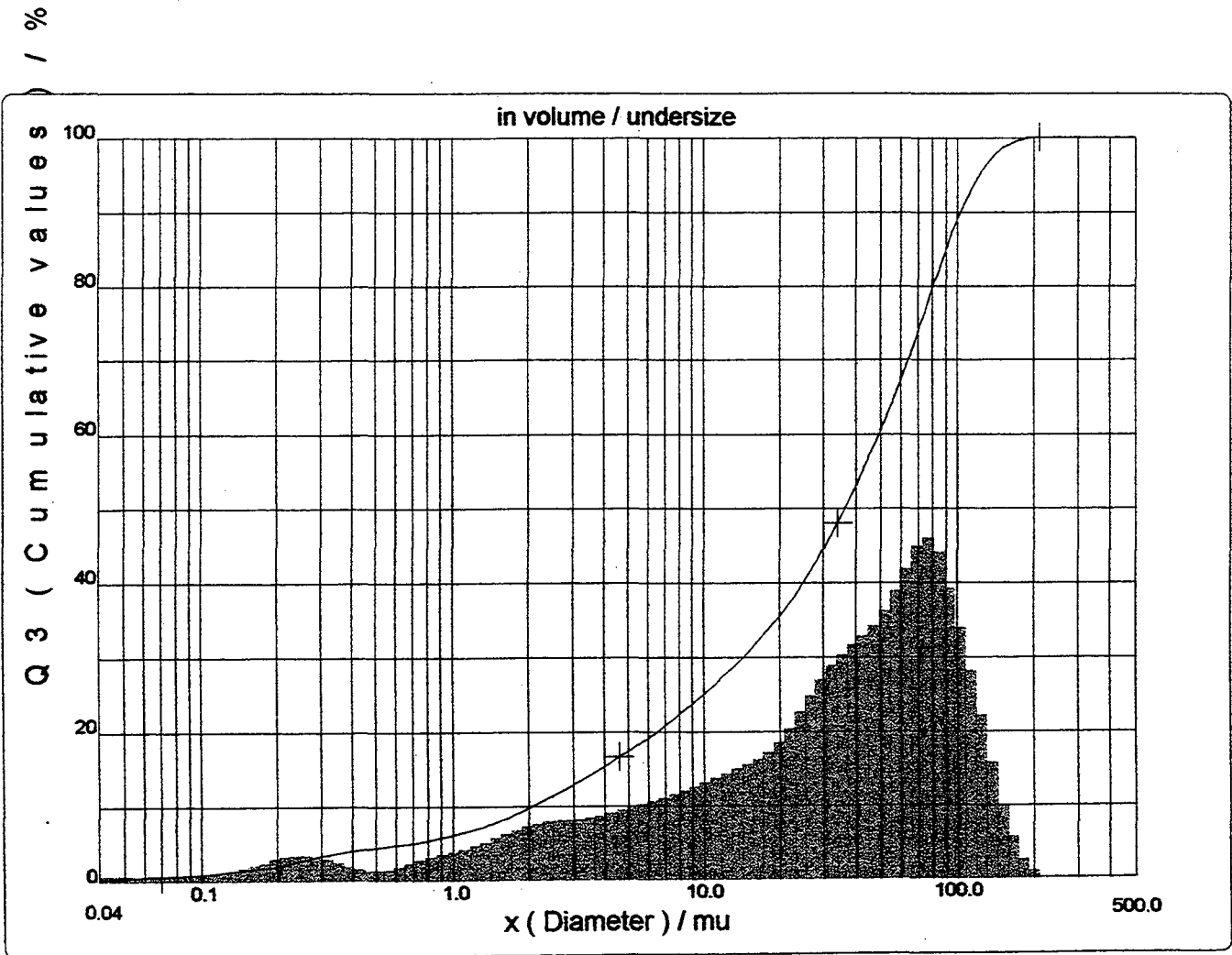
CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 μ m - 500.00 μ m / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-14
Type produit : Calcário A Fino
Client : CPGENQ/UFSC
Comments :
Liquid : Água
Dispersing agent : Nenhum
Operator : Juliane
Company : CTC
Location : Criciúma
Date : 09/02/2001 Time : 13:52:28
Measurement number 1444

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 147
Diameter at 10% : 2.09 μ m
Diameter at 50% : 36.41 μ m
Diameter at 90% : 103.22 μ m
Fraunhofer
Density/Factor : _____
Specific surface : _____
Auto. dilution/top up : No / No
Nb Measur./Rins. : 20 / 4



