



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

WENDEL JOHNSON RODRIGUES

ASPECTOS HIDRODINÂMICOS
NA FLOTAÇÃO DE PARTÍCULAS GROSSAS

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Mineral

Orientador:
Laurindo de Salles Leal Filho

São Paulo
2001

*Para Ana Lúcia, Ananka
Kubota e João Rodrigues;
pelo amor, carinho e
incentivo à realização de
meus sonhos.*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
“ABSTRACT”	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 O Papel Desempenhado pela Viscosidade	5
3.2 Escoamento Laminar versus Turbulento: Número de Reynolds	14
3.3 Movimento de Corpos em um Fluido	18
3.4 Números Hidrodinâmicos das Células Mecânicas de Flotação	25
3.5 Características Geométricas e Mecânicas das Células de Flotação	33
3.6 A velocidade de Bolhas e Partículas Através da Polpa de Flotação	37
3.7 Processo de Coleta da Partícula	41
3.7.1 Colisão partícula - bolha	45
3.7.2 Adesão Partícula-Bolha	50
3.7.3 Ruptura do Agregado Partícula – Bolha	54
3.8 Cinética de Flotação	56
3.9 Configurações de Fluxo em Células de Flotação	61
4. MATERIAIS E MÉTODOS	67
4.1 Minerais Utilizado nos Experimentos	67
4.2 Reagentes e Soluções Usados nos Experimentos	68
4.2.1 Coletor	68

4.2.2 Agentes Modificadores	70
4.3 Ensaio de Microflotação	70
4.4 Determinação da Tensão Superficial Através do Método da Gota	75
4.5 Determinação da Área Específica pelo Método BET das Esferas de Vidro e do Quartzo	78
4.6 Amostragem da Flotação “Rougher” da Serrana Fertilizantes Fosfatados S.A.	79
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
5.1 Características da Polpa de Flotação	80
5.2 Influência da Concentração de Coletor no Desempenho da Flotação	81
5.3 A Influência dos Números Adimensionais na Flotação	83
5.4 Números Adimensionais e a Cinética de Flotação	97
5.5 A Eficiência de Colisão das Esferas de Vidro	102
6. APLICAÇÃO PRACTICA DOS RESULTADOS	103
7. CONCLUSÕES	108
LISTA DE FIGURAS	110
LISTA DE TABELAS	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
ANEXO A	124
ANEXO B	139

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seu agradecimento:

1. Ao mestre Laurindo de Salles Leal Filho, pela orientação, incentivos e sugestões que contribuíram para uma objetiva conclusão do trabalho.
2. À Serrana S. A. e à seus profissionais, principalmente, Nelson Shimabukuro e Carmen Lúcia Galera, pelas informações prestadas.
3. À técnica Ivani Villanova, por sua contribuição pessoal para o bom êxito do trabalho.
4. Aos mestres Arthur Pinto Chaves, Roberto Mattioli Silva e Eldon Azevedo Masini, pelos esclarecimentos e sugestões pertinentes, durante a elaboração deste trabalho.
5. Aos meus irmãos: Vanessa Rodrigues e John Rodrigues e meus familiares, pelo carinho e incentivos mais uma vez recebidos.
6. Aos amigos: Alessandro Favacho, Carlos Alex Weyl, Antônio Angelini, Eduardo Sansone, Fábio Boução, Ivalberto Raiol, Juscelino Rocha, Luiz Paulo B. Ribeiro, Maria Cristina Bonesio, Maurício Assunção, Nilson Bartalini, Reynaldo Pini, Ricardo Briglia, William Whitaker, que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

O diâmetro da partícula mineral é um parâmetro de grande importância para flotação; via de regra, o desempenho da flotação de partículas grossas (diâmetro > 150#) é prejudicado pela intensa agitação das células mecânicas, atrasando assim, a cinética do processo. O propósito deste trabalho foi encontrar as condições hidrodinâmicas mais apropriadas para flotar partículas grossas em ensaios de microflotação. Para atingir tal objetivo, a influência de alguns parâmetros hidrodinâmicos (Número de Reynolds- N_{Re} , Número de Froude- N_{Fr} , Número de Weber- N_{We} , Número de Fluxo de Gás- N_Q e Número de Potência- N_{Po}) na recuperação da microflotação de esferas de vidro grossas (-28+35# e -48+65#) e quartzo (-48+65#) e na cinética de flotação foi estudada na presença do coletor acetato de éter-amina (75 mg/L) em pH = 10. Além disso, foi realizado um estudo da recuperação de P_2O_5 na flotação "rougher" da Serrana Fertilizantes Fosfatados S.A., através do monitoramento de dois bancos de células de mecânicas, que trabalharam em condições hidrodinâmicas diferentes (Banco 1 trabalhou com $N_{Fr}=1$ e Banco 4 com $N_{Fr}=1,3$)

A máxima recuperação (aproximadamente 100%) foi observada em $3000 < N_{Re} < 8000$; $0,1 < N_{Fr} < 1$; $10 < N_{We} < 100$; $5 \cdot 10^{-3} < N_Q < 4 \cdot 10^{-2}$ e $0,6 < N_{Po} < 0,8$. Para condições mais tranquilas ($N_{Re} < 3000$; $N_{Fr} < 0,1$; $N_{We} < 10$; $N_Q > 4 \cdot 10^{-2}$ e $N_{Po} > 0,8$) ou mais turbulentas ($N_{Re} > 3000$; $N_{Fr} > 0,1$; $N_{We} > 10$; $N_Q < 5 \cdot 10^{-3}$ e $N_{Po} < 0,6$), há um decréscimo significativo na recuperação. Em condições hidrodinâmicas mais tranquilas, a baixa recuperação é devido ao fato do rotor não ter sido capaz de promover a suspensão apropriada das partículas, ao passo que, sob condições muito turbulentas o rompimento do agregado partícula/bolha foi notado.

A ordem da cinética de flotação das esferas de vidro (n) é superior a unidade ($n \cong 1,9$) nas condições hidrodinâmicas mais tranquilas e ótimas para flotação, indicando que as partículas grossas possuem cinética muito mais lenta do que as partículas de diâmetros intermediários. Já em condições turbulentas, a ordem é nula para ambas as esferas, evidenciando que a turbulência age em detrimento à flotação.

A recuperação de P_2O_5 na fração +65# no banco 1 ($N_{Fr}=1$) da flotação "rougher" da Serrana S.A. teve um aumento de 24%, em relação ao banco 4 ($N_{Fr}=1,3$). Indicando que a turbulência prejudica a flotação de partículas grossas.

“ABSTRACT”

The mineral particle's diameter is a parameter of great importance to flotation process; as a general rule, flotation performance of coarse particles (diameter > 0.150 mm) is damaged by intense agitation of mechanic cells, because it delays process kinetic. The aim of this work was to find the most suitable hydrodynamic conditions to float coarse particles at microflotation essays. To reach such a target, the influence of some hydrodynamic parameters (Reynolds Number – N_{Re} , Froude Number – N_{Fr} , Weber Number – N_{We} and Power Number – N_{Po}) on microflotation response of coarse glass spheres (0.417-0.589 mm, 0.208-0.295mm) and quartz particles (0.208-0.295 mm) and on the flotation process kinetic was studied in the presence of the collector ether amine acetate (75 mg/dm^3) at pH=10. Besides that, it was carried out a study of P_2O_5 recovery on the rougher flotation of the Serrana Fertilizantes Fosfatados SA, through the analysis of two mechanic cells benches that worked in different hydrodynamic conditions (Bench 1, $N_{Fr}=1$ and Bench 4, $N_{Fr}=1.3$).

Maximum flotation response (almost 100%) was observed at ($3,000 < N_{Re} < 8,000$; $0.1 < N_{Fr} < 1$; $10 < N_{We} < 100$; $0.005 < N_Q < 0.04$ e $0.6 < N_{Po} < 0.8$). For either more quiescent ($N_{Re} < 3,000$; $N_{Fr} < 0.1$; $N_{We} < 10$; $N_Q > 0.04$ and $N_{Po} > 0.8$) or more turbulent ($N_{Re} > 8,000$; $N_{Fr} > 1.0$; $N_{We} > 100$, $N_Q < 0.005$ and $N_{Po} < 0.6$) hydrodynamic conditions, flotation recovery decreased steadily. Under more quiescent hydrodynamic conditions, the lower recovery was due to the fact to the impeller was not capable of keeping particles in suspension properly whereas under more turbulent conditions the disruption of particle/bubble aggregates was intensively observed.

The kinetic order of glass spheres flotation (n) is higher than an unit ($n \approx 1.9$) under more quiescent and greater hydrodynamic conditions to flotation process, showing that coarse particles have a much more slowly kinetic than particles with intermediate diameters. Under turbulent conditions, $n=0$ to both of spheres, evincing that turbulence acts to the detriment of flotation process.

The recovery of P_2O_5 fraction +65# in the bench 1 ($N_{Fr}=1$) of the Serrana S.A.'s rougher flotation had a increase of 24%, with relation to the bench 4 ($N_{Fr}=1.3$), showing that turbulence damages flotation of coarse particles.

1 – INTRODUÇÃO

O mecanismo fundamental de separação de sólidos por flotação consiste na adesão seletiva de partículas hidrofóbicas a bolhas de ar, em meio aquoso, sob condições dinâmicas. Tais condições, por sua vez, podem ser caracterizadas através de parâmetros adimensionais oriundos da Mecânica dos Fluidos; mormente aqueles que relacionam forças capilares (responsáveis pela formação e sobrevivência do agregado partícula/bolha) à viscosidade, inércia e gravidade. Por esta razão, é pertinente investigar a influência de parâmetros hidrodinâmicos tais como Número de Reynolds, Número de Froude, Número de Weber, Número de Capilar, Número de Bond, etc. no desempenho do processo de flotação.

Apesar de sua óbvia importância, os fenômenos hidrodinâmicos têm recebido pouca atenção de pesquisadores vinculados à Tecnologia Mineral. Via de regra, o principal enfoque tem sido dado à interação entre espécies químicas (coletores, depressores, ativadores) e sítios ativos da interface mineral/solução. Neste campo, grandes avanços têm sido observados e muitos mecanismos explicados através de modelos bastante didáticos e úteis, como: “Regra dos Sais Insolúveis” de Taggart (1); “Teoria das Hemi-micelas” de Gaudin-Fuerstenau (2) e “Teoria dos Complexos Iono-Moleculares” de Somasundaran (3 – 4). Os fenômenos hidrodinâmicos, apesar de já serem estudados por Gaudin nos anos 30 (5), somente nas últimas décadas têm apresentado algum progresso, principalmente após os trabalhos de Arbiter (6), nos EUA; Schulze, na Alemanha (7) e Ralston, na Austrália (8).

Fenômenos hidrodinâmicos aplicados ao processo de flotação têm sido, via de regra, associados à dinâmica da interação partícula/bolha e, conseqüentemente, à formação de um agregado que, sob a ação do Princípio de Arquimedes, deverá flutuar em meio turbulento que “conspira” contra a sua sobrevivência. O bom desempenho do processo depende, então, do sucesso de três eventos que devem ocorrer de forma seqüencial, dentro de um certo período (6 - 9):

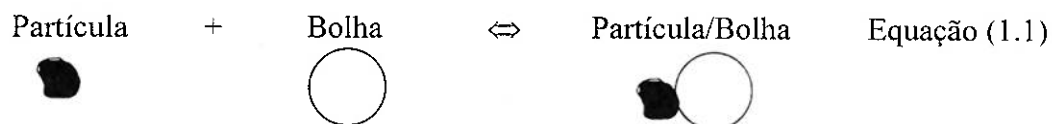
Evento 1 → Após entrar numa célula de flotação mecânica, as partículas suspensas deverão colidir com bolhas de ar, permanecendo em contato com as mesmas

por frações de segundo. Tal evento é controlado pelas condições hidrodinâmicas do meio;

Evento 2 → Durante o contato, partículas com variado grau de hidrofobicidade deverão aderir às bolhas de ar, formando agregados estáveis. Esse evento é controlado por parâmetros físico-químicos interfaciais (ângulo de contato, tempo de indução);

Evento 3 → Após formado, o agregado partícula/bolha flutuará através de um meio turbulento. Para sobreviver a tal turbulência, a tenacidade da adesão deverá preponderar sobre outras contribuições que lhe fazem oposição, como por exemplo o peso das partículas.

Sempre que um dos três eventos falhar, a cinética do processo de flotação sofrerá algum atraso, diminuindo a constante cinética (k) do mineral que se deseja flotar e aumentando sua ordem de reação (n); ou seja, deslocando para a esquerda o equilíbrio descrito pela equação 1.1. Quando os três eventos ocorrem com sucesso, na seqüência desejada, a constante cinética apresentará valores mais altos e a ordem de reação se aproximará da unidade ($n=1$). Este é o caminho para a obtenção das mais altas recuperações. A literatura oferece provas convincentes de que esses eventos são imensamente influenciados pela forma e tamanho das partículas presentes no sistema (5) (9).



O comportamento da recuperação (R) de um certo mineral versus diâmetro (\varnothing) de suas partículas encontra-se bem caracterizado desde Gaudin (5). Tal comportamento é ilustrado na figura 1.1, onde se vê que a recuperação é baixa para as frações granulométricas mais finas ($\varnothing < 10 \mu\text{m}$), cresce e atinge um patamar máximo para granulometrias intermediárias ($20 \mu\text{m} < \varnothing < 105 \mu\text{m}$) e novamente volta a cair para as frações granulométricas mais grosseiras ($\varnothing > 150 \mu\text{m}$). Este último fenômeno tem sido responsável por sérios problemas que ocorrem em diversos circuitos brasileiros de flotação (*):

(*) Laurindo de Salles Leal Filho. **Comunicação Pessoal – 30/06/2000.**

- i. Na separação hematita/quartzo por flotação catiônica reversa, observa-se que partículas de quartzo com diâmetro superior a $150\mu\text{m}$ apresentam baixa resposta à flotação, contaminando o concentrado de hematita;
- ii. Na flotação aniônica direta da apatita, partículas com diâmetro maior que $209\mu\text{m}$ se reportam preferencialmente ao produto afundado, independentemente da dosagem de coletor, ângulo de contato, etc. Este comportamento é o responsável por baixas recuperações de P_2O_5 .

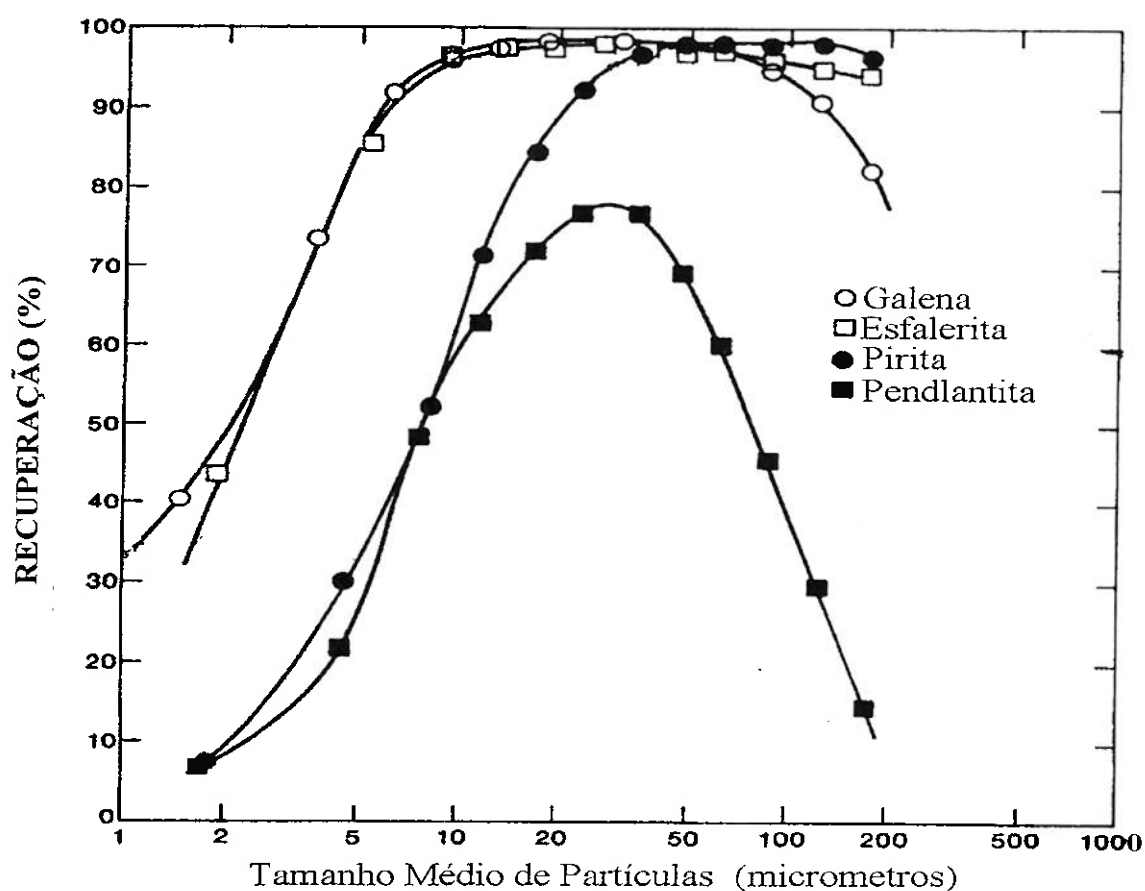


Figura 1.1. Recuperação versus diâmetro (\varnothing) de partículas.

O estabelecimento de relações de causa-efeito entre parâmetros hidrodinâmicos, eficiência da interação partículas grossas/bolhas de ar, cinética de flotação e desempenho do processo pode gerar subsídios técnicos valiosos para se compreender, controlar mecanismos e melhorar a recuperação de partículas mais grossas. Esta pesquisa almeja contribuir neste sentido.

2. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA

A flotação de partículas grossas (diâmetro $> 150\mu\text{m}$) apresenta, via de regra, desempenho muito inferior ao de partículas de diâmetro intermediário ($20\mu\text{m} < \text{diâmetro} < 150\mu\text{m}$). Tal comportamento tem sido apontado pela literatura como decorrente de sua inadequação à hidrodinâmica das células mecânicas de flotação; onde as mesmas condições que promovem o contato partícula/bolha, propiciando a formação de um agregado; são capazes de destruí-lo imediatamente após a sua formação. Nos circuitos industriais brasileiros de beneficiamento de fosfato e minério de ferro por flotação, esse fenômeno tem sido responsável pelo mau desempenho das frações mais grossas; demandando, conseqüentemente, pesquisas capazes de contribuir para seu controle ou solução. Com base nestas premissas, a presente dissertação tem como objetivos:

- i. Definir condições hidrodinâmicas (Números de Reynolds, Froude, Weber, Capilar e Bond) mais favoráveis à flotação de grossos (esferas de vidro e/ou partículas de quartzo nas frações: $-28+35 \#$ e $-48+65 \#$) dentro de sistema mecânico do tipo "vaso agitado". isto é, que simula as condições existentes nas células de flotação classificadas como "mecânicas";
- ii. Estimar a eficiência de coleta partícula/bolha dentro do referido sistema mecânico, de acordo com modelos matemáticos disponíveis na literatura corrente; correlacionando os resultados com as condições hidrodinâmicas presentes e o desempenho da flotação;
- iii. Definir diâmetro e velocidade das bolhas, assim como a velocidade das partículas, segundo métodos de cálculo disponíveis na literatura corrente;
- iv. Estimar a cinética de flotação das partículas grossas, com a determinação da ordem de reação e constante cinética; correlacionando tais resultados com as condições hidrodinâmicas;
- v. Propor alterações mecânicas em circuitos industriais de flotação de fosfato, monitorando os resultados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma polpa de flotação de minerais apresenta três componentes fundamentais (10):

- i. Partículas sólidas, que respondem por aproximadamente 10 – 20% do volume útil da célula;
- ii. Bolhas de ar, que ocupam aproximadamente 15% do volume total ("hold-up" do ar em células mecânicas);
- iii. Meio aquoso (65 – 80% do volume), contendo espécies químicas dissolvidas.

Com base nessas informações, pode-se ponderar que o estudo do movimento de partículas e bolhas imersas num meio aquoso, assim como a reologia da polpa, são de grande importância para se compreender e controlar os mecanismos que regem o processo, como a colisão partícula-bolha, a formação do agregado e sua sobrevivência dentro de um meio turbulento. Este capítulo apresenta o embasamento teórico necessário para se desenvolver tal raciocínio.

3.1 – O Papel Desempenhado pela Viscosidade.

Um fluido pode ser visualizado como um conjunto de lamelas que apresentam espessura infinitesimal (dy) e podem deslizar umas sobre as outras. De acordo com a figura 3.1a, colocando-se tal fluido entre as placas A e B, mantendo-se fixa a placa B e aplicando-se uma força tangencial F sobre o topo da placa A (cuja área = S); o fluido escoará na direção e sentido de F com uma velocidade v_p . Após um certo tempo, cada camada do fluido se atrasará um degrau em relação às adjacentes. A extensão desses degraus representa as diferenças de velocidade (dv) entre as camadas, de acordo com a figura 3.1b. A razão dv/dy ou gradiente de velocidade, é denominada taxa de cisalhamento ou deformação (Ω) do fluido. Por sua vez, a razão F/S é chamada de tensão de cisalhamento (τ) (11).

Com base naquilo que foi ilustrado nas figuras 3.1a e 3.1b, o comportamento da taxa de deformação do fluido (Ω) é função da magnitude das tensões de cisalhamento

(τ) sofridas pelo mesmo. Esse comportamento é caracterizado através de diagramas τ versus Ω que são denominados reogramas ou curvas de fluxo (do inglês "flow curves"). Uma expressão geral para as curvas de fluxo é representada através da equação 3.1 (11).

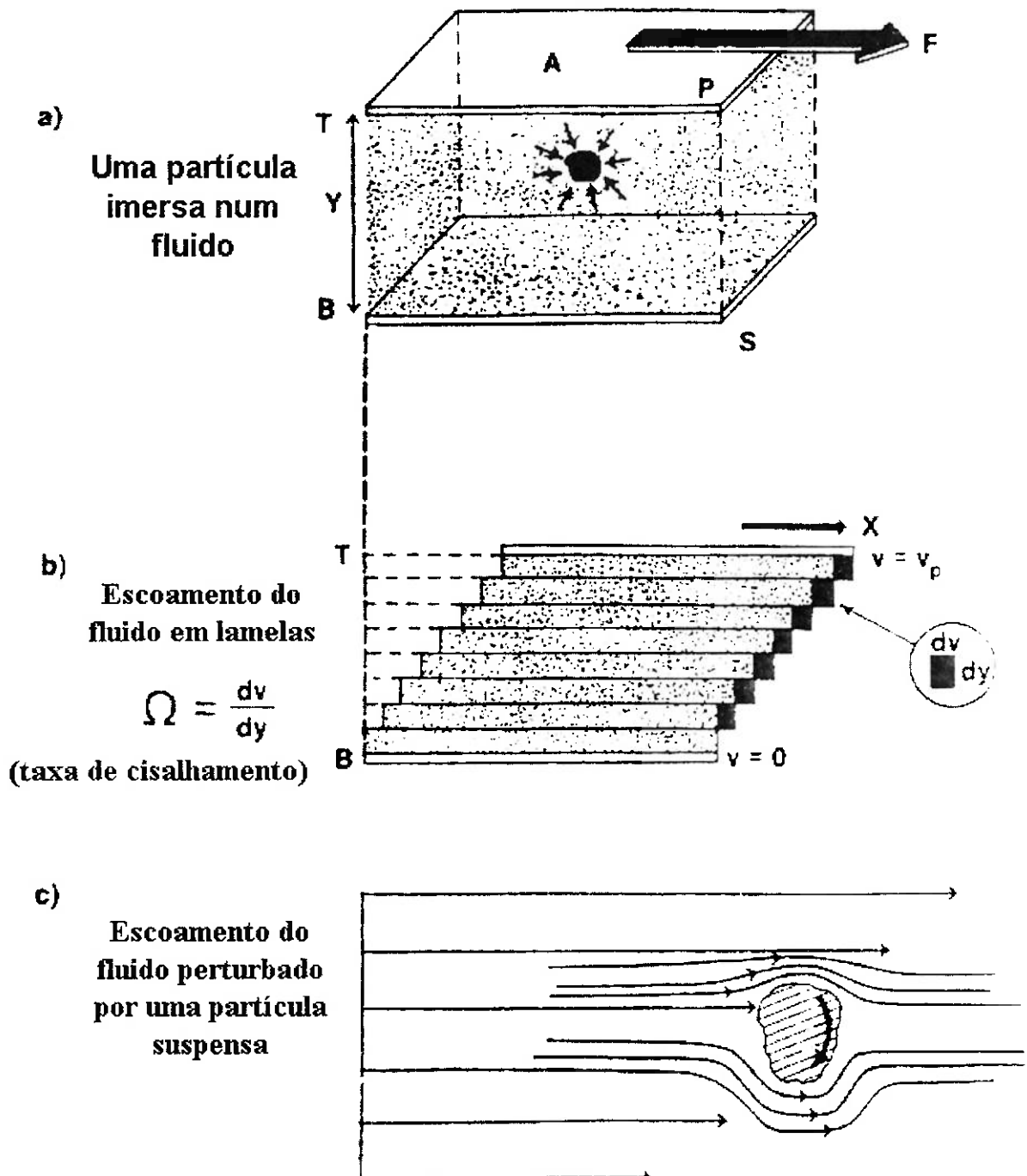


Figura 3.1 – Mecanismo de um escoamento com e sem perturbação de partícula suspensa.

$$\tau = \tau^0 + \mu^* \Omega^n \quad (3.1.)$$

Onde:

τ^0 = Tensão de cisalhamento crítica necessária para iniciar a deformação do fluido;

μ^* = Coeficiente angular da curva ($d\tau/d\Omega$).

n = Expoente que caracteriza o comportamento do fluido.

Analisando a expressão 3.1. com maior detalhe, define-se que a relação entre τ e Ω pode ser linear ou não-linear, dependendo das peculiaridades de cada fluido em estudo. A situação mais simples é aquela em que $\tau^0=0$ e $n=1$. Essa situação apresenta algumas particularidades (11-16):

- i. O reograma assume a forma linear apresentada na equação 3.2.:

$$\tau = \mu \Omega \quad (3.2.)$$

- ii. O fluido é classificado como newtoniano e o coeficiente angular da reta (ou constante de proporcionalidade) é chamado de viscosidade do fluido.

A constante de proporcionalidade, μ , é conhecida como **viscosidade absoluta** ou, simplesmente, viscosidade do fluido. Ela pode ser considerada como um fator de “fricção interna” entre as camadas adjacentes do fluido que se deslocam. Essa fricção é produzida por forças intermoleculares que agem na interface de camadas vizinhas que se deslocam (11). A razão entre a viscosidade absoluta e o peso específico do fluido é denominado de **viscosidade cinemática**.

À temperatura ambiente e pressão atmosférica, a viscosidade de um fluido newtoniano é considerada como sendo uma constante física que caracteriza a substância, como por exemplo: densidade, condutividade térmica, índice de refração, susceptibilidade magnética, constante dielétrica, etc. Deste modo, quando a pressão é de aproximadamente 1 atm e a temperatura de 25°C, a viscosidade de água é de 1 cP (centipoise), enquanto que a do ácido oléico será de 100 cP (17).

O comportamento newtoniano apresentado por alguns fluidos não é regra, mas sim exceção. A tabela 3.1. apresenta outras possíveis situações que são encontradas na literatura corrente (11-16).

Tabela 3.1. Características de fluidos não-newtonianos.

Classificação	Características do Reograma (Equação 3.1.)	Comentários sobre o sistema água + partículas
Fluido de Bingham	$\tau^0 > 0$ $n = 1$ $\mu = \text{constante}$	Polpas contendo partículas em elevado estado de dispersão. Não há interação nem entre as partículas, nem entre as camadas do fluido entre si. Esse sistema exige que se aplique uma certa tensão crítica inicial (τ^0) para que se verifique alguma deformação.
Fluido Pseudoplástico	$\tau^0 \sim 0$ $n < 1$ $\mu = \text{variável (*)}$	Polpas contendo partículas finas que se apresentam em elevado estado de agregação (coagulação, aglomeração ou floculação). Quanto maior a tensão de cisalhamento aplicada sobre a polpa, mais intensa a quebra dos agregados e menor o coeficiente angular da curva ($d\tau/d\Omega$), isto é, sua viscosidade. Nesse caso, μ é chamada de viscosidade aparente (*).
Fluido Dilatante	$\tau^0 \sim 0$ $n > 1$ $\mu = \text{variável (*)}$	Polpas diluídas que contêm sólidos com tendência à agregação, mas que demandam uma "oportunidade" para ocorrer a formação de coágulos, aglomerados ou flocos. Ao aumentarmos a magnitude de τ , aumentaremos a possibilidade de colisão entre as partículas e também interações entre em lamelas adjacentes, acarretando em aumento de $d\tau/d\Omega$, isto é, da viscosidade aparente da polpa (*).

(*) Devido ao fato de μ assumir um valor diferente para cada ponto particular (τ, Ω) do reograma; ela é chamada de viscosidade aparente (11).

Em tanques agitados, como são as células mecânicas de flotação, a tensão de cisalhamento (τ) é diretamente proporcional ao diâmetro do rotor (D) e sua rotação (N), conforme a equação 3.3 e figura 3.2. Deste modo, com rotores de mesmo diâmetro, o maior cisalhamento será promovido por aquele que estiver girando com a rotação mais

elevada (12).

$$\tau = \mu \left(\frac{dv}{dy} \right) = \mu \pi \frac{d(DN)}{dy} = \mu \pi \frac{\Delta(ND)}{Y} = \frac{\mu \pi ND}{Y} = \tau \propto ND \quad (3.3)$$

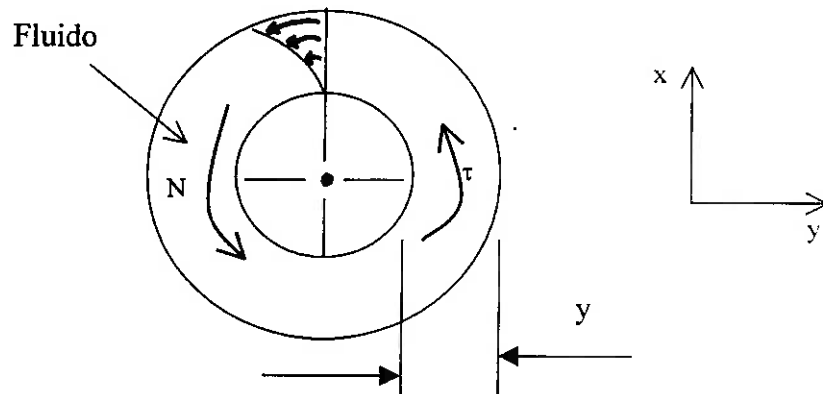


Figura 3.2. Tensão cisalhante causada pelo movimento dos rotores.

De acordo com a equação 3.3, quando um fluido newtoniano está sob agitação dentro de um tanque cujo rotor apresenta diâmetro D e rotação N , ele estará submetido a uma certa tensão de cisalhamento τ . Uma quantidade de energia mecânica **deverá estar sendo continuamente** adicionada ao sistema para manter uma determinada taxa de deformação (Ω'), como na equação 3.2. Através de alguns artifícios matemáticos simples, pode-se escrever a equação 3.2. na forma 3.4., que apresenta ϑ (taxa de dissipação de energia por unidade de volume do fluido) em função de Ω . De acordo com a equação 3.4., ϑ trata-se de uma função quadrática. Em outras palavras, ϑ representa a energia requerida pelo fluido para que se mantenha constante a sua taxa de deformação.

$$\vartheta = \mu \Omega^2 \quad (3.4.)$$

As relações expressas nas equações 3.3. e 3.4. são válidas somente para situações onde a dissipação de energia no sistema ocorre somente através da fricção entre as lamelas do fluido. Daí o fato de sua viscosidade ser constante e este ser considerado **newtoniano**. Conforme visto na tabela 3.1., a realidade das polpas minerais é outra e trará implicações práticas:

- i. O fluido é uma mistura composta de água e partículas. Nas células de flotação, entra também um terceiro componente: as bolhas de ar;
- ii. De acordo com a figura 3.1c, partículas sólidas imersas num fluido são capazes de alterar a direção, sentido e velocidade de seu fluxo, assim como a espessura de suas lamelas. O atrito entre lamelas e partículas fará com que estas últimas apresentem movimento de rotação em torno de seu eixo, além de criar regiões de mais baixa pressão em seu entorno. Todos esses fenômenos constituem mecanismos extras de dissipação de energia que fazem com que polpas minerais apresentem comportamento não-newtoniano; (11);
- iii. Para polpas que contenham alto conteúdo de partículas muito finas, uma quantidade extra de energia será gasta para quebrar agregados (coágulos, aglomerados ou flocos);
- iv. Para polpas que contêm partículas com as dimensões usualmente utilizadas no processo de flotação (0,210mm-0,015mm), considerável energia deverá ser adicionada ao sistema para manter as partículas em suspensão e o fluido em movimento.

Todos argumentos apresentados no itens ii – iv mostram que a introdução de partículas sólidas num meio aquoso acarretará num aumento da dissipação de energia por unidade de volume da polpa (9) e, conseqüentemente, maior demanda por potência a ser aplicada no rotor. De acordo com a equação 3.4., se a taxa de deformação permanecer constante e aumentar a dissipação de energia do sistema, para que a igualdade seja mantida será necessário que ocorra um aumento da viscosidade. Dependendo das complexas interações partículas/partículas, partículas/lamelas do fluido e lamelas/lamelas, a polpa poderá apresentar algum dos possíveis comportamentos reológicos listados na tabela 3.1.

O fato da adição de partículas sólidas à água e, como conseqüência, o aumento sua viscosidade, não é novidade. Os primeiros estudos iniciaram com Einstein, em 1906 [Einstein apud, Güven (11)]. Trabalhando inicialmente com esferas rígidas e suspensões extremamente diluídas, esse pesquisador propôs uma relação simples de dependência entre a viscosidade da suspensão (μ_s) e a viscosidade da água (μ) expressa através da equação 3.5. A variável ϕ representa a fração do volume da suspensão ocupada pelas partículas sólidas. No Tratamento de Minérios, ϕ representa a porcentagem de sólidos

volumétrica.

$$\mu_s = \mu + 2,5\phi \quad (3.5.)$$

A teoria de Einstein recebeu pouca atenção até os anos 40, quando uma grande avalanche de publicações aprimorou sua teoria, levando em consideração outras características das partículas presentes na suspensão: morfologia, densidade, distribuição de tamanhos, textura, área específica, hidrofilicidade/hidratação, grau de dispersão. Cada uma dessas características foram sendo incorporadas à equação fundamental de Einstein na forma de constantes ($k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$), gerando um polinômio extenso e complexo, conforme descrito pela equação 3.6 (11). Outros pesquisadores, como Thomas (18), preferiram desenvolver relações exponenciais, conforme a equação 3.7.

$$\mu_R = 1 + k_1\phi + k_2\phi^2 + k_3\phi^3 + \dots + k_n\phi^n \quad (3.6.)$$

E

$$\mu_R = \exp [2,5 (\phi + 5 \phi^3)] \quad (3.7)$$

Onde:

$$\mu_R = (\mu_s/\mu);$$

$k_{1,2,\dots,n}$ = constantes que caracterizam as partículas sólidas presentes na suspensão;

ϕ = Fração volumétrica da polpa ocupada pelas partículas sólidas.

As expressões apresentadas nas equações 3.6. e 3.7. se adaptaram muito bem às condições experimentais adotadas pelos pesquisadores que as criaram. Não obstante, falharam ao serem utilizadas para outros tipos de sólidos, com diferente distribuição granulométrica, forma de partícula, textura, hidrofobicidade, etc. A razão dessas falhas pode residir no fato de que é difícil encontrar um valor para cada uma das constantes ($k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$) para equação 3.6. Por exemplo, qual escala numérica seria mais adequada para descrever o estado de hidratação das partículas? e a distribuição granulométrica? desta forma, cada pesquisador propôs sua própria expressão que se mostrou válida somente para seu sistema de variáveis. Tamanho número de exceções prejudicou de sobremaneira a geração de uma regra ou expressão que fosse capaz de se ajustar a todas as condições experimentais. Mais ainda, muito do que existe publicado sobre a viscosidade de polpas foi baseado em fluidos de perfuração, pigmentos, óxido

de titânio, argilas, polímeros e negro de fumo. Todos estes sólidos, apresentando diâmetros menores que 0,015mm, isto é, numa faixa de tamanho muito longe da usualmente utilizada em circuitos industriais de flotação (11) (19 - 20).

A literatura é carente de informações relativas ao comportamento reológico de polpas com granulometria típica de operações unitárias de processamento mineral.

Neste trabalho a viscosidade da polpa(μ_{sl}) foi calculada de acordo com a equação 3.8 (20).

$$\mu_{sl} = \mu (1 - \phi)^{-2,5} \quad (3.8)$$

Outra grande dificuldade para se comparar resultados obtidos por diferentes pesquisadores reside na metodologia de determinação da viscosidade:

- i. Pigmentos, argilas, polímeros etc., por serem constituídos de partículas muito finas (muitas vezes coloidais), mantêm-se dispersos na polpa por ação do movimento browniano (kT), onde k é a constante de Boltzmann e T é a temperatura absoluta. Isto faz com que as partículas se distribuam homoganeamente ao longo de todo o volume da polpa. Viscosímetros rotacionais ou de bobina são adequados para este tipo particular de suspensão. Eles utilizam a equação 3.2. para calcular a viscosidade da polpa para uma certa condição particular de valores assumidos pelo par (τ, Ω). Quando tais instrumentos são utilizados para a determinação da viscosidade de polpas que contêm partículas mais grosseiras, a sedimentação e/ou segregação das mesmas na polpa, durante a medição, impedem a obtenção de resultados reprodutivos ou que retratem a realidade (19).
- ii. Viscosímetros de tubo executam medidas de viscosidade de polpa por meio de seu fluxo contínuo ao longo de tubos de diâmetro (D) e fator de fricção (f) conhecidos. Utilizando-se a equação de Darcy-Weisbach (equação 3.9), calcula-se o fator de fricção através da perda de carga experimentada pela polpa ao longo de seu escoamento através do tubo de comprimento L . A determinação da viscosidade da polpa é feita por diagramas fator de fricção versus número de Reynolds (seção 3.2) (19).

$$H_f = f L V^2 / (2gD) \quad (3.9)$$

Onde:

H_f = Perda de carga ao longo de L ;

V = Velocidade da polpa no tubo;

L = Comprimento do tubo;

D = Diâmetro do tubo;

μ = Viscosidade da polpa.

f = Fator de fricção;

g = Aceleração da gravidade.

Segundo Whiten et. al. (19), medidas obtidas através de viscosímetros de tubo são muito mais realistas, uma vez que o método minimiza a segregação das partículas durante a execução das medições. Tais autores, trabalhando com partículas de areia com tamanhos variando entre 0,125-0,210mm, imersas em água e calda de açúcar, concluíram que:

- i. Os resultados mais reprodutivos foram obtidos com tubos de menor diâmetro e as partículas se encontravam imersas em calda de açúcar. Para tubos com maior diâmetro e partículas imersas em água, a polpa sofreu turbulência com tamanha aleatoriedade que as medidas de viscosidade foram menos reprodutivas;
- ii. Na ausência de turbulência, as polpas se comportaram como fluidos newtonianos; isto é, a viscosidade permaneceu constante independentemente da taxa de deformação. O mesmo não foi observado quando a polpa esteve à mercê de turbulência;
- iii. Para tubos que ofereciam condições de escoamento onde a turbulência era apenas incipiente (região de transição), a presença de sólidos aumentou o fator de fricção e, conseqüentemente, fez com que a polpa apresentasse maior resistência ao escoamento, isto é, exibisse viscosidade mais alta que a água pura ou a calda de açúcar;
- iv. Para tubos que ofereciam condições de escoamento onde a turbulência era evidente, as polpas exibiram fator de fricção inferior ao da água ou calda de açúcar. Nesses casos, a polpa escoou ao longo do tubo com maior facilidade, isto é, com menor viscosidade que a água ou a calda de açúcar.

Para concluir esta seção, há de se convir que:

1. Quase tudo que existe publicado sobre viscosidade de suspensões foi baseado em condições experimentais diferentes da realidade de

circuitos industriais de flotação: partículas muito finas (pigmentos, polímeros, argilas) presentes em polpas com $\phi > 20\%$; executadas com instrumentos que não conseguem evitar segregação de partículas durante as medições;

2. A viscosidade de uma polpa de flotação certamente vai variar em função das condições hidrodinâmicas sob as quais as medições foram executadas. Deste modo, uma mesma polpa poderá se comportar como um fluido newtoniano na total ausência de turbulência e como um fluido pseudoplástico em sua presença;
3. Com base nos resultados de Whitten (19), pode-se ponderar que o regime de fluxo (laminar, turbulento ou de transição) experimentado por uma polpa dentro de uma célula de flotação influenciará diretamente não só a magnitude de sua viscosidade, mas também seu comportamento reológico. A seção 3.2 enfocará essa influência com o merecido detalhe;
4. Numa célula mecânica, as tensões de cisalhamento (τ) sofridas pela polpa, de acordo com a equação 3.3, serão proporcionais ao diâmetro do rotor (D) e à sua rotação (N). Consequentemente, tais variáveis influenciarão não somente a dinâmica do processo, mas também o comportamento reológico da polpa.

3.2 - Escoamento Laminar versus Turbulento: Número de Reynolds.

Viu-se na seção 3.1 que um fluido ou polpa pode ser visualizado como um conjunto de lamelas que apresentam espessura infinitesimal. Sob ação de uma força externa de cisalhamento (τ), tais lamelas serão compelidas ao escoamento e, ao se movimentar, elas poderão simplesmente deslizar umas sobre as outras. Nesse caso, suas linhas de fluxo (*) serão paralelas e a resistência do fluido ao escoamento será devida à fricção entre lamelas adjacentes, assim como entre lamelas e paredes do recipiente que contém a polpa.

(*) Linhas de fluxo ou de corrente são curvas imaginárias tomadas através do fluido para indicar direção e sentido de sua velocidade em diversas seções do escoamento.

Para uma determinada taxa de cisalhamento (Ω) constante, conforme estabelecido na equação 3.4, a dissipação de energia por unidade de volume (\dot{Q}) será devida somente à viscosidade, isto é, à fricção entre lamelas/lamelas e lamelas/paredes. Esse tipo de escoamento é denominado laminar e ocorre em situações em que o fluido ou polpa (11 – 16):

- i. Escoa com baixa velocidade seja através de tubulações de pequeno diâmetro ou em canaletas de pequena largura;
- ii. Encontra-se em um vaso agitado, onde o rotor apresenta pequeno diâmetro e opera com baixas rotações.

À medida que a polpa escoar com maior velocidade através de dutos de maior diâmetro ou canaletas de maior largura; ou ainda quando esta é submetida a agitação pela ação de rotores de maior diâmetro, operando sob rotação mais alta; suas linhas de fluxo perdem o paralelismo, tendendo a convergir ou se misturar. Nesse caso, o escoamento é chamado de turbulento.

A figura 3.3 ilustra através de uma série de fotografias o movimento de um líquido passando por um cilindro. A fotografia 1 exemplifica o escoamento laminar, onde o fluido se desloca em camadas que podem ser representadas por linhas de fluxo paralelas. À medida que a velocidade aumenta, redemoinhos vão se formando paulatinamente logo atrás do cilindro (à direita), os quais tendem a crescer e ficar cada vez mais complexos e freqüentes (fotos 2, 3, 4, 5 e 6). As linhas de fluxo, conseqüentemente, vão perdendo seu paralelismo, apresentando tendência a convergir ou se misturar (15).

As condições sob as quais o fluxo laminar é convertido em turbulento são definidas por um número adimensional, denominado Número de Reynolds (N_{Re}), que representa a razão entre as forças inerciais e viscosas que agem sobre um sistema. Por conveniência, N_{Re} pode ser calculado através de diferentes expressões, cada uma delas se referindo a um sistema específico. Nesse caso, por coerência deve-se esclarecer a que sistema o número está sendo aplicado, conforme a tabela 3.2.

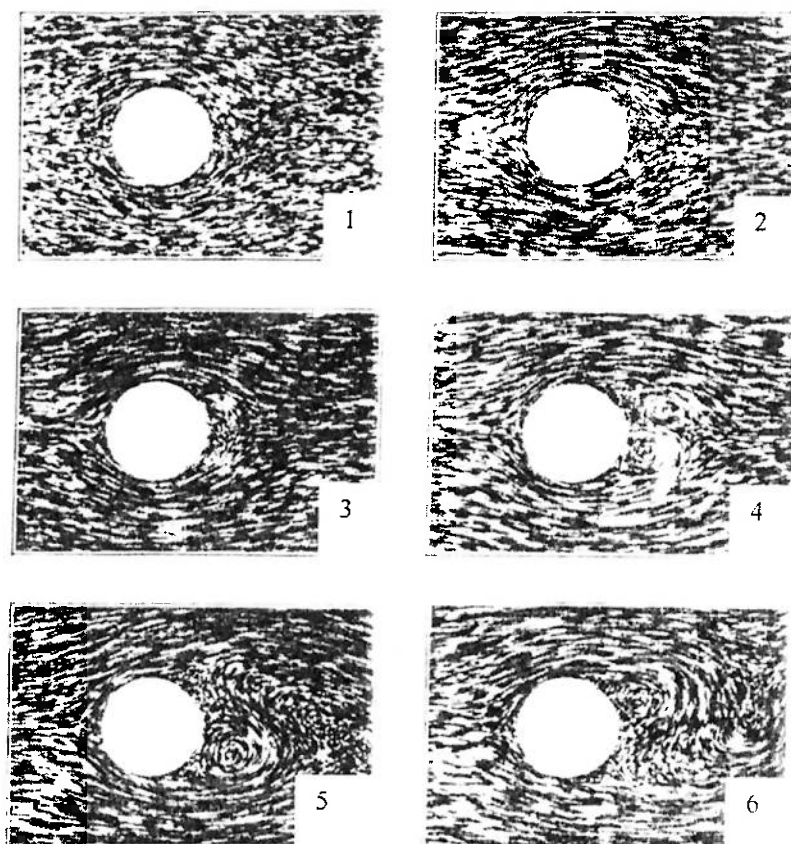


Figura 3.3 – escoamento de um fluido em torno de um corpo submerso.

Tabela 3.2 Número de Reynolds aplicado à diferentes sistemas.

Denominação	Expressão	Explicações
N_{Re} de dutos	$N_{Re(D)} = \frac{v L \rho}{\mu} \quad (3.10)$	v = velocidade do fluido L = dimensão característica da geometria do duto (*) ρ = massa específica do fluido μ = viscosidade do fluido
N_{Re} de rotores	$N_{Re} = \frac{D^2 N \rho_p}{\mu_p} \quad (3.11)$	N = rotação do rotor; D = diâmetro do rotor; ρ_p = massa específica da polpa; μ_p = viscosidade da polpa
N_{Re} de bolhas	$N_{Re(b)} = \frac{d_b v_b \rho_p}{\mu_p} \quad (3.12)$	d_b = diâmetro da bolha; v_b = velocidade da bolha; ρ_p = massa específica da polpa; μ_p = viscosidade da polpa
N_{Re} de partículas	$N_{Re(part.)} = \frac{d_s v_s \rho_s}{\mu_p} \quad (3.13)$	d_s = diâmetro do sólido; v_s = velocidade do sólido; ρ_s = massa específica do sólido; μ_p = viscosidade da polpa

(*) Para dutos, L representa o diâmetro, enquanto que para canaletas, L representa a largura.

Cada sistema hidrodinâmico, seja ele duto, rotor, bolha, etc. apresenta valores limites de N_{Re} que servem de referência para delimitar o escoamento laminar, turbulento ou a zona de transição:

- i. Para dutos, o regime laminar predomina quando $N_{Re} < 1000$; o regime de transição, $1000 < N_{Re} < 3000$ e o turbulento para $N_{Re} > 3000$ (19);
- ii. Para rotores, condições laminares existem somente para $N_{Re} < 10$; transição ocorre entre $10 < N_{Re} < 10000$ e situações turbulentas existem para $N_{Re} > 10000$ (14) (21).