RELATÓRIO DE ENSAIO

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS À LASER

Amostra recebida em: 08/02/01
Finalizada em: 09/02/01

EQUIPAMENTO:

Analizador de tamanho de partícula por difração à laser CILAS 1064L

PARÂMETROS DE ENSAIO:

Meio suspensor: água destilada

Temperatura de realização dos ensaios: $23,0 \pm 1,0$ °C

RESULTADOS :

10 % das partículas abaixo de	2,63	µm
50 % das partículas abaixo de	56,54	µm
90 % das partículas abaixo de	152,42	µm
100 % das partículas abaixo de	400,00	µm



Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se toma responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

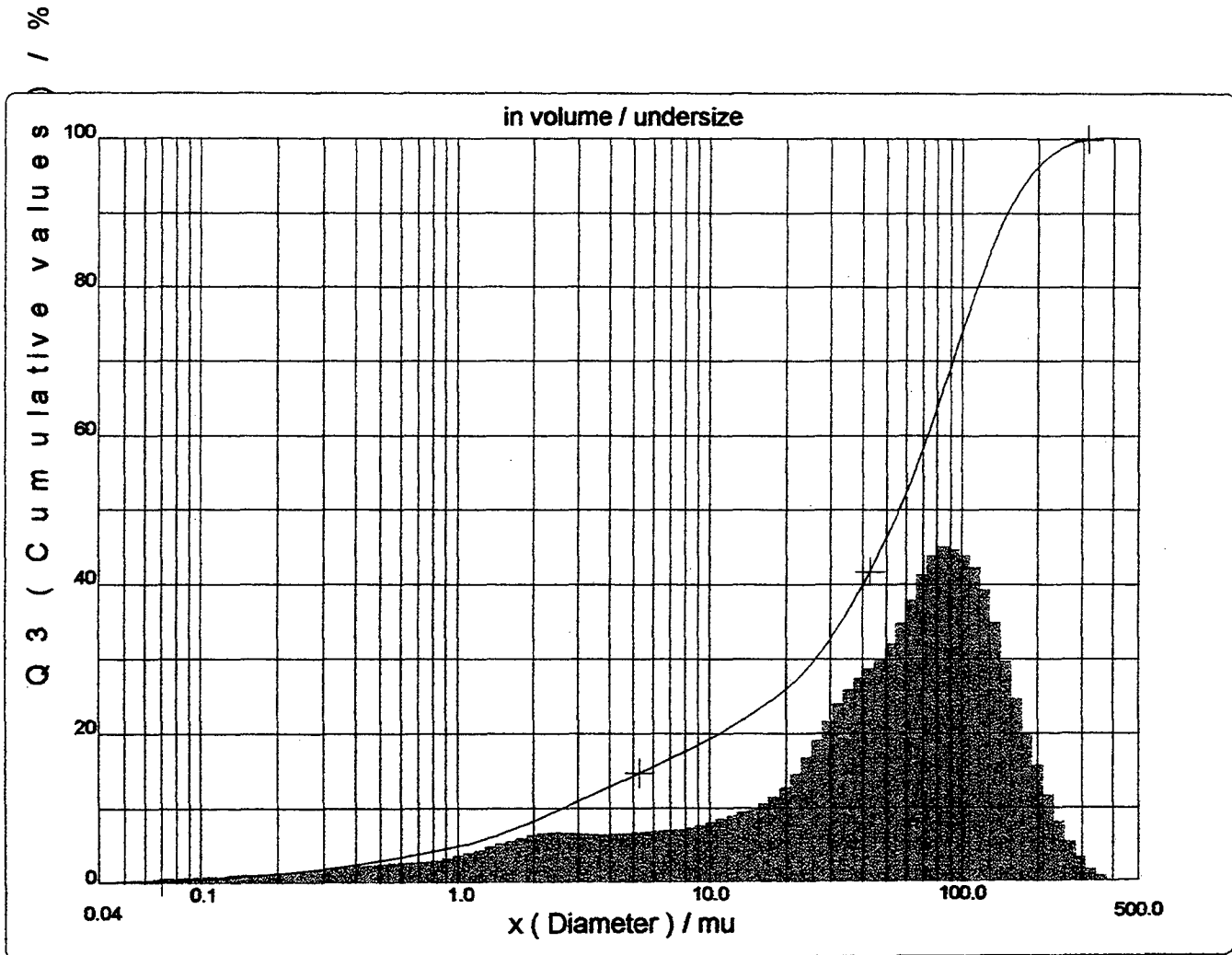
CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 μ m - 500.00 μ m / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-12
Type produit : Calcário A Grosso
Client : CPGENQ/UFSC
Comments :
Liquid : Água
Dispersing agent : Nenhum
Operator : Juliane
Company : CTC
Location : Criciúma
Date : 09/02/2001 Time : 10:59:21
Measurement number 1441

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 151
Diameter at 10% : 2.63 μ m
Diameter at 50% : 56.54 μ m
Diameter at 90% : 152.42 μ m
Fraunhofer
Density/Factor : _____
Specific surface : _____
Auto. dilution/top up : No / No
Nb Measur./Rins. : 20 / 4





PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-12
 Type produit : Calcário A Grosso
 Client : CPGENQ/UFSC
 Comments :
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Juliane
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 09/02/2001 Time : 10:59:21
 Measurement number 1441

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 151
 Diameter at 10% : 2.63 mu
 Diameter at 50% : 56.54 mu
 Diameter at 90% : 152.42 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

Standards classes in volume / undersize

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.02	0.22	0.46	1.20	1.80	2.36	2.90	3.37	3.78	4.15
q3	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.19
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	4.50	4.85	5.20	5.54	5.89	6.23	6.90	7.56	8.19	8.80
q3	0.20	0.22	0.25	0.27	0.30	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	9.38	9.92	10.42	10.89	11.32	11.71	12.09	12.44	12.78	13.25
q3	0.45	0.46	0.47	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	13.69	14.24	14.63	15.00	15.47	16.02	16.53	17.02	17.48	17.92
q3	0.45	0.45	0.46	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.49	0.50
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	18.34	19.14	19.91	20.64	21.35	22.04	22.70	23.34	23.97	24.59
q3	0.50	0.52	0.55	0.58	0.61	0.63	0.66	0.68	0.71	0.74
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	25.20	25.81	26.43	27.06	27.69	29.01	31.08	32.50	33.95	35.39
q3	0.77	0.82	0.87	0.92	0.98	1.09	1.25	1.41	1.53	1.64
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	36.83	38.24	39.62	41.64	42.94	46.06	47.88	49.67	52.05	53.82
q3	1.72	1.79	1.85	1.91	1.97	2.03	2.14	2.23	2.36	2.49
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	55.59	58.51	60.82	63.65	66.36	68.94	71.36	73.65	78.58	83.12
q3	2.60	2.74	2.90	3.00	3.07	3.09	3.08	3.05	2.99	2.83
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	84.64	87.32	89.54	91.39	92.93	94.20	95.26	96.14	97.00	97.69
q3	2.65	2.48	2.21	1.96	1.74	1.53	1.34	1.18	1.01	0.86
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	98.38	98.71	99.38	99.64	99.76	99.93	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.69	0.56	0.40	0.26	0.17	0.10	0.04	0.00	0.00	0.00