Em um tanque de agitação sem “baffles”, se o $N_{Re} > 300$ o fluido pode formar um vortex. Sob estas condições um outro número adimensional deve ser considerado, o

número de Froude (N_{Fr}), o qual representa a razão entre a força de inércia e a força gravitacional, e para agitação é dado por pela equação 3.14 (13 – 15) (22).

$$N_{Fr} = N^2 D / g \quad (3.14)$$

Onde:

N = rotação do rotor;

D = diâmetro do rotor;

g = aceleração da gravidade.

3.3 - Movimento de Corpos em um Fluido.

Quando partículas e/ou bolhas de ar estão se movendo em relação ao fluido, elas ficam sujeitas à uma determinada força de resistência ao movimento ou de arraste. Tal força apresenta dois componentes (13; 22 - 24):

- i. Um componente gerado pelo cisalhamento, chamado arraste de parede ou atrito pelicular;
- ii. Outro componente gerado pela distribuição da pressão ao longo da superfície do corpo, denominado arraste de forma.

Portanto o arraste total na superfície de uma partícula é a soma do arraste pelicular e o arraste de forma na direção do escoamento do fluido (22).

O produto entre a massa de uma partícula e a velocidade desenvolvida por ela, constitui sua quantidade de movimento. Quando tal partícula é desacelerada pela resistência do fluido, uma certa quantidade de movimento foi transferida do fluido para o corpo, provocando tal desaceleração (14).

O mecanismo de transferência de quantidade de movimento ou energia do fluido para partícula apresenta um componente viscoso (fricção pelicular) e outro turbulento (diferença de pressão). Se dividirmos a quantidade de movimento total transferida apenas pelo componente turbulento, tem-se um número adimensional chamado fator de atrito ou coeficiente de arraste (C_D), que é definido pela equação 3.15 (13) (22).

$$C_D = \frac{F_D}{(\rho v^2 / 2) A} \quad (3.15)$$

Onde:

C_D = Coeficiente de arraste;

F_D = força de arraste no corpo;

v = velocidade na direção do escoamento;

A = área da seção transversal do corpo.

É usual a construção de diagramas $C_D \times Re$ ou $f_D \times Re$. É importante ressaltar que no caso $C_D \times Re$, o Reynolds é da partícula, e $f_D \times Re$, o Reynolds é do duto. De acordo com a figura 3.4 (12 - 13) (22).

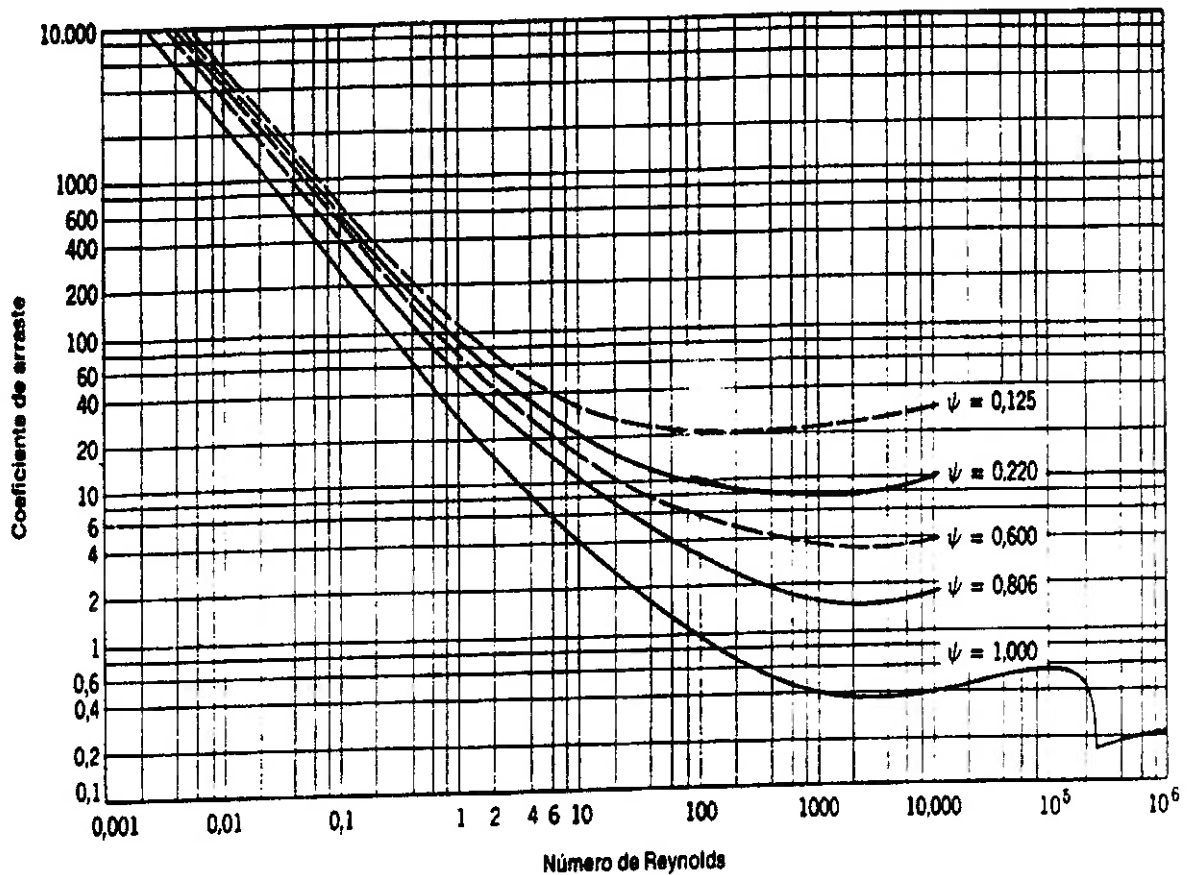


Figura 3.4 - Coeficiente de Arraste, versus Número de Reynolds para partículas de diferentes esfericidade.

O estudo do comportamento da partícula ou bolhas se movendo através de fluidos, toma como referência básica o movimento livre de corpos de massa constante sob uma aceleração constante, de acordo com a equação 3.16 (12 - 15) (22):

$$\Sigma F = M.(dv/dt) \quad (3.16)$$

Onde:

ΣF = força resultante que age no corpo de massa M ;

$dv/dt =$ aceleração resultante.

Se a partícula está se movimentando sob uma força de aceleração externa, F_x (por exemplo: força peso ou força centrífuga), ela terá forças opostas como F_d (força de arraste) e F_b (força de flutuação ou empuxo), conforme a figura 3.5.

A partir da equação 3.16 e do balanço de forças, deduz - se a velocidade terminal ou máxima de um corpo se movimentando ao longo do fluido, iniciando pela equação 3.17 (12 - 15) (22).

$$F_x - F_d - F_b = M(dv/dt) \quad (3.17)$$

Onde:

F_x = uma força externa, como por exemplo a força centrífuga;

F_d = força de arraste;

F_b = força de empuxo;

M = massa

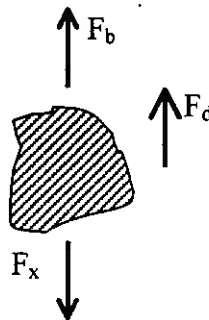


Figura 3.5 - Forças que atuam em uma partícula em movimento através do fluido.

A força externa pode ser gravitacional ou centrífuga e pode ser expressa por 3.18a e 3.18b.

$$F_x = M.a_x = M.g \quad (\text{aceleração da gravidade}) \quad (3.18a)$$

$$= M.\omega^2.r \quad (\text{aceleração centrífuga}) \quad (3.18b)$$

Onde:

a_x = aceleração produzida por uma força externa;

r = raio da trajetória;

ω = velocidade angular, em radiano/segundo;

M = massa de um corpo;

g = aceleração da gravidade.

Sendo F_d dado pela expressão 3.19:

$$F_d = C_D \rho_f v^2 A / 2 \quad (3.19)$$

A força de empuxo, segundo princípio de Arquimedes, é definida pela equação 3.20.

$$F_b = M \cdot \rho_f \cdot g / \rho_s \quad (3.20)$$

Resolvendo a equação 3.17, para aceleração da gravidade, tem-se 3.21.

$$M(dv/dt) = [Mg(\rho_s - \rho_f) / \rho_s] - (C_D \rho_f v^2 A / 2) \quad (3.21)$$

Sendo $dv/dt = 0$, quando a partícula cessa a aceleração, pode-se encontrar a equação da velocidade terminal ou velocidade máxima, v_{Ps} pela fórmula 3.22.

$$v_{Ps} = \{ [Mg(\rho_s - \rho_f) / \rho_s] / (C_D \rho_f A / 2) \}^{1/2} \quad (3.22)$$

Para partículas esféricas, segundo a equação 3.23, a velocidade terminal é:

$$V_{Ps} = [4gd_p(\rho_s - \rho_f) / (3C_D \rho_f)]^{1/2} \quad (3.23)$$

Stokes estabeleceu que para o escoamento laminar, a força de arraste de uma partícula esférica era devida à viscosidade do fluido, de acordo com a expressão 3.24 (22).

$$F_d = 3\pi d_p v \mu \quad (3.24)$$

A velocidade terminal de uma partícula esférica, não – porosa e rígida, num fluido incompressível em escoamento laminar, é definida pela equação de Stokes, conforme a equação 3.25 (7) (12 - 15) (22 - 23).

$$v_{Ps} = gd_p^2(\rho_p - \rho_f) / 18\mu \quad (3.25)$$

Onde:

- d_p = diâmetro da partícula;
- g = aceleração da gravidade;
- ρ_p = densidade da partícula;
- ρ_f = densidade do fluido;

μ = viscosidade.

O coeficiente de arraste, em função de v_{Ps} , para o escoamento laminar depende somente do número de Reynolds, conforme a equação 3.26. Sendo o número de Reynolds da partícula definido por 3.13 (12 - 16) (22).

$$C_D = 24 / Re_p \quad (3.26)$$

Para $Re_p > 500$, o escoamento em torno da partícula mostra o máximo do efeito da turbulência e o coeficiente de arraste é quase independente de Re_p : $C_D \sim 0.44$ (22).

No regime de transição, a curva do arraste aproxima-se da linha reta, conforme a expressão 3.27.

$$C_D \cong 18.5 \times Re_p^{-0.6} \quad (3.27)$$

A velocidade terminal da partícula pode ser determinada pelo método de Kelly e Spottiswood da forma modificada do diagrama de arraste, através das equações 3.28 e 3.29 (22):

$$C_D Re_p^2 = (4/3) (\rho_p - \rho_f) \rho_f g d_p^3 / \mu_f^2 \quad (3.28)$$

E

$$C_D/Re_p = (4/3) (\rho_p - \rho_f) \rho_f^{-2} \mu_f g/v_{Ps}^3 \quad (3.29)$$

Estas equações são independentes de v_{Ps} e d_p , respectivamente, e desde que uma única relação exista entre Re_p e C_D , construindo-se um gráfico $C_D Re_p^2$ ou C_D/Re_p versus Re_p , como mostra a figura 3.6, é possível calcular a velocidade terminal da partícula, v_{Ps} , ou diâmetro das partículas, d_p (22). A velocidade de sedimentação da esfera é fundamental na determinação das eficiências de colisão e adesão no processo de flotação, de acordo com os trabalhos de Schulze (7), Ralston (8) e Dobby e Finch (9).

As partículas minerais são via de regra não esféricas, apresentando formas irregulares, reentrâncias que influenciam seu movimento dentro de um fluido. Assim sendo, a forma do material afeta parâmetros como a sua área superficial, a trajetória do corpo em direção à bolha e a probabilidade do agregado partícula/bolha permanecer unido até a camada de espuma (23).

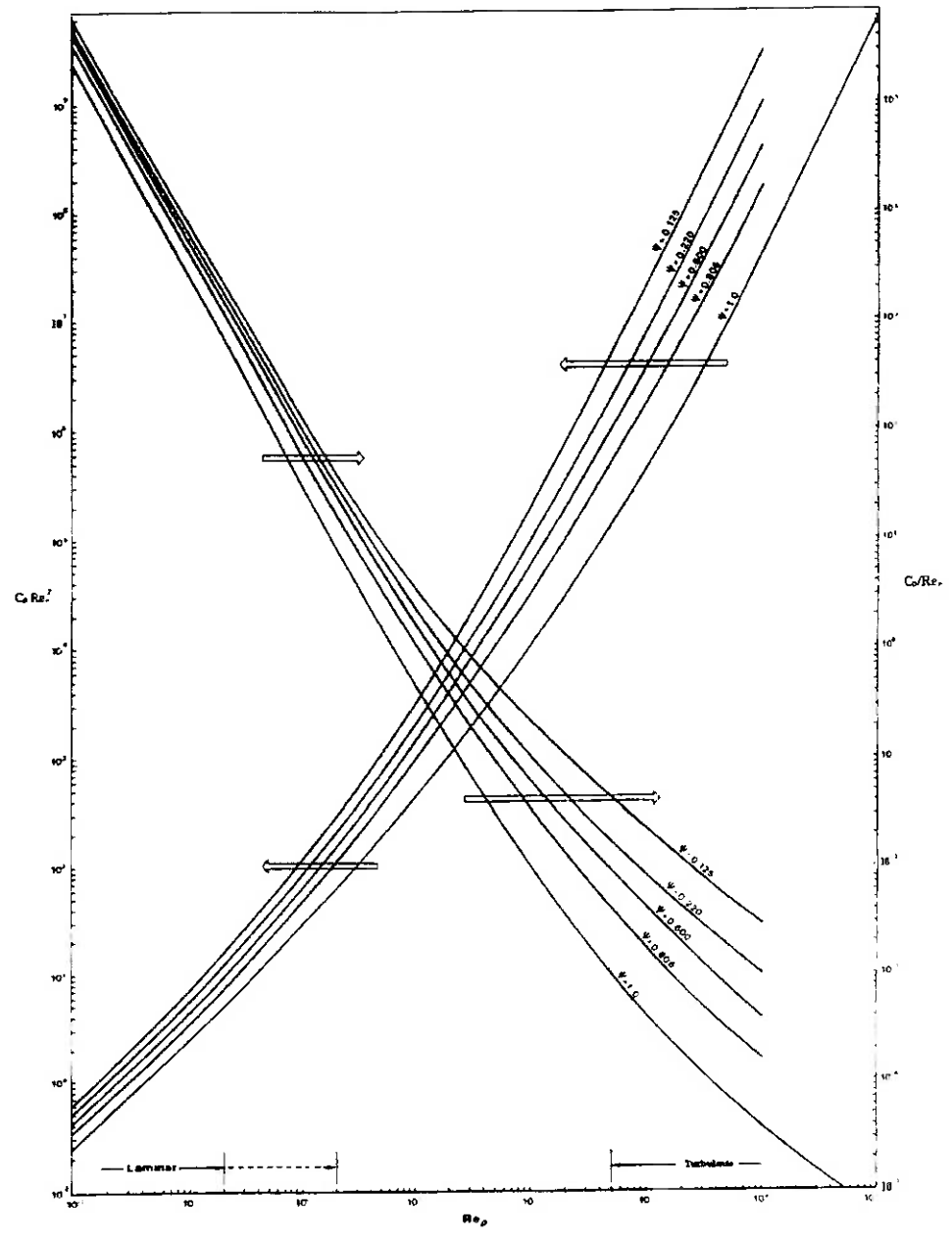


Figura 3.6 – $C_D Re_p^2$ e C_D/Re_p versus Reynolds da partícula (Re_p)

O grau de esfericidade (ψ) de uma partícula é fornecido pela equação 3.30 (12 – 15) (22 - 23).

$$\psi = \frac{\text{Área superficial da esfera que possui volume igual ao da partícula (s)}}{\text{Área superficial da partícula (S)}} \quad (3.30)$$

Gaudin (23) examinou as considerações teóricas dos dados de Wadell [apud Gaudin (23)], que foram sumariadas como:

- i. A resistência de placas planas, com espessura infinitesimal, em baixas velocidades (regime laminar) é $F_D = 16\mu r v$, quando disposta perpendicular ao escoamento do fluido; e $F_D = 10,67\mu r v$, se a placa estiver paralela ao escoamento, quando comparadas à esferas de mesmo diâmetro.
- ii. Em velocidades baixas, de modo que não haja redemoinhos, partículas têm uma ligeira tendência de serem orientadas paralelamente ao escoamento do fluido, ou seja, as partículas conservam a mesma orientação, mesmo que elas causem uma grande ou pequena resistência.
- iii. Em velocidades altas, de modo que o fluxo turbulento seja dominante, as partículas tendem a se orientar transversalmente às linhas de corrente, oferecendo a maior resistência possível ao escoamento. Se o corpo tem um eixo de simetria passando através de seu centro de gravidade e faz um ângulo reto com o plano (colocado transversalmente às linhas de corrente), ele produzirá maior resistência ao movimento. A falta de tal eixo de simetria (caso geral) resulta em maior ou menor vibração ou rotação ou oscilação.

Os discos com a mesma velocidade de sedimentação que as esferas podem parecer muito maiores, se vistos sob o microscópio numa posição “flat-lying” ou “deitada”. Entretanto, sob o ponto de vista volumétrico, a disparidade de tamanho entre discos e esferas, é consideravelmente menor (23).

A razão entre os raios de um disco e da esfera, “forma de equicadência” ou “shape – settling ratio”, é considerada um tanto análoga à razão de queda livre; observa-se que esta razão varia de 82 a 3,5 para discos muito planos e esferas de mesma

densidade. Como ocorre quando uma partícula de tamanho cascalho é reduzida ao silte, isto é devido à resistência do fluido ao movimento ser maior. Portanto o efeito forma afeta mais intensamente a velocidade de corpos grandes, do que propriamente dos menores (23).

Os materiais, normalmente encontrados no Tratamento de Minérios, têm esfericidades (ψ) variando de $\psi = 0,5$ a $0,7$, minerais com forte clivagem podem possuir $\psi > 0,7$, como é o caso da galena, ou $\psi < 0,5$, por exemplo as micas (23).

A influência da forma de partículas com diferentes graus de esfericidade na caracterização do escoamento é apresentada nas figuras 3.4 e 3.6.

3.4 – Números Hidrodinâmicos das Células Mecânicas de Flotação.

Nas células de flotação é necessário que ocorra a mistura dos componentes da polpa, para promover o maior contato possível entre as partículas, o líquido e as bolhas. Portanto para um bom desempenho da flotação, a agitação é uma condição fundamental para que (7) (25) :

- i. Não ocorra aterramento da célula, isto é, que as partículas permaneçam em suspensão;
- ii. Partículas hidrofóbicas (que têm grande probabilidade de flotar) sejam mantidas em suspensão todo o tempo em que permanecerem na célula e que, com isto, tenham o maior número possível de chances para se encontrarem com bolhas de ar e acabem coletadas;
- iii. Dispersão das bolhas e partículas ao longo de todo o volume da célula, efetuando a mistura da três fases (ar, sólidos e água), isto é, minimizando o fenômeno do curto-circuito.

Para completa suspensão de corpos em líquidos, Smith [Smith apud Oliveira Jr. (26)] considera que as partículas inicialmente devam ser elevadas da base (fundo) do tanque e depois dispersadas em toda sua extensão. Geralmente, a suspensão é dependente do escoamento do fluido na base do vaso, enquanto que a dispersão é função do movimento global no vaso como um todo. O escoamento do fluido na base do vaso forma redemoinhos do centro para periferia do tanque ou vice-versa. Se a velocidade for suficientemente alta, as partículas são deslocadas, em função da posição (em relação ao fundo do tanque) do rotor, para lateral ou meio do recipiente.

As observações das características dos fluxos dos líquidos (sem os sólidos) em vasos agitados, permitem estabelecer o comportamento das suspensões em termos de escoamentos geral para os rotores de pás inclinadas e para o rotor turbina – disco (26):

- i. O rotor de pás inclinadas gera, normalmente, um fluxo de características axiais, induz também um escoamento fortemente radial. A rotação primária do fluido e os efeitos de atrito com o fundo do tanque com este tipo de rotor produzem uma circulação secundária, condições que dão ótimas características para suspensão de partículas sólidas.
- ii. O rotor turbina–disco forma um fluxo predominantemente radial; no entanto, quando existem partículas em suspensão, estas serão aspiradas para dentro dos vórtices, gerados pelo rotor, tal vórtice tem a tendência de arremessar para fora de si parte deste material, que pode causar sérios problemas de desgaste da face superior e inferior do rotor (tanto de disco como de pás).

Para Schulze (7), em linhas gerais, são observados os seguintes fluxos na célula de flotação, conforme a figura 3.7:

- i. Fluxo tangencial próximo ao eixo do rotor que apresenta um gradiente radial de pressão;
- ii. Fluxos verticais de circulação que são muito turbulentos
- iii. Fluxos axiais, que transportam partículas e bolhas do centro da célula para sua periferia;
- iv. Fluxos tangenciais na vizinhança da camada de espuma. Estes fluxos são muito turbulentos pois são oriundos da transformação de fluxos verticais ascendentes (turbulentos) em fluxos tangenciais quando estes atingem o topo da célula.

A determinação da potência na agitação tem muito em comum com os métodos de estudo da dinâmica dos fluidos. Com auxílio da análise adimensional e considerando os sistemas com similaridade geométrica, cinética e dinâmica, uma estrutura matemática que abrange a maior parte das variáveis do processo foi desenvolvida (12 - 16) (27-29).

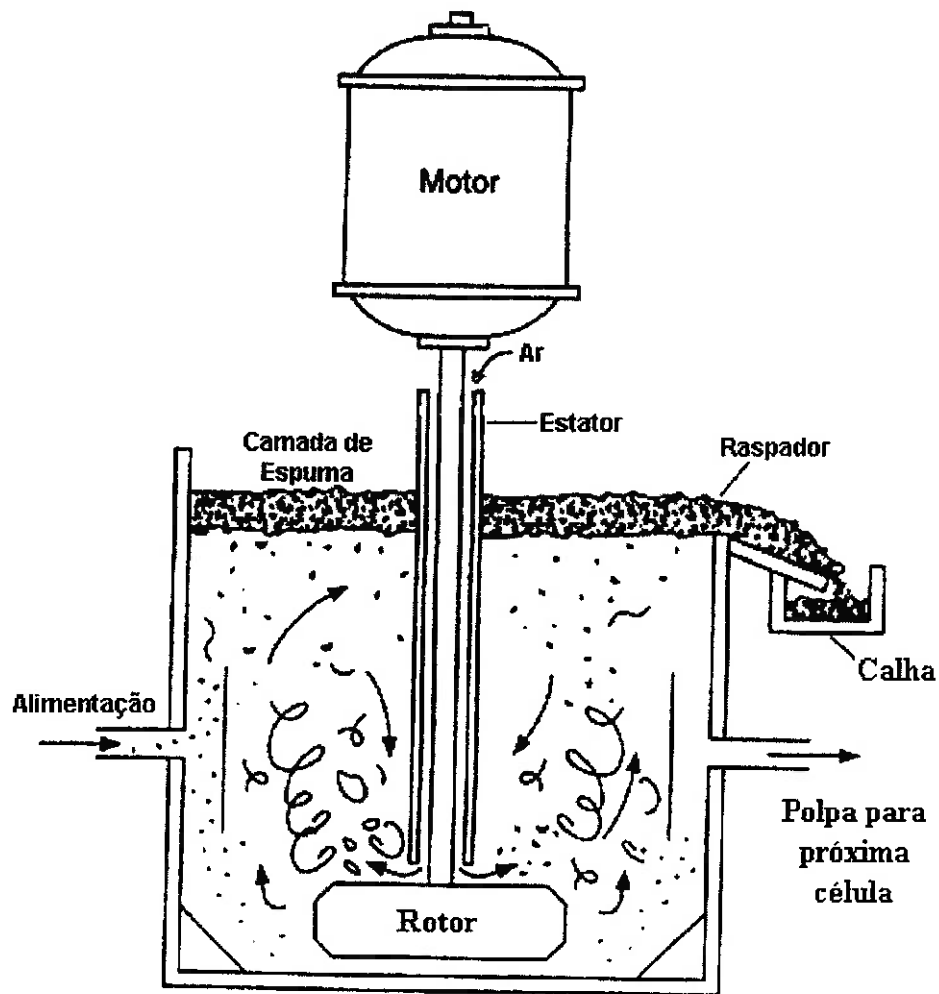


Figura 3.7 – Esquema de uma célula de flotação.

Segundo Uhl e Gray (27), uma equação geral adimensional para potência do agitador foi deduzida por vários cientistas usando a análise adimensional. Eles consideravam que a potência do rotor ou impelidor seria função das seguintes variáveis:

- geometria e velocidade do rotor;
- geometria do tanque;
- propriedades do fluido, tais como, viscosidade e densidade;
- forças gravitacionais.

O teorema pi de Buckingham fornece a equação (3.31) adimensional para relação das variáveis (27):

$$f(D^2 N \rho / \mu, D N^2 / g, P g_c \rho^{-1} D^{-5} N^3, D/T, D/Z, D/C, D/p, D/w, D/l, n_2/n_1) = 0 \quad (3.31)$$

Onde:

D = diâmetro do rotor; g = aceleração da gravidade;
 T = diâmetro do tanque; Z = profundidade do líquido;
 w = largura da hélice ou pá; p = inclinação da hélice;
 n = número de hélices; l = comprimento da hélice;
 ρ = densidade; μ = viscosidade;
 P = potência; N = rotação do rotor;
 C = distância do rotor ao fundo do recipiente;
 g_c = fator de conversão de unidades (no sistema internacional de unidades é igual a unidade).

O movimento da lâmina do rotor na polpa de flotação e o deslocamento resultante desta suspensão pelo estator (chicanas) e paredes, provocam um atrito pelicular e um arraste que dependem da velocidade de rotação e do modelo das lâminas e do tanque. Nos sistemas com semelhança geométrica de rotor, tanque e estator, o coeficiente de arraste estará em função do número de Reynolds (13).

O coeficiente de arraste ou fator de atrito em sistemas de agitação auxilia e intensifica na compreensão do significado físico do número de potência. O coeficiente de arraste de um corpo sólido submerso num fluido em movimento foi definido pela equação 3.15. Para um reator de mistura, como é o caso na flotação, o número de Potência é análogo ao coeficiente de arraste dos seguintes argumentos (27):

$$\begin{aligned}
 v &\propto ND \\
 A &\propto D^2 && \text{(semelhança geométrica)} \\
 P &\propto NF_D D
 \end{aligned}$$

Introduzindo estas relações na equação 3.15, tem-se a expressão A:

$$C_D \propto \frac{(P/ND)g_c}{\rho(ND)^2 D^2} \quad \text{Expressão A}$$

Simplificando:

$$C_D \propto \frac{Pg_c}{\rho N^3 D^5} \quad \text{Expressão B}$$

Ou

$$C_D \propto N_p \quad \text{Expressão C}$$

A figura 3.8 apresenta 6 gráficos (para tipos de turbinas diferentes) em que N_{p0}

(número de potência do rotor) em função do N_{Re} (número de Reynolds do Rotor). As turbinas variam no método de montagem das hélices no eixo, ângulo das mesmas e na razão da largura da hélice, w , pelo diâmetro do rotor, D (14) (21).

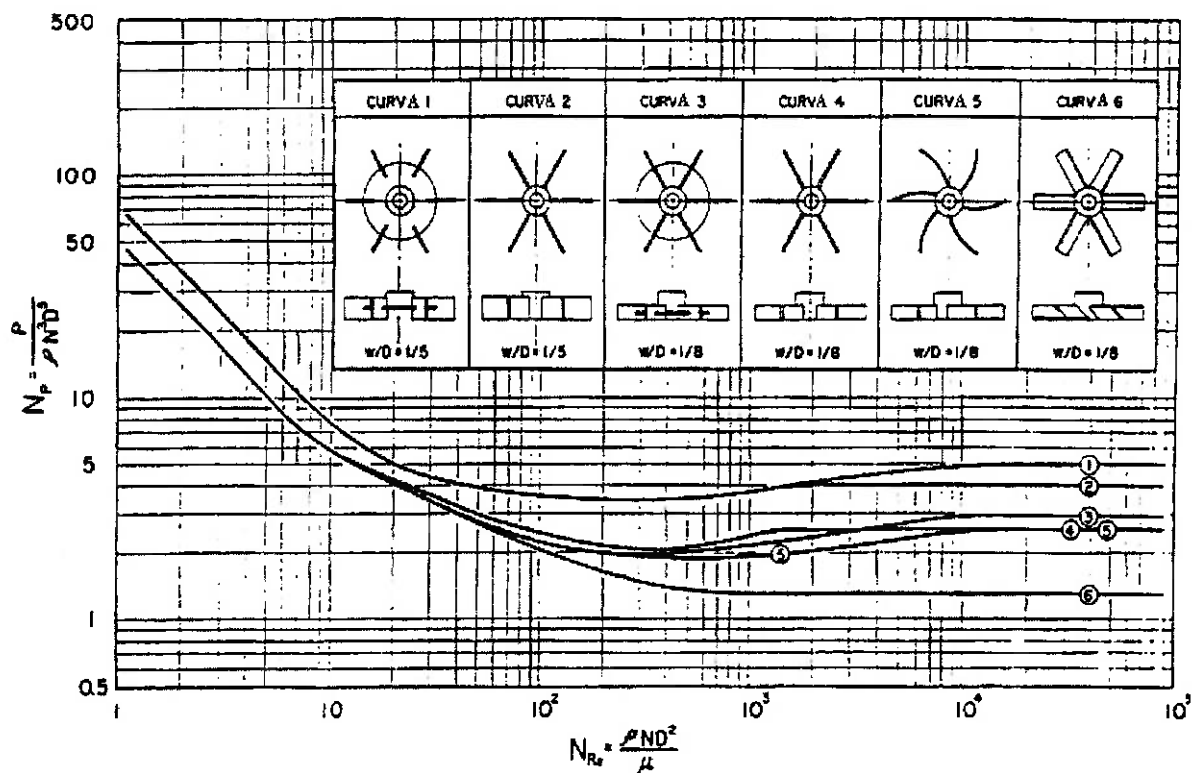


Figura 3.8 - Número de Potência em função do número de Reynolds para diversas geometrias do rotor tipo turbina.

Observa-se, ainda na figura 3.8 que os dois limites das curvas têm características comuns a todos os gráficos de C_D versus Reynolds, isto é, em número de Reynolds baixos, tem-se as expressões 3.32 (13):

$$N_P = \text{constante}/N_{Re} \quad (3.32)$$

Já para sistemas de agitação com número de Reynolds elevado (N_{Re} do agitador) tem-se a equação 3.33 (13):

$$N_P = \text{constante} \quad (3.33)$$

A equação 3.32 caracteriza a ocorrência de um regime laminar, enquanto que a equação 3.33 de um regime turbulento dentro do vaso agitado (13 – 14) (21).

A figura 3.8 indica três estados de movimento (regimes) para o fluido dentro do

vaso agitado (14) (21):

- i. Turbulento ($N_{Re} > 10000$);
- ii. Transiente ($10 < N_{Re} < 10000$), onde o regime é turbulento próximo ao rotor e laminar nas partes mais remotas da célula;
- iii. Laminar ($N_{Re} < 10$), o escoamento é laminar em qualquer região da célula.

Nagata (30) desenvolveu um conjunto de equações empíricas para determinar a potência consumida por agitadores de impelidor do tipo “paddle” ou pá. Conforme as equações 3.34a a 3.34d.

$$N_{Po} = \frac{A}{N_{Re}} + B \left(\frac{10^3 + 1,2N_{Re}^{0,66}}{10^3 + 3,2N_{Re}^{0,66}} \right)^{p'} \quad (3.34a)$$

Na qual:

$$A = 14 + (b/D)[670 (d/D-0,6)^2 + 185] \quad (3.34b)$$

$$B = 10^{[1,3-4(b/D-0,5)^2-1,14(d/D)]} \quad (3.34c)$$

$$p' = 1,1 + 4(b/D) - 2,5(d/D - 0,5)^2 - 7(b/D)^4 \quad (3.34d)$$

Onde:

N_{Po} = número de potência;

N_{Re} = número de Reynolds;

b = largura do rotor;

D = diâmetro do tanque;

d = diâmetro do rotor

No caso da região ser turbulenta na agitação, o termo A/N_{Re} na equação 3.34a é desprezível (30).

Para microflotação em tubo de Hallimond feita com um rotor cilíndrico (“peixe” de agitação), e o valor do seu número de potência é 70 a 75% do valor para rotor retangular (“paddle”)*.

* Dr. Roberto Mattioli. Comunicação pessoal – 27/11/2000

Na flotação, segundo Leja (31), os números dinâmicos mais elucidativos para flotação são apresentados na tabela 3.3, onde se destacam os números de Weber, de Reynolds, Capilar e de Eotvos-Bond. Para sistemas bifásicos (ar/líquido ou líquido/líquido), é válido o diagrama mostrado na figura 3.9. que relaciona o Número de Weber com o Número de Bond, isto é, parâmetros que relacionam os fenômenos interfaciais com grandezas "bulk". No diagrama podemos verificar que as forças capilares somente serão predominantes para sistemas onde $We < 1$ e $Bo < 1$. Para sistemas envolvendo ar/líquido (bolhas), sempre que $Eo > 1$, o contorno das bolhas apresentará desvio da esfericidade (característica de sistemas onde predominam as forças de superfície ou capilares), apresentando assim contorno elipsoidal (característico de sistemas onde predominam as forças gravitacionais). A ausência de deformação nas bolhas permitiria a flotação de partículas mesmo que estas apresentassem ângulo de contato nulo.

Esta possibilidade é verificada na prática em sistemas de tratamento de água que utilizam flotação por ar dissolvido. Nesse caso, partículas hidrofílicas flutam perfeitamente (32).

Uma vez que o Número de Capilar (Cap) relaciona forças viscosas com tensão interfacial, é evidente que a viscosidade da polpa desempenha um papel relevante nas separações de minerais por flotação. Este fato é amplamente aceito, em virtude de que existe sempre uma faixa ótima de densidade de polpa para se executar a flotação (31).

O conhecimento desta turbulência, oriunda da agitação, é de grande valia na flotação, pois a suspensão eficaz da polpa aumenta a probabilidade das partículas colidirem com a bolha. No entanto, uma turbulência muito intensa pode ter como consequência a destruição do agregado bolha/partícula, com isso, diminuindo a recuperação do processo.

Tabela. 3.3 - Números hidrodinâmicos utilizados na flotação (15 - 16) (33).

NÚMERO	EQUAÇÃO	RELAÇÃO ENTRE FORÇAS
REYNOLDS (N_{Re})	$N_{Re} = D^2 N \rho / \mu$ (3.35) D = diâmetro do rotor N = rotação do rotor ρ = densidade do fluido μ = viscosidade da polpa.	Forças de Inércia e as Forças de Viscosidade.
FROUDE (N_{Fr})	$N_{Fr} = DN^2/g$ (3.36) g = aceleração da gravidade	Forças de Inércia e as Forças Gravitacionais.
POTÊNCIA (N_{Po})	$N_{Po} = P/(N^3 D^5 \rho)$ (3.37) P = potência	Forças de Arraste do Rotor e as Forças de Inércia.
EULER (N_{pr})	$N_{pr} = p/(N^2 D^2 \rho)$ (3.38) p = pressão	Pressão e Forças de Inércia.
FLUXO DE AR (N_Q)	$N_Q = Q_{ar}/(ND^3)$ (3.39) Q_{ar} = vazão de ar	Vazão de Ar e Forças de Inércia.
WEBER (N_w)	$N_w = N^2 D^3 \rho / \gamma$ (3.40) γ = tensão superficial	Forças de Inércia e Forças e Capilares.
BOND (N_B)	$N_B = x^2 g \rho / \gamma$ (3.41) x = um comprimento característico (cm), por exemplo o diâmetro do corpo.	Forças Gravitacionais e Forças Capilares.
CAPILAR (N_C)	$N_C = DN\mu/\gamma$ (3.42)	Forças de Viscosidade e Forças Capilares.

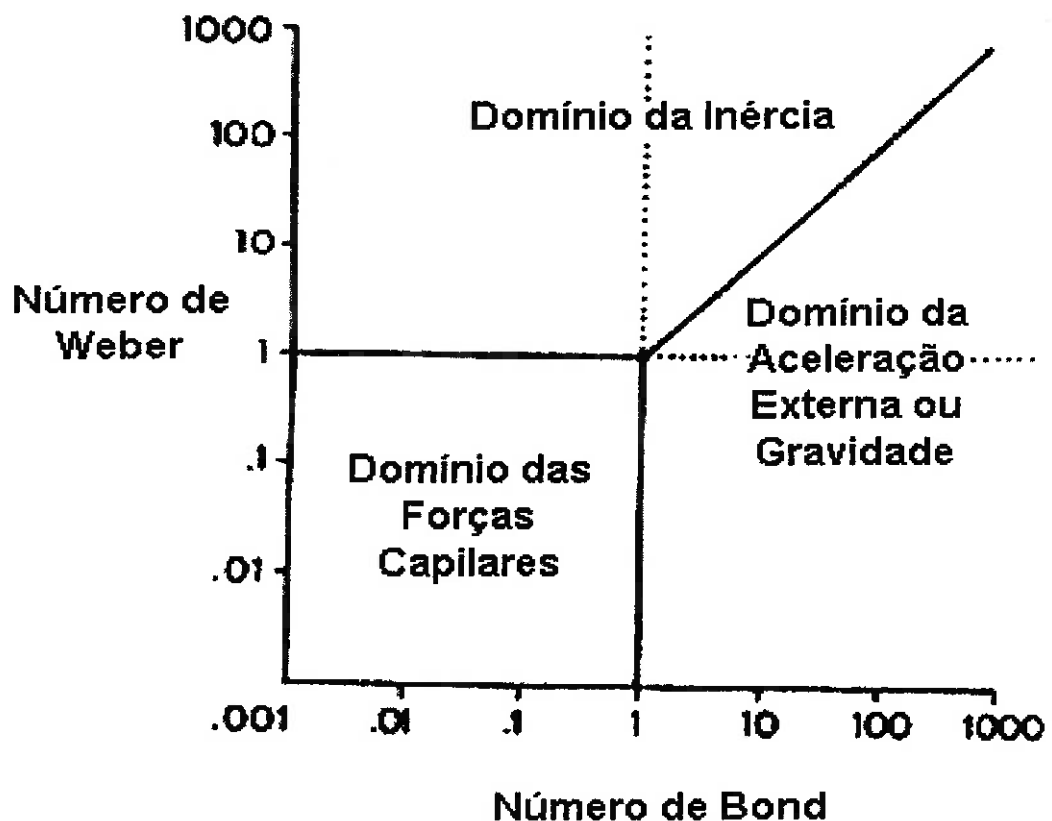


Figura 3.9 – Diagrama dos domínios hidrodinâmico.

3.5 – Características Geométricas e Mecânicas das Células de Flotação.

Após o pré - tratamento da superfície das partículas, a máquina de flotação deve proporcionar condições hidrodinâmicas e mecânicas favoráveis para uma separação efetiva de um ou mais minerais. À parte das exigências para entrada de alimentação e saída dos materiais das células ou bancos, e para remoção hidráulica ou mecânica da espuma, os equipamentos devem executar também as seguintes funções (25) (34 – 37):

- i. Eficaz suspensão e dispersão das partículas, ambas para impedir a sedimentação e permitir o contato das partículas com as bolhas de ar;
- ii. Aeração, formação e dispersão da bolha;
- iii. Condições favoráveis para o contato partícula-bolha e adesão;
- iv. Fazer com que as partículas coletadas pela bolha caminhem rumo à camada de espuma;
- v. Evitar turbulência da polpa próximo à camada de espuma;
- vi. Controlar o nível da interface polpa - espuma.

O aparato de flotação é instalado dentro de uma célula e consiste em um rotor ou impelidor, no seu fundo, suspenso por um eixo conectado a um acionamento (fora e acima da célula), envolvido por uma capa denominada estator que possui a função de inibir o movimento rotacional da polpa na célula e promover a dispersão do ar, conforme a figura 5.7. Como nas bombas centrífugas, o giro do rotor faz com que a polpa seja impelida na direção do topo do tanque, atingindo uma certa altura a partir da qual a polpa experimenta um movimento descendente, quando é novamente sugada e impelida na direção do topo (38 – 40).

O movimento rotacional do impelidor gera uma região de pressão negativa dentro do equipamento, isto é suficiente para aspirar o ar necessário à flotação, daí a conveniência do tubo coaxial com o eixo do rotor. Existem todavia modelos cuja aeração é forçada, isto é, ar comprimido é injetado no sistema (38).

As células mecânicas de flotação têm evoluído no sentido de aumentar sua capacidade, o volume máximo da célula de flotação, que era em torno de 2.8 m^3 em 1960, passou para aproximadamente 56 m^3 em 1980. Este aumento é o resultado do maior conhecimento de fatores hidrodinâmicos e como eles auxiliam na eficiência do processo. Três conjuntos de variáveis são determinantes na flotação, conforme a figura 3.10 (35 – 36):

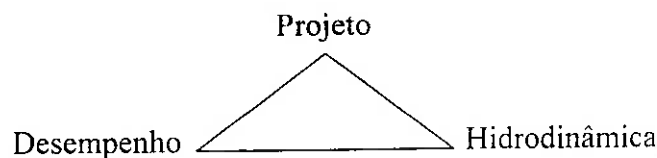


Figura 3.10 – Conjuntos de variáveis da flotação.

O projeto da célula de flotação é bastante variado, existindo modelos com ou sem: estator, rotor encamisado, entrada de dimensões variadas, etc. Apesar das diferenças de projeto seu comportamento hidrodinâmico apresenta notável similaridade, isto é, as formas variadas de células operam em faixas muito estreitas de parâmetros, conforme apresentados na tabela 3.4 (35) (39).

Os números adimensionais usados na flotação, com seus intervalos de variação, são apresentadas na tabela 3.5 (35).

Nas células de flotação, as bolhas são produzidas pelo desprendimento do vortex em cavidades que ocorrem na parte posterior das lâminas do rotor, a qual é uma região de baixa pressão que permite a passagem do ar. O fluxo de ar é interrompido pela formação de uma região de alta pressão que por sua vez é seguida por outra de baixa

pressão, continuamente; deste modo, a frequência de rotação do impeller assume um papel preponderante. É importante também ressaltar que a rotação influenciará o número de Weber (34 – 35).

Segundo Fallenius (40), na flotação a velocidade rotacional e, portanto, a intensidade da turbulência tem forte influência na recuperação e no teor de concentrado de uma única célula ou de um banco de células. O mecanismo de funcionamento de uma célula mecânica pode ser considerado igual ao de uma bomba centrífuga, pois, além de bombear a polpa, ele dispersa o ar (sugado ou alimentado, na forma de bolhas finas); isto conserva os sólidos em suspensão e distribui as bolhas no tanque.

Segundo Schubert (41), estima-se que as máquinas de flotação que operam em escala industrial trabalham em escoamento altamente turbulento ($10^6 < Re < 7.10^7$). Obviamente que tal estimativa se refere ao Reynolds do rotor. Para este autor, três efeitos de turbulência são de fundamental importância para o processo:

- i. O fenômeno de transporte turbulento;
- ii. A dispersão turbulenta de ar e agregados partícula-bolha;
- iii. A colisão turbulenta partícula-bolha.

Enquanto que o fenômeno de transporte turbulento é causado pela macroturbulência (referente ao movimento do rotor dentro da célula), a microturbulência (relacionada ao movimento de bolhas e partículas) controla os dois últimos efeitos, os quais dependem somente da taxa de dissipação da energia do rotor e da viscosidade cinemática da polpa. Para a ótima flotação de grossos, a potência consumida deve ser minimizada, neste caso, há a geração de bolhas grossas e a estabilidade dos conjuntos partícula/bolha cresce. Além disso, as forças turbulentas agindo nestes aglomerados são diminuídas, este fato explica a boa recuperação das partículas grossas em rotações não tão grandes. Já para sólidos finos e muito finos, o número de colisões requerido é bem maior que das intermediárias e grossas, portanto a potência consumida para alta flotabilidade de finos e muito finos é maior que na intermediárias e grossas (41).

Para Schulze (7) um fluxo turbulento está sobreposto ao escoamento laminar. A turbulência é maior na menor distância do dispositivo gerador da turbulência, o rotor ou impelidor (chamado sistema rotor-estator). A importância principal na modelagem da flotação é que o fluxo turbulento ocorra longe das paredes da célula, por conseguinte, as seguintes considerações podem ser feitas com precisão:

- Acima de um número de Reynolds crítico, as tensões de cisalhamento laminar são desprezíveis, quando comparadas com as turbulentas. O fluxo e os parâmetros turbulentos são portanto independentes do número de Reynolds.
- A turbulência é considerada isotrópica, ou seja, ela é a mesma em qualquer direção que for medida.

Tabela 3.4 - Características de projeto de máquinas de flotação.

CARACTERÍSTICAS	DIMENSIONAMENTO	FAIXA DE APLICAÇÃO
Geometria do Tanque $V = LWH_n$ (volume submerso)	$V \propto L^n$ H/L, diminui com o tamanho da máquina, provavelmente para satisfazer a aeração e a suspensão requerida.	$n \sim 2,6$ a $2,9$ $\sim 0,4$ a 1
Geometria do Rotor	Altura do Estator/Diâmetro do Rotor, t/D Diâmetro do Rotor/Largura do Tanque, D/L	$\sim 0,1$ a $1,1$; Denver $\sim 0,15$; Wemco $1,1$ $\sim 0,25$ a $0,50$ (decrece ligeiramente em "scale up")
Aeração e Espuma Área de interface polpa/espuma, $A = LW$	Ar "hold-up" (por volume) Diâmetro da bolha	Média da célula, ~ 10 a 15% Na zona do rotor, $\sim 50\%$ Na coluna de espuma, $\sim 90\%$ $\sim 0,5$ mm, muitas vezes determinado pela concentração de surfatantes na espuma.
Velocidade	Velocidade Periférica do Rotor, $v = \pi ND$ $v \propto D^a$ Velocidade superficial do ar, Q_A/A (m/s)	~ 6 a 9 m/s a ~ 0 a $0,3$ (média $\sim 0,1$) $\sim 0,7 \cdot 10^{-2}$ a $4 \cdot 10^{-2}$ (média $\sim 1,5 \cdot 10^{-2}$ a $3 \cdot 10^{-2}$)
Produtividade Operacional	Capacidade Específica Tamanho de Partículas	~ 25 a 65 t.m ⁻³ /dia (sólidos secos) $10 \mu\text{m}$ a $250 \mu\text{m}$ (média: $74 \mu\text{m}$)
Potência	Potência Específica, diminui com o scale up	$\sim 1,3$ a $5,3$ kW/m ³ de volume da célula

Tabela 3.5 - Números adimensionais em máquinas de flotação.

NÚMERO ADIMENSIONAL	INTERVALOS DE VARIAÇÃO
Reynolds	$\sim 10^5$ (*) a 10^6 (**).
Potência	$\sim 0,8$ a 5 depende da geometria rotor/estator: $\sim 0,8$ a 1 (+) ~ 4 (++)
Euler ou Pressão	$\sim 0,5$ a $2,0$ (*)
Froude	~ 5 (*) $\sim 0,3$ a 2 (**)
Fluxo de Ar	~ 1 a $2 \cdot 10^{-2}$ (+) ~ 4 a $7 \cdot 10^{-2}$ (++)

(*) Laboratório

(+) Denver

(**) Industrial

(++) Fagergren

3.6 – A velocidade de Bolhas e Partículas Através da Polpa de Flotação.

A velocidade das bolhas na flotação é de suma importância para quantificação da eficiência de coleta e bom desempenho do processo. Diversos modelos matemáticos tem sido desenvolvidos, afim de estimar a velocidade da bolha.; destacam-se os modelos de: Dobby e Finch (9) (42), Manqiu Xu e Finch (43), Drzymala (44) e Ityokumbul et al. (45).

A velocidade de uma fase em relação a outra, é chamada de velocidade de deslizamento. Neste caso, a velocidade da fase gasosa em relação à fase líquida (ou polpa), denominada por U_{sg} é definida segundo a equação 3.43 (9) (42).

$$U_{sg} = \frac{J_g}{\epsilon_g} \pm \frac{J_L}{(1-\epsilon_g)} \quad (3.43)$$

Onde:

U_{sg} = velocidade da fase gasosa em relação à fase líquida ou polpa;

J_g = velocidade superficial do gás;

J_L = velocidade superficial do líquido;

ϵ_g = gás “hold-up”.

Na literatura técnica o volume total da polpa ocupado pelo gás é chamado de “hold-up”. Esta grandeza pode ser calculada pela equação 3.44 (9).

$$\epsilon_g = 1 - \frac{\Delta P}{\rho_{sl}g\Delta H} \quad (3.44)$$

Sendo:

ΔP = é a diferença de pressão nos pontos de medição do gás “hold-up”;

ρ_{sl} = densidade do fluido ou da polpa;

ΔH = distância entre os dois pontos de medida do gás “hold-up”.

Na equação 3.43, o sinal +/- refere-se ao fluxo contracorrente ou fluxo concorrente. Convencionalmente aqui será positivo com gás escoando para cima e líquido para baixo.

A velocidade de deslizamento é função de diversas variáveis. Yianatos [Yianatos apud Dobby e Finch (9)], deduziram uma equação para velocidade de deslizamento para sistema gás/polpa, com bolhas de $d_b \leq 2$ mm ($Re_b \leq 500$), de acordo com a equação 3.45.

$$U_{sg} = \frac{g d_b^2 (\rho_{sl} - \rho_b) F(1 - \epsilon_g)}{18 \mu_{sl} (1 + 0.15 Re_{bs}^{0.687})} \quad (3.45)$$

Onde:

U_{sg} = velocidade de uma fase em relação à outra, por exemplo a velocidade da fase gasosa em relação à polpa;

d_b = diâmetro da bolha;

g = aceleração da gravidade;

ρ_{sl} = densidade da polpa;

ρ_b = densidade da bolha;

Re_{bs} = Reynolds do fluxo de bolhas;

μ_{sl} = viscosidade da polpa.

Sendo o número de Reynolds do fluxo de bolhas (Re_{bs}) dado pela equação 3.46 (9) (42).

$$Re_{bs} = d_b U_{sg} \rho_{sl} (1 - \epsilon_g) / \mu_{sl} \quad (3.46)$$

Os fatores F e m são fornecidos pelas equações 3.47 e 3.48, respectivamente.

$$F(1-\epsilon_g) = (1-\epsilon_g)^{m-1} \quad (3.47)$$

$$m = [4,45+18(d_b/d_c)]Re_b^{-0.1} \quad 1 < Re_b < 200 \quad (3.48a)$$

$$m = 4,45Re_b^{-0.1} \quad 200 < Re_b < 500 \quad (3.48b)$$

O número de Reynolds da bolha é calculado pela equação 3.12.

A velocidade terminal de elevação da bolha (v_b) é calculada usando a equação 3.45 e considerando $\epsilon_g = 0$;

Esta técnica de determinação do diâmetro e da velocidade da bolha é geralmente aplicada à flotação em coluna. No entanto, ela também foi utilizada com dados de flotação em célula mecânica, no trabalho de Xu e Finch (43).

O diâmetro da bolha geralmente é medido fotograficamente, no entanto, uma maneira de estimar d_b é através de iterações matemáticas, quando J_g e ϵ_g são conhecidos. A técnica consiste em substituir valores estimados de d_b na equação 3.45 até U_{sg} desta equação se igualar à velocidade de deslizamento da equação 3.43.

Drzymala (44), apresenta equações que caracterizam o movimento das bolhas em flotação no tubo de Hallimond de mono-bolha, quando as bolhas são formadas lentamente, o diâmetro da bolha (d_b) é determinado pela tensão superficial do líquido (γ), densidade do líquido (ρ_L), densidade do gás (ρ_g), aceleração da gravidade, g , e tamanho do capilar (d_c), no qual a bolha é gerada, conforme a equação 3.49.

$$d_b = \left(\frac{6d_c\gamma}{g(\rho_L - \rho_g)} \right)^{1/3} \quad (3.49)$$

Quando a vazão de gás aumenta, o número de bolhas por unidade de tempo cresce, fazendo com que a distância entre as bolhas diminua, sujeitando-as à coalescência. Se houver a formação de um filme, o diâmetro da bolha (d_b^l) dependerá da vazão do gás (Q_g), segundo a equação 3.50 (44).

$$d_b^l = \left(\frac{72\rho_L Q_g^2}{\pi^2 g(\rho_L - \rho_g)} \right)^{1/5} \quad (3.50)$$

A velocidade de elevação da bolha, u_b , nesta região de coalescência é dada pela

equação 3.51 (44).

$$u_b = 6 Q_g d_b^{-2} / \pi \quad (3.51)$$

Na célula mecânica de flotação a energia para destruição do agregado aumenta com o crescimento da energia cinética do campo turbulento. Portanto, as partículas ou agregados estão sujeitas, além da velocidade de sedimentação (v_s), à velocidade relativa ($\sqrt{v_i'^2}$), causada pela turbulência (7) (41) (46 - 48).

A intensidade e estrutura da microturbulência depende somente da energia de dissipação (ϵ) e da viscosidade cinemática (ν). A energia média de dissipação (ϵ) é calculada pela razão entre a energia produzida pelo sistema rotor - estator na máquina de flotação e a massa de fluido ou polpa contida na célula, de acordo com a equação 3.52 (7) (41) (48):

$$\epsilon = N_p \rho N^3 d_R^5 / m \quad (3.52)$$

Onde:

ϵ = energia média de dissipação;

m = massa contida no sistema, por exemplo: a polpa de flotação;

N_p = número de potência;

ρ = densidade do fluido;

N = rotação do rotor;

d_R = diâmetro do rotor

A velocidade turbulenta relativa da partícula ou bolha ou agregado (partícula/bolha) é dada aproximadamente pela equação 3.53 (7) (41) (47 - 48).

$$\sqrt{v_i'^2} \approx 0,33 \epsilon^{4/9} d_i^{7/9} (\Delta\rho/\rho)^{1/3} (\nu_L^{-1/3}) \quad (3.53)$$

Onde:

$\sqrt{v_i'^2}$ = velocidade turbulenta relativa da partícula ou bolha;

ϵ = energia média de dissipação;

d_i = diâmetro da espécie (partícula ou bolha ou agregado);

$\Delta\rho = \rho_i - \rho$; diferença de densidade entre a espécie (partícula ou bolha) e o líquido;

ρ = densidade da fase líquido;

ν_L = viscosidade cinemática da fase líquida.

3.7 - Processo de Coleta da Partícula.

Segundo Dobby e Finch (9), para haver a coleta de uma partícula por uma bolha na flotação, deve haver um dos três processos:

- i. Colisão partícula-bolha seguida pela adesão, desde que a superfície do corpo esteja completamente hidrofóbica;
- ii. Carreamento da partícula dentro da camada limite e trajetória da bolha;
- iii. Precipitação das bolhas de ar em superfícies hidrofóbicas.

Considerando-se, numa célula de flotação, bolhas de gás atravessando uma coluna de água com partículas hidrofóbicas em uma concentração c_p (número de partículas por unidade de volume); a eficiência de coleta (E_k) é definida como a fração de partículas capturadas pela bolha (após a colisão e adesão), que conseguiram permanecer aderidas à bolha. Portanto, para um volume de água com lado de dimensão L , as expressões 3.54a e 3.54b descrevem a coleta de partículas (9).

$$\text{razão de partículas removidas} = \left[\begin{array}{c} \text{razão de partículas removidas} \\ \text{por bolha} \end{array} \right] \times \text{número de bolhas} \quad (3.54a)$$

E

$$dc_p/dt = (1,5J_g E_k) c_p / d_b \quad (3.54b)$$

Onde:

J_g = velocidade superficial do gás = Q_g/A_c ;

Sendo: Q_g = vazão do gás;

A_c = área da seção transversal da célula;

c_p = número de partículas por unidade de volume;

t = tempo;

E_k = eficiência de coleta;

d_b = diâmetro da bolha.

A equação 3.54b equivale a uma expressão de processo de primeira ordem, na qual E_k é independente de c_p e a constante de primeira ordem (K_c) é dada pela expressão 3.55 (9).

$$K_c = 1.5J_g E_k / d_b \quad (3.55)$$

Tal constante é utilizada no cálculo da recuperação para células mecânicas e colunas de flotação, de acordo com a configuração de seu fluxo. Este tópico será visto na seção 3.9.

A eficiência de colisão (E_c) é a fração de todas as partículas varridas por uma área de influência projetada na bolha, capazes de colidirem com a mesma. Subseqüentemente, para colidir com a bolha, a partícula se deslocará ao longo da superfície da mesma, com um movimento de deslizamento ou de repique. O corpo deslizante mantém o contato com a bolha até ser carregado radialmente, pelas linhas de corrente do escoamento, para longe da superfície da bolha; exceto, quando ocorrer a adesão da partícula (9).

A eficiência de adesão é a fração do total das partículas que colidiram com a bolha e obtiveram sucesso na adesão durante o tempo de contato. As forças superficiais de atração comprimem o filme líquido entre a partícula e a bolha, conduzindo-o à uma espessura crítica, na qual ocorre o seu rompimento; havendo então a formação da linha de contato entre estas três fases, sólido, ar e líquido (7 - 9) (49 - 50).

Uma baixa recuperação de partículas grossas pode estar associada ao rompimento do agregado partícula/bolha, devido a grande turbulência. Jordan e Spears (51) estudaram os efeitos desta turbulência na flotação de partículas finas; Schulze (52) tem examinado o mecanismo de desligamento com uma visão para determinação do limite superior de flotabilidade das partículas; Jowet (53) desenvolve uma estimativa do tamanho crítico para o rompimento do agregado baseado nas velocidades translacionais das zonas de turbulência em células mecânicas de flotação, ele encontrou um tamanho crítico de partícula entre 100 μm ($\rho_p = 7,5 \text{ g/cm}^3$) e 200 μm ($\rho_p = 4,2 \text{ g/cm}^3$) para um ângulo de contato de 60° , abaixo deste tamanho crítico, o desligamento poderia ser mínimo.

A partícula pode ser arrancada da superfície da bolha, somente quando a energia cinética fornecida for igual ou maior que a energia de destruição do agregado. A eficiência de coleta da partícula por uma bolha é definida pela equação 3.56 (8).

$$E_k = E_c \cdot E_a \cdot E_s \quad (3.56)$$

Onde:

E_k = eficiência de coleta;

E_c = eficiência de colisão;

E_a = eficiência de adesão;

E_s = eficiência de estabilidade do agregado partícula-bolha.

A eficiência de coleta da bolha tem sido analisada por vários pesquisadores, os principais estudos são descritos na tabela 3.6.

Três zonas de captura da bolha são definidas na seguinte ordem, conforme apresentado na figura 3.11 (7 - 8).

1. Zona de interações hidrodinâmicas;
2. Zona de atuação de difusioforéticas;
3. Zona de interação entre partículas e bolhas.

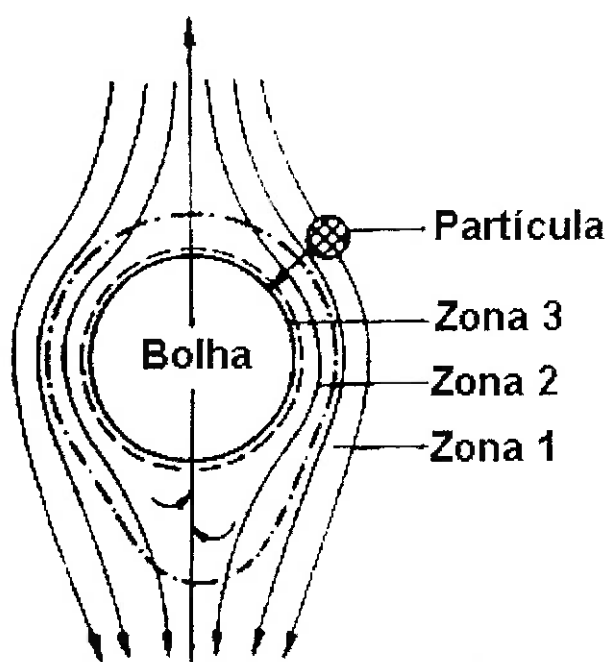


Figura 3.11 - Zonas que atuam no processo de captura de partículas pela bolha.

Tabela 3.6 - Artigos de grande relevância no estudo das sub-etapas fundamentais de flotação (8).

ANO	COMENTÁRIO
1948	Um artigo fundamental na cinética do processo de flotação, feito por Sutherland (Austrália 1948), invoca tempo de indução e descreve o efeito do tamanho das partículas na flotação. Era a primeira tentativa coerente para descrever dados de recuperação, tamanho e tempo no modo fundamental.
1960 – 1961	Derjaguin e Dukhin (1960) escrevem um artigo chave na teoria de flotação de partículas de tamanho médio e fino. Esta teoria usa hidrodinâmica, forças superficiais e difusão eletroforética.
1972	Blake e Kitchener (1972) publicaram algumas medidas muito cautelosas da espessura do filme aquoso na superfície hidrofóbica do quartzo. Espessuras do filme, medidas em função da concentração de sais, evidenciavam a sua dependência das forças atuantes na dupla camada elétrica. A instabilidade do filme ocorrida em superfícies hidrofóbicas ocorre em espessuras menores que aproximadamente 60 nm. Neste valor, as forças atuantes na dupla camada elétrica tinham menor atuação, e representavam a combinação dos efeitos força hidrofóbica, heterogeneidade da superfície e distúrbios externos.
1976	Scheludko (1967) e Scheludko et al. (1976) consideravam como as partículas podiam ficar aderidas na superfície líquida e desenvolveram a teoria capilar de flotação.
1977	Anfruns e Kitchener (1986) publicaram as primeiras medidas absolutas de taxas de captura de pequenas partículas na flotação. Este era o primeiro teste crítico da teoria da colisão, sob condições onde a bolha e a superfície química das partículas eram caracterizadas e controladas.
1983	Schulze (1984) publica sobre as etapas físico-químicas de importância na flotação, escoamento num vasto campo da hidrodinâmica, química de superfície e informações de engenharia.
1980 ao Presente	Os modelos de colisão Dobby e Finch (1986 e 1987); Yoon e Luttrell, 1989; Ducker et al. (1994). Estudos de dupla camada elétrica, forças hidrofóbicas e de Van Der Waals, devido as novas tecnologias (Christenson e Claesson, 1988; Butt, 1994; Ducker et al., 1994; Wood Sharma, 1995; Fielden et al., 1993). Escoamento do filme tem sido investigado entre uma interface rígida e deformável (Lin e Slattery, 1982; Chen, 1984; Hewitt et al., 1993). Eficiências de adesão têm sido medidas. Métodos seguros para medição do ângulo de contato em partículas têm sido desenvolvido (Crawford et al., 1987; Diggins et al., 1990). Maiores teorias e avanços experimentais delineando ângulos de contato dinâmicos em superfícies bem definidas têm sido feitos (Blake, 1993; Hayes e Ralston, 1993).

As partículas se movimentam na zona 1, devido ao campo de arraste e as forças inerciais (7).

As forças que agem na zona 2 resultam do gradiente de concentração de íons, causado pelo transporte de íons surfactantes originário do movimento na superfície da bolha. Entretanto, a evidência confirmando a presença ou ausência de difusioforese na flotação é equivocada e dispersa (7 – 8).

Na zona 3, as forças superficiais (interações eletrostáticas, Van Der Waals e interações estruturais) predominam, uma vez que o filme delgado entre a bolha e a partícula está abaixo de 150 nm. Estas forças podem acelerar, retardar ou mesmo evitar o adelgaçamento do filme líquido entre a partícula e a bolha (7 – 8).

3.7.1 - Colisão partícula - bolha.

A ocorrência de colisões entre partículas hidrofóbicas e bolhas de ar está condicionada à atuação de alguns fatores que podem ser favorecidos pela oferta de bolhas (aeração), oferta de partículas hidrofóbicas (porcentagem de sólidos na polpa) e tempo de permanência da polpa na célula de flotação. Baseando-se nos estudos da equação de movimento de uma partícula esférica em relação a uma bolha de mesma forma geométrica (muito maior que a partícula), elevando-se no líquido ao longo de um recipiente; observa-se que a resistência hidrodinâmica do meio tenderá a arrastar a partícula em torno da bolha, seguindo a direção do escoamento. A inércia da partícula e a gravidade agem de modo combinado, afim de retirar o sólido das linhas de corrente e direcioná-lo ao topo da superfície da bolha (7) (9) (54 - 57).

O diagrama que representa o movimento da partícula hidrofóbica em direção à bolha é apresentado na figura 3.12 (54).

Schulze (54) define várias efeitos de colisão que afetam a trajetória da partícula:

- i. Aproximação entre as partículas e as bolhas, sem nenhuma mudança de magnitude e direção da velocidade do sólido – colisão ideal, E_{ID} ;
- ii. As partículas seguem as linhas de corrente da bolha sem nenhuma mudança de direção – efeito de intercepção, E_S ;
- iii. Forças inerciais da partícula contribuem mais para o aumento de colisões do que propriamente o efeito de intercepção – efeito inercial, E_{IN} ;
- iv. Forças gravitacionais levam, de certo modo, ao aumento de colisões – efeito gravitacional, E_G .

- v. A colisão na região turbulenta atrás da bolha.
- vi. Colisão causada pela movimento difuso ou turbulento da partícula – efeito da difusão.
- vii. Retenção de partículas por uma “nuvem de bolhas”, a qual ocorre em interstícios entre as bolhas que são menores que os sólidos – efeito nuvem.

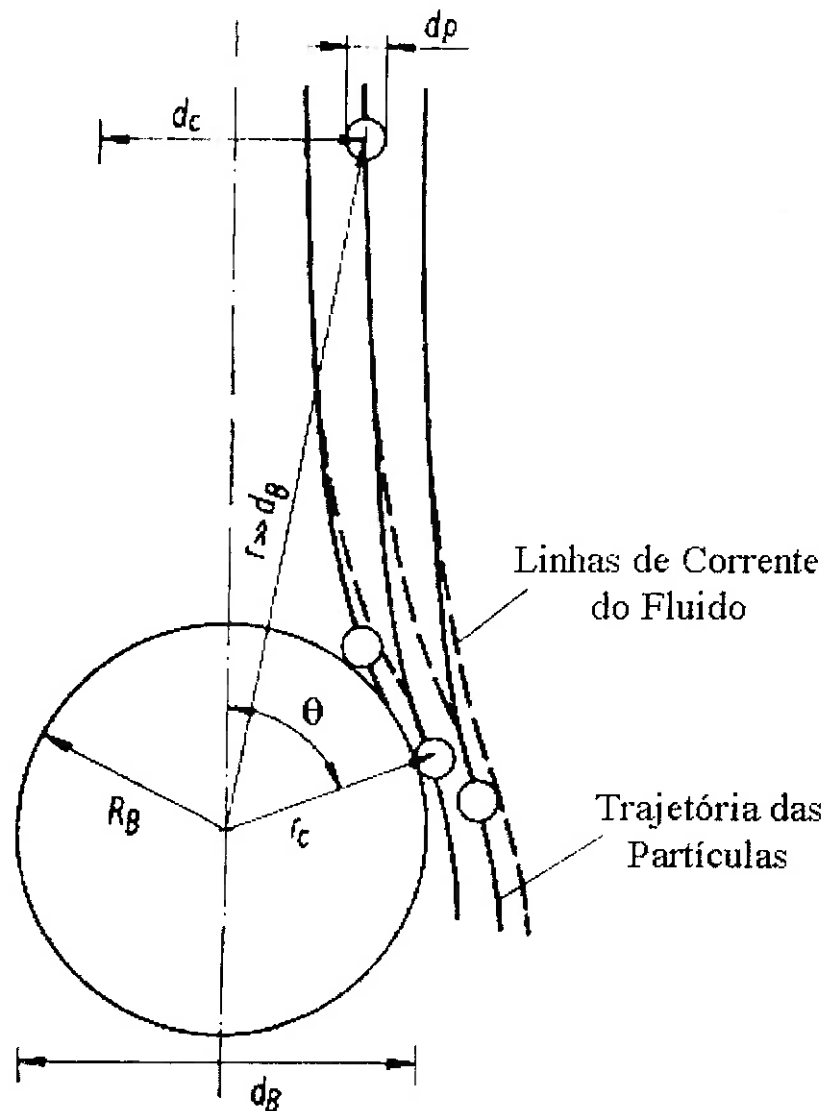


Figura 3.12 – Representação esquemática da colisão de uma partícula com uma bolha.

Segundo Ahmed e Jameson (55), para colidir com uma bolha, a partícula deve ter quantidade de movimento suficiente para resistir a tendência de seguir as linhas de corrente em torno da bolha. Um tubo de colisão de raio R pode ser definido, de tal modo

que todas as partículas (raio = r_p) em seu interior sejam capturadas, e relacionado pelo raio da bolha, r_b pela equação 3.57.

$$R/r_b = (3r_p/r_b)^{1/2} \quad (3.57)$$

Sutherland (56) define como eficiência de coleta a razão da área do tubo de colisão (πR^2) pela área projetada da bolha (πr_b^2), segundo a expressão 3.58.

$$E = R^2 / r_b^2 = 3r_p/r_b \quad (3.58)$$

Segundo Yoon e Luttrell (57) o número de Stokes (Sk), que representa a razão das forças inerciais pelas forças de arraste, é utilizado para determinação da tendência de um corpo se ajustar a mudanças no escoamento do fluido. Partículas com pequenos valores de Sk , seguirão as linhas de fluxo, enquanto que sólidos com valores maiores de Sk desviarão da trajetória da líquido, tal número é dado pela equação 3.59.

$$Sk = (\rho_p / 9 \rho_f) (d_p/d_b)^2 Re_b \quad (3.59)$$

Onde:

ρ_p = densidade da partícula;

ρ_f = densidade do líquido;

d_p = diâmetro da partícula;

d_b = diâmetro da bolha;

Re_b = número de Reynolds da bolha.

A velocidade terminal da partícula, u_p , é calculada, conforme a equação de Stokes, de acordo com a equação 3.25.

Segundo Schulze (54), uma eficiência de colisão máxima (hipotética), E_{ID} , é calculada pelo modelo de colisão ideal segundo a expressão 3.60.

$$E_{ID} = [1 + (d_p / d_b)]^2 \quad 1 \leq E_{ID} \leq 4 \quad \text{para } d_p \leq d_b. \quad (3.60)$$

O efeito inercial implica que a trajetória da partícula e as linhas de corrente do fluido em torno da bolha são idênticas. Portanto, a eficiência de colisão é determinada somente pela distribuição do escoamento da bolha (caracterizado pelo número de Reynolds), que por sua vez é dependente da função de fluxo $\psi(r, \theta)$. A trajetória, ao longo da qual, a partícula está tocando a bolha somente em $\theta = \theta_c \leq \pi/2$ é chamada de trajetória roçante e está expressa na equação 3.61 (54).

$$r_c = (d_p + d_b)/2 \quad (3.61)$$

ψ_c é o valor da função de fluxo, que caracteriza a trajetória roçante. Considerando d_c o diâmetro do “tubo de fluxo”, dentro do qual a partícula colidirá com a bolha, obtém-se as equações 3.62a e 3.62b para eficiência de colisão devido ao efeito de interceptação (54).

$$E_S = 2\psi_c/u_b Re_b^2 = 2\psi_c^* \quad \text{para } u_b = u_r \quad (3.62a)$$

$$E_S = \left(\frac{2\psi_c^*}{(1+u_S^*)} \right) \quad \text{para } u_r = u_b + u_{PS} \quad (3.62b)$$

Sendo u_S^* , dada pela equação 3.63.

$$u_S^* = u_{PS}/u_b \quad (3.63)$$

Onde:

E_S = eficiência de colisão, baseado no efeito de interceptação;

ψ_c = função de fluxo;

u_b = velocidade da bolha;

Re_b = número de Reynolds da bolha;

u_r = velocidade relativa partícula/bolha;

u_p = velocidade da partícula;

u_{PS} = velocidade de sedimentação da partícula;

A equação 3.58 é uma aproximação satisfatória para o efeito de interceptação, no caso de alta velocidade de escoamento do líquido em torno da bolha com superfície perfeita (54).

Baseado em dados teóricos e experimentais, Schulze (54), sugere as equações 3.63, 3.64 e 3.66 para função de fluxo da trajetória roçante ou repicante, numa bolha de superfície completamente acidentada:

a) Para $(d_p/d_b) \leq (1/\xi_0^*)$, tem-se a equação 3.64:

$$\psi_c^* = 0,75 (d_p/d_b)^2 \left(1 + \frac{(3/16)Re_b}{1+0,249Re_b^{0,56}} \right) \quad (3.64)$$

Onde o vórtice superficial é dado por 3.65.

$$\xi_0^* = (3/2) \left(1 + \frac{(3/16)Re_b}{1+0,249Re_b^{0,56}} \right) (1/\sin\theta_c) \quad (3.65)$$

Dobby e Finch (9) (58) definem o ângulo de colisão para trajetória roçante (θ_c) em função do Reynolds da bolha, Re_b , segundo as equações 3.66.

$$\theta_c = 78,11 - 7,37 \log Re_b \quad (20 < Re_b < 400) \quad (3.66a)$$

$$\theta_c = 98,0 - 12,49 \log (10 Re_b) \quad (1 < Re_b < 20) \quad (3.66b)$$

$$\theta_c = 90,0 - 2,5 \log (100 Re_b) \quad (0.1 < Re_b < 1) \quad (3.66c)$$

Onde nas equações 3.64, 3.65 e 3.66, tem-se:

ψ_c^* = função do fluxo do tubo de colisão;

ξ_0^* = vórtice superficial adimensional

d_p = diâmetro da partícula;

d_b = diâmetro da bolha;

Re_b = número de Reynolds da bolha;

θ_c = ângulo de colisão para trajetória roçante.

b) Para $(d_p/d_b) > (1/\xi_0^*)$ (Onde deve ser sempre mantido: $d_p < d_b$), conforme a equação 3.67.

$$\psi_c^* = \exp \left\{ \ln \psi^*(1/\xi_0^*) + \left(\frac{2,6328 - \ln \psi^*(1/\xi_0^*)}{1,4569 - \ln (1/\xi_0^*)} \right) [\ln (d_p/d_b) - \ln (1/\xi_0^*)] \right\} \quad (3.67)$$

Na equação 3.67, $\psi^*(1/\xi_0^*)$ é o valor da função de fluxo da equação 3.64, onde está estabelecido $(d_p/d_b) = (1/\xi_0^*)$.

A eficiência de colisão, E_{IN} , baseada no efeito inercial é expressa pela equação 3.68 (54).

$$E_{IN} = [1/(1+u_s^*)] (1+(d_p/d_b))^2 (Sk/(Sk+a))^b \quad (3.68)$$

Sk é o número de Stokes, segundo a equação 3.59. Os valores de a e b são função do número de Reynolds da bolha e estão listados na tabela 3.7:

Tabela 3.7 – Valores de a e b em função do número de Reynolds da bolha [interpolados com base nos valores de Schuch e Löffler Apud Schulze (54)].

Re_b	>500	250 – 500	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	<5
A	0,5	0,6	0,8	1,12	2,06	2,48	1,3
B	2	2	2	1,84	2,06	1,95	3,7

A velocidade de sedimentação das partículas em grandes distâncias da bolha não muda seu valor ou direção em um ângulo θ_c , portanto, a colisão pode não ocorrer. Para a eficiência de colisão (E_G) baseada no efeito gravitacional, tem-se a equação 3.69 (54).

$$E_G = [1+(d_p/d_b)]^2 [u_s^*/(1+u_s^*)] \text{sen } \theta_c \quad (3.69)$$

De acordo com Schulze (54), a eficiência de colisão total, $E_{\Sigma C}$, é a somatória das eficiências de colisão individuais, conforme a equação 3.70.

$$E_{\Sigma C} = E_S + E_G + \left\{ 1 - \frac{E_S}{[1+(d_p/d_b)]^2} \right\} E_{IN} \quad (3.70)$$

Na equação 3.70, o efeito da força centrífuga agindo numa partícula que se move ao longo da superfície da bolha é desprezado. Esta força aumenta com o crescimento da componente tangencial da velocidade da partícula ($u_p \text{ sen } \theta$) e resulta no fato que acima de um ângulo crítico (θ_t), as partículas não conseguem atingir a superfície da bolha; conseqüentemente, diminuindo a eficiência de colisão (54).

3.7.2 - Adesão Partícula - Bolha.

Diversos estudos foram realizados sobre este aspecto do processo de coleta da partícula pela bolha, tais como: Schulze (7); Ralston et al. (8); Dobby e Finch (9) (58); Sutherland (56); Luttrell e Yoon (57); Finch e Smith (59) e Crawford e Ralston (60).

Assim que uma partícula colide com a bolha, ela começa a deslizar sobre a superfície desta bolha e reside nela durante um tempo finito, o qual é geralmente chamado de tempo de deslizamento. A magnitude deste período de deslizamento é determinada pela velocidade em que o líquido arrasta o sólido ao longo da superfície da bolha. Durante este tempo, o filme de interseção da água deve ser adelgado e

rompido, se a partícula está sendo aderida à bolha e eventualmente, coletada na camada de espuma (9) (57 - 59).

A adesão partícula-bolha ocorre quando o tempo de deslizamento é maior que o tempo de indução, que por sua vez é definido como o período requerido para o processo de adelgaçamento, rompimento do filme e formação da linha de contato entre as três fases (sólido, líquido e gasoso). Com isto, a partícula deve deslizar uma distância finita sobre a superfície da bolha, antes que ocorra a adesão (8) (9) (57).

Para um dado tamanho de bolha e de partícula, a distância percorrida por um sólido ao longo da superfície da bolha é função do ângulo de incidência ou ataque, θ_i , no qual a partícula colide com a bolha. Somente quando θ_i é menor que o ângulo limite (θ da figura 3.12), a partícula terá um tempo de deslizamento maior que o tempo de indução e aderirá (57).

Segundo Dobby e Finch (9), o cálculo do tempo de deslizamento da partícula na bolha requer os seguintes conhecimentos:

- i. A distribuição na superfície da bolha do ângulo de colisão da partícula;
- ii. O ângulo no qual as linhas de fluxo do fluido começam a transportar radialmente a partícula para fora da bolha, por exemplo o máximo ângulo de contato, θ_m ;
- iii. A velocidade de deslizamento da partícula.

A distribuição do ângulo de colisão é quantificada por n_θ , que é a fração de todas as partículas que podem chocar-se contra a bolha e que colidem entre o ponto frontal de estagnação e o ângulo θ_n , (ver figura 3.12). Isto é calculado usando o modelo de trajetória, a sua aproximação é dada pela equação 3.71 (9).

$$n_\theta = \frac{\text{sen}^2 \theta_n}{\text{sen}^2 \theta_c} \quad (3.71)$$

Sendo θ_c calculado pelas equações 3.66.

Para o completo cálculo do tempo de deslizamento, o θ_m deve ser conhecido. Isto é feito pela determinação do ângulo no qual a componente radial da velocidade de sedimentação da partícula, u_{Pr} , (direcionada à superfície da bolha) é igual à componente radial da velocidade do líquido, u_r , (dirigida para fora da superfície da bolha). Em $\theta > \theta_m$

a partícula não tem muito contato com a bolha, exceto que a adesão já tenha ocorrido. Sua correlação é fornecida pela equação 3.72 (9).

$$\theta_m = 9 + 8,1 \rho_P + \theta_c (0,9 - 0,09\rho_P) \quad (3.72)$$

Com ρ_P sendo a densidade da partícula.

O modelo de Dobby e Finch (9) propõe que a velocidade de deslizamento da partícula, u_θ , sobre a superfície da bolha é a soma da componente tangencial da velocidade de sedimentação da partícula, $u_P \sin \theta$, e da velocidade tangencial local do líquido. A superfície de uma bolha de flotação está imobilizada pela presença de surfactantes, por conseguinte os modelos de fluxo conhecidos para esferas rígidas são aplicáveis. Há um gradiente de velocidade tangencial significativa no plano superior da esfera, que tem bastante influência na velocidade das partículas de diferentes tamanhos.

A consideração de ambos modelos de fluxo de líquido em torno da bolha é inválida. Dobby e Finch (9) usa parâmetros de vórtice superficial, ξ_0^* , o qual é o gradiente de velocidade tangencial na superfície da esfera.

O vórtice de superfície foi definido pela equação 3.73, usando a correlação de θ e Re_b , segundo o modelo de Dobby e Finch (58)

$$\xi_0^* = a + b\theta + c\theta^2 + d\theta^3 \quad (3.73)$$

Os valores de a , b e c são calculados por regressão linear, segundo Dobby e Finch (58) são definidos nas equações 3.74.

Onde, para $20 < Re_b < 400$:

$$a = -0,01082 - 7,237*10^{-4}Re_b + 1,735*10^{-6}Re_b^2 - 2,046*10^{-9}Re_b^3 \quad (3.74a)$$

$$b = -0,0745 + 3,013*10^{-3}Re_b - 7,402*10^{-6}Re_b^2 + 8,931*10^{-9}Re_b^3 \quad (3.74b)$$

$$c = -4,276*10^{-4} - 1,977*10^{-5}Re_b + 5,194*10^{-8}Re_b^2 - 6,520*10^{-11}Re_b^3 \quad (3.74c)$$

$$d = -1,103*10^{-6} - 1,032*10^{-7}Re_b + 1,397*10^{-10}Re_b^2 - 1,334*10^{-13}Re_b^3 \quad (3.74d)$$

Para $0,2 < Re_b < 20$:

$$a = -1,217*10^{-3} - 1,745*10^{-3}Re_b + 5,143*10^{-5}Re_b^2 - 1,165*10^{-6}Re_b^3 \quad (3.74e)$$

$$b = 0,02859 + 9,229*10^{-3}Re_b - 3,85*10^{-4}Re_b^2 + 9,190*10^{-6}Re_b^3 \quad (3.74f)$$

$$c = -4,060*10^{-5} - 5,857*10^{-5}Re_b + 1,620*10^{-6}Re_b^2 - 2,992*10^{-8}Re_b^3 \quad (3.74g)$$

$$d = -9,610*10^{-7} - 2,54*10^{-7}Re_b + 1,74*10^{-8}Re_b^2 - 5,10*10^{-10}Re_b^3 \quad (3.74h)$$

Os valores mais comuns de θ são 15^0 e 35^0 (54).

Para $d_p/d_b < 0,03$, a velocidade tangencial de deslizamento da partícula, u_θ , é fornecida pela equação 3.75 (9).

$$u_\theta = 0,7\xi_0^* u_b (d_p/d_b) + u_p \text{ sen } \theta \quad (3.75)$$

Para $d_p/d_b > 0,03$ a velocidade da partícula é calculada pela divisão da partícula dentro de duas zonas: a região inferior, na qual se observa um gradiente de velocidade, e a parte superior, onde se nota uma velocidade constante. Portanto u_θ é dado pela equação 3.76 (9).

$$u_\theta = 0,07\xi_0^* u_b \{ [(d_p - 0,03 d_b)/d_p] 0,06 + (0,03 d_b/d_p) 0,03 \} + u_{pS} \text{ sen } \theta \quad (3.76)$$

O tempo de deslizamento da partícula, t_s , é calculado pela expressão 3.77:

$$t_s = [(\theta_m - \theta)/360] \pi (d_p + d_b) / u_{\theta med} \quad (3.77)$$

Onde $u_{\theta med}$ é a velocidade média da de deslizamento da partícula, determinada das equações 3.75 ou 3.76, usando s valores médios de ξ_0^* e $\text{sen } \theta$.

Sendo θ' o ângulo θ na equação 3.77, quando $t_s = t_f$. Tem-se a equação 3.78.

$$\theta' = \theta_m - \frac{360 u_{\theta med} t_f}{\pi (d_p + d_b)} \quad (3.78)$$

Então a eficiência de adesão, de acordo com o modelo de Dobby e Finch, é fornecida pela equação 3.79 (9).

$$E_A = \text{sen}^2 \theta' / \text{sen}^2 \theta_C \quad (3.79)$$

3.7.3 - Ruptura do Agregado Partícula - Bolha.

Para garantir a estabilidade de um agregado de partícula-bolha num sistema estático, as forças características associadas com o peso da partícula devem ser balanceadas pela força restauradora de tensão superficial. O balanço entre elas determina o máximo tamanho flotável de partícula. Morris (61), deduziu uma relação estática relacionando a tensão superficial e o tamanho de bolha e partícula. As chances de preservação do agregado crescem com a hidrofobicidade da superfície, o aumento do tamanho da bolha e diminuição do tamanho da partícula (55).

Mika e Fuerstenau (62), fizeram um exame crítico do desenvolvimento para os dados, baseados na consideração de turbulência isotrópica, descobrindo que a razão de ruptura do agregado é proporcional a $d_p^{7/3}$.

Para Schulze (7), uma vez que o contato estável entre as três fases está formado, a partícula somente pode ser arrastada para fora por algum fator externo, neste caso a energia do campo turbulento.

De acordo com Schulze (7) (54) (63), o agregado partícula-bolha apanhado em um redemoinho turbulento girará com uma frequência apropriada ao tamanho do mesmo e se, a energia cinética da partícula for maior que o trabalho de ruptura, o conjunto partícula-bolha romperá (figura 3.13). Assumindo a turbulência isotrópica, a tensão no agregado é proporcional à $[\epsilon (d_p + d_b)]^{2/3}$. O tamanho máximo flotável, sob condições reais, é calculado pelas equações 3.80, para $d_p \leq 600 \mu\text{m}$.

$$d_{p\text{máx}} \approx \left[\frac{-6\gamma \sin(180^\circ - 0,5\theta) \sin(180^\circ + 0,5\theta)}{(\Delta\rho g + \rho' b_m)} \right]^{1/2} \quad (3.80)$$

Onde:

γ = tensão superficial da polpa, mN/m;

$\Delta\rho = \rho_p - \rho_f$, diferença de densidade entre a partícula e o fluido, g/cm³;

θ = ângulo de contato, grau;

ρ' = ρ_p , considera-se igual a densidade da partícula;

b_m = vortex de aceleração, cm/s²;

g = aceleração da gravidade, cm/s².

Lins e Adamian (64) estudaram a influência das variáveis aeração e velocidade

de agitação na flotação de partículas de ouro em diversas granulometrias. Os resultados mostraram a importância do ajuste adequado nos níveis dessas variáveis à recuperação de partículas mais grosseiras.

Jowett (53), considera a força de ruptura em termos da força centrífuga, um fator “g”, desenvolvido pela rotação dos redemoinhos de turbulência no sistema. O argumento mais comum sugere que a força de ruptura crescerá com a diminuição do diâmetro da bolha e o aumento do tamanho da partícula.

Segundo Gaudin (23), para o agregado partícula/bolha permanecer estável na polpa sob agitação, o ângulo de contato deve ser muito maior que aquele considerado mínimo necessário para flotação em condições estáticas. Conforme ilustrado na tabela 3.8, na qual se verifica que um pequeníssimo ângulo de contato é requerido para a flotação:

- i. Para flotação de todas as partículas menores que 65 #, um ângulo de contato menor que 1° é suficiente para suportar a gravidade.
- ii. Para flotação de todas as partículas menores que 150 #, um ângulo de contato menor que 13° é suficiente para suportar uma força centrífuga 100 vezes maior que a gravidade.

Tabela 3.8. Ângulo de contato para conservar discos de galena (diâmetro = espessura) de várias granulometrias contra gravidade e força centrífuga 100 vezes maior que a gravidade (23).

Diâmetro (μm)	Mínimo ângulo requerido contra a gravidade.	Mínimo ângulo requerido contra 100 vezes a gravidade.
2290	90°	Impossível
500	$3^{\circ} 8'$	Impossível
200 (65#)	$0^{\circ} 30'$	61°
100 (150#)	$0^{\circ} 7' 30''$	$12^{\circ} 40'$
50	$0^{\circ} 1' 52''$	$3^{\circ} 8'$
20	$0^{\circ} 0' 18''$	$0^{\circ} 30'$
10	$0^{\circ} 0' 4''$	$0^{\circ} 7' 30''$

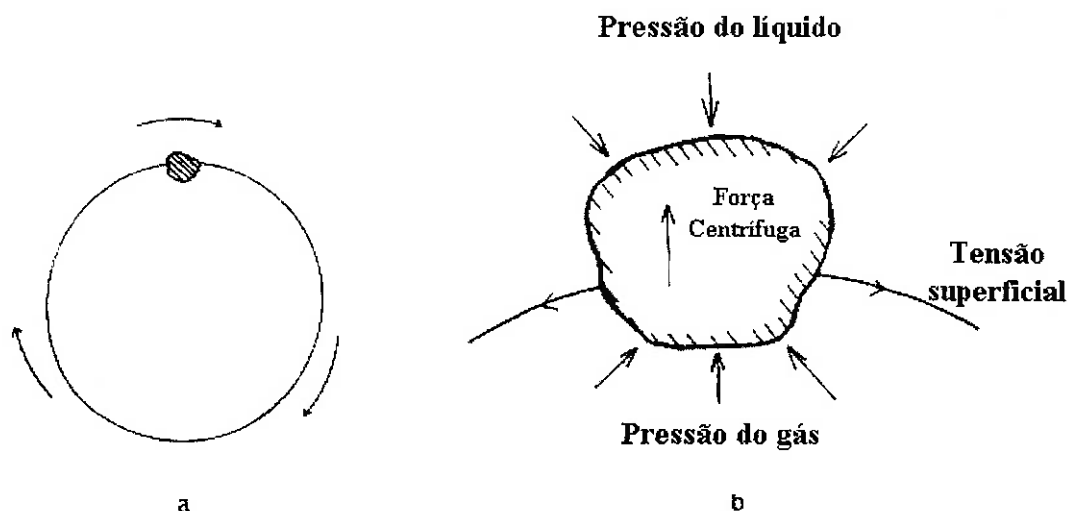


Figura 3.13 – Mecanismo de ruptura de uma partícula da bolha num redemoinho turbulento. (a) A bolha rodando em torno de seu centro. (b) Forças agindo na partícula.

Segundo Woodburn (65) a eficiência de descoleta (E_D) é calculada pela expressão 3.81.

$$E_D = (d_p/d_{p_{\text{máx}}})^{1,5} \quad (3.81)$$

Onde:

d_p = diâmetro da partícula que está aderida à bolha;

$d_{p_{\text{máx}}}$ = diâmetro máximo de uma partícula passível de flotação.

Portanto a eficiência de estabilidade do agregado partícula/bolha (E_S) pode ser calculado em função da eficiência de descoleta (E_D), conforme a equação 3.82.

$$E_S = 1 - E_D \quad (3.82)$$

3.8 – Cinética de Flotação.

Um grande número de variáveis, tanto químicas quanto mecânicas, podem afetar o desempenho ou a velocidade da flotação. Embora as variáveis físicas estejam sob discussão aqui, é o critério químico e termodinâmico que determina a hidrofobicidade de uma partícula, um pré-requisito para flotação. Há um consenso geral, que a velocidade da flotação é fortemente influenciada pela adesão da partícula à bolha e transporte do agregado entre a polpa e a espuma (55).

Segundo Ahmed e Jameson (55), não há um procedimento padrão para

determinação da velocidade de flotação. Da analogia com a cinética química, a cinética da colisão e adesão da partícula-bolha na polpa pode ser definida pela equação diferencial 3.83.

$$-r_p = -dC_p/dt = k' C_p^n C_b^m \quad (3.83)$$

Onde:

$-r_p$ = velocidade da reação ou flotação;

C_p = concentração de partículas;

C_b = concentração de bolhas;

t = tempo de flotação;

n e m = são as respectivas ordens;

k' = é a pseudo - constante.

k' é uma função complexa dependente de vários parâmetros governantes do processo de flotação. Se o ar fornecido é constante, a tendência para alguma alteração na concentração da bolha é pequena. Em tal situação, a equação da velocidade torna-se a equação 3.84, na qual k é a constante cinética (55).

$$-r_p = -dC_p/dt = k C_p^n \quad (3.84)$$

Há duas maneiras de analisar os dados cinéticos experimentais: o método integral e diferencial. No método da análise integral, seleciona-se um modelo cinético e sua correspondente equação de velocidade e, após tratamentos matemáticos e integrações apropriadas, são relacionados num gráfico cartesiano os dados de C e t para se obter uma reta. Colocando os dados em um gráfico, a obtenção de uma função razoavelmente linear indica o acerto na escolha do mecanismo (66 - 67).

No método diferencial, seleciona-se um modelo cinético e ajusta-se, diretamente aos dados, a correspondente expressão da velocidade. Entretanto, como a expressão da velocidade é uma equação diferencial, é necessário determinar a relação $(1/V) (dN/dt)$ a partir dos dados experimentais, antes de se proceder o ajuste (66).

Considerando $n = 0$ na equação 3.84 e integrando entre os limites $C_p = C_p^0$, quando $t = 0$ e $C_p = C_p$, quando $t = t$, tem-se a equação da velocidade para reação de ordem zero, segundo a equação 3.85.

$$C_p = C_p^0 - kt = C_p^0 (1 - Rec) \quad (3.85)$$

Sendo a recuperação (Rec) dada pela expressão 3.86 (25).

$$\text{Rec} = \frac{\text{quantidade flutuada}}{\text{quantidade total inicial}} = \frac{M_0 - M_f}{M_0} \quad (3.86)$$

Onde:

M_0 = massa inicial;

M_f = massa final.

De acordo com Levenspiel (66), as reações de ordem zero ocorrem quando a velocidade de conversão é independente da quantidade dos materiais. Presente isto, é observado somente em altas concentrações, caso a concentração baixe o suficiente, verifica-se que a reação se torna dependente da mesma, por conseguinte, cresce a ordem. A flotação com cinética de ordem zero implica em situações onde a recuperação não depende da concentração do mineral na polpa, mas sim da concentração das bolhas. Isto significa dizer que a recuperação do mineral desejado pode ser controlada apenas através da taxa de aeração (que controla a oferta de bolhas para o sistema) ou ainda pelo carregamento na água.

Se $n = 1$ na equação 3.84 e integrando nos mesmos limites, $C_p = C_p^0$, quando $t=0$ e $C_p = C_p$, quando $t = t$, é obtida a equação da velocidade para reação de primeira ordem, de acordo com a equação 3.87.

$$-\ln(1 - \text{Rec}) = kt \quad (3.87)$$

A equação 3.87, significa que a velocidade da reação depende somente da concentração do mineral desejado na polpa de flotação, ou seja, de um único componente no processo. Então, quanto maior for a concentração de partículas, maior será a velocidade de reação (66 - 67).

A equação da velocidade de reação de segunda ordem é obtida, quando na equação 3.84 tem-se $n = 2$ e realizando-se as integrações tem-se 3.88.

$$C_{pt} = \frac{-C_p}{kC_p^0} + \frac{1}{k} \quad (3.88)$$

A equação 3.88 traduz que uma reação de segunda ordem é mais lenta, a qual se caracteriza pela falha de algum evento (colisão ou adesão ou transporte) antes do mineral ser coletado pela bolha.

A ordem com que ocorre a cinética de flotação é um dado muito importante para a modelagem deste processo, todavia em sistemas reais esta ordem pode estar entre por exemplo, $n = 0,8$ e $n = 1,5$, o que dificulta a definição correta da ordem através do método gráfico. Na maior parte das vezes os tratamentistas modelam o processo, assumindo que $n = 1$ (9) (22) (34) (55).

Connors (68), explica alguns métodos matemáticos para determinação da ordem da reação:

- i. Usando as equações integradas.
- ii. Técnica do isolamento e Pseudo – Ordem.
- iii. Método das Velocidades Iniciais.
- iv. Método dos Tempos Fracionários ou Meia – Vida.