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %

APÊNDICE 4

**Resultados do Ensaio com Ciclone e Boletins de Ensaio Granulométrico no
Granulômetro Cilas**

Cálculo da curva de Partição / Ciclone A

x (µm)	Fino		Grosso		Alimentação		F · y _F	G · y _G	G(X)	G _c (X)
	y _F	Y _F	y _G	Y _G	y _A	Y _A				
450,0	0,0	100,0	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	0,00	1,0000	1,0000
425,0	0,0	100,0	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	0,00	1,0000	1,0000
400,0	0,0	100,0	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	0,00	1,0000	1,0000
355,0	0,0	100,0	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	0,00	1,0000	1,0000
315,0	0,0	100,0	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	0,00	1,0000	1,0000
300,0	0,0	100,00	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	0,00	1,0000	1,0000
280,0	0,0	100,00	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	0,00	11,0000	1,0000
250,0	0,0	100,00	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	0,00	1,0000	1,0000
240,0	0,0	100,00	0,00	100,0	0,00	100,00	0,00	0,00	1,0000	1,0000
224,0	0,0	100,00	0,01	99,99	0,01	99,99	0,00	0,01	1,0000	1,0000
212,0	0,0	100,00	0,02	99,97	0,01	99,98	0,00	0,01	1,0000	1,0000
200,0	0,0	100,00	0,05	99,92	0,04	99,94	0,00	0,04	1,0000	1,0000
190,0	0,0	100,00	0,08	99,84	0,06	99,88	0,00	0,06	1,0000	1,0000
180,0	0,0	100,00	0,13	99,71	0,09	99,79	0,00	0,09	1,0000	1,0000
170,0	0,0	100,00	0,24	99,47	0,17	99,62	0,00	0,17	1,0000	1,0000
160,0	0,0	100,00	0,37	99,10	0,27	99,35	0,00	0,27	1,0000	1,0000
150,0	0,0	100,00	0,58	98,52	0,42	98,94	0,00	0,42	1,0000	1,0000
140,0	0,0	100,00	0,86	97,66	0,62	98,32	0,00	0,62	1,0000	1,0000
130,0	0,0	100,00	1,30	96,36	0,93	97,38	0,00	0,93	1,0000	1,0000
125,0	0,0	100,00	0,83	95,53	0,60	96,79	0,00	0,60	1,0000	1,0000
112,0	0,0	100,00	2,85	92,68	2,05	94,74	0,00	2,05	1,0000	1,0000
100,0	0,0	100,00	3,72	88,96	2,67	92,06	0,00	2,67	1,0000	1,0000
95,00	0,0	100,00	1,92	87,04	1,38	90,68	0,00	1,38	1,0000	1,0000
90,00	0,0	100,00	2,18	84,86	1,57	89,12	0,00	1,57	1,0000	1,0000
85,00	0,0	100,00	2,48	82,38	1,78	87,33	0,00	1,78	1,0000	1,0000
80,00	0,0	100,00	2,75	79,63	1,98	85,36	0,00	1,98	1,0000	1,0000
75,00	0,0	100,00	2,98	76,65	2,14	83,21	0,00	2,14	1,0000	1,0000
71,00	0,0	100,00	2,50	74,15	1,80	81,42	0,00	1,80	1,0000	1,0000
66,00	0,0	100,00	3,20	70,95	2,30	79,12	0,00	2,30	1,0000	1,0000
63,00	0,0	100,00	1,94	69,01	1,39	77,72	0,00	1,39	1,0000	1,0000
60,00	0,0	100,00	1,97	67,04	1,42	76,31	0,00	1,42	1,0000	1,0000
56,00	0,0	100,00	2,67	64,37	1,92	74,39	0,00	1,92	1,0000	1,0000
53,00	0,0	100,00	2,02	62,35	1,45	72,93	0,00	1,45	1,0000	1,0000
50,00	0,0	100,00	2,06	60,29	1,48	71,45	0,00	1,48	1,0000	1,0000
45,00	0,0	100,00	3,56	56,73	2,56	68,89	0,00	2,56	1,0000	1,0000
43,00	0,0	100,00	1,49	55,24	1,07	67,82	0,00	1,07	1,0000	1,0000
40,00	0,0	100,00	2,32	52,92	1,67	66,15	0,00	1,67	1,0000	1,0000
38,00	0,0	100,00	1,61	51,31	1,16	65,00	0,00	1,16	1,0000	1,0000
36,00	0,0	100,00	1,66	49,65	1,19	63,80	0,00	1,19	1,0000	1,0000
34,00	0,0	100,00	1,70	47,95	1,22	62,58	0,00	1,22	1,0000	1,0000
32,00	0,0	100,00	1,74	46,21	1,25	61,33	0,00	1,25	1,0000	1,0000
30,00	0,0	100,00	1,78	44,43	1,28	60,05	0,00	1,28	1,0000	1,0000
28,00	0,0	99,96	1,80	42,63	1,31	58,75	0,01	1,29	0,9914	0,9880
25,00	0,2	99,80	2,72	39,91	2,00	56,75	0,04	1,95	0,9775	0,9688
23,00	0,3	99,53	1,81	38,10	1,38	55,37	0,08	1,30	0,9449	0,9234
22,00	0,2	99,31	0,90	37,20	0,71	54,66	0,06	0,65	0,9128	0,8788
21,00	0,3	99,01	0,90	36,30	0,73	53,93	0,08	0,65	0,8847	0,8398
20,00	0,4	98,62	0,90	35,40	0,76	53,17	0,11	0,65	0,8551	0,7988
19,00	0,5	98,13	0,91	34,49	0,79	52,38	0,14	0,65	0,8261	0,7584
18,00	0,6	97,52	0,92	33,57	0,83	51,55	0,17	0,66	0,7941	0,7140
17,00	0,8	96,74	0,95	32,62	0,90	50,64	0,22	0,68	0,7570	0,6625
16,00	0,9	95,79	0,97	31,65	0,96	49,68	0,27	0,70	0,7231	0,6154
15,00	1,2	94,64	1,00	30,65	1,04	48,64	0,32	0,72	0,6898	0,5692
14,00	1,4	93,26	1,05	29,60	1,14	47,50	0,39	0,75	0,6605	0,5285
13,00	1,6	91,63	1,09	28,51	1,24	46,25	0,46	0,78	0,6310	0,4875
12,00	1,9	89,73	1,13	27,38	1,35	44,91	0,53	0,81	0,6033	0,4491
11,00	2,2	87,51	1,19	26,19	1,48	43,43	0,62	0,86	0,5782	0,4142
10,00	2,6	84,92	1,25	24,94	1,63	41,80	0,73	0,90	0,5524	0,3784
9,00	3,0	81,90	1,32	23,62	1,80	40,00	0,85	0,95	0,5278	0,3442