Pelo método do tempo fracionário, resolvendo a equação 3.84 para $n \neq 1$, obtém-se a equação 3.89 (68).

$$C_p^{-(n-1)} = C_{p0}^{-(n-1)} + (n-1)kt \quad (3.89)$$

Substituindo a equação 3.86 na equação 3.89, tem-se a equação 3.90.

$$(1-Rec)^{1-n} = 1 + (n-1)k M_0^{n-1} t \quad (3.90)$$

Na qual, o termo $(1-Rec)^{1-n}$ é expandido numa série binomial, que por sua vez é truncada após o termo quadrático. Este ajuste conduz à equação 3.91.

$$Rec = k M_0^{n-1} t - (n/2) Rec^2 \quad (3.91)$$

Em baixa recuperação, $Rec = k M_0^{n-1} t$. Substituindo na equação 3.91, tem-se 3.92.

$$Rec = k M_0^{n-1} t - (n/2) Rec k M_0^{n-1} t \quad (3.92)$$

A qual é simplificada na equação 3.93.

$$\frac{t}{Rec} = \frac{nt}{2} + \frac{1}{k M_0^{n-1}} \quad (3.93)$$

Devido a equação 3.93 ser deduzida por meio de aproximações, seu uso leva a aproximações estimadas da ordem de reação, mas sua vantagem é o fato dela usar dados anotados em vários intervalos de tempo (68).

Vatcha (69) apresentou um método para determinação direta da ordem e da constante cinética de uma reação, sem usar tentativas. O princípio deste método é que a razão dos tempos, nos quais ocorrem duas conversões específicas, depende somente da ordem da reação.

Integrando a equação 3.84 e resolvendo-a para o tempo (t), tem-se as equações 3.94 e 3.95 (69).

$$t = - [\ln (1 - \text{Rec})]/k \quad \text{para } n = 1 \quad (3.94)$$

E

$$t = \frac{(1 - \text{Rec})^{1-n} - 1}{(n - 1) k M_0^{(n-1)}} \quad \text{para } n \neq 1 \quad (3.95)$$

A razão dos tempos nos quais ocorre duas recuperações distintas (Rec_1 e Rec_2) é dada pelas equações 3.96 e 3.97 (69).

$$\frac{t_{\text{Rec1}}}{t_{\text{Rec2}}} = \frac{[\ln (1 - \text{Rec}_1)]}{[\ln (1 - \text{Rec}_2)]} \quad \text{para } n = 1 \quad (3.96)$$

E

$$\frac{t_{\text{Rec1}}}{t_{\text{Rec2}}} = \frac{(1 - \text{Rec}_1)^{1-n} - 1}{(1 - \text{Rec}_2)^{1-n} - 1} \quad \text{para } n \neq 1 \quad (3.97)$$

A tabela 3.9 apresenta valores de ordens de reações, calculados segundo as equações 3.96 e 3.97, a partir dos tempos necessários para se atingir uma determinada recuperação (69).

Tabela 3.9. Ordem da reação em função dos tempos necessários para se atingir uma determinada recuperação.

Ordem da reação, n	$t_{3/4} / t_{1/2}^*$	$t_{2/3} / t_{1/3}^{**}$
-1	1,25	1,60
0	1,50	2
0,5	1,71	2,30
1	2	2,71
2	3	4
3	5	6,40

(*) Tempo necessário para se obter recuperação de 75% (3/4) e 50% (1/2).

(**) Tempo necessário para se obter recuperação de 66% (2/3) e 33% (1/3).

Construindo-se o gráfico $(1 - \text{Rec})^{(1-n)}$ versus tempo, obtém-se uma reta. A constante cinética (k) é obtida através da razão entre a inclinação desta reta e $(n - 1)$ ou através da substituição dos valores de t e n nas equações 3.94 ou 3.95.

3.9 – Configurações de Fluxo em Células de Flotação

Um fator que determina o comportamento da flotação é o regime de operação de células mecânicas versus células de coluna. Para se apresentar e discutir a influência e importância destes regimes, há necessidade de ir buscar na engenharia química alguns conceitos básicos de fenômenos de transporte e adaptá-los a sistemas de flotação.

Estas configurações de fluxo podem ser (14) (22) (25) (66 - 67) (70):

- i. “Plug Flow” ou Fluxo Pistonado ou Fluxo Tubular;
- ii. “Perfect Mixing” ou Mistura Uniforme.

O fluxo tubular (“plug flow”) apresenta um escoamento ordenado dos elementos do fluido. Conseqüentemente num equipamento que tem esta configuração de fluxo, não haverá difusão ao longo do percurso e nem diferença de velocidade entre dois elementos quaisquer do fluido; tudo se passa como se os seus componentes caminhassem ao longo do equipamento numa única fila ordenada (14) (25) (66 - 67).

Num reator tubular, a composição do fluido varia de posição para posição ao longo do seu percurso. Uma condição necessária e suficiente num reator tubular é a constância do tempo de residência para qualquer elemento do fluido (a condição necessária decorre diretamente do tipo de escoamento; contudo a condição suficiente – mesmos tempos de residência – pode ser estabelecida somente a partir da segunda lei da termodinâmica), portanto não existirão nem curto – circuito e nem dispersão axial; por conseguinte, o tempo de residência é definido por 3.98 (22) (66).

$$\Gamma = \frac{\text{volume do equipamento}}{\text{vazão volumétrica}} = \frac{V}{Q_v} \quad (3.98)$$

Um equipamento em “perfect mixing” ou mistura perfeita tem todo o seu conteúdo agitado, mantendo-se a composição constante ao longo do reator. Assim sendo, a mistura na saída tem a mesma composição que a do interior do tanque (22) (25) (66 - 67).

Introduzindo um traçador no sistema no tempo $t = 0$, sua concentração, C , no

fluxo de saída será dada pela equação 3.99 (22).

$$C = C_0 \exp(-t/\Gamma) \quad (3.99)$$

Onde C_0 é a concentração inicial no $t = 0$ e Γ é o tempo de residência nominal, definido na equação 3.98. É, visto que alguns traçadores deixam instantaneamente o sistema, enquanto outros, teoricamente, nunca o deixam, de maneira que exista uma distribuição do tempo de residência de zero ao infinito (22).

A equação 3.99 é ampliada para N misturadores em série, resultando na expressão 3.100 (14) (22).

$$\frac{C_N}{C_0} = \frac{(t/\tau)^{N-1} \exp(-t/\Gamma)}{(N-1)!} \quad (3.100)$$

Onde:

C_N = concentração na saída do fluxo dos $N^{\text{ésimo}}$ equipamentos no tempo t ;

Γ = tempo nominal de residência em cada misturador.

Segundo, Kelly and Spottiswood (22), a tendência é uma homogeneização do escoamento que sai do equipamento com o transcorrer do tempo.

A comparação entre “plug flow” e “perfect mixing” é utilizada para avaliar a performance de uma série de misturadores perfeitos com um equipamento de escoamento tubular (22).

Um fluxo será dispersado quantas vezes ele atravessar uma série de misturadores, de acordo com a equação 3.100 e a figura 3.14. Se, entretanto, na série o tempo nominal de residência total (Γ_{Σ}) for mantido constante, enquanto o número de misturadores foi aumentado, a distribuição do tempo de residência do material na série de tanques é feita em torno do valor nominal de residência, conforme a figura 3.15. Portanto, um número infinito de uma série de misturadores representaria a situação “plug flow” (14) (22) (25).

O trabalho com um pequeno número de reatores em agitação contínua tem uma performance mais pobre do que um equipamento com regime “plug flow”, devido uma parte do material não ficar no tanque um tempo suficiente, enquanto que a outra permanecerá um tempo demasiadamente longo (22).

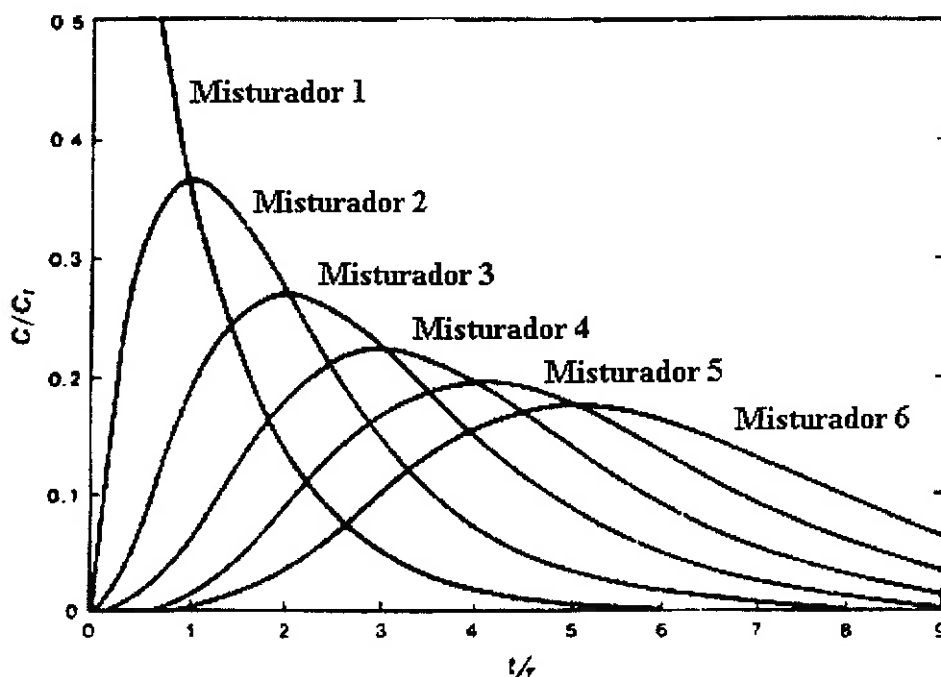


Figura 3.14 – A distribuição do tempo de residência para um número de misturadores perfeitos em série.

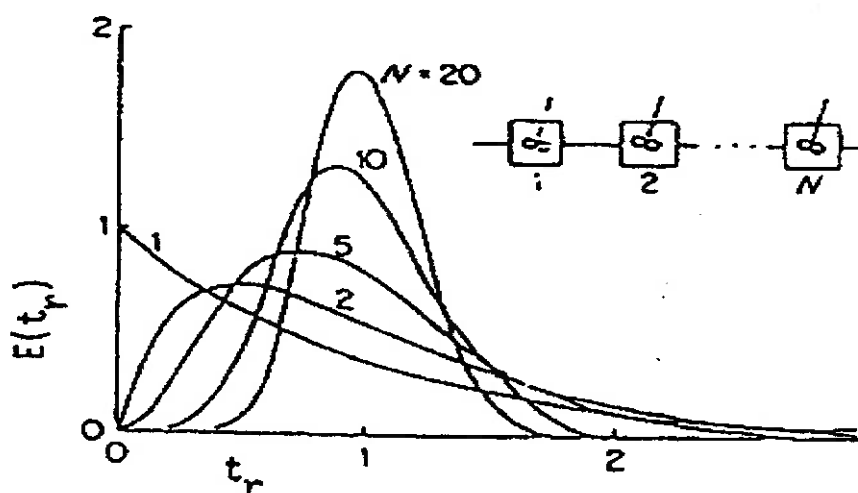


Figura 3.15 – A distribuição do tempo de residência para um número de misturadores perfeitos em série, quando o tempo de residência total (médio) permanece constante.

Na prática, “plug flow” é raramente encontrado em equipamento de processo, e mesmo o mais vigoroso equipamento em agitação contínua, raramente se comporta como um misturador perfeito. Devido (22):

- i. Zonas mortas, onde a polpa fica estagnada.
- ii. Fluxo em “by pass” ou curto – circuito.
- iii. Fluxo recirculante, onde uma porção do material se mistura novamente com o fluxo de alimentação.

Estes fatores podem ser superados, quando o fluxo no equipamento é considerado como uma combinação adequada de “perfect mixers” em série e paralelo (22).

As células mecânicas podem ser consideradas como tanques sob agitação, ou ainda reatores de mistura. O tempo de permanência da polpa na célula é proporcional ao tempo de reação (flotação) e também ao volume do equipamento. Assim sendo, o rendimento do processo (recuperação) pode ser determinado em função do tempo de flotação (ensaios cinéticos em escala de laboratório ou piloto) (25). Esta característica é explorada pelos fabricantes de células mecânicas de flotação para fundamentar o dimensionamento das mesmas; por exemplo, o dimensionamento de células mecânicas pelo método recomendado pela Denver-Sala (10) é executado com base no princípio de que uma célula de flotação é um reator de mistura ou um tanque mecanicamente agitado.

Para Guimarães (25) outro fator de suma importância no dimensionamento de células mecânicas, é a quantidade de bolhas e partículas varia muito ao longo do seu volume, devido sua alta dispersão. Este tipo de comportamento permite que ocorra curto-circuito, além de demandar maior tempo de residência; em conseqüência, maiores volumes de equipamento são requeridos para atingir o rendimento almejado. A Figura 3.15 ilustra como a distribuição do tempo de residência de uma solução em um reator ou célula é influenciada pela dispersão.

Também na flotação, para se minimizar os efeitos de dispersão que ocorrem nos equipamentos com regime de mistura uniforme, utiliza-se do princípio de que, quando se colocam reatores de mistura ou tanques agitados em série (isto é, o produto de um reator corresponde à alimentação do segundo e assim sucessivamente) obtém-se uma considerável economia no volume de reator necessário para que ocorra determinada reação química, para um rendimento fixo almejado. Este mesmo conceito é aplicado quando se executa o dimensionamento de células mecânicas de flotação. A diferença é que o fabricante usa dados empíricos para aconselhar o número mais adequado de células de flotação (reatores de mistura) em série que deverão constituir um banco de

células a ser instalado na usina (9) (14) (25).

As células de coluna podem ser consideradas como reatores tubulares, isto é, que operam em regime de “plug flow”. Para ser mais preciso, a coluna de flotação deve ser considerada como um reator tubular não ideal, pois a fuga da idealidade ocorre principalmente, devido à dispersão axial que a polpa apresenta dentro do equipamento, isto é, ao longo do eixo da coluna ocorrem gradientes de concentração de sólidos, granulometria, aeração, etc. Naturalmente tal dispersão ocorre em escala bem menor que nas células mecânicas, o que traz uma grande vantagem em relação a estas. Outra peculiaridade das células de coluna é que estas apresentam uma turbulência muito menor que as células mecânicas. Esta menor turbulência preserva os agregados partícula/bolha de maneira muito mais efetiva que as células mecânicas (25).

Afim de ressaltar que esta dispersão, aqui utilizada, não se refere, em hipótese alguma, ao conceito de dispersão utilizado em físico-química de superfícies, onde tal termo possui conotação oposta ao de agregação.

A recuperação (R_c) em função do tempo de residência de uma partícula mineral (t_p) num regime “plug flow” de primeira ordem, é fornecida pela equação 3.101 (9).

$$R_c = 1 - \exp(-K_c t_p) \quad (3.101)$$

Sendo K_c fornecido pela equação 3.55. Segundo Dobby e Finch (9), o tamanho da partícula e da bolha influencia diretamente a constante K_c e a eficiência de coleta do processo (E_k).

Para uma condição “perfect mixing” de primeira ordem, tem-se que a equação 3.102.

$$R_c = 1 - (1 + K_c \Gamma)^{-1} \quad (3.102)$$

Onde Γ é o tempo médio de residência.

Caso uma coluna de flotação se comportasse como um dos reatores ideais citados seria possível utilizar diretamente as equações 3.101 e 3.102. No entanto como já foi mencionado anteriormente, ela opera com dispersão axial. Para este tipo de equipamento são propostas as equações 3.103 e 3.104.(9) (25).

$$R_c = 1 - \left(\frac{4 a \exp(1/2N_d)}{(1+a)^2 \exp(a/2N_d) - (1-a)^2 \exp(-a/2N_d)} \right) \quad (3.103)$$

$$\alpha = (1 - 4 K_c \Gamma N_d)^{1/2} \quad (3.104)$$

As equações acima representam qualquer tipo de reator, mesmo os reatores ideais. A substituição do número de dispersão (N_d) por zero nas equações 3.103 e 3.104, conduz à equação 3.101, para o caso de colunas de flotação. Para reatores de mistura perfeita (células mecânicas), a substituição do N_d por infinito levará à equação 3.102 (9) (25).

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – Materiais Utilizados nos Experimentos.

Foram utilizados os seguintes materiais:

- i. Esferas de vidro de tamanho – 28 + 35 #, -48+65 # e - 150 + 200 #, fornecidas pela empresa COPERLAB.
- ii. Quartzo de alta pureza fornecido pela Mineração Jundu.

As esferas de vidro foram submetidas aos seguintes procedimentos:

- i. Lavagem exaustiva com solução sulfocrômica P.A e água destilada, nesta ordem, com objetivo de efetuar completa limpeza da superfície;
- ii. Peneiramento a úmido em peneiras Tyler 20, 28, 35, 48, 65, 100, 150, 200, 325 e 400. Tomaram-se as seguintes frações:
 - 1) – 28 + 35#;
 - 2) – 48 + 65#.
 - 3) – 150 + 200#.
- iii. Filtragem a vácuo e posterior secagem em estufa (80 °C) das frações requeridas;
- iv. Separação Magnética em separador isodinâmico Frantz, para retirada de materiais magnéticos;
- v. Homogeneização nas respectivas frações requeridas, de onde foram extraídas alíquotas de 1,0 g, as quais foram utilizadas nos ensaios de microflotação.

As amostras de quartzo para os ensaios de microflotação tiveram a seguinte preparação:

- i. Moagem do material em moinhos de bolas por 20 minutos;
- ii. Lavagem para limpeza da superfície, com solução sulfocrômica P.A. e água destilada, nesta ordem;
- iii. Peneiramento a úmido em peneiras Tyler 20, 28, 35, 48, 65, 100. Utilizando-se nos ensaios a fração – 48 + 65#.
- iv. Separação magnética em baixo campo (imã de mão);

- v. Homogeneização nas respectivas frações requeridas, de onde foram extraídas alíquotas de 1,0 g, as quais foram utilizadas nos ensaios de microflotação.

4.2 – Reagentes e Soluções Usados nos Experimentos.

4.2.1 – Coletor

Como coletor, utilizou-se o produto Flotigan EDA-B, produzido pela Clariant S.A. Trata-se de uma éter – amina parcialmente neutralizada com ácido acético.

As soluções de coletor catiônico eram preparadas da seguinte forma:

- i. Preparação da solução - mãe, pesando-se 0,5 g de EDA – B e completando-se com água destilada um balão volumétrico de 500 mL;
- ii. A solução - mãe era diluída para as concentrações requeridas por cada ensaio (soluções de trabalho). Avolumada para 1000 mL em balão, com água destilada;
- iii. Ajustava-se para $\text{pH} = 10$ das soluções utilizadas nos ensaios, com hidróxido de sódio P.A a 10% p/v.

A concentração micelar crítica deste coletor foi determinada em função da tensão superficial, utilizando o método do peso da gota (será discutido na seção 4.4):

- i. As soluções eram preparadas nas concentrações requeridas, usando-se água destilada;
- ii. Gotejavam-se 50 gotas da solução de coletor no recipiente de peso devidamente conhecido;
- iii. Anotava-se o volume de 50 gotas da solução de coletor;
- iv. Pesava-se, em balança analítica (Mettler H35), o recipiente com as gotas contidas, encontrando-se então o peso das 50 gotas. O peso de uma gota era obtido por média aritmética;
- v. Determinava-se o fator de correção (F), através da equação 4.3 e a tensão superficial da solução era obtida usando-se a equação 4.2.
- vi. Construção do gráfico tensão superficial versus concentração de coletor, conforme a figura 4.1.

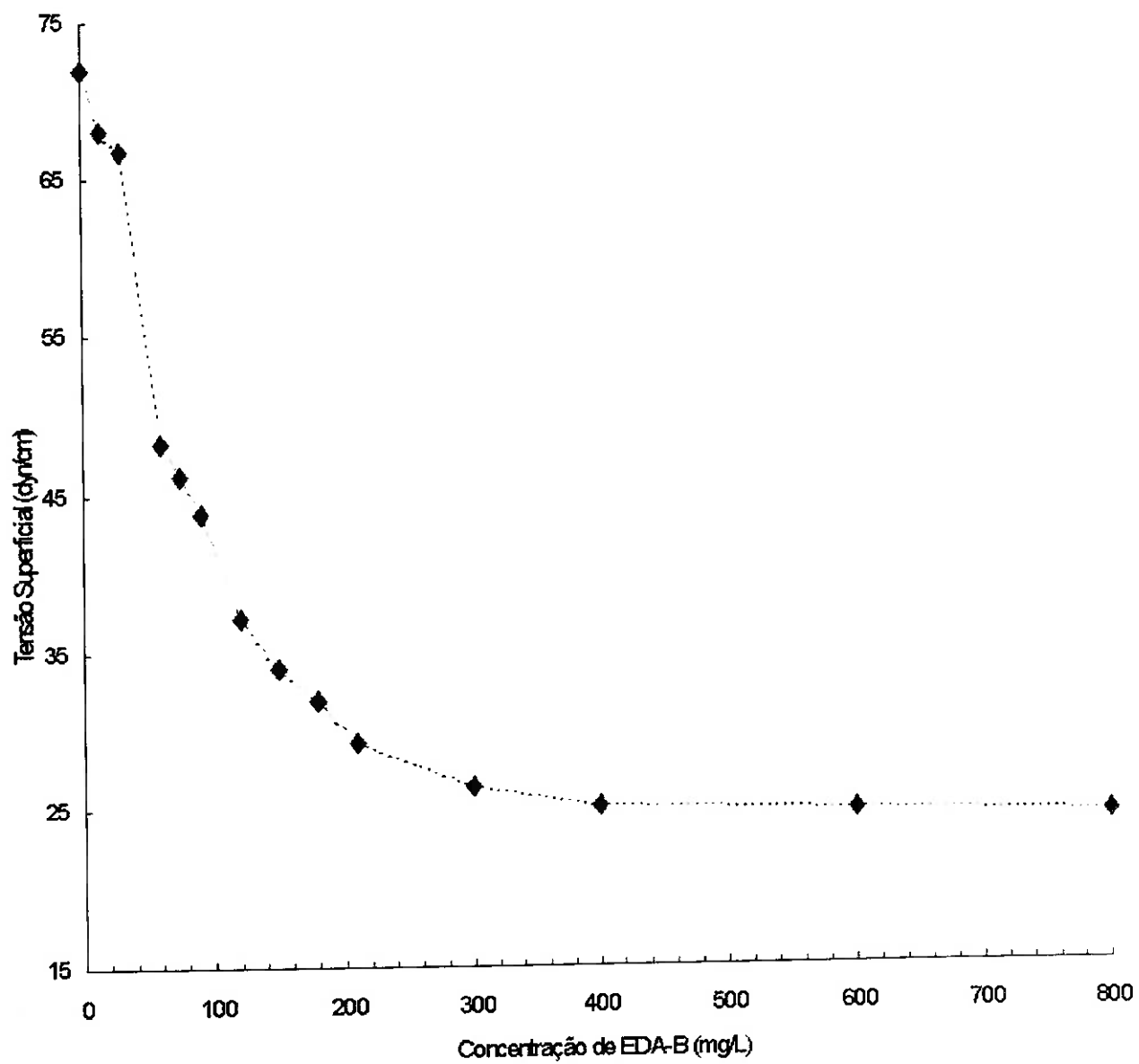


Figura 4.1 – Concentração micelar crítica do acetato de éter amina (Flotigan EDA – B).

4.2.2 – Agentes Modificadores

Usados com o objetivo de ajustar o pH da polpa de flotação. Foram utilizados soluções de hidróxido de sódio P.A e ácido clorídrico P.A, ambos a 10% p/v, as quais eram preparadas da seguinte forma:

- i. 10 g de substância, NaOH P.A. ou HCl P.A. (produzidos pela Merck), eram colocados em béquer de 100 mL;
- ii. Água destilada era adicionada até a total diluição do NaOH ou HCl;
- iii. As soluções eram transferidas para um balão de 100 mL, completando-se o volume com água destilada.

4.3 – Ensaio de Microflotação

Os ensaios de microflotação foram executados em tubo de Hallimond modificado, com placa de porosidade de 40 μm . Para agitação da polpa, foram utilizados agitadores magnéticos e mecânicos, conforme as figuras 4.2 e 4.3.

Tais ensaios obedeceram aos seguintes procedimentos:

- i. 1 g de esferas de vidro (-28+35#, -48+65# e -150+200#) ou quartzo (-48+65#) eram colocados no tubo;
- ii. Adição de 180 mL de solução de EDA – B (coletor), na concentração desejada e com o pH = 10;
- iii. Condicionava – se por 1 minuto;
- iv. Injetava-se nitrogênio no sistema (50 NmL/min);
- v. Executava-se a flotação dentro do intervalo de tempo requerido;
- vi. As massas flutuadas e afundadas foram filtradas à vácuo, secadas em estufa (80 °C) e pesadas. A recuperação (Rec %) dos materiais era calculada de acordo com a equação 3.83.

O pH de flotação era ajustado para 10, com objetivo de favorecer a adsorção não-específica do coletor catiônico EDA-B nas partículas. Pois, no meio alcalino as esferas de vidro e o quartzo apresentam potencial zeta de sinal negativo.

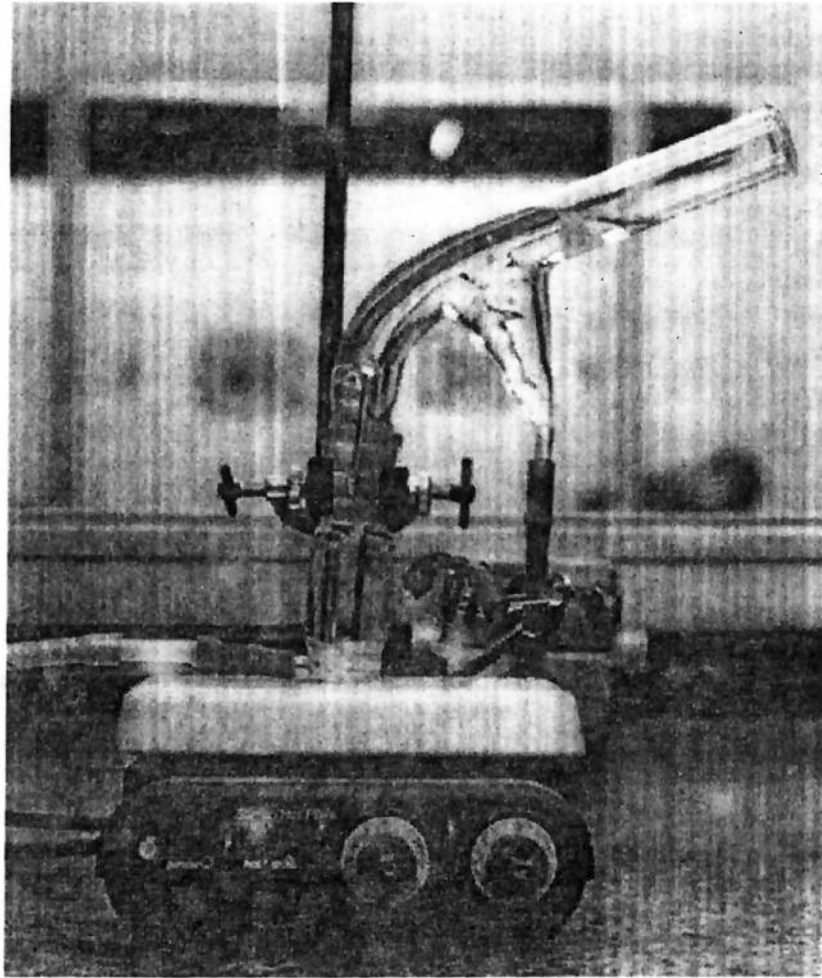


Figura 4.2 – Tubo de Hallimond utilizado nos ensaios de microflotação, com agitador magnético.

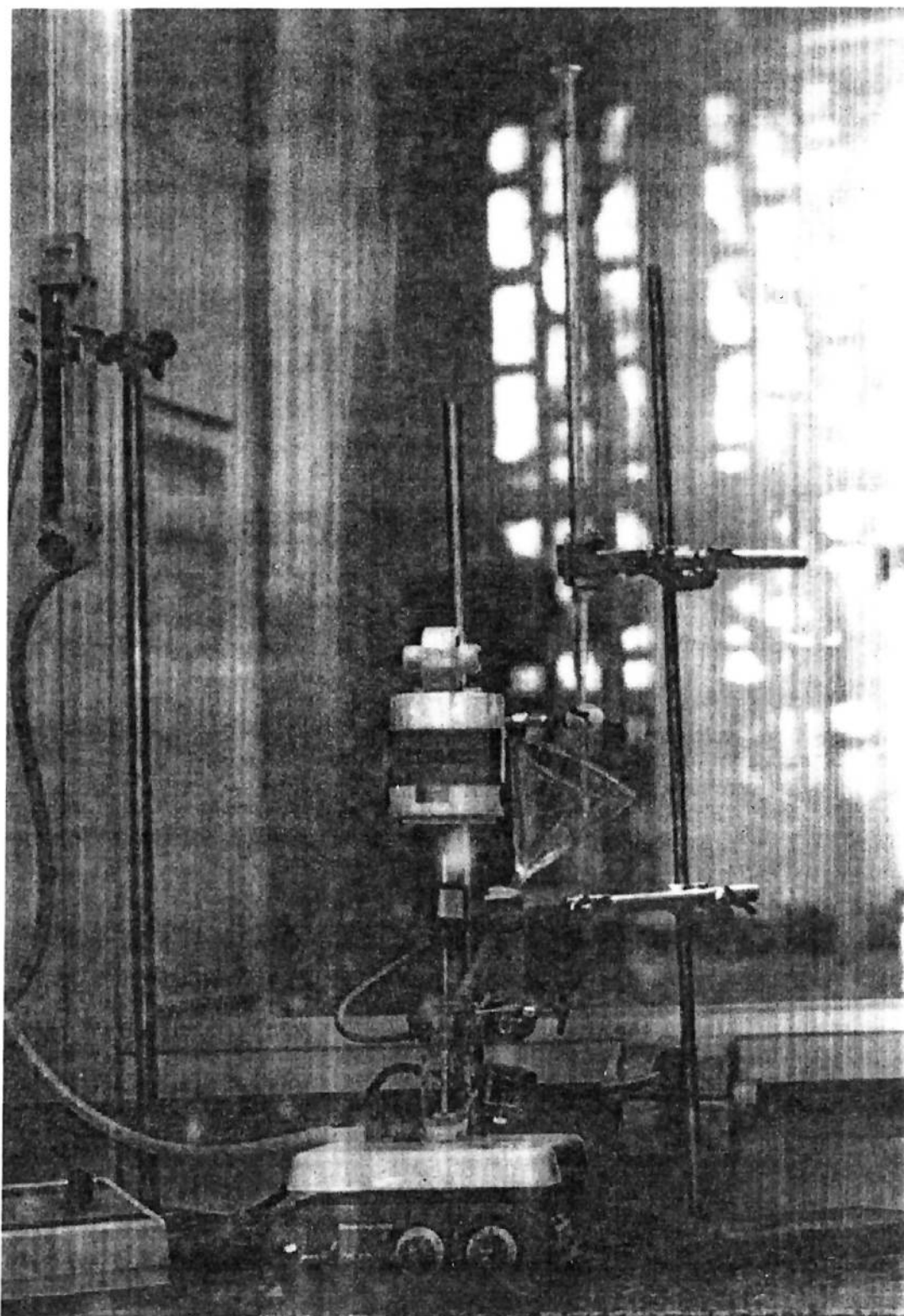


Figura 4.3 – Tubo de Hallimond com agitador mecânico.

Os ensaios foram agrupados em séries, conforme apresenta a tabela 4.1:

Tabela 4.1: Série dos ensaios de microflotação.

Série (N.º dos ensaios)	Objetivo	Variáveis Testadas
A (1 – 289), (827 – 832), (923– 942) e (975 – 1005)	Determinar a concentração necessária para atingir máxima flotabilidade das esferas de vidro (- 48 + 65# e - 150 + 200#) e das partículas de quartzo (- 48 + 65#).	Concentração da solução de EDA – B (mg/L) e rotação do agitador magnético.
B (290 – 611), (647 – 678), (691 – 733), (943 – 954) e (1040 – 1048)	Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos de flotação para esferas de vidro e quartzo	Rotação e comprimento do rotor; granulometria das esferas e tipo de agitador.
C (612 – 646), (679 – 690), (734 – 826), (833 – 922), (955 – 974) e (1006 – 1039) e (1049 – 1101)	Determinação da ordem e constante cinética de flotação para diferentes diâmetros de esferas de vidro, nas rotações 72, 429 e 1159 rpm.	Tempo de flotação, granulometria da esfera e rotação.

As condições e resultados de todos os ensaios, estão no anexo A.

A agitação era realizada por rotores com diferentes diâmetros, os quais são apresentados na tabela 4.2.

Tabela 4.2: Rotores e seus respectivos diâmetros:

Rotor	Diâmetro (mm)
1	15,5
2	19,6
3	23,5

Os agitadores utilizados foram:

- i. Agitador magnético, modelo 755, produzido pela empresa Fisatom,

com a seguinte escala de rotação (medidas com o tacômetro), conforme a tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Rotações do agitador magnético da Fisatom, modelo 755.

Escala	Rotação (RPM)
1	4
2	6
3	11
4	25
5	35
6	51
7	72
Máxima	92

- ii. Agitador magnético, modelo PC – 420, fabricado pela Corning. Com a seguinte escala de rotação (medidas com o tacômetro), de acordo com a tabela 4.4:

Tabela 4.4 – Rotações do agitador magnético da Corning, modelo PC – 420.

Escala	Rotação (RPM)
Mínima	57
1	57
2	67
3	115
4	174
5	244
6	315
7	429
8	570
9	823
10	1159
Máxima	1159

- iii. Agitador mecânico, modelo 4554-10 da Coli Pramer, suas rotações,

medidas com tacômetro, são apresentadas na tabela 4.5:

Tabela 4.5 – Rotações do agitador mecânico da Coli Pramer, modelo 4554-10.

Escala	Rotação (RPM)
1	395
2	975
3	1634
4	2327
5	2960
6	3641
7	4333
8	4940
9	5550
10	5580

4.4 – Determinação da Tensão Superficial Através do Método da Gota.

O método da gota para determinação da tensão superficial é uma técnica muito usada em estudos de físico – química de interfaces. O experimento consiste de medidas de massa (ou volume) de uma gota, a qual desprende-se, sob a influência somente da gravidade, de uma ponta horizontal de um capilar, cortado e polido, de raio conhecido com exatidão, de acordo com Lando e Oakley (71).

Harkins e Brown em 1919 [Harkins e Brown apud Lando e Oakey (71)], mostraram que a tensão superficial é função da massa da gota e do raio do capilar, conforme a equação 4.1.

$$\gamma = \frac{m g \Phi}{2\pi r} \quad (4.1)$$

Onde:

γ = tensão superficial;

m = massa da gota;

g = aceleração da gravidade;

Φ = fator de correção;

r = raio do capilar.

Sendo $F = \Phi/2\pi$, tem-se 4.2.

$$\gamma = m g F / r \quad (4.2)$$

Com F independente da natureza dos líquidos ou material dos capilares, assim ele depende somente do raio do capilar, r , e do volume da gota, V , que sai do capilar. O valor de F é relacionado a $r/V^{1/3}$, através disto, Lando e Oakley (71), obtiveram por regressão múltipla, uma equação quadrática que melhor ajustava os dados de F versus $r/V^{1/3}$, fornecida por 4.3.

$$F = 0,14782 + 0,27896 (r/V^{1/3}) - 0,166(r/V^{1/3})^2 \quad (4.3)$$

Segundo Padday (72), o método tem uma desvantagem, ele não é satisfatório para medidas de tensão superficial de líquidos ou soluções que atingem o equilíbrio lentamente. Pois, quando a gota se desprende do capilar, pode ocorrer a formação de uma nova superfície na ponta do mesmo, isto resulta na diminuição das espécies adsorvidas na interface ar/líquido e no aumento tensão superficial sobre o valor verdadeiro de equilíbrio da gota completamente envelhecida. A tensão superficial de muitas soluções, particularmente misturas binárias de líquidos, provavelmente atingem muito rapidamente o equilíbrio para este efeito ser significativo. O efeito é certamente importante com soluções de grandes moléculas de superfície ativa, as quais alcançam o equilíbrio lentamente.

A tensão superficial foi medida através do método do peso da gota, com o tensiômetro montado no Laboratório de Físico - Química de Interfaces, conforme apresentado na figura 4.4.

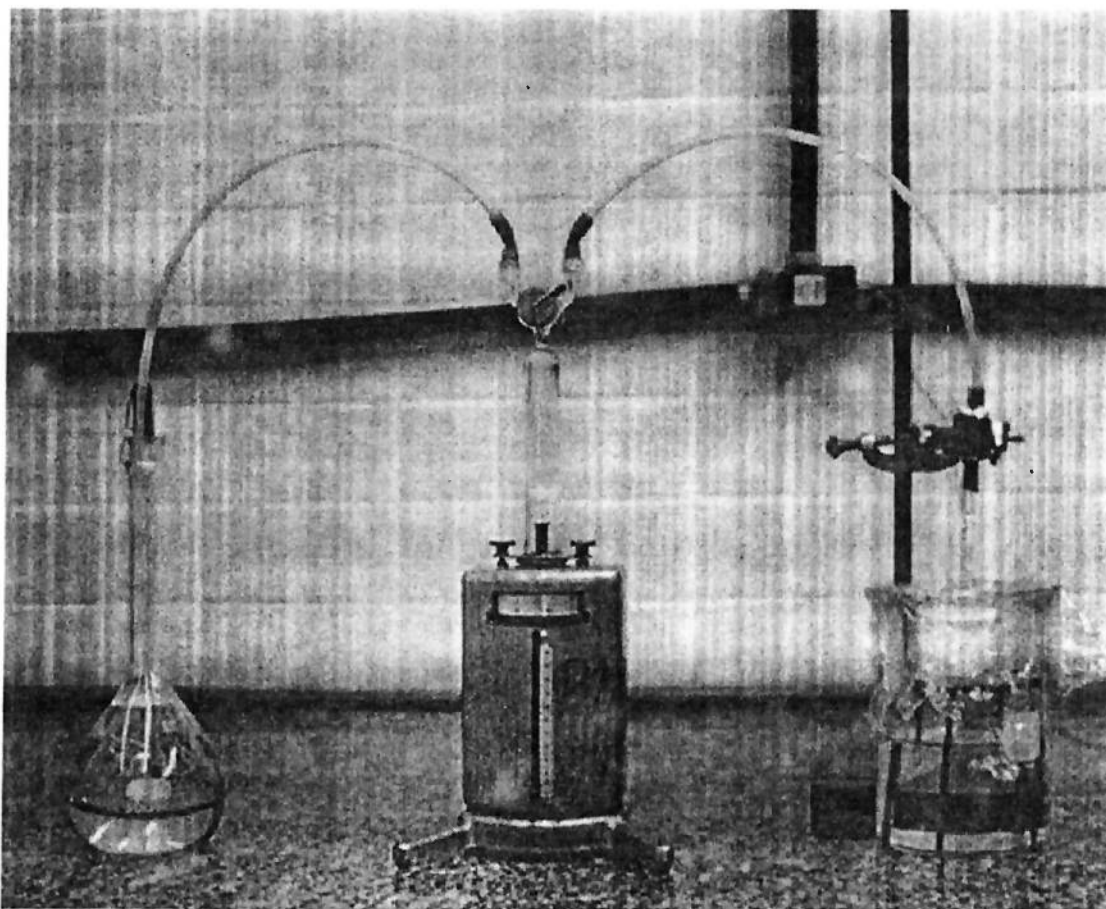


Figura 4.4 - Tensiômetro utilizado nas medições de tensão superficial.

Este tensiômetro é constituído das seguintes partes:

- i. Bureta de precisão;
- ii. Mangueiras e suportes;
- iii. Capilares, com as pontas devidamente cortadas e polidas, com raio conhecido;
- iv. Béquer de 1000 mL;
- v. Termômetro.

Com este método, foi possível determinar a tensão superficial da polpa de flotação; obedecendo aos seguintes procedimentos:

- vi. Bureta de precisão;
- vii. Mangueiras e suportes;
- viii. Capilares, com as pontas devidamente cortadas e polidas, com raio conhecido;
- ix. Béquer de 1000 mL;

x. Termômetro.

O valor da tensão superficial foi utilizada na determinação do número de Weber.

4.5 - Determinação da Área Específica pelo Método BET das Esferas de Vidro e do Quartzo.

As determinações das áreas específicas das esferas de vidro (- 150 + 200#) e do quartzo (- 48 + 65#) foram realizadas pelo método BET (Brunauer, Emmett e Teller), com equipamento da Micromeritics – Modelo ASAP 2010; V. 2.00; totalmente automatizado, o adsorvato utilizado foi o gás nitrogênio (N₂) na temperatura de 77,35 K (temperatura do nitrogênio líquido). Tal equipamento pertence ao Laboratório de Tecnologia de Argilas do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

A isoterma de BET é expressa pela equação 4.4 (73):

$$\frac{(P_i/P_0)}{V_i[1-(P_i/P_0)]} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)}{V_m C} (P_i/P_0) \quad (4.4)$$

Onde:

P_0 = pressão de saturação do gás (N₂);

P_i/P_0 = pressão relativa, a uma dada pressão, P_i ;

V_i = volume adsorvido (mL/g), em P_i/P_0 ;

V_m = capacidade da monocamada (mL/g);

$C = e^{(\Delta E/RT)}$, é uma constante, com ΔE igual a diferença entre o calor de adsorção na primeira camada e o calor de liquefação; R é a constante universal dos gases e T a temperatura, em kelvin.

Determinando V_m e C, em função da inclinação e intercepção da reta, que é expressada pela equação 4.4, a área superficial específica (S) é obtida pela equação 4.5 (73).

$$S \text{ (m}^2\text{/g)} = V_m \text{ (mL/g)} \times f \text{ (m}^2\text{/mL)} \quad (4.5)$$

Sendo f , um fator constante, fornecido pela equação 4.6.

$$f = \frac{(6,023 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} \times 16,2 \cdot 10^{20} \text{ m}^2\text{/moléculas})}{22,414 \text{ mL/mol}} \quad (4.6)$$

4.6 – Amostragem da Flotação “Rougher” da Serrana Fertilizantes Fosfatados S.A.

A mina de fosfato Serrana está situada no município de Cajati-SP, a 230 km de São Paulo. A empresa pertence ao grupo Bunge e atua na área de fertilizante desde 1946, produzindo fosfato nessa região, ela controla desde a lavra da rocha fosfática até a aplicação dos produtos no campo.

A flotação em sua usina de concentração é dividida em:

- i. Flotação de grossos – realizada num circuito composto por células e colunas de flotação. 84 células mecânicas executam as etapas de flotação “rougher” e “scavenger”, distribuídas em 12 bancos constituídos de três células “rougher” e quatro células “scavenger” cada.
- ii. Flotação de ultrafinos – é feita em três colunas, duas maiores nas etapas “rougher” e “scavenger” e uma menor na etapa “cleaner”.

A amostragem foi realizada no circuito “rougher” de flotação, os seus bancos são constituídos de células Wemco de $1,7 \text{ m}^3$ de volume, as quais possuem um rotor de 0,29 m de diâmetro e operam a 400 rpm, resultando num N_{Fr} (número de Froude) = 1,3. Com objetivo de verificar a recuperação da flotação de partículas + 65# em $N_{Fr} = 1$, a rotação do banco 1 foi reduzida para 350 rpm e operou nesta situação durante um período de 30 dias.

Foram realizadas amostragens durante os dias 10, 11 e 12 de maio de 2000 nos bancos de células “rougher” 1 e 4, os quais trabalham em número de Froude igual a 1 e 1,3, respectivamente. As amostragens nas células eram feitas a cada hora e recolhidas num balde, o material coletado era secado e encaminhado ao Laboratório de Físico – Química de Interfaces (LFQI) do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade de São Paulo para granulometria, via úmida, nas malhas 65# e 100#.

As amostras + 65# e -65# foram encaminhadas para análise química de P_2O_5 na própria Serrana.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo foi estruturado de maneira que sejam definidas as condições hidrodinâmicas mais favoráveis à flotação de grossos (esferas de vidro e/ou partículas de quartzo) e, conseqüentemente, correlacioná-las com os resultados da cinética de flotação destas partículas.

5.1 - Características da Polpa de Flotação.

A polpa de flotação era constituída de 1 g de esferas de vidro ou quartzo, com 180 mL de solução de acetato de éter amina, o EDA-B (coletor), na concentração requisitada por cada ensaio.

Os valores destas grandezas físicas da polpa de flotação são apresentados na tabela 5.1.

Tabela 5.1. Características da polpa de flotação.

Grandeza	Valor
pH	10
Vazão de nitrogênio (N ₂)	54,5 cm ³ /min
Granulometria das esferas de vidro	- 28 + 35# e - 48 + 65#
Granulometria das partículas de quartzo	- 48 + 65#
Esfericidade das partículas de quartzo	0,2
Área específica das partículas de quartzo	0,0511 m ² /g
Área específica das esferas de vidro (- 150 + 200#) *	0,2194 m ² /g
Viscosidade da polpa	1 cP
Viscosidade da Água	1 cP
Tensão superficial da polpa	48 dyn/cm

(*) Não foi possível realizar a medição da área específica das esferas de vidro, com granulometria - 28 + 35# e - 48 + 65#, devido a incapacidade do equipamento para áreas de ordem tão pequena.

A viscosidade da polpa de flotação foi calculada pela equação 3.8, proposta por Roscoe (20). Ela é praticamente igual a da água, tal fato é justificado pela baixíssima porcentagem de sólidos na polpa, em torno de 0,22%.

A vazão do gás nitrogênio (Q) é 50 NmL/min, medidos 760 mmHg e 21 °C. No entanto, ela era corrigida para as condições de temperatura e pressão (pressão atmosférica média da cidade de São Paulo) de cada ensaio é em média 54,5 cm³/min, esta correção era feita pela equação geral dos gases perfeitos, de acordo com a expressão 5.1.

$$P_1 V_1/T_1 = P_2 V_2/T_2 \quad (5.1)$$

Onde:

P_1 = Pressão inicial do gás (mmHg);

V_1 = Volume inicial do gás (cm³);

T_1 = Temperatura inicial do gás (kelvin);

P_2 = Pressão final do gás (mmHg);

V_2 = Volume final do gás (cm³);

T_2 = Temperatura final do gás (kelvin)

O diâmetro médio das bolhas no tubo de Hallimond foi determinado pela equação de Drzymala (44), segundo a equação 3.49, que é independente do diâmetro do capilar da placa porosa.

O valor da esfericidade das partículas de quartzo foi determinada pela fórmula de Wadell.

5.2 - Influência da Concentração de Coletor no Desempenho da Flotação.

Mantendo-se as condições hidrodinâmicas constantes, com um número de Reynolds igual a 577 e Froude de $4,7 \cdot 10^{-3}$, foram realizados ensaios para determinação da concentração necessária de coletor para máxima flotação das partículas grossas e intermediárias de esferas de vidro (- 48 + 65# e - 150 + 200#) e quartzo (- 48 + 65#). Os resultados destes ensaios são apresentados na figura 5.1, na qual verifica-se:

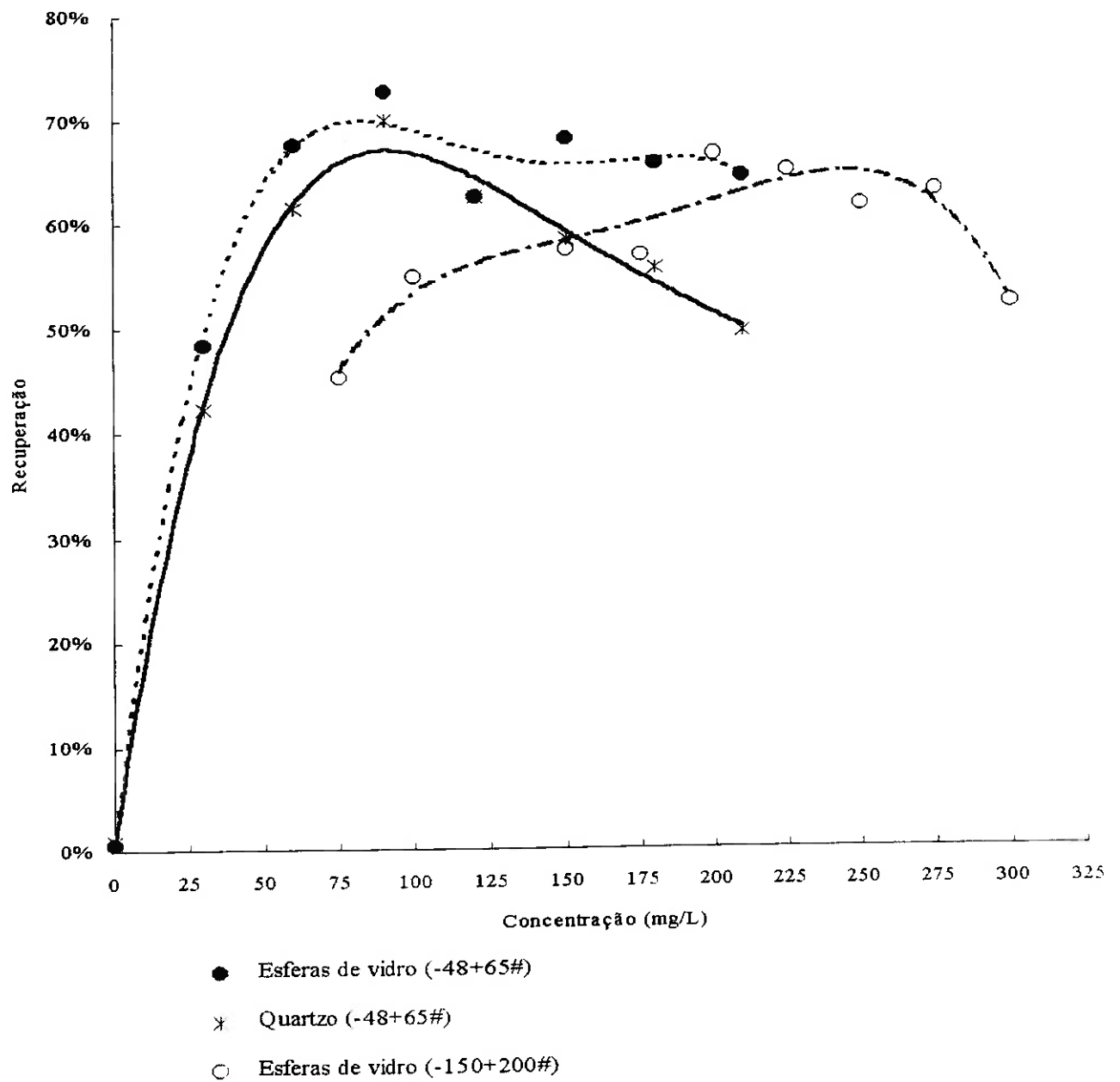


Figura 5.1 – Determinação da melhor concentração de coletor para maior recuperação das esferas de vidro e quartzo.

- i. Nas flotações das esferas de vidro e do quartzo (ambos com granulometria - 48 + 65#) foi observado que a concentração de coletor necessária para se obter a máxima recuperação dos materiais está na faixa de 60 a 100 mg/L, enquanto que as outras esferas de vidro (- 150 + 200#) apresentaram a máxima recuperação entre 220 e 260 mg/L.
- ii. A concentração de 75 mg/L de acetato de éter-amina (coletor) foi adotada para se realizar os ensaios de estudos hidrodinâmicos com as esferas de vidro (granulometria - 28 + 35# e - 48 + 65#) e quartzo, garantindo-se assim, a hidrofobicidade do material e, portanto, obedecendo ao critério termodinâmico da flotação.
- iii. As esferas de vidro (- 48 + 65#) apresentaram recuperação maior que as partículas de quartzo. Este comportamento será descrito no próximo tópico.
- iv. A diferença entre as faixas de concentração de coletor para máxima recuperação de esferas de vidro (- 48 + 65# e - 150 + 200#), é explicada pelo fato das esferas, com granulometria - 150 + 200#, apresentarem maior área superficial, por conseguinte precisam de maior quantidade de coletor para se tornarem hidrofóbicas.

5.3 - A Influência dos Números Adimensionais na Flotação.

De acordo com a literatura, para vasos agitados, como as células mecânicas de flotação, o fluxo completamente turbulento ocorrerá em número de Reynolds acima de 10000. Enquanto que um Reynolds entre 10 e 10000 o fluxo será semi-turbulento ou transiente (14) (21) (27).

Em Reynolds acima de 300, haverá formação de vortex em tanques sem "baffles", como ocorre no tubo de Hallimond, sob estas condições deve ser considerado o número de Froude. Para o estudo hidrodinâmico foram realizados ensaios de microflotação com esferas de vidro e quartzo, seus resultados são mostrados nas figuras 5.2 a 5.3.

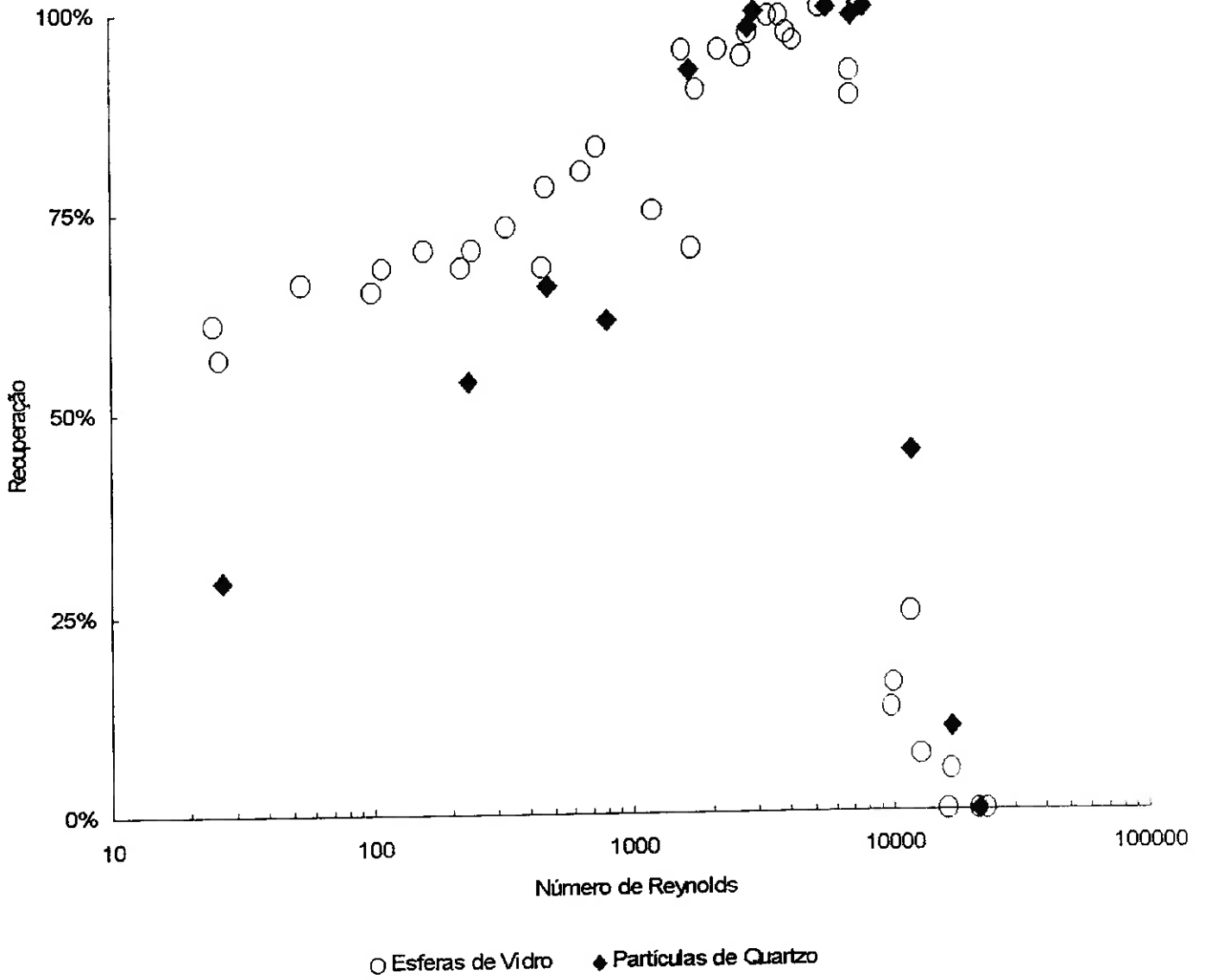


Figura 5.2 – Recuperação de esferas de vidro e quartzo (ambos - 48 + 65#) versus número de Reynolds.

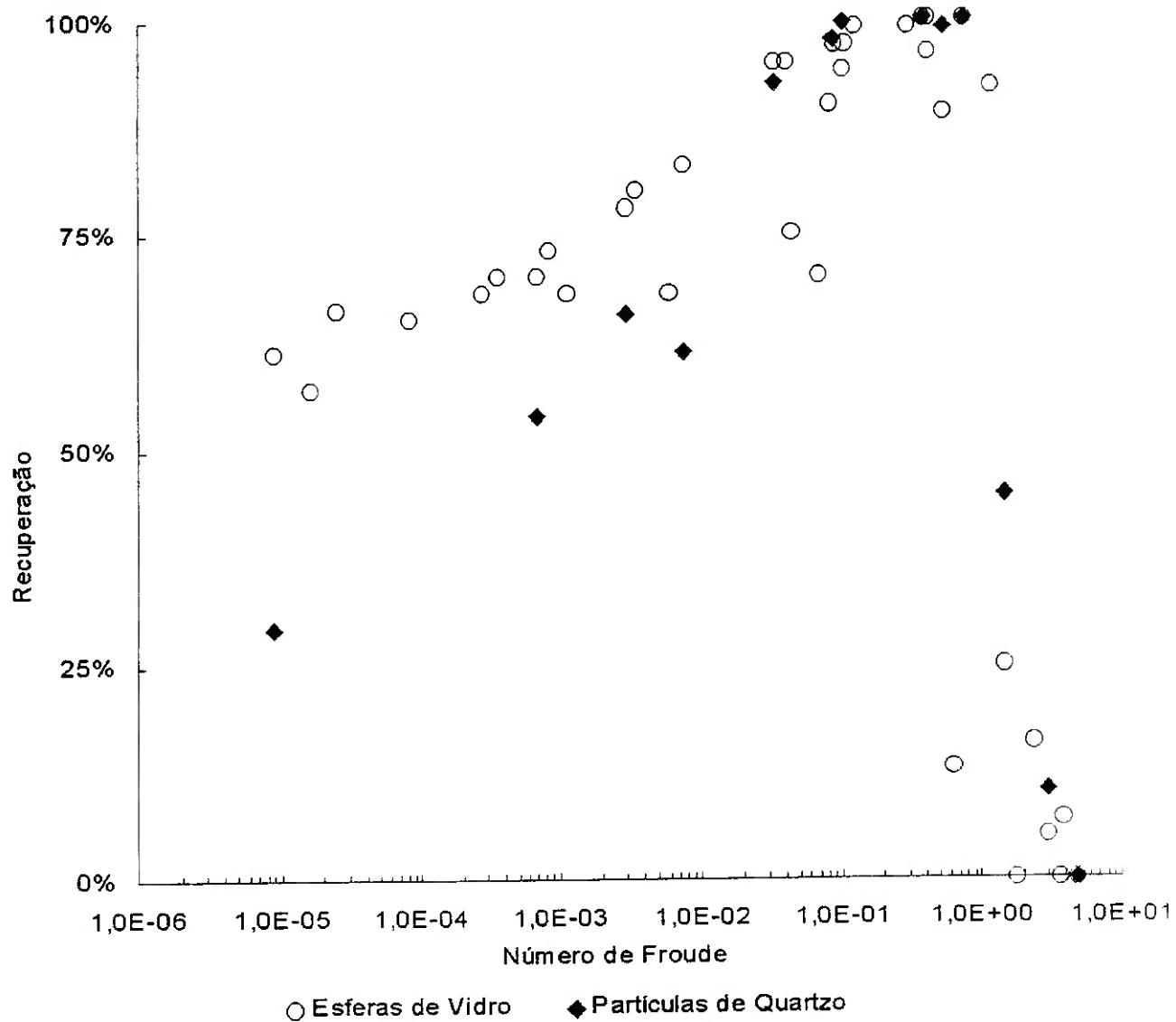


Figura 5.3 – Recuperação de esferas de vidro e quartzo (ambos - 48 + 65#) versus número de Froude.

As figuras 5.2 e 5.3 ilustram o desempenho da microflotação das esferas de vidro e do quartzo sob um amplo intervalo de número de Reynolds (N_{Re}) e número de Froude (N_{Fr}) do equipamento, nelas se observam:

- i. As máximas recuperações de esferas de vidro e quartzo são obtidas nos intervalos $2000 \leq N_{Re} \leq 7500$ e $3.10^{-2} \leq N_{Fr} \leq 1$. Nesta situação a turbulência está promovendo a coleta das partículas pelas bolhas, pois ela é suficiente para promover as colisões partículas/bolhas e conservá-lo até a camada de espuma.
- ii. Em $N_{Re} > 2900$ e $N_{Fr} > 0,1$, a forma da partícula não influencia o desempenho da flotação. Este fato deve ser justificado pela total suspensão dos materiais, possibilitando assim, o maior número de colisões entre as partículas e as bolhas.
- iii. Sob condições hidrodinâmicas mais tranquilas, ou seja, de menos turbulentas ($N_{Re} < 800$), as partículas de quartzo mostraram menor recuperação que as esferas de vidro. Pois, devido partículas de quartzo não apresentarem forma totalmente esféricas como as esferas de vidro ($\psi=1$), elas precisam de maior rotação para serem mantidas em suspensão e poderem colidir com as bolhas, já que oferecem maior resistência ao movimento.
- iv. $N_{Re} > 10000$ e $N_{Fr} > 1$, as recuperações das partículas de quartzo e das esferas de vidro, sofrem uma queda intensa em seus valores. Sob estas condições hidrodinâmicas, o regime da célula de flotação está completamente turbulento. Portanto neste ambiente, o sistema não consegue conservar o agregado partícula/bolha até a camada de espuma, afetando a eficiência de preservação do agregado, conseqüentemente a recuperação tanto das esferas de vidro, como do quartzo.

Foram realizados ensaios com esferas de vidro que apresentam tamanhos diferentes, uma com granulometrias - 28 + 35# e outra - 48 + 65#, afim de estudar o efeito do diâmetro da partícula na hidrodinâmica da flotação. Os resultados são apresentados nas figura 5.4 e 5.5:

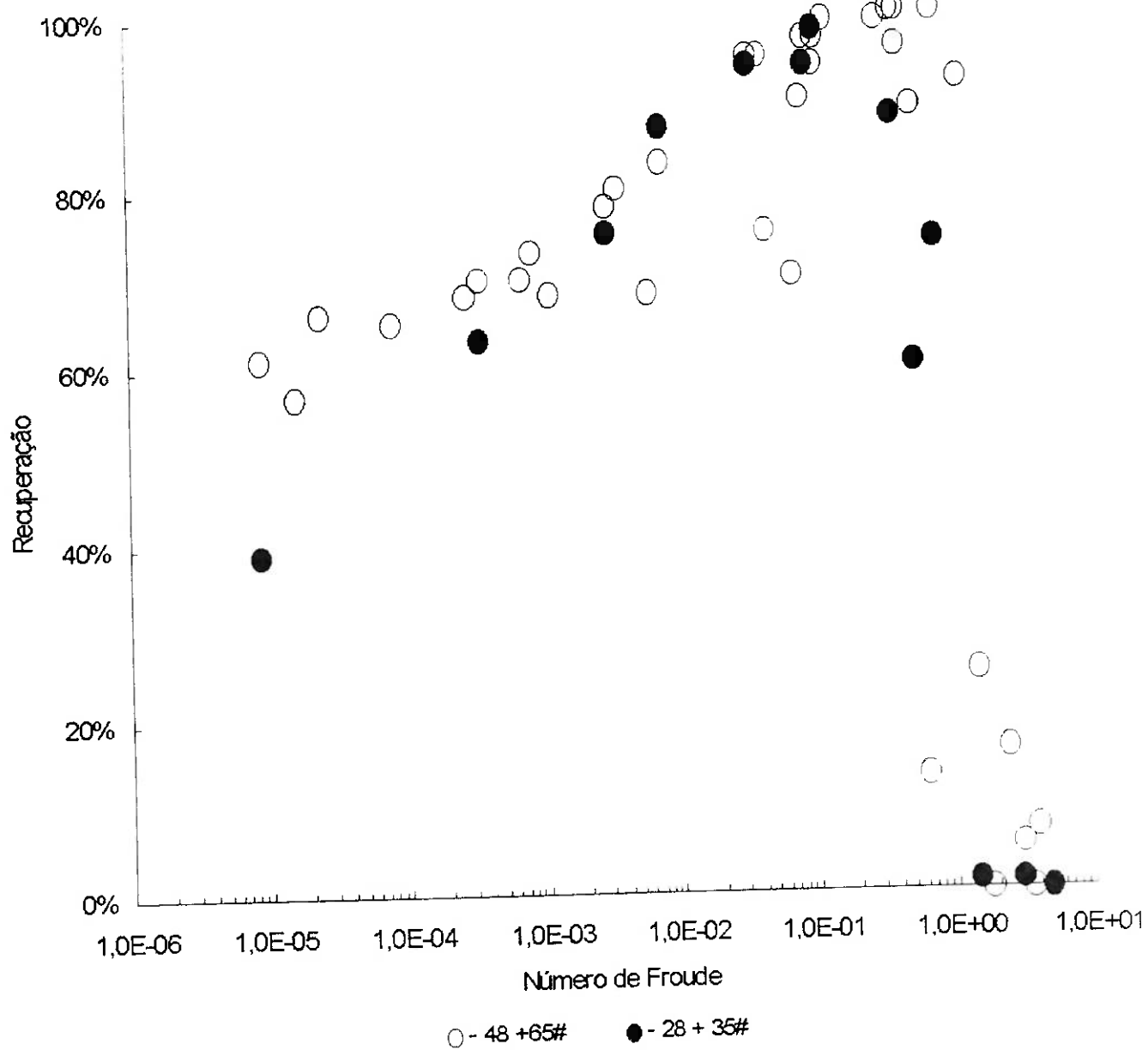


Figura 5.4 - Recuperação das esferas de vidro - 28 + 35# e - 48 + 65# versus número de Froude.

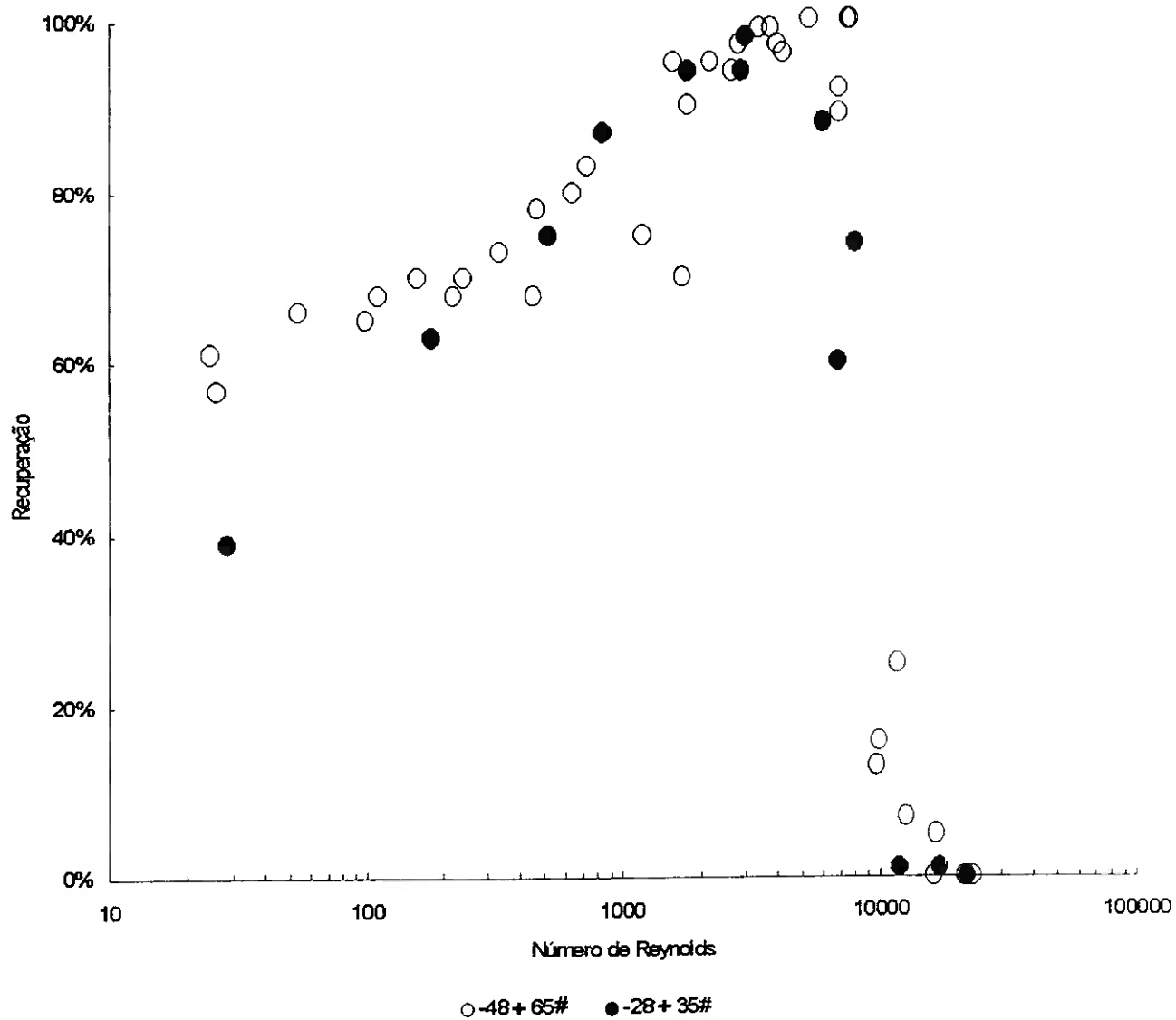


Figura 5.5 - Recuperação das esferas de vidro - 28 + 35# e - 48 + 65# versus número de Reynolds.

Nestes gráficos é possível verificar que:

- i. A máxima recuperação das esferas de vidro – 28 + 65# é encontrada nos intervalos $1600 < N_{Re} < 3000$ e $3.10^{-2} < N_{Fr} < 1.10^{-1}$. Enquanto que esferas de vidro – 48 + 65# apresentaram sua máxima recuperação em $1600 < N_{Re} < 7800$ e $3.10^{-2} < N_{Fr} < 7,5.10^{-1}$. Nestes intervalos, as condições hidrodinâmicas estão promovendo a coleta da partícula pela bolha.
- ii. Para $N_{Re} > 3000$ e $N_{Fr} > 1.10^{-1}$ a recuperação das esferas de vidro de na fração – 28 + 35# começa a diminuir, enquanto que na fração – 48 + 65# a queda se inicia em $N_{Re} > 7800$ e $N_{Fr} > 7,5.10^{-1}$. Esta diferença pode ser explicada pela sensibilidade das partículas mais grosseiras ao aumento da turbulência, pois a energia do campo turbulento é capaz de arrastar o sólido para fora agregado com uma força que será proporcional ao seu tamanho, ou seja, sua energia cinética. Fica também evidenciado que partículas mais finas precisam de maior agitação para poderem flotar, compensando deste modo sua falta de inércia.
- iii. Para $N_{Re} > 10000$ e $N_{Fr} > 1$ a recuperação das esferas de vidro – 28 + 35 # é nula e das esferas – 48 + 65# é menor que 25%, pois a turbulência é muito intensa no sistema e acaba destruindo o agregado, antes que chegue na camada de espuma. Nesta situação, a energia cinética das partículas é superior a energia de rompimento do agregado, favorecendo que a partícula seja carregada para fora da superfície da bolha.
- iv. Quando o $N_{Re}=28$ e $N_{Fr}=9.10^{-6}$, observa-se uma diferença significativa entre as recuperações das esferas (39% na fração -28+35# e 61% na fração -48+65#). Nesta situação de agitação muito baixa, a velocidade do agitador não é suficiente para manter as partículas em suspensão, principalmente no caso das partículas mais grosseiras, causando deste modo, a diminuição da eficiência de colisão partícula/bolha.

A razão entre as forças inerciais e capilares é representada pelo número de Weber (N_{We}). Considerando a flotação como um micro sistema, quando o $N_{We(bolha)} < 1$, a bolha adere à partícula, no entanto, se $N_{We(bolha)} > 1$ a partícula será carregada pelo

fluido para fora da superfície da bolha, impedindo assim sua adesão.

Enfocando a hidrodinâmica da célula de flotação (macro sistema), o número de Weber do rotor indica que as bolhas apresentam a tendência à dispersão e estão propensas a se distribuírem ao longo de todo o volume das células. A figura 5.6 representa o número de Weber (N_{We}) do rotor versus a recuperação das esferas de vidro (- 28 + 35# e - 48 + 65#) e partículas de quartzo (- 48 + 65#).

Neste gráfico observa-se que:

- i. As maiores recuperações tanto das esferas de vidro como das partículas de quartzo ocorre na faixa $7 < N_{We} < 30$. Neste intervalo há uma boa distribuição das bolhas ao longo da célula.
- ii. Em $N_{We} > 200$, observou-se a total supressão da espuma. Isto pode ser justificado pelo fato da inércia estar muito grande, ao ponto de abalar a estabilidade da espuma, já que o leito de espuma não possui partículas, devido o rompimento do agregado ao longo da célula de flotação.

Uma outra forma de verificar a distribuição das bolhas e a estabilidade do leito de espuma é através do número de fluxo de gás. A figura 5.7 apresenta o número de fluxo de gás versus a recuperação.

De acordo com a figura 5.7, em $N_Q < 5.10^{-3}$ as recuperações são praticamente nulas (exceto para esferas - 48 + 65#, com $N_Q = 4,46.10^{-3}$), evidenciando desta forma a instabilidade do leito de espuma. Tal fato pode ser causado pela excessiva agitação do sistema, que não permite as partículas chegarem até o leito de espuma, deixando o mesmo instável.

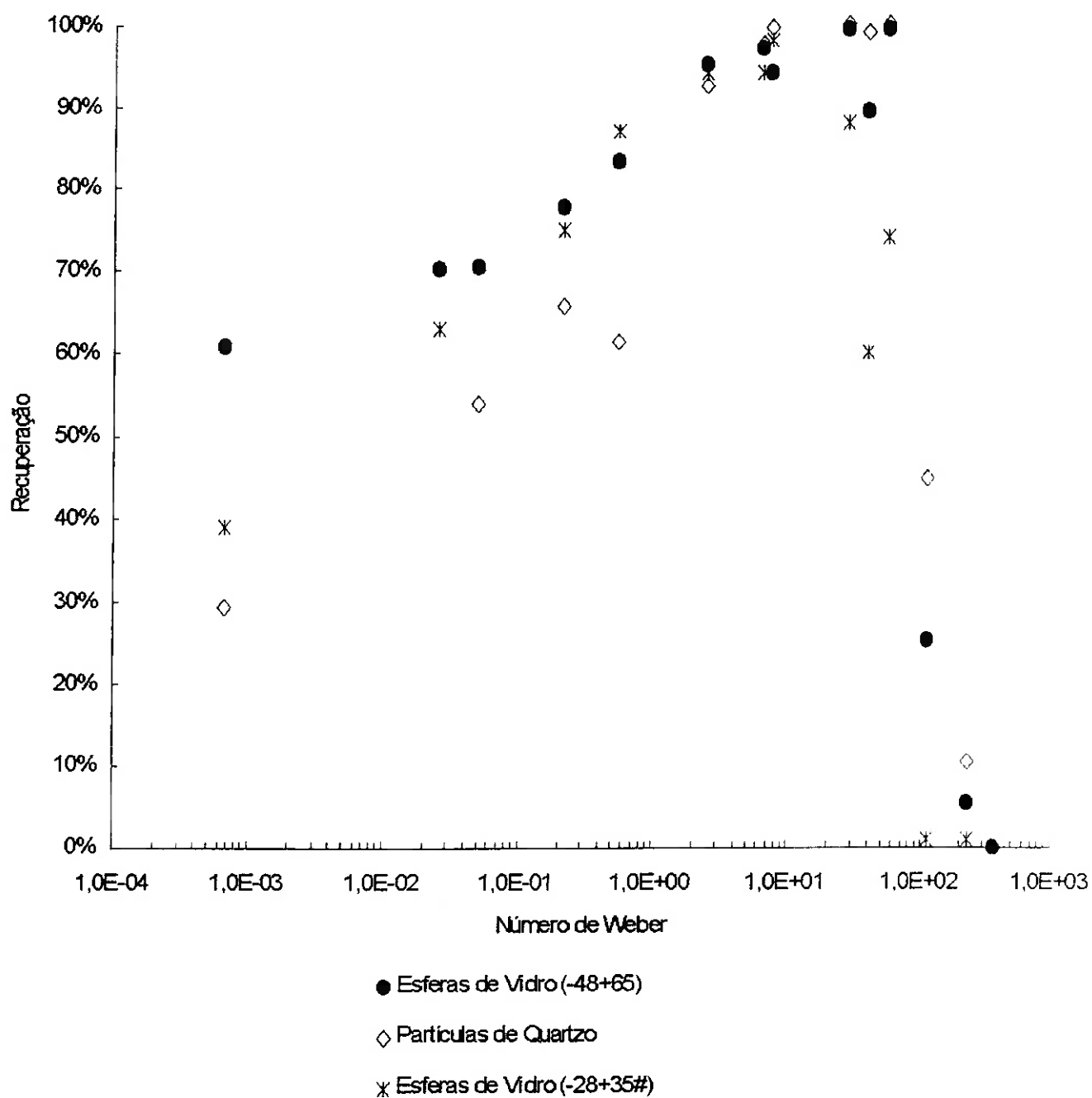


Figura 5.6 - Recuperação das esferas de vidro (- 28 + 35# e - 48 + 65#) e quartzo versus número de Weber.

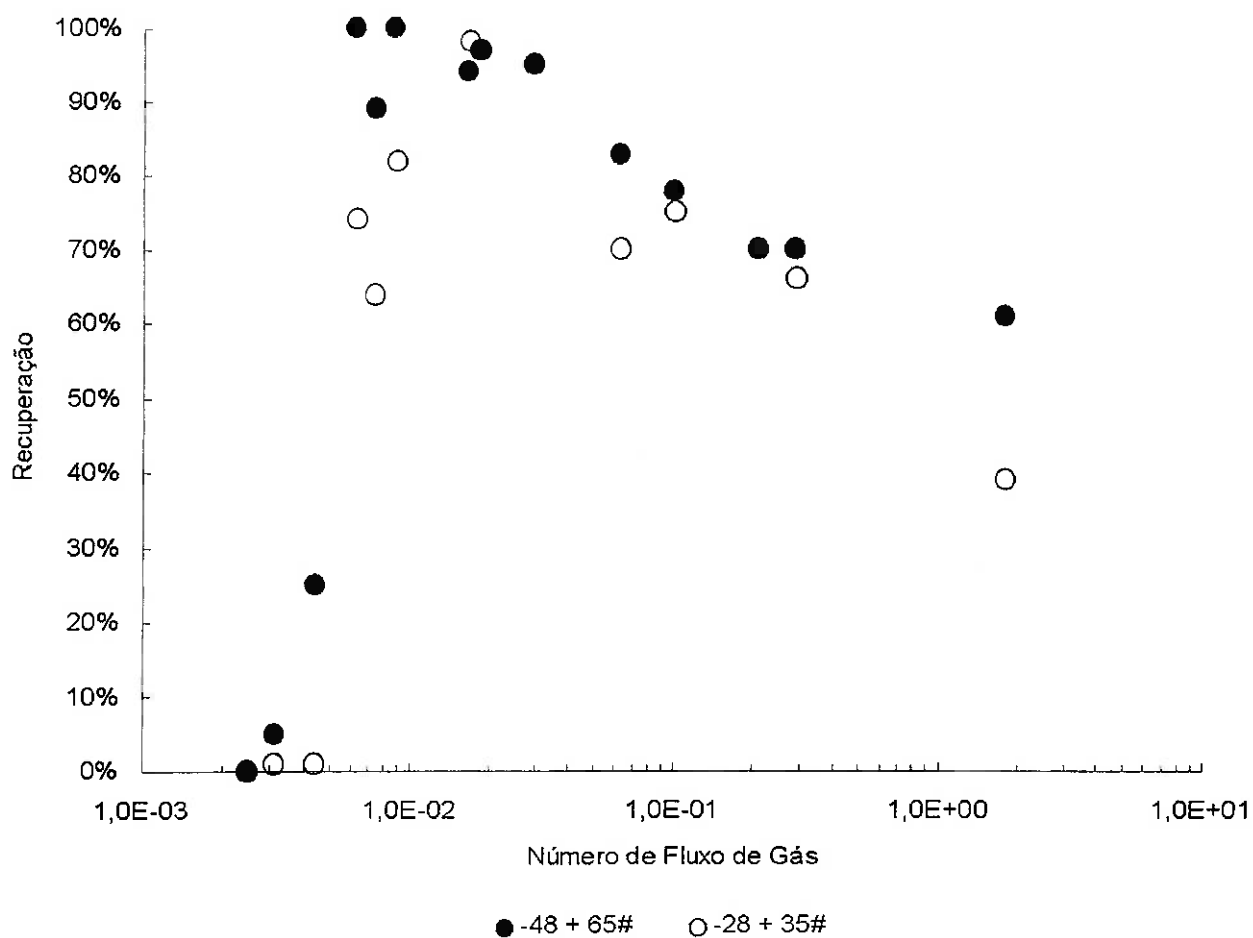


Figura 5.7 - Número de fluxo de gás versus recuperação das esferas de vidro.

A razão entre as forças de arraste do rotor e as forças de inércia na polpa é representada pelo número de potência (N_{P0}). Neste trabalho o número de potência foi estimado através das equações empíricas de Nagata, corrigidas para um rotor cilíndrico. Os resultados são apresentados na figura 5.8, na qual é possível observar que:

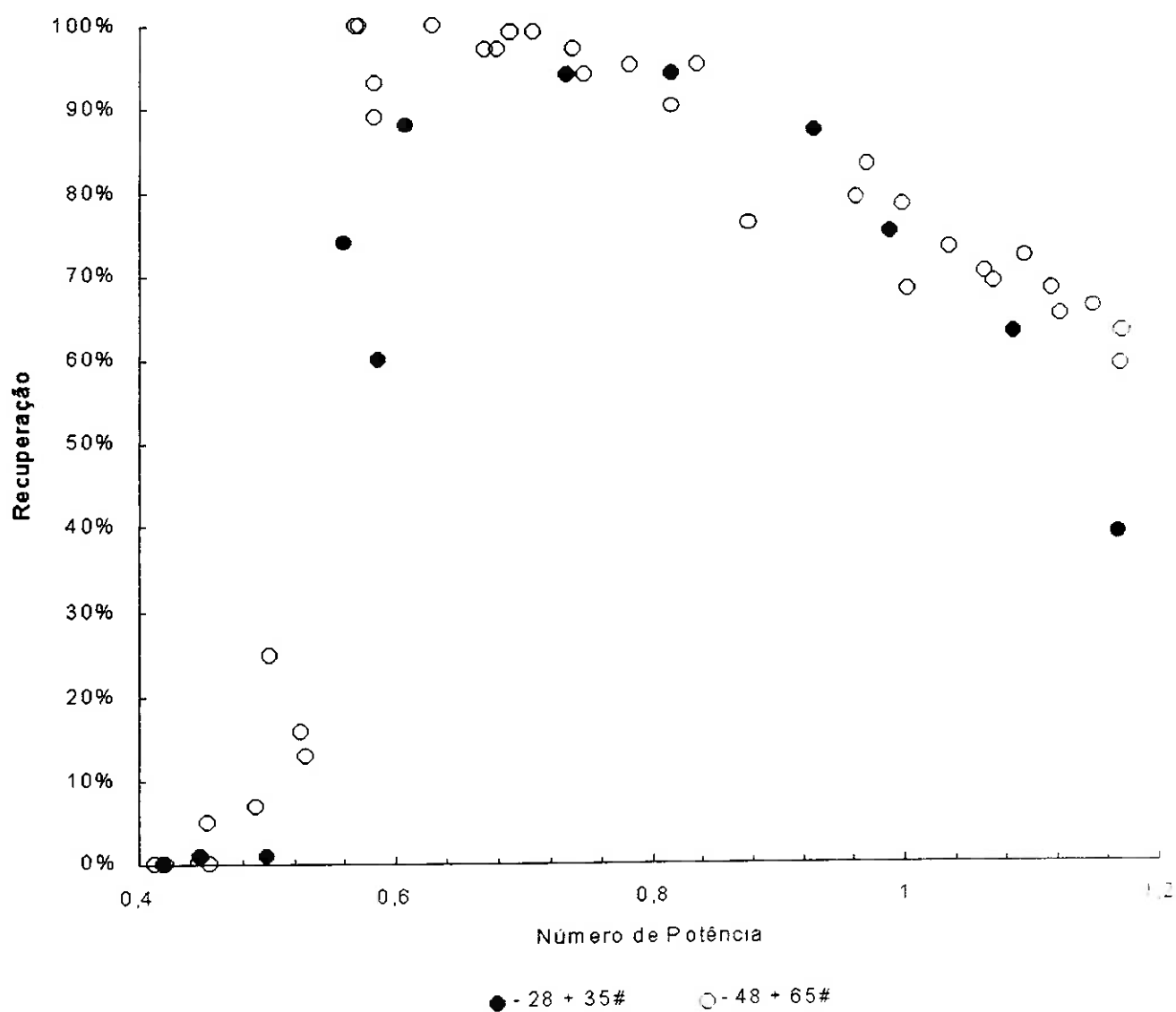


Figura 5.8 - Recuperação das esferas de vidro (- 28 + 35# e - 48 + 65#) versus número de Potência.

- i. As máximas recuperações são encontradas no intervalo $0,56 < N_{Po} < 0,80$, nesta faixa de valores, a inércia é capaz de realizar uma boa suspensão da polpa, facilitando as colisões entre as partículas e as bolhas e, conservando os agregados.
- ii. Em $N_{Po} < 0,56$, a inércia está muito forte, ou seja, a turbulência é alta o suficiente para destruir o agregado partícula/bolha, justificando assim, as baixíssimas recuperações no intervalo. Este crescimento da turbulência pode ser visualizado na figura 5.9.
- iii. Em $N_{Po} > 0,80$ a rotação não é suficiente para manter as partículas em suspensão, isto causa um aumento das forças de arraste do rotor, que por sua vez, provocam má distribuição das partículas e um número insuficiente de colisões partículas/bolhas para uma ótima recuperação.

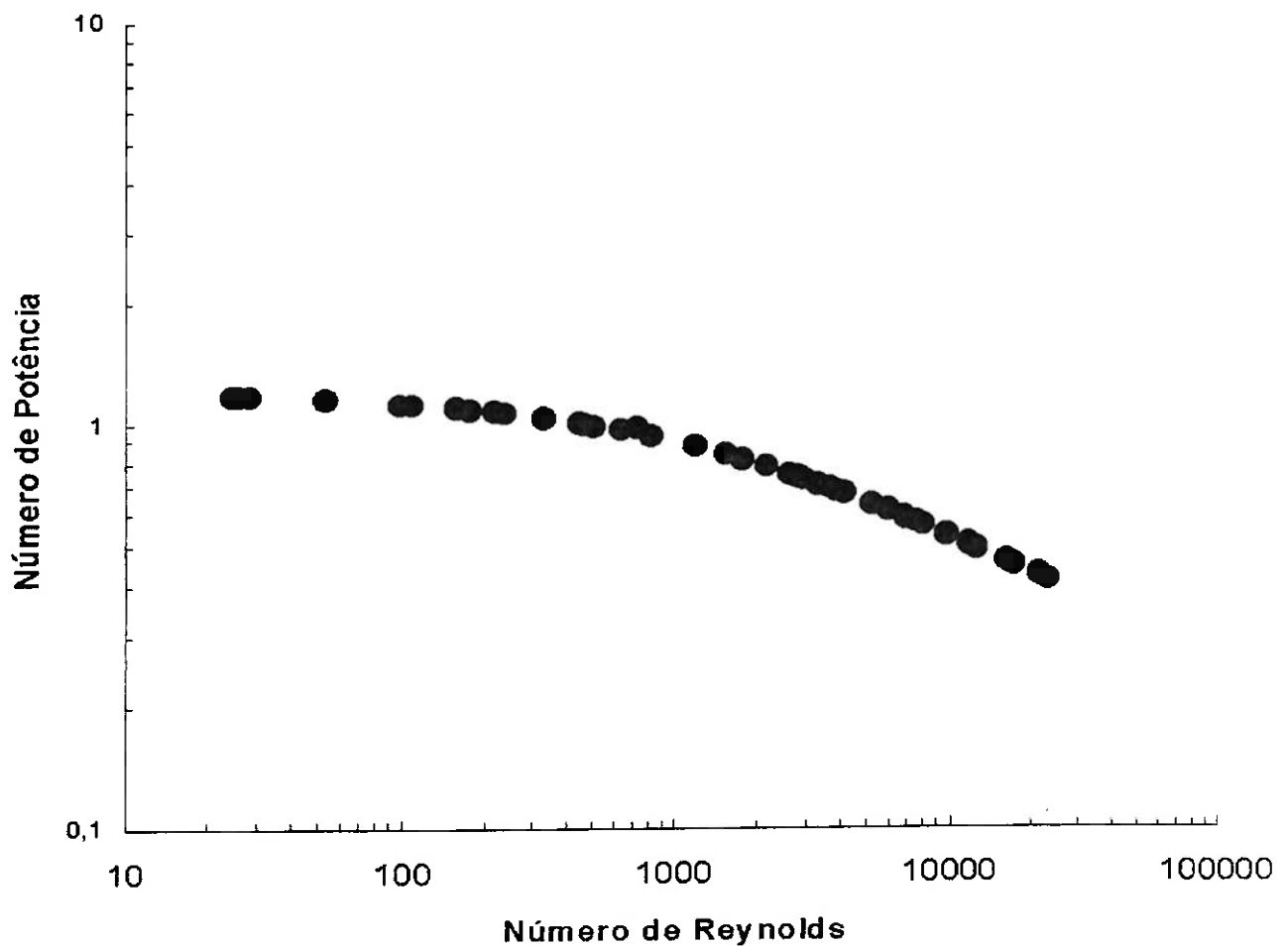


Figura 5.9 - Número de Reynolds versus número de Potência para o tubo de Hallimond com rotor cilíndrico.

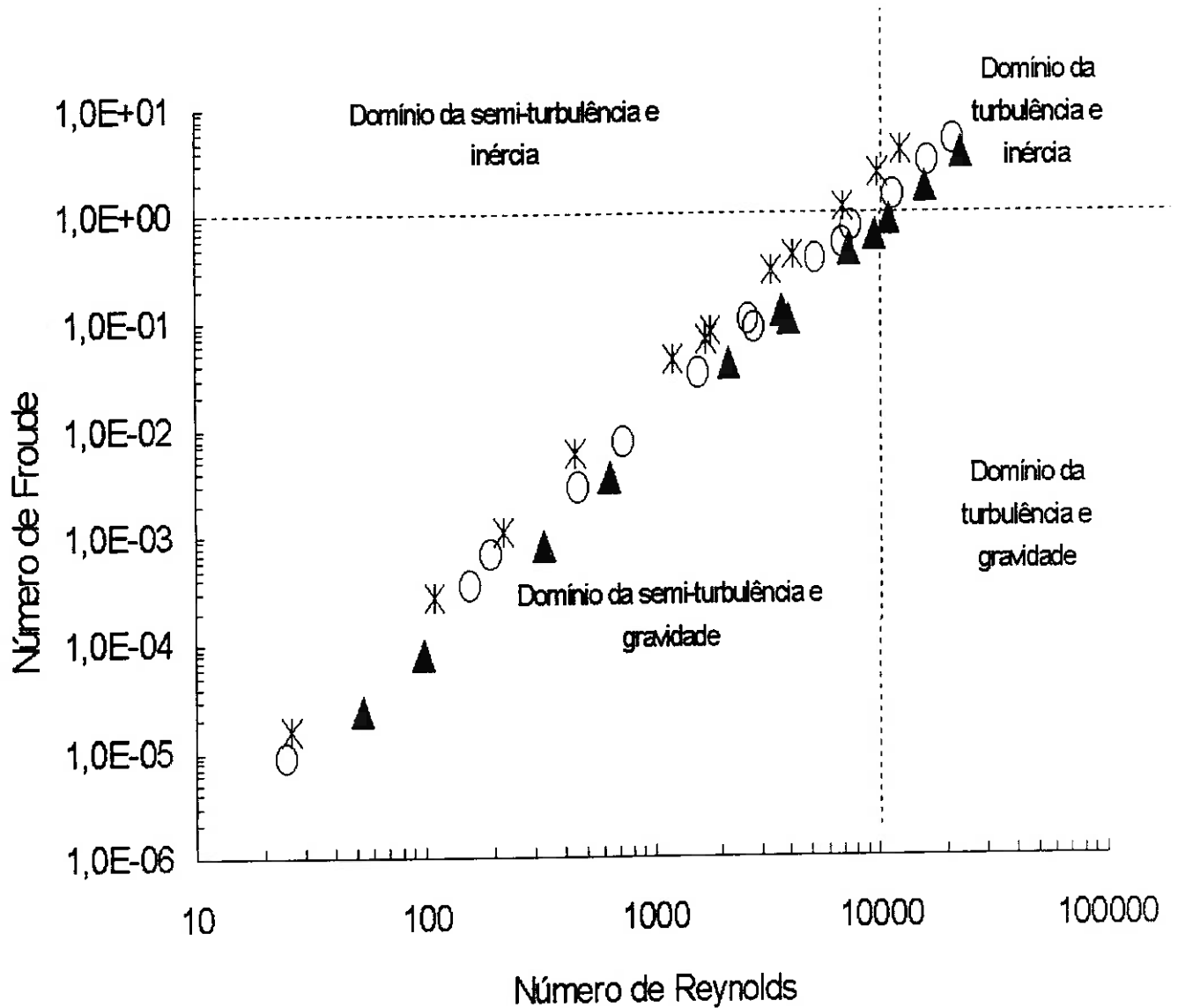
Na figura 5.9 é possível verificar que o número de potência (N_{Po}) diminui à medida que o número de Reynolds da célula cresce, ou seja, com o aumento da rotação. Em $N_{Re} > 10000$, e o N_{Po} é menor que 0,5, sendo assim, a contribuição das forças inerciais é maior que o dobro das forças de arraste do rotor, fato que garante a completa turbulência do sistema

O tubo de Hallimond não possui “baffles” para provocar a redução da turbulência na célula. deste modo as forças de arraste do rotor (um cilindro circular), representadas pelo número de potência, tendem sempre a diminuir a proporção que o número de Reynolds aumenta. O mesmo não acontece com os rotores do tipo turbina e “propeller”, pois eles tendem a ficar constantes num regime completamente turbulento.

O mapeamento da turbulência no tubo de Hallimond foi possível, construindo-se um gráfico N_{Fr} versus N_{Re} . No qual se observa a distribuição das forças de inércia e gravidade e o comportamento da turbulência, conforme a figura 5.10.

Na figura 5.10 evidencia – se que:

- i. Em $N_{Re} > 10000$ e $N_{Fr} > 1$, há o predomínio da turbulência e das forças de inércia. Tal região se mostrou extremamente prejudicial à flotação de grossos (- 28 + 35# e - 48 + 65#), apresentando recuperações menores que 25% (como visto nas figuras 5.2 a 5.5), indicando deste modo, que a turbulência age em detrimento à conservação dos agregados.
- ii. O domínio do regime semi-turbulento e das forças gravitacionais é verificado em $N_{Re} < 10000$ e $N_{Fr} < 1$, onde se observam as maiores recuperações (figuras 5.2 a 5.5), evidenciando-se que a agitação é suficiente para promover as colisões entre partícula/bolha e permitir a adesão, não sendo capaz de destruir o agregado partícula/bolha ao longo de seu caminho até ao leito de espuma.
- iii. Não foram realizados ensaios nas regiões de domínio da semi-turbulência e das forças de gravidade e de predominância da semi-turbulência e da inércia.