Cálculo da curva de Partição / Ciclone A

x (um)	Fino		Grosso		Alimentação		F . y _F	G . y _G	G(X)	G _c (X)
	y _F	Y _F	y _G	Y _G	y _A	Y _A				
8,50	1,7	80,18	0,7	22,94	0,97	39,03	0,48	0,49	0,5027	0,3094
8,00	1,9	78,31	0,71	22,23	1,04	37,99	0,53	0,51	0,4926	0,2953
7,50	2,1	76,26	0,74	21,49	1,11	36,89	0,58	0,53	0,4800	0,2778
7,00	2,3	74,00	0,76	20,73	1,18	35,70	0,64	0,55	0,4624	0,2533
6,50	2,5	71,48	0,80	19,93	1,28	34,42	0,71	0,57	0,4481	0,2334
6,00	2,8	68,67	0,84	19,09	1,39	33,03	0,79	0,60	0,4333	0,2129
5,60	2,5	66,16	0,70	18,39	1,21	31,82	0,71	0,50	0,4163	0,1893
5,30	2,0	64,13	0,55	17,84	0,97	30,85	0,57	0,40	0,4093	0,1796
5,00	2,2	61,95	0,56	17,28	1,02	29,84	0,61	0,40	0,3965	0,1618
4,60	3,1	58,82	0,78	16,50	1,44	28,40	0,88	0,56	0,3892	0,1517
4,30	2,5	56,29	0,61	15,89	1,15	27,25	0,71	0,44	0,3814	0,1408
4,00	2,7	53,60	0,64	15,25	1,22	26,03	0,76	0,46	0,3783	0,1365
3,80	1,9	51,72	0,44	14,81	0,84	25,19	0,53	0,32	0,3744	0,1311
3,60	2,0	49,77	0,46	14,35	0,88	24,31	0,55	0,33	0,3763	0,1337
3,40	2,0	47,73	0,48	13,87	0,92	23,39	0,57	0,34	0,3757	0,1329
3,20	2,1	45,60	0,50	13,37	0,96	22,43	0,60	0,36	0,3751	0,1321
3,00	2,2	43,37	0,52	12,85	1,00	21,43	0,63	0,37	0,3736	0,1299
2,80	2,3	41,02	0,56	12,29	1,06	20,37	0,66	0,40	0,3786	0,1370
2,60	2,5	38,56	0,60	11,69	1,12	19,24	0,69	0,43	0,3841	0,1446
2,40	2,6	35,97	0,63	11,06	1,18	18,06	0,73	0,45	0,3835	0,1437
2,20	2,7	33,23	0,67	10,39	1,25	16,81	0,77	0,48	0,3847	0,1455
2,00	2,9	30,33	0,70	9,69	1,32	15,49	0,81	0,50	0,3817	0,1412
1,80	3,1	27,26	0,71	8,98	1,37	14,12	0,86	0,51	0,3716	0,1273
1,60	3,3	24,01	0,73	8,25	1,44	12,68	0,91	0,52	0,3648	0,1178
1,40	3,4	20,58	0,73	7,52	1,49	11,19	0,96	0,52	0,3524	0,1006
1,30	1,8	18,80	0,36	7,16	0,76	10,43	0,50	0,26	0,3409	0,0846
1,20	1,8	16,97	0,36	6,80	0,77	9,66	0,51	0,26	0,3347	0,0760
1,10	1,9	15,10	0,37	6,43	0,79	8,87	0,53	0,27	0,3360	0,0778
1,00	1,9	13,20	0,36	6,07	0,79	8,07	0,53	0,26	0,3264	0,0644
0,90	1,9	11,27	0,36	5,71	0,80	7,27	0,54	0,26	0,3230	0,0597
0,80	1,9	9,35	0,36	5,35	0,80	6,47	0,54	0,26	0,3241	0,0612
0,70	1,8	7,53	0,34	5,01	0,76	5,72	0,51	0,24	0,3233	0,0601
0,60	1,5	6,02	0,27	4,74	0,62	5,10	0,42	0,19	0,3138	0,0469
0,50	1,2	4,78	0,27	4,47	0,54	4,56	0,35	0,19	0,3577	0,1079
0,40	1,0	3,77	0,37	4,10	0,55	4,01	0,28	0,27	0,4837	0,2829
0,30	1,0	2,74	0,83	3,27	0,89	3,12	0,29	0,60	0,6733	0,5462
0,20	1,2	1,58	1,34	1,93	1,29	1,83	0,33	0,96	0,7471	0,6487
0,10	0,9	0,66	1,03	0,90	1,00	0,83	0,26	0,74	0,7411	0,6405
0,07	0,2	0,42	0,26	0,64	0,25	0,58	0,07	0,19	0,7348	0,6316
0,04	0,3	0,12	0,42	0,22	0,39	0,19	0,08	0,30	0,7817	0,6968