○ Rotor=19,6 mm * Rotor=15,5 mm ▲ Rotor=23,5 mm

Figura 5.10 - Número de Froude versus número de Reynolds e a distribuição dos domínios das forças e turbulência na flotação em tubo de Hallimond.

5.4 – Números Adimensionais e a Cinética de Flotação.

Uma vez que as condições hidrodinâmicas presentes na célula de flotação influenciam os eventos de colisão, adesão e preservação do agregado, elas também influenciarão a constante cinética (k) e a ordem de flotação (n). Ensaio cinéticos de flotação das esferas de vidro (– 28 + 35# e – 48 + 65#) foram realizados em diferentes condições hidrodinâmicas:

- Baixa rotação, na qual a agitação não é suficiente para manter as partículas em suspensão e promover o maior número possível de colisões partícula/bolha;
- Ótimas condições de agitação, as quais favoreceram as máximas recuperações;
- Agitação intensa para provocar uma turbulência capaz de romper o agregado partícula/bolha, conseqüentemente diminuindo a recuperação de partículas grossas.

A ordem de flotação foi determinada por três métodos, os quais são descritos no anexo B:

- i. Método Gráfico ou Equações Integradas, usando-se as equações integradas, os dados da cinética de flotação foram ajustados para ordem $n = 0$, $n = 1$ e $n = 2$;
- ii. Método Razão dos Tempos, através das resoluções das equações 3.96 e 3.97;
- iii. Método do Tempo Fracionário, ajustando-se os dados pela equação 3.93.

Nas tabelas 5.2 e 5.3 são apresentados os valores da ordem e constante cinética de flotação das esferas de vidro – 28 + 35# e – 48 + 65# pelo método gráfico, respectivamente, escolhendo-se as ordens que apresentaram maior coeficiente de correlação (R^2). Sendo que todos os coeficientes de correlação são mostrados no anexo B.

Tabela 5.2. Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 28 + 35#, obtidas pelo *método das equações integradas*, em diferentes condições hidrodinâmicas.

Número de Reynolds	Número de Froude	Constante Cinética	Ordem
471	$3 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3} \text{ g s}^{-1}$	0
2256	$6,57 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-3} \text{ g s}^{-1}$	0
7643	$7,5 \cdot 10^{-1}$	$5,8 \cdot 10^{-3} \text{ g s}^{-1}$	0

Tabela 5.3. Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 48 + 65#, obtidas pelo *método das equações integradas*, em diferentes condições hidrodinâmicas.

Número de Reynolds	Número de Froude	Constante Cinética	Ordem
471	$2,88 \cdot 10^{-3}$	$1,145 \cdot 10^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-1}$	2
7643	$7,5 \cdot 10^{-1}$	$6,03 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$	1
11046	$1,5 \cdot 10^0$	$1,86 \cdot 10^{-3} \text{ g s}^{-1}$	0

As tabelas 5.4 e 5.5 apresentam os resultados da ordem e da constante cinética de flotação, pelo método da razão dos tempos, para esferas – 28 + 35# e – 48 + 65#.

Tabela 5.4. Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 28 + 35#, obtidas pelo *método da razão dos tempos*, em diferentes condições hidrodinâmicas.

Número de Reynolds	Número de Froude	Constante Cinética	Ordem
471	$3 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-1} \text{ g}^{-1,6} \text{ s}^{-1}$	2,6
2256	$6,57 \cdot 10^{-2}$	$9,3 \cdot 10^{-2} \text{ g}^{-0,7} \text{ s}^{-1}$	1,7
7643	$7,5 \cdot 10^{-1}$	$3,5 \cdot 10^{-2} \text{ g}^{-0,6} \text{ s}^{-1}$	1,6

Tabela 5.5. Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 48 + 65#, obtidas pelo *método da razão dos tempos*, em diferentes condições hidrodinâmicas.

Número de Reynolds	Número de Froude	Constante Cinética	Ordem
471	$2,88 \cdot 10^{-3}$	$4,90 \cdot 10^{-2} \text{ g}^{-0,5} \text{ s}^{-1}$	1,5
7643	$7,5 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-3} \text{ g s}^{-1}$	0
11046	$1,5 \cdot 10^0$	$1,77 \cdot 10^{-3} \text{ g s}^{-1}$	0

As ordens e a constante cinética foram estimadas pelo método do tempo fracionário, através da linearização de seus dados na equação 3.93. Seus resultados são

apresentados nas tabelas 5.6 e 5.7 para esferas de vidro de granulometria – 28 + 35.# e – 48 + 65#.

Tabela 5.6. Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 28 + 35#, obtidas pelo método do tempo fracionário, em diferentes condições hidrodinâmicas.

Número de Reynolds	Número de Froude	Constante Cinética	Ordem
471	3.10^{-3}	$1,01.10^{-1} \text{ g}^{-1,1} \text{ s}^{-1}$	2,1
2256	$6,57.10^{-2}$	$9,08.10^{-2} \text{ g}^{-0,9} \text{ s}^{-1}$	1,9
7643	$7,5.10^{-1}$	$0,042 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-1}$	2

Tabela 5.7. Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 48 + 65#, obtidas pelo método do tempo fracionário, em diferentes condições hidrodinâmicas.

Número de Reynolds	Número de Froude	Constante Cinética	Ordem
471	$2,88.10^{-3}$	$7,69.10^{-2} \text{ g}^{-0,9} \text{ s}^{-1}$	1,9
7643	$7,5.10^{-1}$	$2,31.10^{-1} \text{ g}^{-0,9} \text{ s}^{-1}$	1,9
11046	$1,5.10^0$	$1,87.10^{-3} \text{ g}^{-0,2} \text{ s}^{-1}$	1,2

Para cada condição hidrodinâmica da flotação das esferas de vidro, numa determinada granulometria, foi estimada a ordem (n) e a constante cinética (k) através do método que apresentou o melhor coeficiente de correlação (r^2). De acordo com as tabelas 5.8 e 5.9 e figura 5.11.

Tabela 5.8. Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 28 + 35#, em diferentes condições hidrodinâmicas, de acordo com os melhores coeficientes de correlação.

Número de Reynolds	Número de Froude	Constante Cinética (k)	Ordem (n)	Coeficiente de Correlação (r^2)
471	3.10^{-3}	$1,01.10^{-1} \text{ g}^{-1,1} \text{ s}^{-1}$	2,1	0,984
2256	$6,57.10^{-2}$	$9,08.10^{-2} \text{ g}^{-0,9} \text{ s}^{-1}$	1,9	0,994
11046	$1,5.10^0$	$1,86.10^{-3} \text{ g s}^{-1}$	0	0,983

Tabela 5.9. Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 48 + 65#, em diferentes condições hidrodinâmicas, de acordo com os melhores coeficientes de correlação.

Número de Reynolds	Número de Froude	Constante Cinética (k)	Ordem (n)	Coefficiente de Correlação (r^2)
471	$2,88.10^{-3}$	$7,69.10^{-2} \text{ g}^{-0,9} \text{ s}^{-1}$	1,9	0,998
7643	$7,5.10^{-1}$	$2,31.10^{-1} \text{ g}^{-0,9} \text{ s}^{-1}$	1,9	0,999
11046	$1,5.10^0$	$1,77.10^{-3} \text{ g s}^{-1}$	0	0,972

Segundo a figura 5.11 e as tabelas 5.8 e 5.9 é possível observar que:

- i. Em condições hidrodinâmicas favoráveis para flotação das esferas de vidro – 28 + 35#, $N_{Re} < 3000$ e $N_{Fr} < 1.10^{-1}$, a ordem é superior a unidade ($n > 1$). No entanto, em região onde a turbulência age contra à preservação do agregado ($N_{Re} > 3000$ e $N_{Fr} > 1.10^{-1}$) e a recuperação começa a diminuir, a ordem é igual a zero, que é bastante prejudicial à flotação.
- ii. Já para esferas de vidro – 48 + 65#, a ordem é maior que a unidade em $N_{Re} < 10000$ e $N_{Fr} < 1$. Para $N_{Re} > 10000$ e $N_{Fr} > 1$, onde o regime está completamente turbulento e age em detrimento à recuperação das esferas, nestas condições a ordem é zero, ou seja, um indicativo de uma situação desfavorável à flotação das esferas.
- iii. Para ambas as esferas, as constantes cinéticas tendem a diminuir quando a flotação ocorre sob forte agitação, reportando que há baixa eficiência de coleta no sistema. Isto ocorre devido a turbulência na polpa ser muito alta e não preservar o agregado até a camada de espuma.

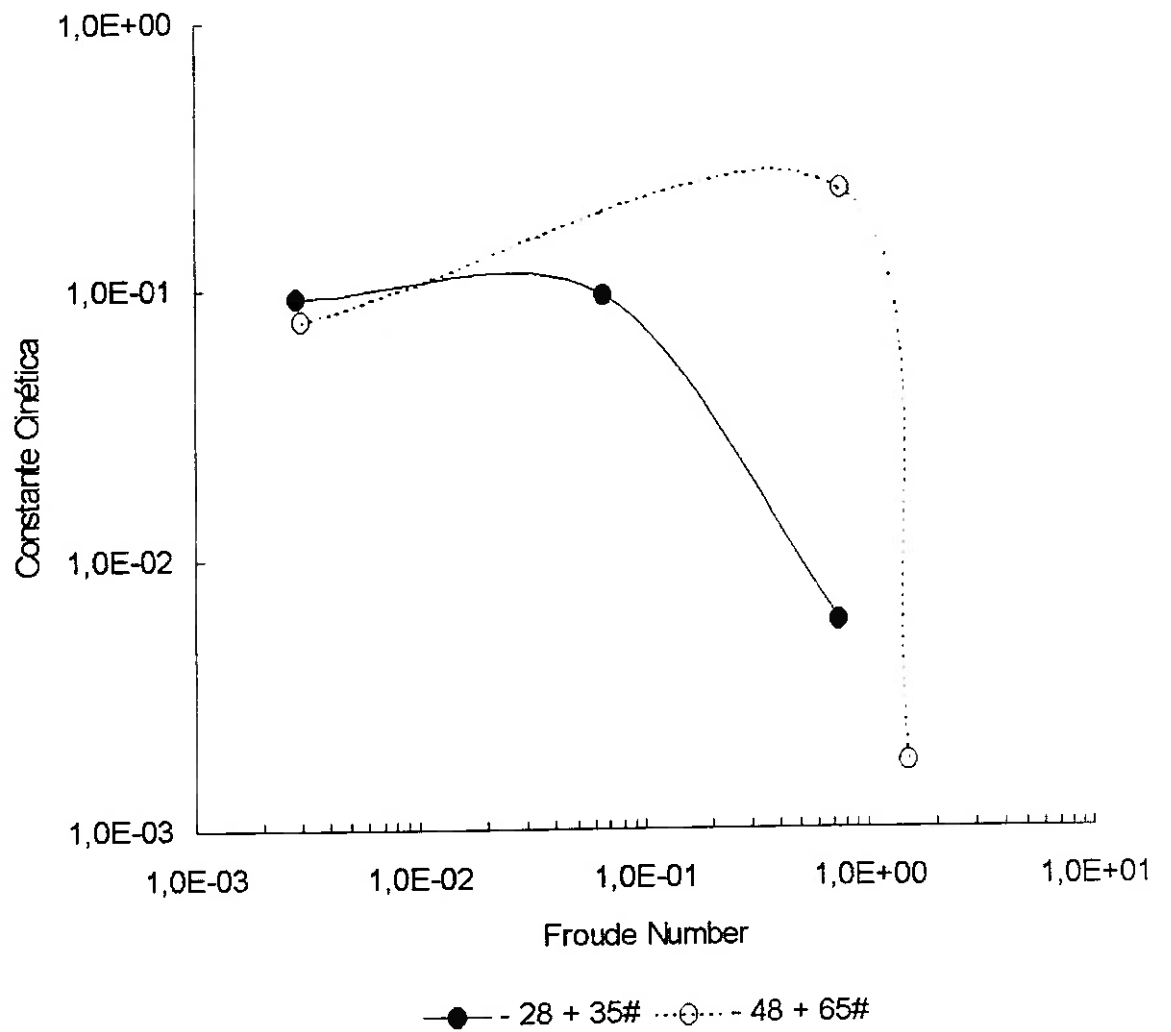


Figura 5.11. Influência do número de Froude na constante cinética de flotação das esferas de vidro.

5.5 – A Eficiência de Colisão das Esferas de Vidro.

Baseado no modelo de Schulze (54), visto na seção 3.7.1, a eficiência de colisão foi estimada para as esferas de vidro – 28 + 35# e – 48 + 65#. Conforme a tabela 5.10.

Tabela 5.10. Eficiência de colisão das esferas de vidro – 28 + 35# e – 48 + 65#.

Eficiências de Colisão	Esferas de vidro (-28+35#)	Esferas de vidro (-48+65#)
Eficiência de colisão ideal (E_{ID})	130,4%	114,7%
Eficiência de colisão, baseada no efeito de intercepção (E_S)	11,8%	5,5%
Eficiência de colisão, baseada no efeito inercial (E_{IN})	53,2%	25%
Eficiência de colisão, baseada no efeito gravitacional (E_G)	36,6%	17,4%
Eficiência de colisão total ($E_{\Sigma C}$)	96,8%	46,7%

De acordo com a tabela 5.10, um dos fatores que interfere diretamente na eficiência de colisão é o diâmetro da partícula. O aumento deste diâmetro propicia um maior número de colisões, já que a partícula passa a ter mais inércia, evitando assim, que elas sejam carregadas pelas linhas de fluxo do líquido e possam colidir com as bolhas.

Com relação às eficiências de adesão e preservação do agregado, não foi possível realizar estudos nestes campos, devido à inviabilidade de medir do ângulo de contato.

6. APLICAÇÃO PRÁTICA DOS RESULTADOS

Com base nos resultados obtidos neste trabalho foi possível melhorar o desempenho de um banco de células de flotação “rougher” da empresa Serrana Fertilizantes Fosfatados S.A. Foram monitorados os bancos de células “rougher” 1 e 4, os quais apresentam seus desempenhos operacionais e seus respectivos número de Froude na tabela 6.1, afim de comparar os teores e recuperações das partículas acima de 65#.

Tabela 6.1. Desempenho comparativo da flotação de partículas + 65# e o número de Froude (N_{Fr}) nos bancos 1 e 4 de células “rougher” do circuito industrial da Serrana Fertilizantes Fosfatados S.A.

Características hidrodinâmicas e desempenho	Banco 1	Banco 4
Diâmetro do rotor das células (m)	0,29	0,29
Rotação (rpm)	350	400
Número de Froude	1,0	1,3
%P ₂ O ₅ na alimentação da flotação “rougher”	8,5 ± 0,8	
% P ₂ O ₅ no rejeito	2,6 ± 0,6	4,8 ± 1,4
Recuperação em massa (%)	18	12
Recuperação de P ₂ O ₅ (%)	75	51

A redução do número de Froude para $N_{Fr} = 1$, diminuiu consideravelmente o teor de P₂O₅ na fração + 65#, como pode ser observado no gráfico 6.1.

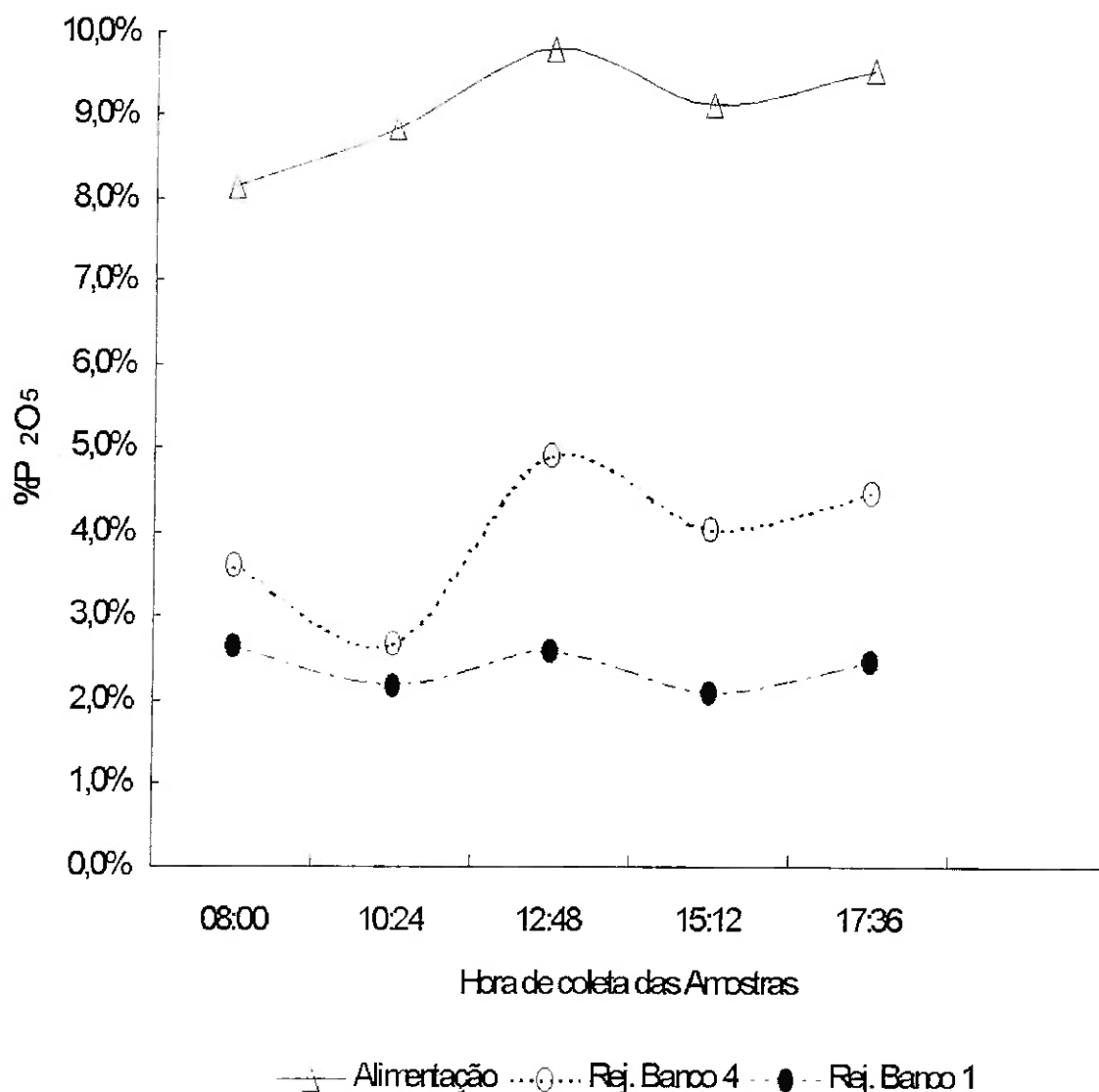


Figura 6.1. Teores de P_2O_5 na fração +65# da flotação “rougher” da Serrana S.A.

Esses resultados práticos obtidos em escala industrial ilustram como os parâmetros hidrodinâmicos podem influenciar na coleta de partículas grossas pelas bolhas e, conseqüentemente, determinar em escala industrial o desempenho do processo.

Um levantamento dos dados operacionais das células mecânicas (“rougher”) em utilização nas principais usinas brasileiras de flotação, realizado por Laurindo de Salles Leal Filho*. Com base neste levantamento, algumas características muito importantes são apresentadas nas tabelas 6.2 e 6.3, onde é possível observar que:

(*) Laurindo de Salles Leal Filho. **Comunicação Pessoal – 04/12/2000.**

- i. Com relação ao número de Reynolds, todas as células operam dentro dos limites reportados na tabela 3.5, exceto na flotação de calamina (Cia. Mineira de Metais) e grafita (Cia. Nacional de Grafite);
- ii. Com relação ao número de Froude, as células que concentram apatita (Serrana), fluorita (N. Sra. Carmo), calamina (Mineira de Metais) e grafita (Cia Nacional de Grafite) operam com $N_{Fr} > 1$; o que significa que as condições hidrodinâmicas da célula favorecem o arraste de partículas finas de ganga para o concentrado, prejudicando o teor do concentrado; além de propiciar a quebra dos agregados que contêm partículas mais grossas, ocasionando consideráveis perdas de recuperação;
- iii. Números de Weber (N_{We}) indicam que as bolhas têm tendência à dispersão e tendem a se distribuir ao longo de todo o volume das células (obviamente nas cotas superiores à sua geração). Desses números também se pode deduzir que a precipitação de bolhas na superfície de partículas hidrofóbicas é improvável;
- iv. As velocidades periféricas de todos os rotores estão dentro dos limites estabelecidos pela tabela 3.4, exceto para a flotação de calamina (Mineira de Metais) e grafita (Cia Nacional de Grafite).
- v. O consumo específico de energia das células está dentro dos limites estabelecidos na tabela 3.4, com exceção à célula de flotação de fluorita. Tal exceção se deve, muito provavelmente, ao ínfimo porte da usina. De fato, de acordo com Harris (39), a potência específica diminui muito com o aumento da escala.

No que diz respeito à aeração das células mecânicas, é importante ressaltar:

- i. Nas células Wemco e Denver Sub-A, o ar é introduzido por efeito da pressão negativa gerada pelo movimento do rotor. Tais células são chamadas sub-aeradas. Quanto maior a rotação do rotor, maior a quantidade de ar introduzida no sistema de flotação;
- ii. Nas células Outokumpu e Galigher, o ar é introduzido através de pressão positiva (ar comprimido). Esse tipo de célula apresenta a vantagem de permitir diminuição da rotação sem prejuízo da aeração.

- iii. O estator é utilizado para inibir o movimento rotacional da polpa na célula e auxiliar na dispersão do ar.

Tabela 6.2. Números hidrodinâmicos de células mecânicas “rougher” de algumas usinas brasileiras de flotação.

Empresa	Minério	Fabricante	Modelo	Números Hidrodinâmicos (*)		
				Reynolds ($\times 10^6$) (**)	Froude	Weber ($\times 10^4$)
Samarco	Ferro	Wemco	144	1,3	0,8	-
Samitri-1		Wemco	144	1,7	0,8	-
Samitri-2		Wemco	144	1,4	0,7	-
CVRD-1		Outokumpu	OK-16	1,4	0,5	-
CVRD-2		Outokumpu	OK-16	1,3	0,5	7,8
CVRD-3		Wemco	144	1,3	0,7	-
Fosfertil	Fosfato	Wemco	120	0,9	0,6	5,8
Copebrás		Wemco	120	1,0	0,8	-
Ultrafertil		Wemco	144	1,3	0,8	-
Serrana		Wemco	66	0,5	1,3	1,9
N Sra do Carmo	Fluorita	Denver	18 SP	0,9	1,6	-
Caraíba	Cobre	Wemco	120	1,2	0,9	-
CBMM	Nióbio	Galligher	-	1,4	0,5	-
Mineira de Metais-1	Zinco Oxidado	Galigher	-	1,0	0,7	-
Mineira de Metais-2		Wemco	120	2,4	2,3	-
Morro Agudo	Zinco sulfetado	Wemco	144	1,3	0,7	-
Morro Agudo	Galena	Wemco	144	1,3	0,7	-
Nacional Grafite(***)	Grafita	CNG	-	0,002	1,1	-

Samitri-1 → Circuito de grossos

Samitri-2 → Circuito convencional

CVRD-1 → Conceição

CVRD-2 → Cauê

CVRD-3 → Timbopeba

Mineira de Metais-1 → Calamina

Mineira de Metais-2 → Willemita

(*) Números hidrodinâmicos relativos ao rotor, calculados de acordo com as expressões apresentadas na tabela 3.3.

(**) A viscosidade foi estimada através da expressão 3.8.

(***) Usina de Salto da Divisa-MG.

Tabela 6.3. Características geométricas e consumo energético de células mecânicas “rougher” de algumas usinas brasileiras de flotação.

Empresa	Minério	Volume (m ³)	Velocidade Periférica (m/s)	Características do Rotor		Potência Específica (kW/m ³)
				Diâmetro	Rotação (rpm)	
Samarco	Ferro	14	7,0	1,3	0,8	3,9
Samitri-1		14	7,6	1,7	0,8	3,9
Samitri-2		14	6,7	1,4	0,7	2,6
CVRD-1		16	6,3	1,4	0,5	2,8
CVRD-2		16	6,3	1,3	0,5	2,8
CVRD-3		14	6,6	1,3	0,7	2,6
Fosfertil	Fosfato	8,4	5,9	0,9	0,6	3,5
Copebrás		8,4	6,6	1,0	0,8	2,6
Ultrafértil		14,0	7,0	1,3	0,8	2,6
Serrana		1,7	6,1	0,5	1,3	4,3
N Sra do Carmo	Fluorita	0,7	8,0	0,9	1,6	7,9
Caraíba	Cobre	8,4	7,1	1,2	0,9	-
CBMM	Nióbio	8,4	6,3	1,4	0,5	2,6
Mineira de Metais-1	Zinco Oxidado	1,4	5,9	1,0	0,7	3,9
Mineira de Metais-2		8,4	11,9	2,4	2,3	3,5
Morro Agudo	Zinco sulfetado	14	6,7	1,3	0,7	2,1
Morro Agudo	Galena	14	6,7	1,3	0,7	2,1
Nacional Grafite	Grafita	0,04	9,1	0,002	1,1	n.d.

Samitri-1 → Circuito de grossos

Samitri-2 → Circuito convencional

CVRD-1 → Conceição

CVRD-2 → Cauê

CVRD-3 → Timbopeba

Mineira de Metais-1 → Calamina

Mineira de Metais-2 → Willemita

7. CONCLUSÕES

Dentro do universo deste estudo é possível concluir:

- i. A recuperação da microflotação em tubo de Hallimond de esferas de vidro grossas (- 28 + 35# e - 48 + 65#) e partículas de quartzo (- 48 + 65#) com acetato de éter - amina (75 mg/L), em pH = 10, foi altamente influenciada pelas condições hidrodinâmicas, sob as quais os ensaios foram realizados.
- ii. Uma região de máxima recuperação das partículas foi observada em $3000 < N_{Re} < 8000$; $0,1 < N_{Fr} < 1,0$; $10 < N_{We} < 100$; $5 \cdot 10^{-3} < N_Q < 4 \cdot 10^{-2}$ e $0,6 < N_{Po} < 0,8$. No entanto, para condições mais “tranquilas” ($N_{Re} < 3000$ e $N_{Fr} < 0,1$) ou mais turbulentas ($N_{Re} > 8000$ e $N_{Fr} < 1,0$), a recuperação decresce intensamente. Uma tendência similar foi observada para o número de potência e número de Weber.
- iii. Pela observação visual foi possível reportar que sob condições hidrodinâmicas mais tranquilas ($N_{Re} < 3000$ e $N_{Fr} < 0,1$), o impelidor não foi capaz de manter as partículas (esferas de vidro ou quartzo) em suspensão e promover o maior número possível de colisões partícula/bolha. Por outro lado, sob condições mais turbulentas ($N_{Re} > 10000$, $N_{Fr} > 1,0$ e $N_{Po} < 0,52$), ocorre o rompimento do agregado partícula/bolha.
- iv. A eficiência de colisão cresce com em função do aumento do diâmetro da partícula.
- v. Com relação a cinética de flotação, as esferas de vidro (com granulometria - 28 + 35# e - 48 + 65#), em condições hidrodinâmicas ótimas para sua coleta apresentaram ordem superior a unidade ($n \cong 1,9$), indicando que elas possuem cinética muito mais lentas que as partículas finas, as quais de acordo com a literatura em geral (7) (9) (53) são de primeira ordem. Tamanha lentidão, certamente, se deve à dificuldade de preservar o agregado partícula/bolha frente à turbulência criada pelo rotor da célula, uma vez que estas partículas

- mais grossas apresentam maior probabilidade de colisão.
- vi. Quando a turbulência na célula de flotação é intensa o suficiente para interferir na recuperação de partículas grossas, devido ao rompimento do agregado partícula/bolha, a cinética é de ordem zero. Deste modo, a recuperação independe da concentração dos minerais hidrofóbicos na polpa, podendo a cinética estar sendo controlada somente pela aeração (concentração de bolhas), fato bastante prejudicial à flotação, como foi indicado pelo baixo valor de sua constante cinética ($k < 0,01$).
 - vii. Nas condições hidrodinâmicas que ocorrem as máximas recuperações das esferas de vidro a constante cinética (k) é relativamente alta ($k \cong 1.10^{-1}$), em relação aos outros valores, indicando que há uma boa eficiência de coleta, conseqüentemente, excelente recuperação.
 - viii. O número de Froude se mostrou um excelente indicativo do nível da turbulência adequado para flotação de grossos nas células mecânicas. Por exemplo, a Serrana Fertilizantes S.A. que opera com seu “rougher” com $N_{Fr} = 1,3$, tem sérios problemas na recuperação de partículas grossas nesta etapa de flotação, como foi visto na amostragem. A redução para $N_{Fr}=1$ de um banco resultou num aumento de 24% na recuperação de P_2O_5 na fração + 65#, sem que houvesse o “aterramento” das células.
 - ix. A grande maioria das usinas brasileiras trabalham em $N_{Fr} < 1$, evidenciando a importância deste parâmetro hidrodinâmico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Recuperação versus diâmetro (\varnothing) de partículas	3
Figura 3.1.	Mecanismo de um escoamento com e sem perturbação de partícula suspensa	6
Figura 3.2	Tensão cisalhante causada pelo movimento dos rotores	9
Figura 3.3	Escoamento de um fluido em torno de um corpo submerso	16
Figura 3.4	Coefficiente de arraste versus número de Reynolds para partículas de diferentes esfericidade	19
Figura 3.5	Forças que atuam em uma partícula em movimento através do fluido	20
Figura 3.6	$C_D Re_p^2$ e $C_D/Re_p \times Re_p$	23
Figura 3.7	Esquema de uma célula de flotação	27
Figura 3.8	Número de Potência em função do número de Reynolds para diversas geometrias do rotor	29
Figura 3.9	Diagrama dos domínios hidrodinâmico	33
Figura 3.10	Conjunto de variáveis da flotação	34
Figura 3.11	Zonas que atuam no processo de captura de partículas pela bolha	43
Figura 3.12	Representação esquemática da colisão de uma partícula com uma bolha	46
Figura 3.13	Mecanismo de ruptura de uma partícula da bolha num redemoinho turbulento. (a) A bolha rodando em torno de seu centro. (b) Forças agindo na partícula	56
Figura 3.14	A distribuição do tempo de residência para um número de misturadores perfeitos em série	63

Figura 3.15	A distribuição do tempo de residência para um número de misturadores perfeitos em série, quando o tempo de residência total (médio) permanece constante	63
Figura 4.1	Concentração micelar crítica do acetato de éter amina (Flotigan EDA – B)	69
Figura 4.2	Tubo de Hallimond utilizado nos ensaios de microflotação, com agitador magnético	71
Figura 4.3	Tubo de Hallimond com agitador mecânico	72
Figura 4.4	Tensiômetro utilizado nas medições de tensão superficial	77
Figura 5.1	Determinação da melhor concentração de coletor para maior recuperação das esferas de vidro e quartzo	82
Figura 5.2	Recuperação de esferas de vidro e quartzo (ambos – 48 + 65#) versus número de Reynolds.	84
Figura 5.3	Recuperação de esferas de vidro e quartzo (ambos – 48 + 65#) versus número de Froude.	85
Figura 5.4	Recuperação das esferas de vidro – 28 + 35# e – 48 + 65# versus número de Froude	87
Figura 5.5	Recuperação das esferas de vidro – 28 + 35# e – 48 + 65# versus número de Reynolds	88
Figura 5.6	Recuperação das esferas de vidro – 28 + 35# e – 48 + 65# e quartzo versus número de Weber	91
Figura 5.7	Número de fluxo de gás versus recuperação das esferas de vidro	92
Figura 5.8	Recuperação das esferas de vidro (– 28 + 35# e – 48 + 65#) versus número de Potência.	93
Figura 5.9	Número de Reynolds versus número de Potência para o tubo de Hallimond com rotor cilíndrico	94

- Figura 5.10 Número de Froude versus número de Reynolds e a distribuição dos domínios das forças e turbulência na flotação em tubo de Hallimond 96
- Figura 5.11 Influência do número de Froude na constante cinética de flotação das esferas de vidro 101
- Figura 6.1 Teores de P_2O_5 na fração +65# da flotação “rougher” da Serrana S.A 104

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1.	Características de fluidos não - newtonianos	8
Tabela 3.2	Número de Reynolds aplicado à diferentes sistemas	17
Tabela 3.3	Números hidrodinâmicos utilizados na flotação	32
Tabela 3.4	Características de projeto de máquinas de flotação	36
Tabela 3.5	Valores números adimensionais em máquinas de flotação	37
Tabela 3.6	Artigos de grande relevância no estudo das sub-etapas fundamentais de flotação	44
Tabela 3.7	Valores de a e b em função do número de Reynolds da bolha (interpolados com base nos valores de Schuch e Löffler)	50
Tabela 3.8	Ângulo de contato para conservar discos de galena (diâmetro = espessura) de várias granulometrias contra gravidade e força centrífuga 100 vezes maior que a gravidade	55
Tabela 3.9	Ordem da reação em função dos tempos necessários para se atingir uma determinada recuperação	60
Tabela 4.1	Série dos ensaios de microflotação	73
Tabela 4.2	Rotores e seus respectivos diâmetros	73
Tabela 4.3	Rotações do agitador magnético da Fisatom, modelo 755	74
Tabela 4.4	Rotações do agitador magnético da Corning, modelo PC – 420	74

Tabela 4.5	Rotações do agitador mecânico da Coli Pramer, modelo 4554-10	75
Tabela 5.1	Características da polpa de flotação	80
Tabela 5.2	Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 28 + 35#, obtidas pelo método gráfico, em diferentes condições hidrodinâmicas	98
Tabela 5.3	Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 48 + 65#, obtidas pelo método da equações integradas, em diferentes condições hidrodinâmicas	98
Tabela 5.4	Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 28 + 35#, obtidas pelo método da razão dos tempos, em diferentes condições hidrodinâmicas	98
Tabela 5.5	Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 48 + 65#, obtidas pelo método da razão dos tempos, em diferentes condições hidrodinâmicas	98
Tabela 5.6	Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 28 + 35#, obtidas pelo método do tempo fracionário, em diferentes condições hidrodinâmicas	99
Tabela 5.7	Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 48 + 65#, obtidas pelo método do tempo fracionário, em diferentes condições hidrodinâmicas	99
Tabela 5.8	Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 28 + 35#, em diferentes condições hidrodinâmicas, de acordo com os melhores coeficientes de correlação	99

Tabela 5.9	Constante cinética e ordem de flotação das esferas de vidro – 48 + 65#, em diferentes condições hidrodinâmicas, de acordo com os melhores coeficientes de correlação	100
Tabela 5.10	Eficiência de colisão das esferas de vidro – 28 + 35# e – 48 + 65#	102
Tabela 6.1	Desempenho comparativo da flotação de partículas + 65# e o número de Froude (N_{Fr}) nos bancos 1 e 4 de células “rougher” do circuito industrial da Serrana Fertilizantes Fosfatados S.A.	103
Tabela 6.2	Números hidrodinâmicos de células mecânicas “rougher” de algumas usinas brasileiras de flotação	106
Tabela 6.3	Características geométricas e consumo energético de células mecânicas “rougher” de algumas usinas brasileiras de flotação	107

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. TAGGART, A.F.; DEL GIUDICE, G.R.M.; ZIEHL, O.A. The case for the chemical theory of flotation. **Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers**, v. 112, p. 348 – 81, 1935.
2. GAUDIN, A.M.; FUERSTENAU, D.W. Hemi-Micelle formation and flotation response. **Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers**, v.202, p. 958, 1955.
3. SOMASUNDARAN, P. The role of ionomolecular surfactant complexes in flotation. **International Journal of Mineral Processing**, v.3, n. 1, p.35 - 40, 1976.
4. SOMASUNDARAN, P. et al. Flotation mechanism based on ionomolecular complexes. **XII International Mineral Processing Congress, preprint Iron. Volume II**, São Paulo, 1977.
5. GAUDIN, A.M. **Flotation**. New York, Mc Graw-Hill, 1932, p, 358 – 85.
6. ARBITER, N.; HARRIS, C.C. Flotation Machines. **Froth Flotation**, New York, Fuerstenau, D. W., ed., AIME, 1962, 677 p.
7. SCHULZE, H.J. **Physico-chemical Elementary Processes in Flotation: An Analysis from the Point of View of Colloid Science including Process Engineering Considerations**, Amsterdam, Elsevier, 1984, 348 p.
8. RALSTON, J.; FORNASIERO, D.; HAYES, R. Bubble-particle attachment and detachment in flotation. **International Journal of Mineral Processing**, v.56, n.1 - 4, p. 133 - 64, 1999.

9. FINCH, J.A.; DOBBY, G.S. **Column flotation**, Oxford, Pergamon Press, 1990, 180 p.
10. DENVER SALA, **Selection guide for process equipment**, S. L., 1995, (Catálogo)
11. GÜVEN, N.; POLLASTRO, R. M., eds. **Clay - water interface and its rheological implications**. Boulder, The Clay Minerals Society, 1992, p. 82 – 120: Rheological aspect of aqueous smectite suspensions. (Cms Workshop Lectures, v.4).
12. SISSOM, L.E.; PITTS, D.R. **Fenômenos de transporte**. Trad. de Adir M. Luiz, Rio de Janeiro, Editora Guanabara. 1988, 765 p.
13. FOUST, A.S. et al. **Princípios das operações unitárias**. Trad. de Horacio Macedo, 2. ed. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois, 1982, 670 p.
14. PERRY, R. H.; GREEN, D. W. **Perry's chemical engineers' handbook**, Sidney. McGraw Hill Editors. 7. ed. 1997, (várias paginações) p.
15. BROWN, G.M. et al. **Unit operations**, New York, John Wiley & Sons, 1950, 611 p.
16. GILES, R.V. **Mecânica dos fluidos e hidráulica**. Trad. de Sérgio dos Santos Borde, São Paulo, Editora McGraw-Hill do Brasil. 1977, 401 p. (Coleção Schaum).
17. BARNES, H.A.; HUTTON, J.F.; WALTERS, K. **An introduction to rheology**, New York, Elsevier, 1989, 199 p. (Rheology series, v.3).
18. THOMAS, D.G. Transport characteristics of suspensions: VIII. A note on the viscosity newtonian suspensions of uniform spherical particles. **Journal of Colloid Science**. n. 20, p.267 - 77, 1965.

19. WHITEN, W.; STEFFENS, P.; HITCHINS, J. An examination of pulp viscosity in tubes at higher shear rates. **Minerals Engineering**, v. 6, n. 4, p-397-404, 1993.
20. ROSCOE, R. The viscosity of suspensions of rigid spheres. **British Journal of Applied Physics** n. 3, p.267 - 69, 1952.
21. DICKEY, D.S.; FENIC, J.C. Dimensional analysis for fluid agitation systems. **Chemical Engineering**, v 83, n. 1, p. 139 – 45, 1976.
22. KELLY, E.G.; SPOTTISWOOD, D.J. **Introduction to mineral processing**. New York, John Wiley & Sons, 1982, 491 p.
23. GAUDIN, A.M. **Principles of mineral dressing**, New Delhi, Tata McGraw-Hill Publishing Company. 1975, 554 p.
24. MOLERUS, O. **Principles of flow in disperse systems**, London, Chapman & Hall, 1993, 299 p.
25. GUIMARÃES, R.C. **Separação de barita em minério fosfático através de flotação em coluna**, Araxá, 1995. 271p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
26. OLIVEIRA JUNIOR, I. **Agitação de suspensões sólido-líquido: estudo da velocidade completa de suspensão e da potência consumida pelo meio a partir de técnicas derivadas do projeto de experimentos**, São Paulo, 1990. 203p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
27. UHL, V. W.; GRAY, J. B. **Mixing theory and practice**, New York, Academic Press Inc., 1966, v.1.
28. RUSHTON, J. H.; COSTICH, E. W.; EVERETT, H. J. Power characteristics of mixing impellers. Part I. **Chemical Engineering Progress**, v. 46, n. 8, p. 395 – 404, 1950.

29. RUSHTON, J. H.; COSTICH, E. W.; EVERETT, H. J. Power characteristics of mixing impellers. Part II. **Chemical Engineering Progress**, v. 46, n. 9, p. 467 – 76, 1950.
30. NAGATA, S. **Mixing: principles and applications**, New York, John Wiley & Sons, 1975, 458 p.
31. LEJA, J. **Surface chemistry of froth flotation**, New York, Plenum Press, 1982, 758 p.
32. EDZWALD, J.K. Principles and applications of dissolved air flotation. **Water Science and Technology**, v. 31, n 3 - 4, p. 1 – 23, 1995.
33. WILLIAMS, J.K.; DAWE R. A. Gravity effects in near – critical fluids in porous media. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 124, n. 2, p. 639 – 45. 1988.
34. WEISS, N. L. **SME mineral processing handbook**, New York, Society of Mining Engineers, 1985. v. 1 (várias paginações).
- 35 HARRIS, C. C. Flotation machines. In: FUERSTENAU, M. C., ed. **Flotation: A. M. Gaudin Memorial Volume**, New York, AIME, 1976, v. 2.
36. POLING, G. W. Selection and sizing of flotation machines. In: **Mineral processing plant design**, 2. ed. New York, SME, 1980, 946 p.
37. SCHUBERT, H.; BISCHOFBERGER, C. On The Hydrodynamics of Flotation Machines. **International Journal of Mineral Processing**, v. 5, n. 2, p. 131 – 42, 1978.
38. CHAVES, A. P.; LEAL FILHO, L. S. Flotação. Em: LUZ, A.B.; POSSA, M.V.; ALMEIDA, S. L., ed. **Tratamento de Minérios**, 2. ed, Rio de Janeiro. CETEM, 1998, 676 p.

39. HARRIS, C. C. Flotation machine design, scale up and performance: Data Base. **Advances in Mineral Processing**, Nato Series, Cap. 37, 1987.
40. FALLENIUS, K. Turbulence in flotation cells. **International Journal of Mineral Processing**, v. 21, n. 1/2, p. 1 - 23, 1987.
41. SCHUBERT, H. On the turbulence – controlled microprocesses in flotation machines. **International Journal of Mineral Processing**, v. 56, n. 1 – 4, p. 257 – 76, 1999.
42. DOBBY, G. S.; YANATOS J. B.; FINCH, J.A. Estimation of bubble diameter in flotation columns from drift flux analysis. **Canadian Metallurgical Quarterly**, v. 27, n. 2, p. 85 – 90, 1988.
43. XU, M.; FINCH, J. A. Bubble diameter estimation in a mechanically agitated flotation cell. **Minerals and Metallurgical Processing**, v. 5, n. 1, p. 43 – 4, 1988.
44. DRZYMALA, J. Characterization of materials by Hallimond Tube Flotation. Part 1: maximum size of entrained particles. **International Journal of Mineral Processing**, v. 42, n. 3 - 4, p. 139 – 52, 1994.
45. ITYOKUMBUL, M. T.; SALAMA, A. I. A.; TAWHEEL, A. M. A. Estimation of bubble size in flotation columns. **Minerals Engineering**, v. 8, n. 1/2, p. 77 – 89, 1995.
46. YOON, R. H. The role of hydrodynamic and surface forces in bubble – particle interaction. **International Journal of Mineral Processing**, v. 58, n. 1 – 4, p. 129 – 43, 2000.
47. SCHULZE, H. J. et al. Investigations of the collision process between particles and gas bubbles in flotation – a theoretical analysis. **International Journal of Mineral Processing**, v. 27, n. 3/4, p. 263 – 78, 1989.

48. DARCOVICH, K. A hydrodynamic simulation of mineral flotation. Part I: the numerical model. **Power Technology**, v. 83, n. 3, p. 211 – 24, 1995.
49. RALSTON, J.; DUKHIN, S. S.; MISHCHUK, N. A. Inertial hydrodynamic particle – bubble interaction in flotation. **International Journal of Mineral Processing**, v. 56, n. 1 – 4, p. 207 – 56, 1999.
50. FUERSTENAU, M. C. Flotation of fine particles. In: King, R. P., ed. **Principles of Flotation**, Johannesburg, South African Institute of Mining and Metallurgy, 1982, 268 p.
51. JORDAN, C. E.; SPEARS, D. R. Evaluation of a turbulent flow model for fine bubble and fine particle flotation. In: SME ANNUAL MEETING, Las Vegas, 1989. **Proceedings**. New York, SME, 1989. p. 89 – 172.
52. SCHULZE, H. J. New theoretical and experimental investigations on stability of bubble/particle aggregates in flotation: a theory on the upper particle size of floatability. **International Journal of Mineral Processing**, v. 4, n. 3, p. 241 – 59, 1977.
53. JOWETT, A. Formation and disruption of particle-bubble aggregates in flotation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FINE PARTICLES, Las Vegas, 1980. **Fine particles processing: proceedings** New York, AIME, 1980, p 720 – 54.
54. SCHULZE, H. J. Hydrodynamics of bubble – mineral particle collisions. **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, v. 5, p. 43 – 76, 1989.
55. AHMED, N.; JAMESON, G. J. Flotation kinetics. **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, v. 5, p. 77 – 99, 1989.

56. SUTHERLAND, K. L. Physical chemistry of flotation. 11. Kinetics of the flotation process. **Journal Physical and Colloid Chemistry**, v. 52, n. 2, p. 394 – 425, 1948.
57. YOON, R.H.; LUTTRELL, G. H. The effect of bubble size on fine particle flotation. **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, v. 5, p. 101 – 22, 1989.
58. DOBBY, G. S.; FINCH, J.A. Particle size dependence in flotation derived from a fundamental model of the capture process. **International Journal of Mineral Processing**, v. 21, n. 1/2, p. 241 – 60, 1987.
59. FINCH, J.A.; SMITH, G. W. Bubble – solid attachment as a function of bubble surface tension. **Canadian Metallurgical Quarterly**. v. 14, n. 1, p. 47 – 51, 1975.
60. RALSTON, J.; CRAWFORD, R. The influence of particle size and contact angle in mineral flotation. **International Journal of Mineral Processing**, v. 23, n. 1/2, p. 1 – 24, 1988.
61. MORRIS, T. M. Measurement and evaluation of the rate of flotation as a function of particle size. **Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers**, v. 193, n. 8, p. 794 - 98, 1952.
62. MIKA, T. S.; FUERSTENAU D. W. A microscopic model of the flotation process. In: **International Mineral Processing Congress, 8., Mekhanbor, 1968. Proceeding**, S. L., s. ed, 1968, v. 2.
63. SCHULZE, H. J. Dimensionless number and approximate calculation of the upper particle size of flotability in flotation machines. **International Journal of Mineral Processing**, v. 9, n. 4, p. 321 – 28, 1982.

64. LINS, F. F.; ADAMIAN, R. **Influência da aeração e agitação na flotação partículas de ouro e considerações sobre o tamanho máximo de flotação.** *Metalurgia – ABM*, v. 45, n. 382, p 898 – 906, 1989.
65. WOODBURN, E. T.; KING, R. P.; COLBORN, R. P. **The effect of particle size distribution and the performance of the a phosphate flotation process.** *Mettalurgical Transactions*, v. 2, n. 11, p. 3163 – 74, 1971
66. LEVENSPIEL, O. **Engenharia das reações químicas**, Trad. de Sérgio Fuchs Calil. São Paulo, Edgard Blücher, 1974, v. 1.
67. FOGLER, H. S. **Elements of chemical reaction engineering**, 3. ed., Upper Saddle River, 3. ed, Prentice - Hall, 1999, 967 p.
68. CONNORS, K. A. **Chemical kinetics the study of reaction rates in solution**, S. L., VCH Publishers, 1990, 469 p.
69. VATCHA, S. R. **Directly determine reaction order.** *Chemical Engineering*, v. 94, n. 2, p. 195 – 96, 1987.
70. ZETA - METER, INC. **Everything you want to know about coagulation & flocculation**, 4. ed., S. L., 1993, p 33 - 6.
71. LANDO, J. L.; OAKLEY, H. T. **Tabulated correction factors for the drop - weight - volume determination of surface and interfacial tensions.** *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 25, n. 4, p. 526 - 30, 1967.
72. PADDAY, J. F. **Surface tension. Part II. the measurement of surface tension.** *Surface and Colloid Science*, v. 1, p. 101 - 49, 1969.
73. JAYCOCK, M. J.; PARFITT, G. D. **Chemistry of Interfaces**, New York, Ellis Horwood Limited, 1981, 279 p. (Ellis Horwood Series in Physical Chemistry).

ANEXO A

ENSAIOS DE MICROFLOTAÇÃO

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
1	19/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,51	0,34	0,85	40%	17
2	19/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,37	0,46	0,83	55%	17
3	20/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,32	0,5	0,82	61%	17
4	20/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,28	0,59	0,87	68%	17
5	20/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	15	60	0,64	0,16	0,8	20%	17
6	20/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	15	60	0,48	0,19	0,67	28%	17
7	24/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,39	0,4	0,79	51%	18
8	24/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,32	0,5	0,82	61%	18
9	24/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,13	0,72	0,85	85%	18
10	24/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,13	0,69	0,82	84%	18
11	25/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,42	0,49	0,91	54%	19
12	25/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,35	0,53	0,88	60%	19
13	25/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,45	0,44	0,89	49%	19
14	25/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,27	0,61	0,88	69%	19
15	25/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,48	0,38	0,86	44%	19
16	25/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,2	0,68	0,86	77%	19
17	25/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,46	0,45	0,91	49%	19
18	25/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,32	0,68	1	68%	19
19	25/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	270	60	0,28	0,71	0,99	72%	19
20	25/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	270	60	0,36	0,49	0,85	58%	19
21	25/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	300	60	0,53	0,33	0,86	38%	19
22	25/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	300	60	0,49	0,41	0,9	46%	19
23	26/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,49	0,5	0,99	51%	21
24	26/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,4	0,56	0,96	58%	21
25	26/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,15	0,82	0,97	85%	21
26	26/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,24	0,74	0,98	76%	20,5
27	26/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,27	0,67	0,94	71%	20,5
28	26/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,26	0,65	0,91	71%	20,5
29	26/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,19	0,73	0,92	79%	20,5
30	26/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,25	0,7	0,95	74%	20,5
31	26/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,47	0,49	0,96	51%	20
32	26/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,4	0,6	1	60%	20
33	26/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,35	0,63	0,98	64%	20
34	26/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,33	0,65	0,98	66%	20
35	26/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,44	0,55	0,99	56%	20
36	26/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,48	0,52	1	52%	20
37	26/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,26	0,61	0,87	70%	20
38	26/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,3	0,59	0,88	66%	21
39	26/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,37	0,53	0,9	59%	21
40	26/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,37	0,52	0,89	58%	21
41	26/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,36	0,58	0,94	62%	21
42	26/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,33	0,66	0,99	67%	21
43	30/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,56	0,43	0,99	43%	23
44	30/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,27	0,75	1,02	74%	22,5
45	30/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,35	0,63	0,98	64%	22,5
46	30/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,38	0,62	1	62%	23
47	30/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,4	0,6	1	60%	23
48	30/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,51	0,45	0,96	47%	23
49	30/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,33	0,67	1	67%	23
50	30/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,29	0,7	0,99	71%	22,5
51	30/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,71	0,29	1	29%	22,5
52	30/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,78	0,21	0,99	21%	22,5
53	30/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,03	0,97	1	97%	22,5
54	30/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,92	0,08	1	8%	22
55	31/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,93	0,03	0,96	3%	21,5
56	31/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,83	0,16	0,99	16%	22
57	31/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,89	0,11	1	11%	22
58	31/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,87	0,12	0,99	12%	22
59	31/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	15	60	0,3	0,68	0,98	69%	22
60	31/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	15	60	0,18	0,82	1	82%	21,5
61	31/08/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,25	0,73	0,98	74%	21,5
62	31/08/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,23	0,77	1	77%	21,5
63	01/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,34	0,66	1	66%	21
64	01/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,16	0,81	0,97	84%	21
65	01/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,29	0,71	1	71%	21
66	01/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,38	0,56	0,94	60%	21
67	01/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,32	0,67	0,99	69%	21
68	01/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,29	0,71	1	71%	21
69	01/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,41	0,59	1	59%	21
70	01/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,42	0,57	0,99	58%	21
71	01/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,36	0,64	1	64%	21
72	01/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,99	0,01	1	1%	21
73	01/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,31	0,67	0,98	68%	21
74	01/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,5	0,48	0,98	49%	21
75	01/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,54	0,42	0,96	44%	21
76	01/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,35	0,64	0,99	65%	21
77	01/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,59	0,39	0,98	40%	21
78	02/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	15	60	0,29	0,69	0,98	70%	21
79	02/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	15	60	0,39	0,6	0,99	61%	21
80	02/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,33	0,65	0,98	66%	21

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
81	02/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,33	0,66	0,99	67%	21
82	02/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	15	60	0,44	0,55	0,99	56%	23,5
83	13/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	15	60	0,63	0,37	1	37%	20
84	13/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	15	60	0,74	0,23	0,97	24%	20
85	13/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	15	60	0,72	0,28	1	28%	20
86	13/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,63	0,37	1	37%	20
87	13/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,63	0,36	0,99	36%	20
88	13/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,58	0,42	1	42%	20
89	13/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,51	0,49	1	49%	20
90	13/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,35	0,64	0,99	65%	20
91	13/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,47	0,53	1	53%	20
92	13/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,53	0,44	0,97	45%	20
93	13/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,25	0,73	0,98	74%	20
94	14/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,46	0,54	1	54%	20
95	14/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,39	0,61	1	61%	20
96	14/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,63	0,37	1	37%	20
97	14/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,51	0,49	1	49%	20
98	14/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,77	0,21	0,98	21%	20
99	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,98	0,01	0,99	1%	21
100	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,99	0,01	1	1%	21
101	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	1	0	1	0%	21
102	15/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,99	0,01	1	1%	20
103	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,66	0,33	0,99	33%	20
104	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,63	0,36	0,99	36%	20
105	15/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,48	0,49	0,97	51%	20
106	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,46	0,53	0,99	54%	20
107	15/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,29	0,7	0,99	71%	20
108	15/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,3	0,67	0,97	69%	20
109	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,54	0,45	0,99	45%	20
110	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,62	0,37	0,99	37%	20
111	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,5	0,5	1	50%	20
112	15/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,37	0,6	0,97	62%	20
113	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,7	0,28	0,98	29%	21
114	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,62	0,37	0,99	37%	21
115	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,76	0,23	0,99	23%	21
116	15/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,56	0,43	0,99	43%	21
117	15/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,36	0,63	0,99	64%	21
118	15/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,43	0,56	0,99	57%	20
119	15/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,85	0,14	0,99	14%	21
120	15/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,95	0,04	0,99	4%	21
121	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,97	0,01	0,98	1%	18
122	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,95	0,03	0,98	3%	18
123	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,53	0,47	1	47%	18
124	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,41	0,59	1	59%	18
125	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,42	0,55	0,97	57%	18
126	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,58	0,42	1	42%	18
127	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,58	0,41	0,99	41%	18
128	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,47	0,53	1	53%	18
129	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,59	0,4	0,99	40%	18
130	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,6	0,39	0,99	39%	18
131	17/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,29	0,71	1	71%	18
132	17/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,2	0,78	0,98	80%	18
133	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,57	0,42	0,99	42%	18
134	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,53	0,47	1	47%	18
135	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,5	0,5	1	50%	18
136	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,62	0,37	0,99	37%	18
137	17/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,3	0,7	1	70%	18
138	17/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	150	60	0,29	0,67	0,96	70%	18
139	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,66	0,33	0,99	33%	18
140	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,69	0,31	1	31%	18
141	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,64	0,36	1	36%	18
142	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,49	0,51	1	51%	18,5
143	17/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,42	0,58	1	58%	18,5
144	17/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,37	0,63	1	63%	18,5
145	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,53	0,46	0,99	46%	19
146	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,52	0,47	0,99	47%	19
147	17/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,46	0,53	0,99	54%	19
148	17/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,36	0,62	0,98	63%	19
149	17/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	90	60	0,59	4	4,59	87%	18
150	17/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,33	0,67	1	67%	18
151	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,6	0,37	0,97	38%	21
152	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,58	0,4	0,98	41%	21
153	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,74	0,06	0,8	8%	21
154	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,63	0,37	1	37%	21
155	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,45	0,55	1	55%	21
156	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	60	60	0,58	0,41	0,99	41%	21
157	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,62	0,37	0,99	37%	21
158	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,64	0,34	0,98	35%	21
159	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,57	0,41	0,98	42%	21
160	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,8	0,19	0,99	19%	20,5

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
161	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	240	60	0,74	0,26	1	26%	20,5
162	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,63	0,36	0,99	36%	21
163	22/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	180	60	0,66	0,32	0,98	33%	20,5
164	23/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,92	0,07	0,99	7%	19
165	23/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	0,98	0,01	0,99	1%	19
166	23/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	0	60	1	0	1	0%	19
167	23/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,52	0,48	1	48%	19
168	23/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,58	0,42	1	42%	19
169	23/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	30	60	0,48	0,5	0,98	51%	19
170	23/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,29	0,71	1	71%	19
171	23/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,4	0,56	0,96	58%	19
172	23/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	120	60	0,37	0,63	1	63%	19
173	23/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,53	0,47	1	47%	19
174	23/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,56	0,44	1	44%	19
175	23/09/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,65	0,35	1	35%	19
176	23/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,42	0,58	1	58%	19
177	23/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,41	0,58	0,99	59%	19
178	23/09/99	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	210	60	0,17	0,82	0,99	83%	19
179	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	0	60	0,99	0,01	1	1%	20
180	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	0	60	1	0	1	0%	20
181	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	0	60	0,99	0,01	1	1%	20
182	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	0	60	0,99	0,01	1	1%	20
183	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	0	60	0,99	0,01	1	1%	20
184	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	0	60	0,98	0,01	0,99	1%	20
185	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,7	0,3	1	30%	20
186	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,74	0,26	1	26%	20
187	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,85	0,14	0,99	14%	20,5
188	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,53	0,45	0,98	46%	21
189	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,58	0,41	0,99	41%	21
190	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,6	0,39	0,99	39%	21
191	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	60	60	0,7	0,3	1	30%	23
192	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	60	60	0,64	0,36	1	36%	22,5
193	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	60	60	0,66	0,33	0,99	33%	23
194	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	60	60	0,4	0,6	1	60%	22
195	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	60	60	0,34	0,66	1	66%	22,5
196	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	60	60	0,41	0,57	0,98	58%	22,5
197	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,53	0,46	0,99	46%	23
198	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,61	0,38	0,99	38%	23
199	27/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,65	0,34	0,99	34%	23
200	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,34	0,64	0,98	65%	23,5
201	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,37	0,62	0,99	63%	23
202	27/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,39	0,6	0,99	61%	23
203	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	120	60	0,65	0,34	0,99	34%	22
204	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	120	60	0,57	0,43	1	43%	22
205	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	120	60	0,61	0,38	0,99	38%	22
206	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	120	60	0,37	0,62	0,99	63%	22
207	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	120	60	0,35	0,64	0,99	65%	22
208	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	120	60	0,23	0,77	1	77%	22
209	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,61	0,39	1	39%	22,5
210	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,64	0,36	1	36%	23
211	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,82	0,16	0,98	16%	23
212	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,51	0,49	1	49%	23
213	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,38	0,62	1	62%	23
214	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,41	0,58	0,99	59%	23
215	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,62	0,36	0,98	37%	23
216	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,64	0,35	0,99	35%	23,5
217	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,67	0,33	1	33%	23
218	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,34	0,66	1	66%	23
219	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,47	0,52	0,99	53%	23
220	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,43	0,56	0,99	57%	23
221	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,78	0,22	1	22%	23
222	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,74	0,26	1	26%	22,5
223	29/09/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,8	0,18	0,98	18%	22,5
224	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,5	0,48	0,98	49%	22,5
225	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,13	0,87	1	87%	22,5
226	29/09/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,52	0,48	1	48%	22
227	01/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,33	0,67	1	67%	22
228	01/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,57	0,43	1	43%	22
229	01/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,59	0,41	1	41%	22
230	01/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,79	0,19	0,98	19%	22
231	01/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	120	60	0,42	0,58	1	58%	22
232	01/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	120	60	0,38	0,62	1	62%	22,5
233	01/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,62	0,38	1	38%	23
234	01/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,52	0,47	0,99	47%	23
235	01/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,32	0,68	1	68%	23
236	01/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,24	0,74	0,98	76%	23,5
237	01/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,33	0,65	0,98	68%	24
238	01/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,41	0,59	1	59%	24
239	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	0	60	0,99	0,01	1	1%	18
240	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	0	60	0,99	0	0,99	0%	18

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
241	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	0	60	0,98	0,02	1	2%	18
242	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	0	60	0,99	0,01	1	1%	18
243	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	0	60	1	0	1	0%	18
244	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,46	0,52	0,98	53%	19
245	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,44	0,56	1	56%	19
246	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,47	0,52	0,99	53%	19
247	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	30	60	0,61	0,39	1	39%	19
248	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	60	60	0,39	0,59	0,98	60%	19
249	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	60	60	0,27	0,71	0,98	72%	19
250	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	60	60	0,52	0,47	0,99	47%	19
251	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,39	0,6	0,99	61%	19
252	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,3	0,69	0,99	70%	19
253	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,36	0,63	0,99	64%	19
254	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	120	60	0,35	0,65	1	65%	19
255	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	120	60	0,31	0,68	0,99	69%	19
256	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,57	0,42	0,99	42%	20
257	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,71	0,27	0,98	28%	20
258	05/10/99	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,55	0,44	0,99	44%	20
259	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,42	0,56	0,98	57%	20
260	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,22	0,77	0,99	78%	20
261	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,24	0,74	0,98	76%	20
262	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,3	0,7	1	70%	20
263	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,47	0,53	1	53%	20,5
264	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,42	0,57	0,99	58%	21
265	05/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,45	0,52	0,97	54%	21
266	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,3	0,7	1	70%	21
267	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,16	0,81	0,97	84%	21
268	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,21	0,78	0,99	79%	21
269	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,44	0,54	0,98	55%	21
270	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,18	0,81	0,99	82%	21
271	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,28	0,71	0,99	72%	21
272	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,38	0,62	1	62%	21
273	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,31	0,69	1	69%	21
274	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,44	0,56	1	56%	21
275	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,35	0,65	1	65%	21
276	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,33	0,67	1	67%	21
277	08/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,37	0,62	0,99	63%	21
278	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,26	0,73	0,99	74%	21
279	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,32	0,68	1	68%	21
280	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	90	60	0,28	0,72	1	72%	21
281	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,41	0,59	1	59%	20,5
282	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,42	0,58	1	58%	20,5
283	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	150	60	0,34	0,66	1	66%	20,5
284	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,46	0,54	1	54%	20,5
285	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,44	0,56	1	56%	20,5
286	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	180	60	0,43	0,57	1	57%	20,5
287	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,43	0,57	1	57%	20,5
288	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,51	0,49	1	49%	20,5
289	12/10/99	92	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	210	60	0,55	0,44	0,99	44%	20,5
290	21/10/99	15	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,57	0,42	0,99	42%	21
291	21/10/99	15	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,52	0,47	0,99	47%	20,5
292	21/10/99	15	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,6	0,4	1	40%	20,5
293	21/10/99	15	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,53	0,47	1	47%	20,5
294	21/10/99	15	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,44	0,55	0,99	56%	20,5
295	21/10/99	15	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,42	0,57	0,99	58%	21
296	21/10/99	15	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,61	0,39	1	39%	21
297	21/10/99	15	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,46	0,54	1	54%	21
298	21/10/99	15	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,33	0,66	0,99	67%	21,5
299	21/10/99	15	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,39	0,61	1	61%	21,5
300	21/10/99	15	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,69	0,99	70%	21,5
301	21/10/99	15	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,39	0,6	0,99	61%	22
302	21/10/99	45	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,47	0,53	1	53%	22
303	21/10/99	45	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,48	0,52	1	52%	22
304	21/10/99	45	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,4	0,6	1	60%	23
305	21/10/99	45	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,46	0,53	0,99	54%	23
306	21/10/99	45	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,27	0,73	1	73%	23
307	21/10/99	45	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,32	0,68	1	68%	23
308	21/10/99	45	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,28	0,71	0,99	72%	23,5
309	21/10/99	45	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,28	0,71	0,99	72%	23,5
310	27/10/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,31	0,68	0,99	69%	19,5
311	27/10/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,35	0,65	1	65%	19,5
312	27/10/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,28	0,71	0,99	72%	19
313	27/10/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,29	0,71	1	71%	19
314	27/10/99	6	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,35	0,65	1	65%	19
315	27/10/99	6	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,31	0,68	0,99	69%	19
316	27/10/99	6	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,33	0,67	1	67%	19
317	27/10/99	6	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,37	0,63	1	63%	19,5
318	27/10/99	11	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,36	0,64	1	64%	19,5
319	27/10/99	11	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	19,5
320	27/10/99	11	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,34	0,65	0,99	66%	19,5

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
321	27/10/99	11	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,28	0,72	1	72%	19,5
322	27/10/99	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	20
323	27/10/99	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,28	0,72	1	72%	20
324	27/10/99	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,26	0,72	0,98	73%	21
325	27/10/99	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,21	0,79	1	79%	21,5
326	27/10/99	35	2,34E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,18	0,82	1	82%	21,5
327	27/10/99	35	2,34E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,16	0,84	1	84%	21,5
328	27/10/99	15	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,38	0,61	0,99	62%	21
329	27/10/99	15	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,38	0,62	1	62%	21
330	27/10/99	35	2,34E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,13	0,86	0,99	87%	21,5
331	27/10/99	35	2,34E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,18	0,82	1	82%	21
332	27/10/99	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,22	0,78	1	78%	21
333	27/10/99	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,19	0,8	0,99	81%	21
334	27/10/99	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,24	0,76	1	76%	21
335	27/10/99	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,24	0,76	1	76%	20,5
336	28/10/99	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,16	0,82	0,98	84%	20
337	28/10/99	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,18	0,81	0,99	82%	20
338	28/10/99	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,19	0,81	1	81%	20,5
339	28/10/99	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,14	0,85	0,99	86%	20,5
340	28/10/99	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,07	0,93	1	93%	20,5
341	28/10/99	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,04	0,96	1	96%	20,5
342	28/10/99	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,03	0,97	1	97%	20,5
343	28/10/99	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,06	0,94	1	94%	20,5
344	28/10/99	429	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,08	0,91	0,99	92%	22
345	28/10/99	429	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,1	0,88	0,98	90%	22
346	28/10/99	429	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,1	0,9	1	90%	21,5
347	28/10/99	429	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,13	0,85	0,98	87%	21,5
348	28/10/99	429	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,08	0,92	1	92%	21,5
349	28/10/99	823	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	21,5
350	28/10/99	823	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	21,5
351	29/10/99	823	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,98	0,99	99%	21
352	29/10/99	823	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	21
353	29/10/99	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,98	0,99	99%	21,5
354	29/10/99	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	21,5
355	29/10/99	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	21,5
356	29/10/99	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	22
357	29/10/99	1159	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	22,5
358	29/10/99	1159	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	22,5
359	29/10/99	1159	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	22,5
360	03/11/99	1159	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,96	0,04	1	4%	21
361	03/11/99	1159	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,99	0,01	1	1%	22
362	03/11/99	1159	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,99	0,01	1	1%	23
363	03/11/99	1159	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	1	0	1	0%	22,5
364	03/11/99	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	1	0	1	0%	22,5
365	03/11/99	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,98	0,01	0,99	1%	22,5
366	03/11/99	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,99	0	0,99	0%	22
367	03/11/99	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,99	0,01	1	1%	22
368	03/11/99	1159	2,34E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	1	0	1	0%	22,5
369	03/11/99	1159	2,34E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,97	0,03	1	3%	23
370	03/11/99	1159	2,34E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,99	0,01	1	1%	23,5
371	03/11/99	1159	2,34E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,99	0,01	1	1%	23
372	03/11/99	1159	2,34E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,98	0,01	0,99	1%	23
373	03/11/99	6	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,38	0,62	1	62%	24
374	03/11/99	6	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,31	0,69	1	69%	24
375	03/11/99	6	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,27	0,73	1	73%	24
376	03/11/99	6	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,28	0,72	1	72%	24
377	03/11/99	6	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,41	0,59	1	59%	24
378	03/11/99	25	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,33	0,67	1	67%	24
379	03/11/99	25	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	24,5
380	03/11/99	25	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,41	0,58	0,99	59%	24,5
381	03/11/99	25	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,34	0,66	1	66%	24,5
382	03/11/99	50	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,32	0,68	1	68%	25
383	03/11/99	50	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,69	0,99	70%	24
384	03/11/99	50	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,33	0,67	1	67%	24
385	03/11/99	50	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	24
386	03/11/99	50	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,4	0,6	1	60%	24
387	03/11/99	6	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,43	0,56	0,99	57%	23,5
388	03/11/99	6	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,46	0,54	1	54%	24
389	03/11/99	6	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,48	0,52	1	52%	24
390	03/11/99	35	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	24
391	03/11/99	35	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,29	0,71	1	71%	24
392	03/11/99	35	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,36	0,64	1	64%	23
393	03/11/99	35	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	23
394	10/11/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,42	0,58	1	58%	19
395	10/11/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,4	0,59	0,99	60%	19
396	10/11/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,4	0,59	0,99	60%	19
397	10/11/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,35	0,65	1	65%	19
398	10/11/99	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,43	0,57	1	57%	19
399	10/11/99	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,35	0,65	1	65%	19
400	10/11/99	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,29	0,71	1	71%	19

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
401	10/11/99	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,37	0,63	1	63%	19
402	10/11/99	72	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,19	0,81	1	81%	18,5
403	10/11/99	72	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,23	0,77	1	77%	18,5
404	10/11/99	72	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,19	0,81	1	81%	19,5
405	10/11/99	115	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,34	0,66	1	66%	19,5
406	10/11/99	115	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,39	0,59	0,98	60%	19
407	10/11/99	115	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,36	0,64	1	64%	19
408	10/11/99	115	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,33	0,67	1	67%	19
409	10/11/99	315	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	19
410	10/11/99	315	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,24	0,76	1	76%	18
411	10/11/99	315	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,23	0,76	0,99	77%	18,5
412	10/11/99	315	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,26	0,74	1	74%	19
413	16/11/99	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,06	0,94	1	94%	19,5
414	16/11/99	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,05	0,94	0,99	95%	19
415	16/11/99	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,07	0,93	1	93%	19
416	16/11/99	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,06	0,94	1	94%	19,5
417	16/11/99	244	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,03	0,97	1	97%	19,5
418	16/11/99	244	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,06	0,94	1	94%	19
419	16/11/99	244	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,06	0,93	0,99	94%	19
420	16/11/99	244	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,04	0,96	1	96%	19
421	17/11/99	429	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	18
422	17/11/99	429	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,02	0,98	1	98%	18
423	17/11/99	429	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,02	0,98	1	98%	18,5
424	17/11/99	429	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	18,5
425	18/11/99	115	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,33	0,67	1	67%	20
426	18/11/99	115	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	19,5
427	18/11/99	115	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,31	0,69	1	69%	20,5
428	18/11/99	115	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	20,5
429	19/11/99	72	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,27	0,73	1	73%	19
430	19/11/99	72	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,2	0,8	1	80%	19,5
431	19/11/99	72	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,19	0,8	0,99	81%	19,5
432	19/11/99	72	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,22	0,78	1	78%	19,5
433	19/11/99	823	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	20
434	19/11/99	823	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	20
435	19/11/99	823	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	20
436	19/11/99	823	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	20,5
437	19/11/99	823	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	20,5
438	19/11/99	823	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	21
439	19/11/99	35	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,27	0,73	1	73%	21
440	19/11/99	35	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,27	0,72	0,99	73%	21,5
441	19/11/99	35	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,25	0,75	1	75%	21,5
442	19/11/99	35	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,28	0,72	1	72%	21,5
443	14/12/99	1634	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,69	0,28	0,97	29%	23
444	14/12/99	1634	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,73	0,25	0,98	26%	23
445	04/01/00	395	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,19	0,8	0,99	81%	23
446	04/01/00	395	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,09	0,9	0,99	91%	23
447	04/01/00	395	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,28	0,71	0,99	72%	23
448	04/01/00	395	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	23,5
449	04/01/00	395	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,68	0,98	69%	23,5
450	04/01/00	395	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	23,5
451	04/01/00	975	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,17	0,82	0,99	83%	23,5
452	04/01/00	975	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,07	0,92	0,99	93%	23,5
453	04/01/00	975	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,02	0,98	1	98%	23,5
454	04/01/00	975	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,03	0,96	0,99	97%	23,5
455	04/01/00	975	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,03	0,97	1	97%	23,5
456	05/01/00	1634	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,09	0,89	0,98	91%	23
457	05/01/00	1634	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,07	0,93	1	93%	23
458	05/01/00	1634	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,04	0,94	0,98	96%	23
459	05/01/00	1634	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,14	0,86	1	86%	23
460	05/01/00	2327	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,69	0,3	0,99	30%	23,5
461	05/01/00	2327	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,82	0,18	1	18%	23,5
462	05/01/00	2327	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,83	0,15	0,98	15%	23,5
463	05/01/00	2960	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,93	0,06	0,99	6%	23,5
464	05/01/00	2960	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,89	0,1	0,99	10%	23,5
465	05/01/00	2960	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,92	0,05	0,97	5%	23,5
466	06/01/00	395	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,23	0,76	0,99	77%	24
467	06/01/00	395	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,31	0,68	0,99	69%	24
468	06/01/00	395	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,25	0,74	0,99	75%	24
469	06/01/00	2327	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,83	0,17	1	17%	24
470	06/01/00	2327	1,55E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,85	0,14	0,99	14%	24
471	07/01/00	395	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,03	0,97	1	97%	24
472	07/01/00	395	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,03	0,96	0,99	97%	24
473	07/01/00	395	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,03	0,96	0,99	97%	24
474	07/01/00	975	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,84	0,15	0,99	15%	24
475	07/01/00	975	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,88	0,11	0,99	11%	24
476	07/01/00	975	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,89	0,1	0,99	10%	24
477	07/01/00	975	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,83	0,17	1	17%	24
478	07/01/00	1634	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,64	0,36	1	36%	24
479	07/01/00	1634	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,75	0,2	0,95	21%	24
480	07/01/00	2327	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,82	0,17	0,99	17%	24

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
481	07/01/00	2327	2,35E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,3	0,68	0,98	69%	24
482	07/01/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,07	0,93	1	93%	25
483	13/01/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,17	0,82	0,99	83%	25
484	13/01/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,21	0,78	0,99	79%	25
485	13/01/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,03	0,96	0,99	97%	25
486	13/01/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,97	0,98	99%	25
487	13/01/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	25
488	13/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,12	0,88	1	88%	25
489	13/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,11	0,89	1	89%	25
490	13/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,09	0,89	0,98	91%	25
491	13/01/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,78	0,21	0,99	21%	26
492	13/01/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,83	0,16	0,99	16%	26
493	13/01/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,83	0,17	1	17%	26
494	13/01/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,66	0,31	0,97	32%	26
495	13/01/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,61	0,36	0,97	37%	26
496	13/01/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,64	0,36	1	36%	26
497	13/01/00	2960	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	1	0	1	0%	26
498	13/01/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,62	0,38	1	38%	25
499	13/01/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,59	0,41	1	41%	25
500	13/01/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,61	0,39	1	39%	25
501	13/01/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,63	0,37	1	37%	25
502	13/01/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,35	0,64	0,99	65%	25
503	13/01/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,33	0,66	0,99	67%	25
504	13/01/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,42	0,57	0,99	58%	25
505	13/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,31	0,68	0,99	69%	25
506	13/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,37	0,63	1	63%	25
507	13/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,06	0,92	0,98	94%	25
508	13/01/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,29	0,7	0,99	71%	26
509	13/01/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,04	0,96	1	96%	26
510	13/01/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	26
511	13/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,12	0,88	1	88%	26
512	13/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,13	0,87	1	87%	27
513	13/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,01	0,98	0,99	99%	27
514	13/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,02	0,98	1	98%	27
515	13/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,13	0,86	0,99	87%	27
516	13/01/00	823	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,02	0,97	0,99	98%	27
517	13/01/00	823	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,19	0,81	1	81%	27
518	13/01/00	823	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,07	0,92	0,99	93%	27
519	13/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,52	0,47	0,99	47%	27
520	13/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,5	0,5	1	50%	27
521	13/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,47	0,53	1	53%	27
522	16/01/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,47	0,52	0,99	53%	25
523	16/01/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,32	0,66	0,98	67%	25
524	16/01/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,33	0,66	0,99	67%	25
525	16/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,23	0,77	1	77%	25
526	16/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,18	0,79	0,97	81%	25
527	16/01/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,11	0,87	0,98	89%	25
528	16/01/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,13	0,86	0,99	87%	25
529	16/01/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,21	0,82	1,03	80%	25
530	16/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	25
531	16/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	25
532	16/01/00	823	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,18	0,81	0,99	82%	25
533	16/01/00	823	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,16	0,84	1	84%	25
534	16/01/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,02	0,98	1	98%	26
535	16/01/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,03	0,95	0,98	97%	26
536	16/01/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,16	0,82	0,98	84%	26
537	16/01/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,03	0,97	1	97%	26
538	16/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,22	0,76	0,98	78%	26
539	16/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,64	0,36	1	36%	26
540	16/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,49	0,46	0,95	48%	26
541	16/01/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	1	0	1	0%	26
542	16/01/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,97	0,01	0,98	1%	26
543	16/01/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,94	0,01	0,95	1%	27
544	16/01/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,99	0,01	1	1%	27
545	16/01/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,98	0,02	1	2%	27
546	16/01/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	1	0	1	0%	27
547	16/01/00	2960	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,92	0,03	0,95	3%	27
548	18/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,57	0,43	1	43%	25
549	18/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,07	0,93	1	93%	25
550	18/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,74	0,24	0,98	24%	25
551	18/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,8	0,19	0,99	19%	25
552	18/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,22	0,76	0,98	78%	25
553	18/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,17	0,83	1	83%	25
554	18/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,17	0,83	1	83%	25
555	18/01/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,26	0,72	0,98	73%	25
556	18/01/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,1	0,9	1	90%	25
557	18/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,01	0,98	0,99	99%	25
558	18/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	26
559	18/01/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,41	0,57	0,98	58%	26,5
560	18/01/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,32	0,68	1	68%	26,5

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
561	18/01/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,3	0,68	0,98	69%	26,5
562	18/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,67	0,32	0,99	32%	25
563	18/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,64	0,36	1	36%	25
564	18/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,75	0,24	0,99	24%	25
565	18/01/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,72	0,28	1	28%	25
566	18/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,04	0,96	1	96%	25
567	18/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,13	0,86	0,99	87%	25
568	18/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,04	0,96	1	96%	25,5
569	18/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,06	0,93	0,99	94%	25,5
570	18/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,43	0,58	1,01	57%	25
571	18/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,4	0,6	1	60%	25
572	18/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,25	0,73	0,98	74%	25
573	18/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,29	0,71	1	71%	25
574	18/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,27	0,73	1	73%	25
575	22/01/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,65	0,34	0,99	34%	25
576	22/01/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,59	0,41	1	41%	25
577	22/01/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,62	0,37	0,99	37%	25
578	22/01/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,63	0,37	1	37%	25
579	22/01/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,61	0,39	1	39%	26
580	22/01/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,55	0,44	0,99	44%	26
581	22/01/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,5	0,49	0,99	49%	26
582	22/01/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,57	0,43	1	43%	26
583	22/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,55	0,44	0,99	44%	26
584	22/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,47	0,52	0,99	53%	26
585	22/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,51	0,44	0,95	49%	25
586	22/01/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,49	0,51	1	51%	25
587	22/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-20+28 #)	75	60	0,06	0,94	1	94%	25
588	22/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-20+28 #)	75	60	0,04	0,96	1	96%	25
589	22/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-20+28 #)	75	60	0,03	0,97	1	97%	25
590	22/01/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-20+28 #)	75	60	0,09	0,91	1	91%	25
591	22/01/00	115	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,47	0,52	0,99	53%	24
592	26/01/00	115	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,41	0,59	1	59%	24
593	26/01/00	115	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,38	0,62	1	62%	24
594	26/01/00	115	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,37	0,63	1	63%	24
595	26/01/00	244	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,11	0,89	1	89%	24
596	26/01/00	244	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,22	0,78	1	78%	24
597	26/01/00	244	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,6	0,39	0,99	39%	24
598	26/01/00	244	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,37	0,61	0,98	62%	24
599	26/01/00	244	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,09	0,9	0,99	91%	24
600	26/01/00	429	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,01	0,98	0,99	99%	24
601	26/01/00	429	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	24
602	26/01/00	429	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	24
603	27/01/00	244	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,11	0,88	0,99	89%	22
604	27/01/00	244	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,04	0,95	0,99	96%	22,5
605	27/01/00	244	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,02	0,97	0,99	98%	22,5
606	27/01/00	823	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	23
607	27/01/00	823	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	23
608	27/01/00	823	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0	0,99	0,99	100%	23
609	27/01/00	1159	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	23
610	27/01/00	1159	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0	1	1	100%	23
611	27/01/00	1159	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0	0,99	0,99	100%	23
612	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,55	0,45	1	45%	22
613	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,54	0,46	1	46%	22
614	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,52	0,47	0,99	47%	22
615	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,54	0,46	1	46%	22
616	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,52	0,48	1	48%	22,5
617	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,49	0,5	0,99	51%	22,5
618	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,45	0,55	1	55%	22,5
619	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,48	0,52	1	52%	22,5
620	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,49	0,51	1	51%	22,5
621	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,29	0,7	0,99	71%	22,5
622	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,39	0,61	1	61%	22,5
623	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,43	0,57	1	57%	22,5
624	28/01/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,39	0,61	1	61%	22,5
625	10/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,18	0,82	1	82%	24,5
626	10/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,21	0,78	0,99	79%	24
627	10/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,2	0,8	1	80%	24
628	10/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,06	0,93	0,99	94%	24
629	11/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,26	0,74	1	74%	24
630	11/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,22	0,78	1	78%	24
631	11/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,27	0,71	0,98	72%	24
632	11/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,29	0,7	0,99	71%	24
633	11/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,2	0,79	0,99	80%	24
634	11/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,2	0,78	0,98	80%	24
635	11/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,21	0,79	1	79%	24
636	11/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,05	0,95	1	95%	24
637	11/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,06	0,94	1	94%	24
638	11/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,07	0,93	1	93%	24
639	15/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,06	0,94	1	94%	23,5
640	15/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,05	0,94	0,99	95%	23,5

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
641	15/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,05	0,94	0,99	95%	23,5
642	15/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,03	0,97	1	97%	23,5
643	15/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,01	0,99	1	99%	23,5
644	15/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,03	0,97	1	97%	23,5
645	15/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,03	0,97	1	97%	24,5
646	15/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,01	0,99	1	99%	24,5
647	15/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,01	0,98	0,99	99%	24,5
648	16/02/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,36	0,62	0,98	63%	24,5
649	16/02/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,57	0,41	0,98	42%	24,5
650	16/02/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,36	0,62	0,98	63%	24,5
651	16/02/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,33	0,65	0,98	66%	24,5
652	16/02/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,71	0,29	1	29%	23,5
653	16/02/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,6	0,4	1	40%	23,5
654	16/02/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,57	0,43	1	43%	23,5
655	16/02/00	4	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,54	0,46	1	46%	23
656	16/02/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,6	0,37	0,97	38%	22,5
657	16/02/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,62	0,38	1	38%	22,5
658	16/02/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,59	0,4	0,99	40%	22,5
659	16/02/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,59	0,41	1	41%	22,5
660	16/02/00	25	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,46	0,53	0,99	54%	22
661	16/02/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,42	0,58	1	58%	22
662	16/02/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,36	0,64	1	64%	22
663	16/02/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,4	0,6	1	60%	22
664	16/02/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,36	0,64	1	64%	22,5
665	16/02/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,37	0,63	1	63%	22
666	16/02/00	115	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,32	0,68	1	68%	22
667	16/02/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,26	0,73	0,99	74%	21,5
668	16/02/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,23	0,76	0,99	77%	21,5
669	16/02/00	244	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,26	0,73	0,99	74%	21,5
670	16/02/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,16	0,84	1	84%	21
671	16/02/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,12	0,87	0,99	88%	21
672	16/02/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,11	0,87	0,98	89%	21
673	18/02/00	823	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,11	0,88	0,99	89%	22
674	18/02/00	823	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,13	0,86	0,99	87%	22
675	18/02/00	823	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,12	0,87	0,99	88%	22
676	18/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,1	0,9	1	90%	22
677	18/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,11	0,88	0,99	89%	22
678	18/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,13	0,87	1	87%	22
679	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	15	0,28	0,71	0,99	72%	22,5
680	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	15	0,25	0,74	0,99	75%	22
681	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	15	0,26	0,74	1	74%	22
682	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	30	0,16	0,84	1	84%	22,5
683	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	30	0,16	0,83	0,99	84%	22,5
684	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	30	0,17	0,82	0,99	83%	23,5
685	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	45	0,14	0,86	1	86%	24
686	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	45	0,12	0,87	0,99	88%	24
687	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	45	0,11	0,87	0,98	89%	24
688	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	75	0,11	0,99	1	89%	24
689	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	75	0,09	0,91	1	91%	24
690	21/02/00	1159	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	75	0,1	0,9	1	90%	24
691	21/02/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,02	0,98	1	98%	24
692	21/02/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,02	0,97	0,99	98%	24
693	21/02/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,02	0,98	1	98%	24
694	25/02/00	395	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,04	0,95	0,99	96%	25
695	25/02/00	395	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,01	0,98	0,99	99%	25
696	25/02/00	395	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,02	0,97	0,99	98%	25
697	25/02/00	975	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,01	0,98	0,99	99%	25
698	25/02/00	975	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,01	0,97	0,98	99%	25,5
699	25/02/00	975	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,01	0,98	0,99	99%	26
700	25/02/00	1634	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,25	0,73	0,98	74%	26
701	25/02/00	1634	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,27	0,72	0,99	73%	26
702	25/02/00	1634	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,27	0,71	0,98	72%	26
703	25/02/00	2327	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,87	0,12	0,99	12%	26
704	25/02/00	2327	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,9	0,1	1	10%	26
705	25/02/00	2327	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,91	0,09	1	9%	26
706	25/02/00	2960	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0	0	0	0%	26
707	28/02/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,17	0,83	1	83%	26
708	28/02/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,15	0,82	0,97	85%	26
709	28/02/00	395	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,13	0,85	0,98	87%	26
710	28/02/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,06	0,92	0,98	94%	26
711	28/02/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,08	0,91	0,99	92%	26
712	28/02/00	975	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,07	0,91	0,98	93%	26
713	28/02/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,06	0,92	0,98	94%	26
714	28/02/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,1	0,9	1	90%	26
715	28/02/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,07	0,92	0,99	93%	26
716	28/02/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,09	0,88	0,97	91%	26
717	28/02/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,15	0,79	0,94	84%	26
718	28/02/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,25	0,75	1	75%	26
719	28/02/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,13	0,85	0,98	87%	24,5
720	28/02/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,12	0,86	0,98	88%	24,5

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
721	28/02/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	75	60	0,1	0,88	0,98	90%	24,5
722	01/03/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,74	0,26	0,99	25%	25
723	01/03/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,73	0,26	0,99	26%	25
724	01/03/00	1634	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,71	0,28	0,99	28%	25,5
725	01/03/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,96	0,04	1	4%	25,5
726	01/03/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,92	0,07	0,99	7%	25,5
727	01/03/00	2327	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,95	0,05	1	5%	25,5
728	01/03/00	1634	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,53	0,44	0,97	45%	26
729	01/03/00	1634	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,53	0,45	0,98	46%	26
730	01/03/00	1634	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,5	0,47	0,97	48%	26
731	01/03/00	2960	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0	0	0	0%	26
732	01/03/00	1634	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,81	0,18	0,99	18%	25,5
733	01/03/00	1634	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,57	0,43	1	43%	26
734	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,28	0,68	0,94	72%	21
735	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,55	0,45	1	45%	21
736	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,57	0,43	1	43%	21
737	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,47	0,53	1	53%	21
738	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,31	0,68	0,99	69%	21
739	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,35	0,65	1	65%	21
740	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,39	0,61	1	61%	21
741	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,26	0,73	0,99	74%	21
742	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,31	0,68	0,99	69%	21
743	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,3	0,69	0,99	70%	21
744	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,3	0,69	0,99	70%	21
745	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,3	0,7	1	70%	21
746	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,19	0,81	1	81%	21,5
747	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,25	0,82	1,07	77%	21,5
748	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,25	0,75	1	75%	21,5
749	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,24	0,76	1	76%	21,5
750	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,16	0,84	1	84%	21,5
751	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,12	0,88	1	88%	22
752	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,21	0,8	1,01	79%	22
753	07/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,14	0,86	1	86%	21,5
754	08/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,66	0,34	1	34%	21,5
755	08/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	1,23	0,78	2,01	39%	21,5
756	08/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,53	0,49	1,02	48%	21,5
757	08/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,72	0,32	1,04	31%	21,5
758	08/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,44	0,54	0,98	55%	21,5
759	08/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,4	0,64	1,04	62%	21,5
760	08/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,39	0,61	1	61%	21,5
761	08/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,2	0,79	0,99	80%	21,5
762	08/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,82	0,18	1	18%	20
763	08/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,51	0,49	1	49%	20
764	08/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,42	0,55	0,97	57%	20
765	08/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,56	0,42	0,98	43%	20
766	08/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,45	0,55	1	55%	20
767	08/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,58	0,42	1	42%	20
768	08/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,55	0,44	0,99	44%	20
769	08/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,6	0,39	0,99	39%	20
770	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,78	0,21	0,99	21%	20
771	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,78	0,2	0,98	20%	20
772	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,77	0,23	1	23%	20
773	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,73	0,26	0,99	26%	20
774	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,63	0,36	0,99	36%	20
775	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,38	0,61	0,99	62%	20
776	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,46	0,54	1	54%	20
777	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,45	0,54	0,99	55%	20
778	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,32	0,68	1	68%	20
779	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,29	0,7	0,99	71%	20
780	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,15	0,83	0,98	85%	20
781	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,46	0,54	1	54%	20
782	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,34	0,65	0,99	66%	20
783	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,21	0,77	0,98	79%	20
784	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,28	0,72	0,98	73%	20
785	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,64	0,35	0,99	35%	20
786	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,67	0,33	1	33%	20
787	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,76	0,23	0,99	23%	20
788	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,39	0,61	1	61%	20
789	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,71	0,28	0,99	28%	20
790	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,39	0,61	1	61%	20
791	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,22	0,78	1	78%	20
792	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,23	0,77	1	77%	20
793	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,35	0,64	0,99	65%	20
794	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,35	0,64	0,99	65%	20
795	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,35	0,65	1	65%	20
796	09/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,35	0,65	1	65%	20
797	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,81	0,19	1	19%	20
798	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,57	0,42	0,99	42%	20
799	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,55	0,45	1	45%	20
800	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,34	0,66	1	66%	20

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
801	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,33	0,66	0,99	67%	20
802	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,32	0,68	1	68%	20
803	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,32	0,67	0,99	68%	20
804	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,41	0,6	1,01	59%	20
805	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,31	0,68	0,99	69%	20
806	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,29	0,7	0,99	71%	20
807	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,27	0,73	1	73%	20
808	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,07	0,91	0,98	93%	20
809	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,15	0,85	1	85%	20
810	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,12	0,87	0,99	88%	20
811	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,17	0,82	0,99	83%	20
812	10/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,14	0,85	0,99	86%	20
813	10/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,33	0,66	0,99	67%	20
814	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,35	0,64	0,99	65%	20
815	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,36	0,65	1,01	64%	20
816	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,42	0,57	0,99	58%	20
817	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,28	0,71	0,99	72%	20
818	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,24	0,74	0,98	76%	20
819	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,39	0,61	1	61%	20
820	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,35	0,64	0,99	65%	20
821	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,25	0,75	1	75%	20
822	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,26	0,73	0,99	74%	20
823	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,21	0,79	1	79%	20
824	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,24	0,75	0,99	76%	20
825	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,2	0,8	1	80%	20
826	14/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0	0	0	0%	19
827	29/08/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200#)	75	60	0,56	0,45	1,01	45%	19
828	29/08/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200#)	75	60	0,51	0,47	0,98	48%	19
829	29/08/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200#)	75	60	0,56	0,42	0,98	43%	19
830	29/08/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200#)	100	60	0,45	0,55	1	55%	19
831	29/08/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200#)	100	60	0,66	0,31	0,97	32%	19
832	29/08/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200#)	100	60	0,45	0,54	0,99	55%	19
833	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,38	0,62	1	62%	21
834	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,44	0,55	0,99	56%	21
835	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,65	0,34	0,99	34%	21
836	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,2	0,78	0,98	80%	21
837	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,08	0,91	0,99	92%	21
838	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,1	0,88	0,98	90%	21
839	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,08	0,91	0,99	92%	21
840	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,31	0,69	1	69%	21
841	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,38	0,62	1	62%	21
842	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,43	0,56	0,99	57%	21
843	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,53	0,46	0,99	46%	21
844	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,45	0,54	0,99	55%	21
845	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,12	0,86	0,98	88%	21
846	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,15	0,86	1,01	85%	21
847	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,24	0,69	0,93	74%	21
848	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,08	0,94	1,02	92%	21
849	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,2	0,79	0,99	80%	21
850	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,12	0,88	1	88%	21
851	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,09	0,91	1	91%	21
852	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,15	0,84	0,99	85%	21
853	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,08	0,9	0,98	92%	21
854	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,04	0,94	0,98	96%	21
855	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,14	0,84	0,98	86%	21
856	29/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,16	0,83	0,99	84%	21
857	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,45	0,54	0,99	55%	21
858	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,37	0,62	0,99	63%	21
859	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,45	0,56	1,01	56%	21
860	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,46	0,54	1	54%	21
861	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,27	0,7	0,97	72%	21
862	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,39	0,6	0,99	61%	21
863	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,28	0,76	1,04	73%	21
864	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,24	0,75	0,99	76%	21
865	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,21	0,78	0,99	79%	21
866	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,23	0,75	0,98	77%	21
867	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,21	0,77	0,98	79%	21
868	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,19	0,8	0,99	81%	21
869	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,15	0,84	0,99	85%	21
870	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,19	0,83	1,02	81%	21
871	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,1	0,87	0,97	90%	21
872	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,12	0,86	0,98	88%	21
873	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,1	0,88	0,98	90%	21
874	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,21	0,78	0,99	79%	21
875	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,11	0,87	0,98	89%	21
876	30/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,13	0,87	1	87%	21
877	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,69	0,3	0,99	30%	21
878	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,71	0,29	1	29%	21
879	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,66	0,33	0,99	33%	21
880	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,7	0,3	1	30%	21