RELATÓRIO DE ENSAIO

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS À LASER

Amostra recebida em: 08/02/01

Finalizada em: 09/02/01

EQUIPAMENTO:

Analisador de tamanho de partícula por difração à laser CILAS 1064L

PARÂMETROS DE ENSAIO:

Meio suspensor: água destilada

Temperatura de realização dos ensaios: $23,0 \pm 1,0$ °C

RESULTADOS :

10 % das partículas abaixo de	0,83	µm
50 % das partículas abaixo de	3,62	µm
90 % das partículas abaixo de	12,14	µm
100 % das partículas abaixo de	30,00	µm



Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se toma responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-15
 Type produit : Calcário A FM
 Client : CPGENQ/UFSC
 Comments :
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Juliane
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 09/02/2001 Time : 14:18:27
 Measurement number: 1445

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 153
 Diameter at 10% : 0.83 mu
 Diameter at 50% : 3.62 mu
 Diameter at 90% : 12.14 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

Standards classes in volume / undersize

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.12	0.42	0.66	1.58	2.74	3.77	4.78	6.02	7.53	9.35
q3	0.03	0.04	0.05	0.11	0.23	0.29	0.36	0.55	0.79	1.09
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	11.27	13.20	15.10	16.97	18.80	20.58	24.01	27.26	30.33	33.23
q3	1.31	1.47	1.60	1.72	1.83	1.93	2.06	2.21	2.34	2.44
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	35.97	38.56	41.02	43.37	45.60	47.73	49.77	51.72	53.60	56.29
q3	2.53	2.60	2.66	2.73	2.77	2.82	2.86	2.89	2.94	2.98
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	58.82	61.95	64.13	66.16	68.67	71.48	74.00	76.26	78.31	80.18
q3	3.01	3.01	3.00	2.96	2.92	2.82	2.73	2.63	2.55	2.48
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	81.90	84.92	87.51	89.73	91.63	93.26	94.64	95.79	96.74	97.52
q3	2.41	2.30	2.18	2.05	1.90	1.76	1.60	1.43	1.26	1.09
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	98.13	98.62	99.01	99.31	99.53	99.80	99.96	100.00	100.00	100.00
q3	0.91	0.77	0.64	0.52	0.40	0.26	0.11	0.05	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

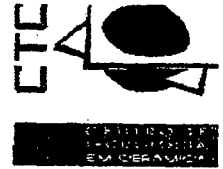
x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 μ m - 500.00 μ m / 100 Classes



Sample Ref : 2055/2000-15
Type produit : Calcário A FM
Client : CPGENQ/UFSC
Comments :
Liquid : Água
Dispersing agent : Nenhum
Operator : Juliane
Company : CTC
Location : Criciúma
Date : 09/02/2001 Time : 14:18:27
Measurement number 1445

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 153
Diameter at 10% : 0.83 μ m
Diameter at 50% : 3.62 μ m
Diameter at 90% : 12.14 μ m
Fraunhofer
Density/Factor : _____
Specific surface : _____
Auto. dilution/top up : No / No
Nb Measur./Rins. : 20 / 4