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
881	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,52	0,48	1	48%	21
882	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,64	0,36	1	36%	21
883	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,62	0,37	0,99	37%	21
884	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,49	0,5	0,99	51%	21
885	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,46	0,52	0,98	53%	21
886	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,31	0,69	1	69%	21
887	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,49	0,49	0,98	50%	21
888	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,46	0,53	0,99	54%	21
889	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,46	0,54	1	54%	21
890	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,5	0,5	1	50%	21
891	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,36	0,61	0,97	63%	21
892	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,38	0,64	1,02	63%	21
893	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,39	0,61	1	61%	21
894	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,19	0,79	0,98	81%	21
895	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,23	0,77	1	77%	21
896	31/08/00	429	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,27	0,72	0,99	73%	21
897	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,53	0,47	1	47%	21
898	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,46	0,54	1	54%	21
899	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,49	0,51	1	51%	21
900	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,54	0,46	1	46%	21
901	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,43	0,56	0,99	57%	21
902	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,32	0,69	1,01	68%	21
903	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,45	0,55	1	55%	21
904	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,36	0,63	0,99	64%	21
905	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,21	0,79	1	79%	21
906	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,3	0,7	1	70%	21
907	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,14	0,87	1,01	86%	21
908	31/08/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,19	0,79	0,98	81%	21
909	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,3	0,69	0,99	70%	21
910	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,35	0,64	0,99	65%	21
911	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,42	0,57	0,99	58%	21
912	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,35	0,63	0,98	64%	21
913	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,27	0,7	0,97	72%	21
914	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,29	0,69	0,98	70%	21
915	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,26	0,7	0,96	73%	21
916	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,28	0,7	0,98	71%	21
917	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,14	0,83	0,97	86%	21
918	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,15	0,83	0,98	85%	21
919	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,17	0,81	0,98	83%	21
919	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,16	0,82	0,98	84%	21
920	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,15	0,83	0,98	85%	21
921	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,12	0,86	0,98	88%	21
922	01/09/00	72	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,12	0,86	0,98	88%	21
923	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	150	60	0,43	0,54	0,97	56%	16
924	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	150	60	0,4	0,53	0,93	57%	16
925	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	150	60	0,39	0,56	0,95	59%	16
926	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	150	60	0,32	0,58	0,9	64%	16
927	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,3	0,66	0,96	69%	16,5
927	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,36	0,62	0,98	63%	17
928	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,31	0,7	1,01	69%	17
929	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,35	0,62	0,97	64%	17
930	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	250	60	0,31	0,67	0,98	68%	17
931	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	250	60	0,34	0,59	0,93	63%	17
932	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	250	60	0,34	0,59	0,93	63%	17
933	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	250	60	0,3	0,69	0,99	70%	16
934	05/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	250	60	0,38	0,58	0,96	60%	16
935	06/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	250	60	0,46	0,52	0,98	53%	16
936	06/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,52	0,48	1	48%	16
937	06/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,57	0,42	0,99	42%	16
938	06/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,48	0,56	1,04	54%	16
939	06/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	300	60	0,49	0,5	0,99	51%	16
940	06/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	300	60	0,46	0,52	0,98	53%	16
941	06/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	300	60	0,47	0,51	0,98	52%	16
942	06/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	300	60	0,72	0,27	0,99	27%	22
943	12/09/00	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,61	0,38	0,99	38%	22
944	12/09/00	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,67	0,31	0,98	32%	22
945	12/09/00	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,7	0,29	0,99	29%	22
946	12/09/00	4	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,59	0,41	1	41%	22
947	12/09/00	35	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,45	0,54	0,99	55%	22
948	12/09/00	35	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,48	0,51	0,99	52%	22
949	12/09/00	35	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,44	0,55	0,99	56%	22
950	12/09/00	35	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,41	0,58	0,99	59%	21
951	13/09/00	72	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,35	0,65	1	65%	21
952	13/09/00	72	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,31	0,67	0,98	68%	21
953	13/09/00	72	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,36	0,63	0,99	64%	21
954	13/09/00	72	1,96E-02	Quartzo (-48+65 #)	75	60	0,36	0,63	0,99	64%	21
955	13/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,96	0,03	0,99	3%	22
956	13/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,94	0,05	0,99	5%	22
957	13/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,94	0,04	0,98	4%	22
957	13/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,96	0,04	1	4%	22
958	13/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,96	0,04	1	4%	22
958	13/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,93	0,06	0,99	6%	22
959	13/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,94	0,05	0,99	5%	22
960	13/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,94	0,05	0,99	5%	22

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Material	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
961	13/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,91	0,08	0,99	8%	22
962	13/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,9	0,09	0,99	9%	22
963	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,95	0,03	0,98	3%	22
964	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,93	0,07	1	7%	22
965	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,95	0,05	1	5%	22
966	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,95	0,05	1	5%	22,5
967	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,85	0,15	1	15%	22,5
968	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,88	0,12	1	12%	22,5
969	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,89	0,11	1	11%	22,5
970	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,9	0,09	0,99	9%	22,5
971	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,77	0,23	1	23%	22,5
972	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,76	0,24	1	24%	23
973	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,87	0,13	1	13%	23
974	15/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,84	0,16	1	16%	23
975	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	175	60	0,41	0,58	0,99	59%	20
976	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	175	60	0,37	0,63	1	63%	20
977	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	175	60	0,43	0,56	0,99	57%	20
978	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	175	60	0,45	0,55	1	55%	20
979	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,48	0,53	1,01	52%	20
980	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,43	0,56	0,99	57%	20
981	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,42	0,57	0,99	58%	20
982	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,42	0,56	0,98	57%	20
983	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	250	60	0,38	0,61	0,99	62%	20
984	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	250	60	0,39	0,6	0,99	61%	20
985	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	250	60	0,41	0,58	0,99	59%	20
986	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,4	0,59	0,99	60%	20
987	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,37	0,63	1	63%	20
988	15/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,49	0,49	0,98	50%	20
989	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,46	0,54	1	54%	21
990	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,34	0,64	0,98	65%	21
991	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,35	0,64	0,99	65%	21
992	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,35	0,64	0,81	57%	21
993	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,43	0,55	0,98	56%	21
994	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,36	0,64	1	64%	21
995	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,37	0,62	0,99	63%	21
996	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,34	0,65	0,99	66%	21
997	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,62	0,37	0,99	37%	21,5
998	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,51	0,47	0,98	48%	21,5
999	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,34	0,64	0,98	65%	21,5
1000	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,41	0,57	0,98	58%	23
1001	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,36	0,62	0,98	63%	23
1002	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	225	60	0,53	0,43	0,96	45%	23
1003	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,41	0,59	1	59%	23
1004	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,36	0,64	1	64%	23
1005	19/09/00	92	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	275	60	0,36	0,64	1	64%	23
1006	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,85	0,15	1	15%	24
1007	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,78	0,22	1	22%	24
1008	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,76	0,24	1	24%	24
1009	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,75	0,19	0,94	20%	24
1010	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,69	0,28	0,97	29%	24
1011	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,67	0,3	0,97	31%	24
1012	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,7	0,29	0,99	29%	24
1013	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,67	0,08	0,95	8%	24
1014	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,88	0,13	1,01	13%	24
1015	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,52	0,48	1	48%	24
1016	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,66	0,33	0,99	33%	24
1017	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,82	0,15	0,97	15%	24
1018	21/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,53	0,45	0,98	46%	24
1019	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,96	0,03	0,99	3%	22
1020	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,98	0,01	0,99	1%	22
1021	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,97	0,01	0,98	1%	22
1022	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	15	0,97	0,02	0,99	2%	22
1023	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,94	0,06	1	6%	22
1024	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,92	0,07	0,99	7%	22
1025	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,96	0,04	1	4%	22
1026	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,95	0,05	1	5%	22
1027	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	30	0,94	0,06	1	6%	22
1028	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,92	0,07	0,99	7%	22
1029	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,93	0,06	0,99	6%	22
1030	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,93	0,07	1	7%	22
1031	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	45	0,73	0,24	0,97	25%	22
1032	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,82	0,18	1	18%	22
1033	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,86	0,13	0,99	13%	22
1034	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,96	0,05	1,01	5%	22
1035	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	60	0,9	0,07	0,97	7%	22
1036	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,84	0,16	1	16%	22
1037	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,88	0,11	0,99	11%	22
1038	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,89	0,09	0,98	9%	22
1039	22/09/00	1625	1,96E-02	Esf. Vid. (-48+65 #)	75	75	0,88	0,12	1	12%	22
1040	22/09/00	840	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,51	0,49	1	49%	21

ENSAIO	Data	Rotação (rpm)	Rotor (m)	Granulometria e Matenal	Concentração de Coletor (mg/L)	Tempo de Flotação (seg)	Massa de afundado (g)	Massa de flutuado (g)	Alimentação (g)	Recuperação	Temperatura (°C)
1041	22/09/00	180	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,37	0,6	0,97	62%	21
1042	22/09/00	290	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,41	0,59	1	59%	21
1043	22/09/00	290	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,36	0,64	1	64%	21
1044	22/09/00	436	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,49	0,51	1	51%	21
1045	22/09/00	570	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,53	0,48	1,01	48%	21
1046	22/09/00	650	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,25	0,73	0,98	74%	21
1047	22/09/00	1024	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,48	0,52	1	52%	21
1048	22/09/00	840	1,96E-02	Esf. Vid. (-150+200 #)	200	60	0,55	0,43	0,98	44%	21
1049	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,58	0,41	0,99	41%	24
1050	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,78	0,22	1	22%	24
1051	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,42	0,58	1	58%	24
1052	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,6	0,37	0,97	38%	24
1053	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,29	0,71	1	71%	24
1054	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,46	0,54	1	54%	24
1055	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,41	0,57	0,98	58%	24
1056	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,43	0,56	0,99	57%	24
1057	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,32	0,67	0,99	68%	24
1058	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,34	0,63	0,97	65%	24
1059	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,23	0,76	0,99	77%	24
1060	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,2	0,81	1,01	80%	24
1061	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,34	0,65	0,99	66%	24
1062	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,17	0,82	0,99	83%	24
1063	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,23	0,7	0,93	75%	24
1064	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,24	0,74	0,98	76%	24
1065	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,18	0,82	1	82%	24
1066	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,12	0,88	1	88%	24
1067	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,28	0,7	0,98	71%	24
1068	18/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,22	0,75	0,97	77%	24
1069	18/10/00	508	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,6	0,38	0,98	39%	26
1070	18/10/00	508	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,57	0,45	1,02	44%	26
1071	18/10/00	508	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,07	0,93	1	93%	26
1072	18/10/00	508	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,12	0,86	0,98	88%	26
1073	18/10/00	508	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,07	0,94	1,01	93%	26
1074	18/10/00	508	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,09	0,82	1,01	91%	26
1075	18/10/00	508	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,55	0,43	0,98	44%	26
1076	18/10/00	508	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,32	0,7	1,02	69%	26
1077	18/10/00	508	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,33	0,63	0,96	66%	26
1078	18/10/00	508	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,45	0,5	0,95	53%	26
1079	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,22	0,79	1,01	78%	21
1080	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,13	0,86	0,99	87%	21
1081	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,11	0,87	0,98	89%	21
1082	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	60	0,14	0,86	1	86%	21
1083	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,36	0,63	0,99	64%	21
1084	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,33	0,65	0,98	66%	21
1085	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,38	0,64	1,02	63%	21
1086	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	15	0,48	0,54	1,02	53%	21
1087	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,23	0,79	1,02	77%	21
1088	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,23	0,78	1,01	77%	21
1089	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,34	0,65	0,99	68%	21
1090	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,3	0,69	0,99	70%	21
1091	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,11	0,9	1,01	89%	21
1092	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,19	0,81	1	81%	21
1093	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,18	0,82	1	82%	21
1094	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	45	0,17	0,79	0,96	82%	21
1095	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,05	0,93	0,98	95%	21
1096	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,09	0,9	0,99	91%	21
1097	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,09	0,91	1	91%	21
1098	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	75	0,02	0,98	1	98%	21
1099	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,28	0,7	0,98	71%	22
1100	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,31	0,67	0,98	68%	22
1101	31/10/00	344	1,96E-02	Esf. Vid. (-28+35 #)	75	30	0,25	0,75	1	75%	22

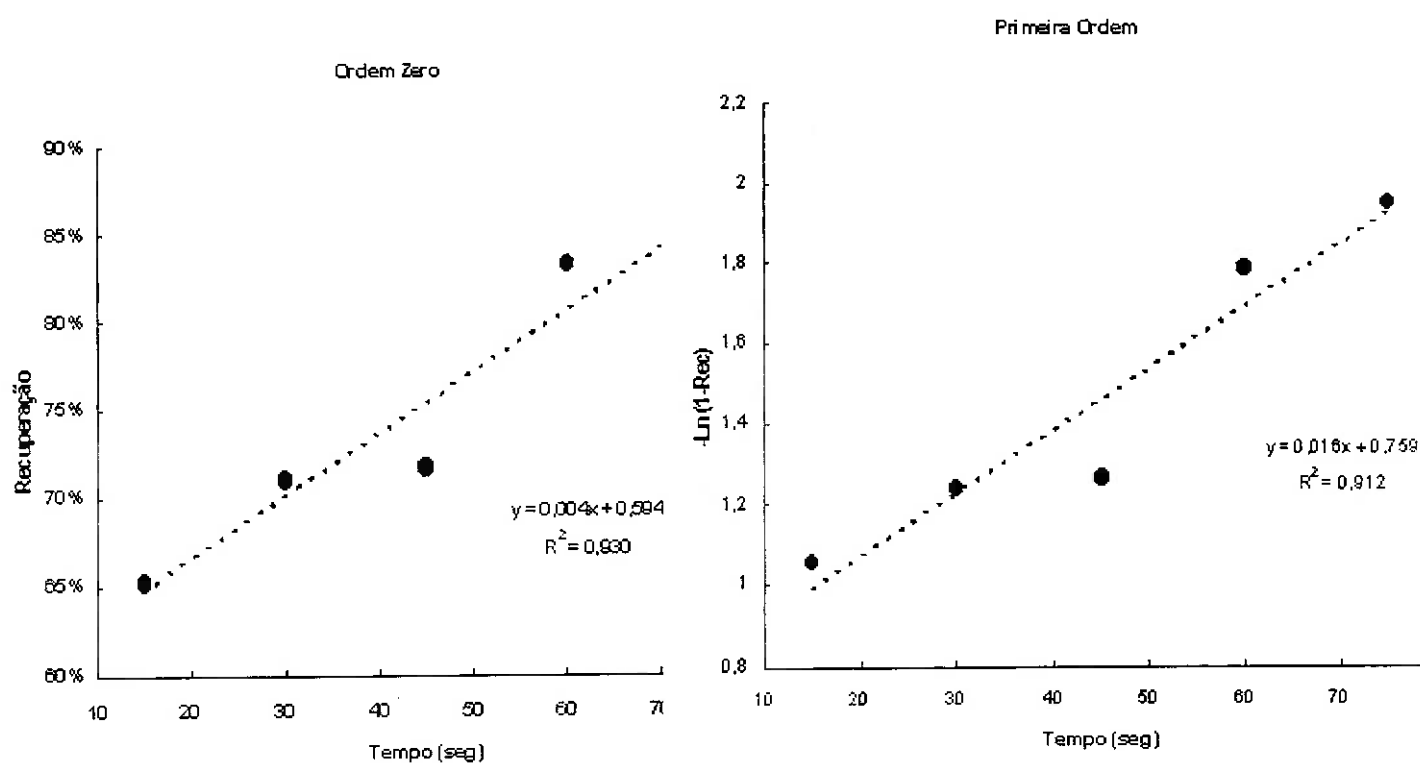
ANEXO B

1 – MÉTODO DAS EQUAÇÕES INTEGRADAS.

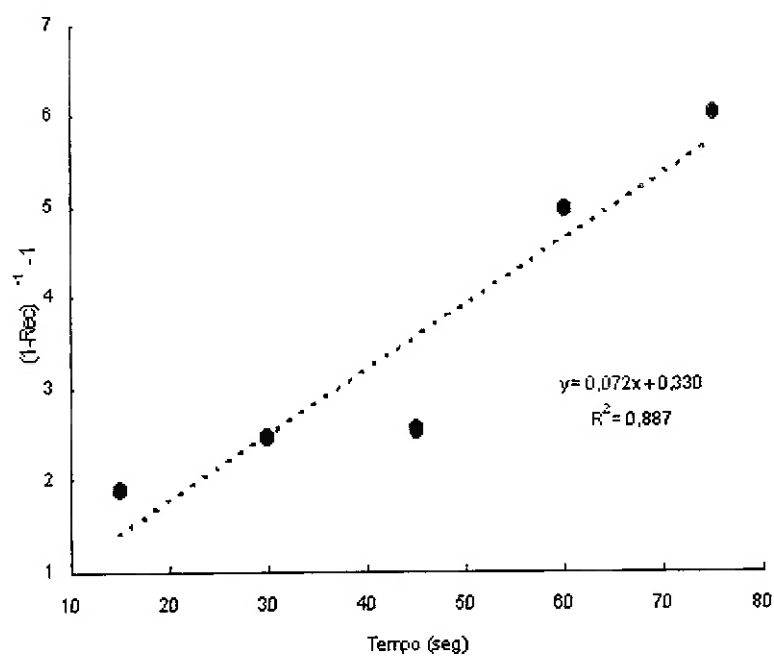
O método consiste em ajustar os dados dos ensaios cinéticos de flotação das esferas de vidro – 28 + 35# e – 48 + 65# para ordem de $n = 0$, $n = 1$ e $n = 2$. A ordem da cinética de flotação (n) escolhida foi aquela que apresentou maior coeficiente de correlação (r^2).

a) Para esferas de vidro – 28 + 35#.

- Em $N_{Re} = 471$ e $N_{Fr} = 3.10^{-3}$.

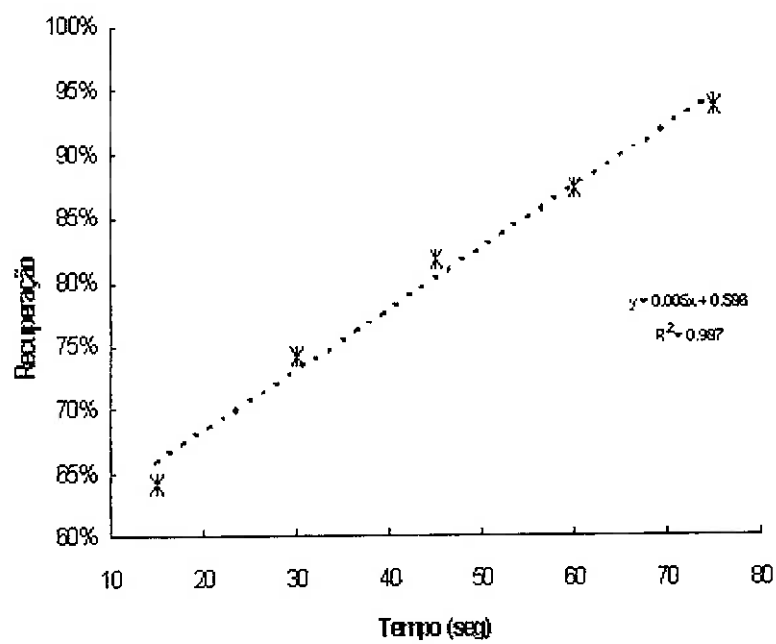


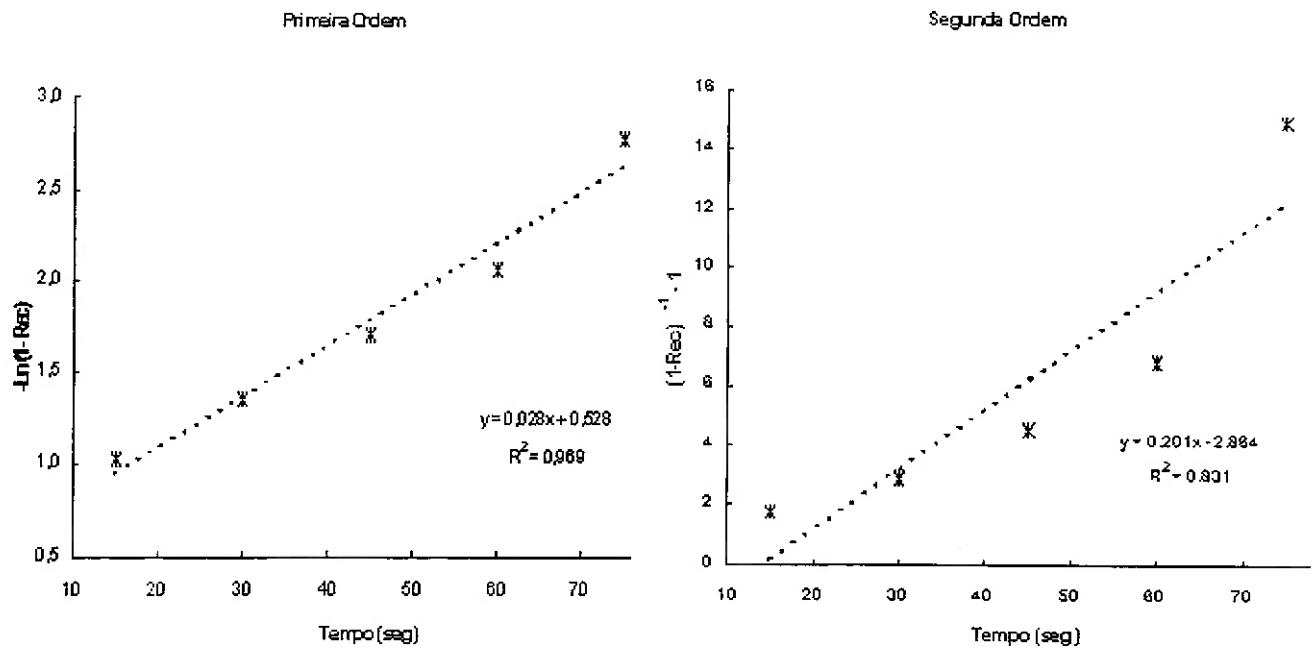
Segunda Ordem



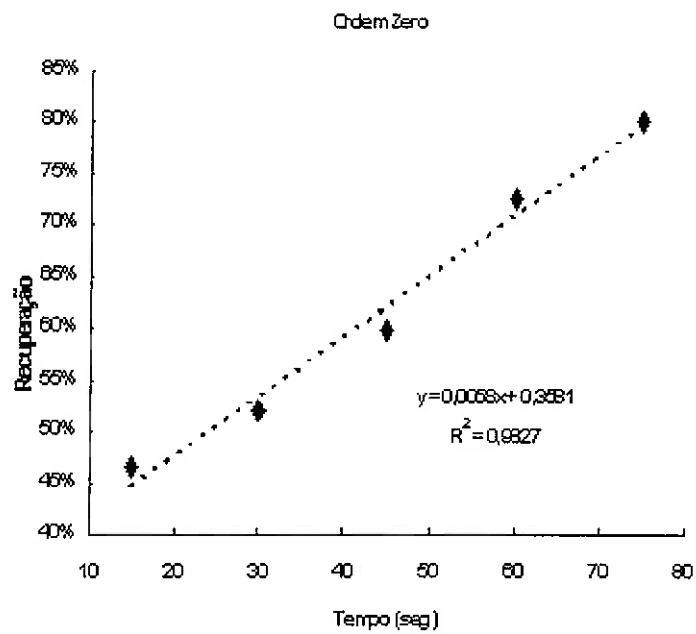
- Em $N_{Re} = 2256$ e $N_{Fr} = 6,57 \cdot 10^{-2}$.

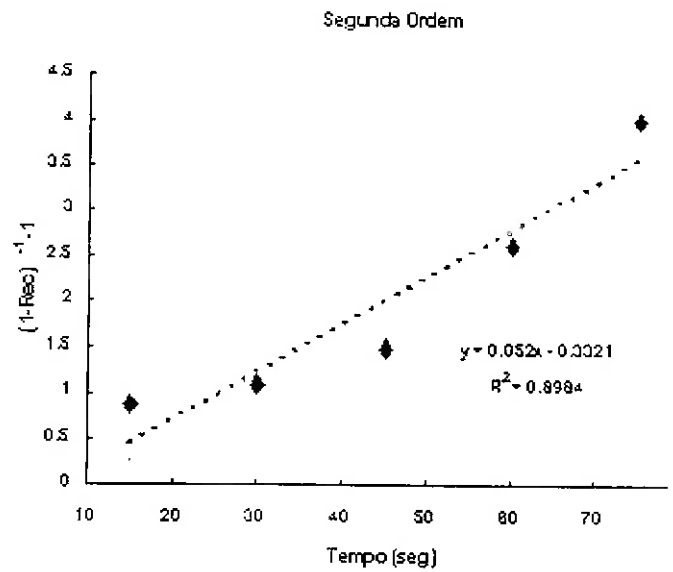
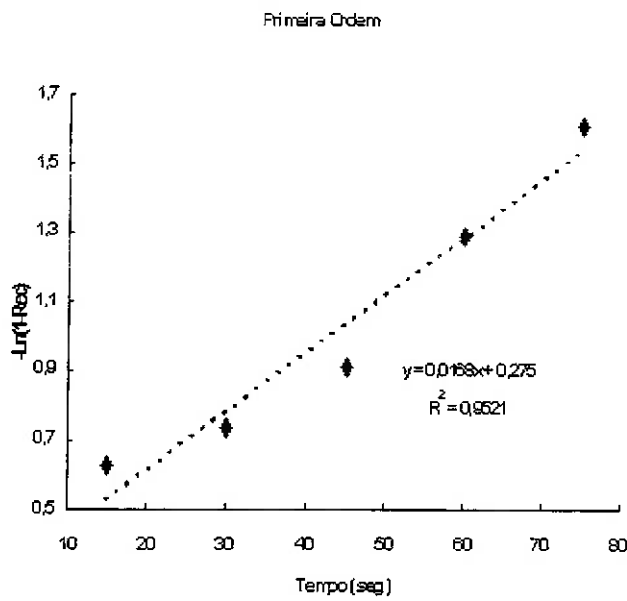
OrdemZero





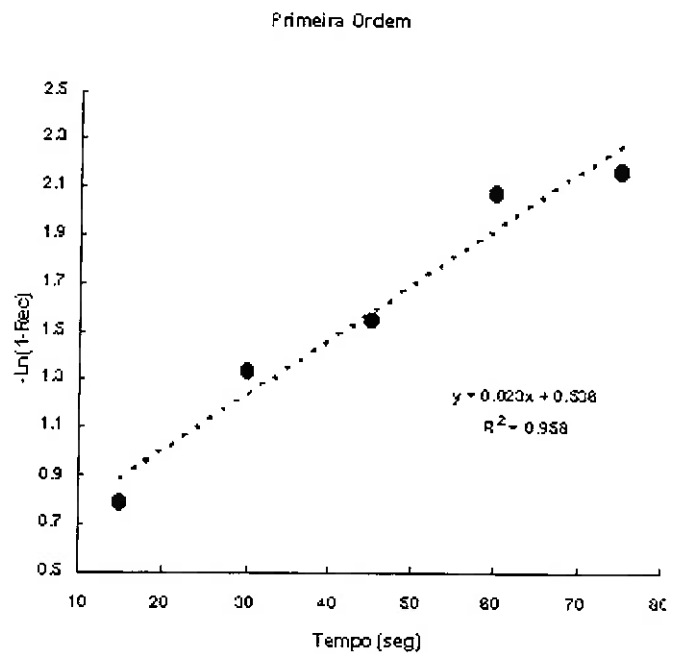
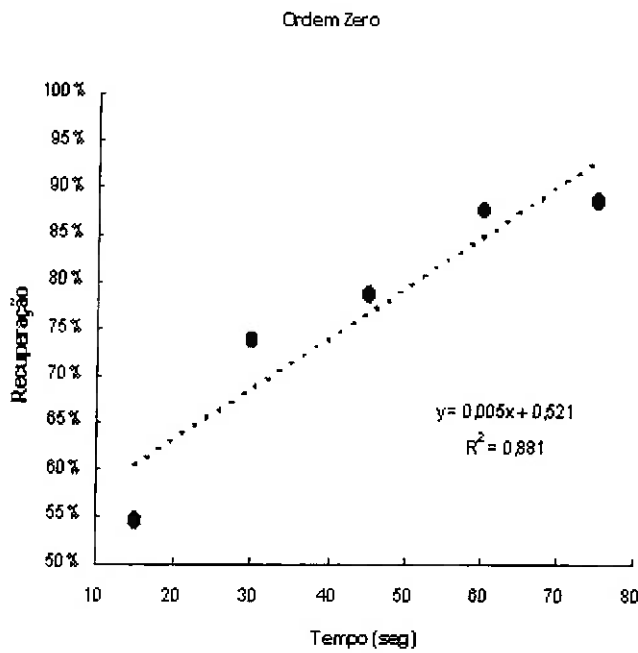
- Em $N_{Re} = 7643$ e $N_{Fr} = 7,5 \cdot 10^{-1}$.

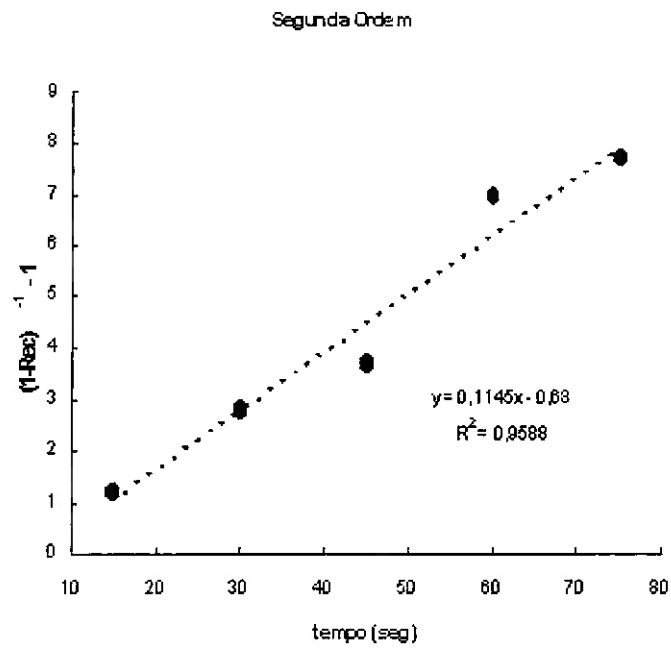




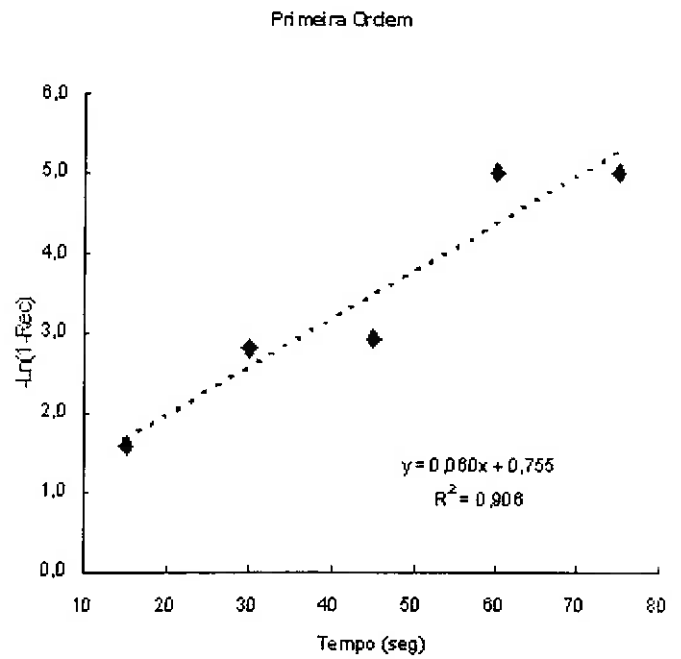
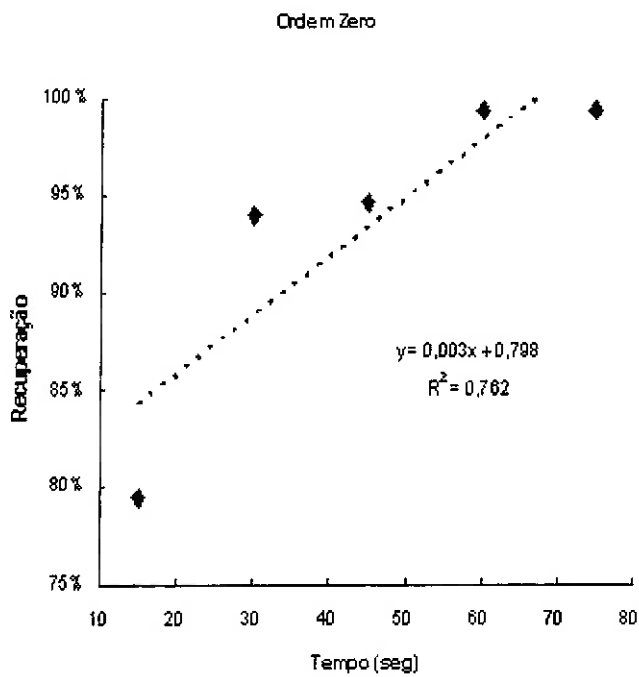
b) Para esferas de vidro – 48 + 65#.

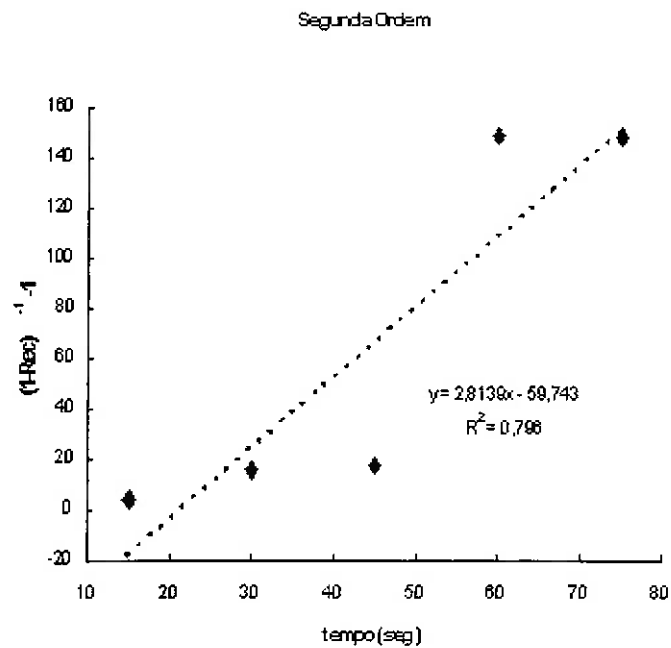
- Em $N_{Re} = 471$ e $N_{Fr} = 2,88 \cdot 10^{-3}$



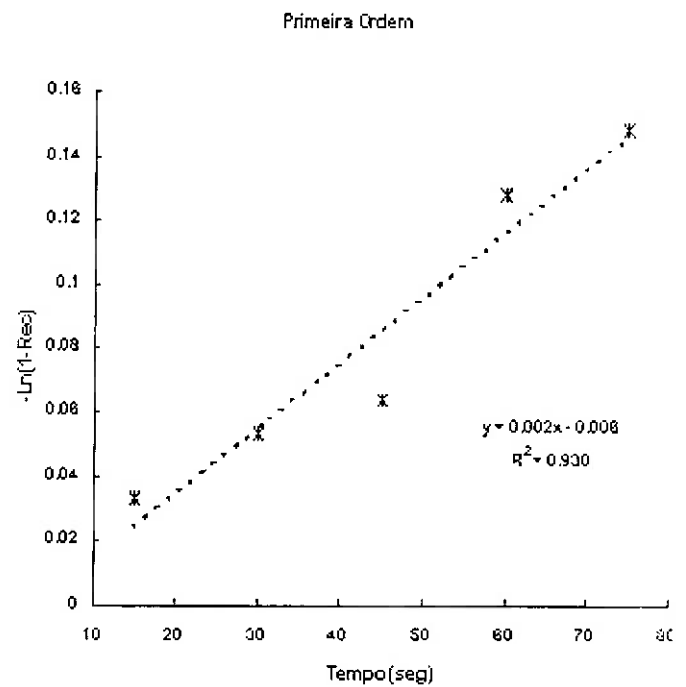
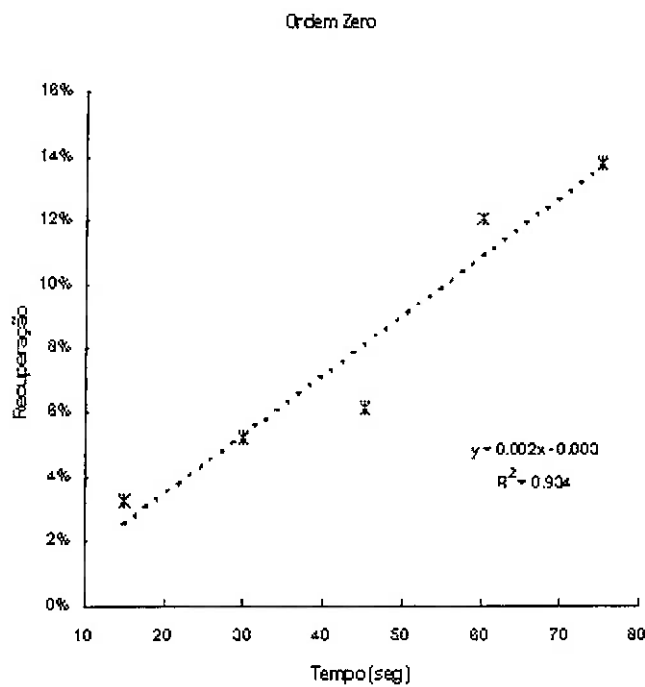


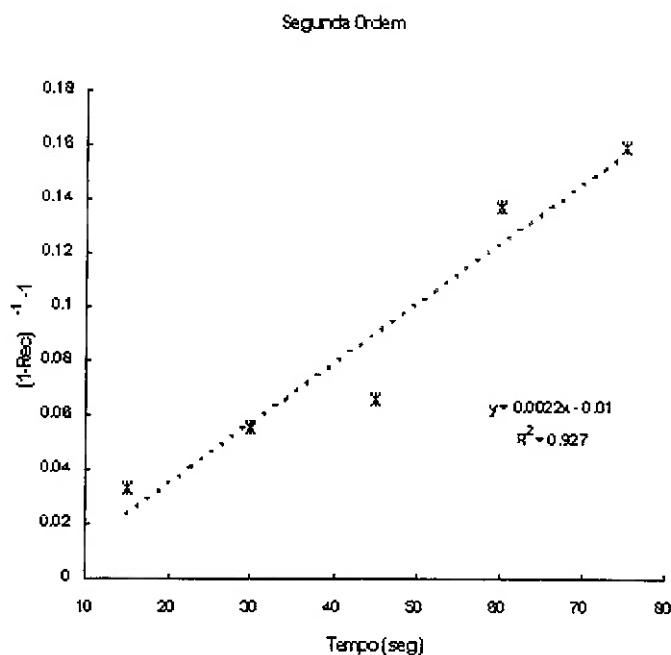
- Em $N_{Re} = 7643$ e $N_{Fr} = 7,5 \cdot 10^{-1}$.





- Em $N_{Re} = 11046$ e $N_{Fr} = 1,5 \cdot 10^0$.





2 – MÉTODO DA RAZÃO DOS TEMPOS.

Com base nos dados dos ensaios para estudo da cinética de flotação, foram determinados os tempos necessários para se atingir 50% e 75% de recuperação, chamados de $t_{1/2}$ e $t_{3/4}$, respectivamente. Isto foi feito por interpolação ou extrapolação, dependendo do caso.

De posse dos valores de $t_{1/2}$ e $t_{3/4}$, resolveu-se a equação 3.97, afim de estimar o valor da ordem cinética de flotação (n). A constante cinética (k) foi determinada através da razão entre a inclinação da reta do gráfico $(1 - \text{Rec})^{1-n}$ versus tempo e $(n - 1)$.

Os resultados para cada condição hidrodinâmica e granulometria de esfera são apresentados nas tabelas B-1 e B-2.

Tabela B-1. Ordens e constantes cinéticas de flotação das esferas de vidro – 28 + 35# em suas respectivas condições hidrodinâmicas.

	$N_{Re} = 471$ e $N_{Fr} = 3.10^{-3}$	$N_{Re} = 2256$ e $N_{Fr} = 6,57.10^{-2}$	$N_{Re} = 7643$ e $N_{Fr} = 7,5.10^{-1}$
$t_{1/2}$	11,78	24,64	11,68
$t_{3/4}$	50,05	65,15	31,66
$t_{3/4} / t_{1/2}$	4,25	2,64	2,71
Ordem (n)	2,6	1,6	1,7
Constante cinética (k)	$1,9.10^{-1}$	$3,5.10^{-2}$	$9,3.10^{-2}$
Coefficiente de correlação (r^2)	0,874	0,920	0,94

Tabela B-2. Ordens e constantes cinéticas de flotação das esferas de vidro – 48 + 65# em suas respectivas condições hidrodinâmicas.

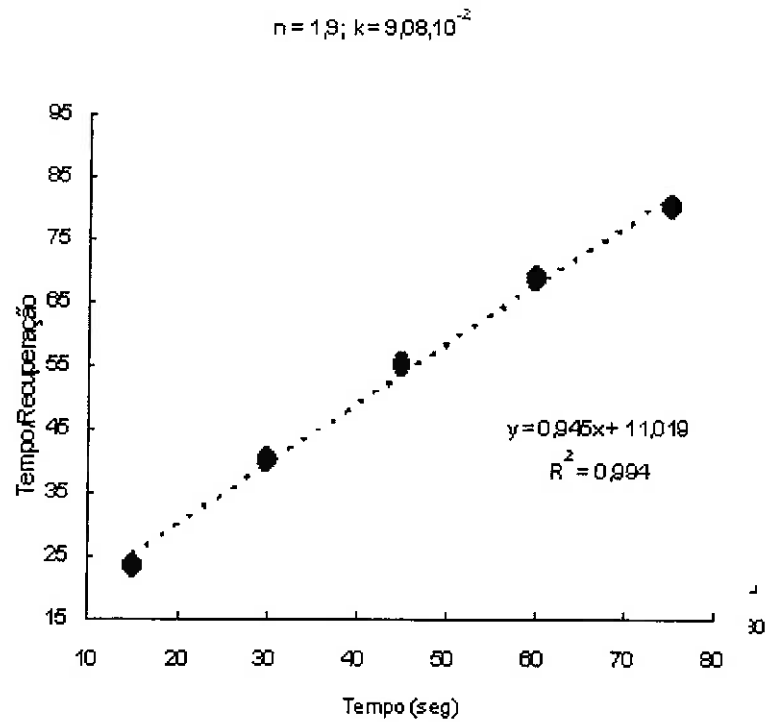
	$N_{Re} = 471$ e $N_{Fr} = 2,88.10^{-3}$	$N_{Re} = 7643$ e $N_{Fr} = 7,5.10^{-1}$	$N_{Re} = 11046$ e $N_{Fr} = 1,5.10^0$
$t_{1/2}$	13,72	9,44	272,18
$t_{3/4}$	33,99	14,16	408,27
$t_{3/4} / t_{1/2}$	2,48	1,5	1,5
Ordem (n)	1,5	0	0
Constante cinética (k)	$4,9.10^{-2}$	$3,0.10^{-3}$	$1,77.10^{-3}$
Coefficiente de correlação (r^2)	0,967	0,762	0,972

3 – MÉTODO DO TEMPO FRACIONÁRIO.

Os dados dos ensaios cinéticos de flotação foram linearizados segundo a equação 3.93. do capítulo 3. Fornecendo os gráficos abaixo:

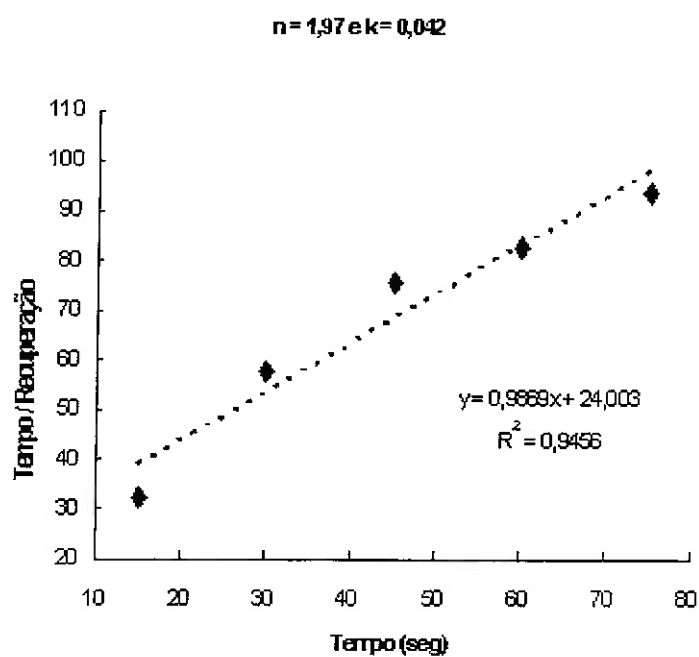
a) Para esferas de vidro – 28 + 35#.

- Em $N_{Re} = 471$ e $N_{Fr} = 3.10^{-3}$.



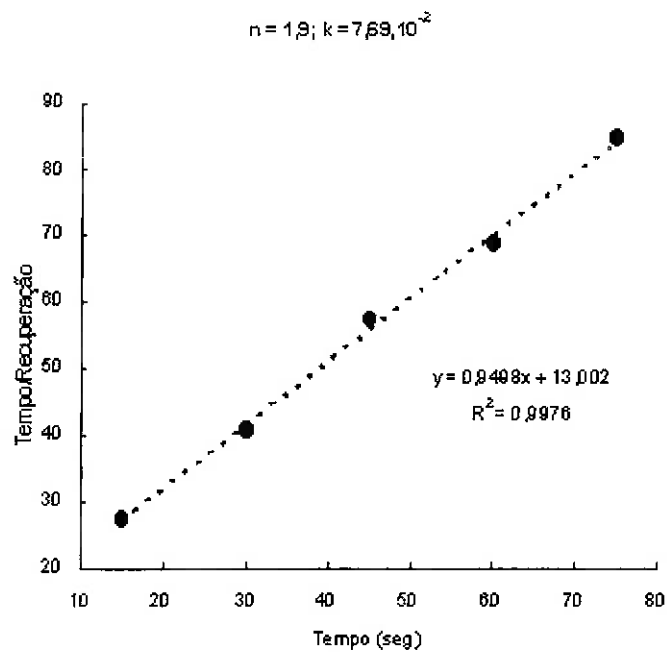
- Em $N_{Re} = 2256$ e $N_{Fr} = 6,57.10^{-2}$.

- Em $N_{Re} = 7643$ e $N_{Fr} = 7,5.10^{-1}$.

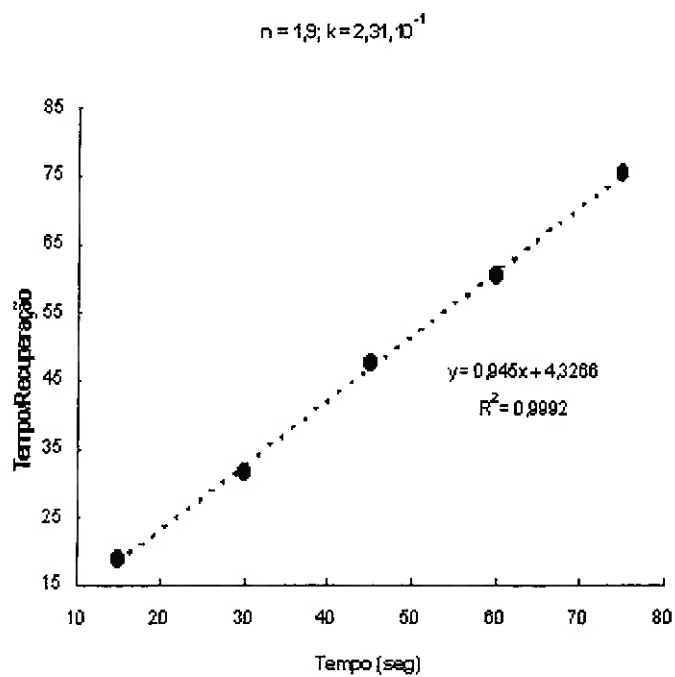


b) Para esferas de vidro – 48 + 65#.

- Em $N_{Re} = 471$ e $N_{Fr} = 2,88 \cdot 10^{-3}$.



- Em $N_{Re} = 7643$ e $N_{Fr} = 7,5 \cdot 10^{-1}$.



- Em $N_{Re} = 11046$ e $N_{Fr} = 1,5 \cdot 10^0$.

