

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO

ESTUDO E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE
JIGAGEM

Autor : FERNANDO PRIETO

Orientador : EDMUNDO KOELLE

1985

À Ângela

SUMÁRIO

	Pág.
INTRODUÇÃO	1
1. GRANULOMETRIA	3
1.1 Introdução	3
1.2 Tamanho das Partículas	7
1.3 Processos de Determinação da Granulometria	9
1.4 Apresentação dos Resultados	14
2. PRINCIPAIS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO DE MINÉRIOS DE METAIS PESADOS	17
2.1 Sluices	17
2.2 Sluices de Riffles	18
2.3 Sluices de Defletores de Impacto	19
2.4 Pinched Sluice	21
2.5 Lamflo	22
2.6 Separação por Escoamento Laminar	24
2.7 Concentração em Espirais	26
2.8 Mesas Vibratórias	31
2.9 Concentração Magnética	34
2.10 Concentração em Hidrociclones	37
2.11 Concentração em Jigues	42
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS LIGADOS AOS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO GRAVIMÉTRICA DE MINÉRIO	46
3.1 Decantação	46
3.2 Decantação de uma Partícula em um Meio Fluido	48
3.3 Decantação de uma Partícula fina em um Fluido	54
3.4 Velocidade Terminal em Queda Obstruída	58
3.5 Relação de Decantação	59
3.6 Aplicabilidade dos Processos de Separação Gravimétrica	63

	pág.
4. PRINCÍPIOS DE JIGAGEM	64
4.1 Movimento de Partículas de um Mineral em um Meio Fluido	64
4.2 O Trabalho do Jigue	66
4.3 O Jigue	71
4.4 Transporte Dentro do Jigue	77
4.5 Elementos de um Jigue	79
5. ESTUDO DA JIGAGEM	81
5.1 Influência dos Parâmetros no Dimensionamento do Jigue	81
5.2 Critérios Técnicos para a Variação dos Parâmetros de um Jigue	86
5.3 Procedimento de Ensaio para Otimização da Jigagem	87
6. ANÁLISE DINÂMICA DE UM MECANISMO DE ACIONAMENTO PARA JIGUES	93
7. ANEXOS	96

INTRODUÇÃO

Os minerais de importância comercial são raramente encontrados nas formas e graus de pureza que sua utilização prática exige. Normalmente, estes minerais apresentam-se sob forma de misturas físicas ou combinadas quimicamente com outras substâncias desprovidas de valor comercial. Desta forma, torna-se necessário tratá-los física ou quimicamente, a fim de separá-los destas impurezas.

Os processos físicos de concentração e separação dos minerais exploram essencialmente as diferenças de características físicas ou físico-químicas entre as várias espécies minerais que constituem os minérios. Tais características são, na maioria dos casos, o peso específico, o tamanho (granulometria), o formato dos grãos (molhabilidade), a condutividade elétrica, a suscetibilidade magnética, etc.

Dos processos de beneficiamento de minério, a concentração por gravidade é o mais simples e amplamente utilizado.

O homem copiou da natureza este processo, através do uso de caixas de eclusa e batéias de ouro. Destes simples inventos, inúmeras máquinas têm sido desenvolvidas, das quais o JIGUE pode ser considerado a mais versátil.

O presente trabalho, dividido em seis capítulos, procura mostrar os principais processos de separação gravimétrica, assim como um estudo mais detalhado da jigagem e sua posterior otimização.

CAPÍTULO I

GRANULOMETRIA

1. INTRODUÇÃO

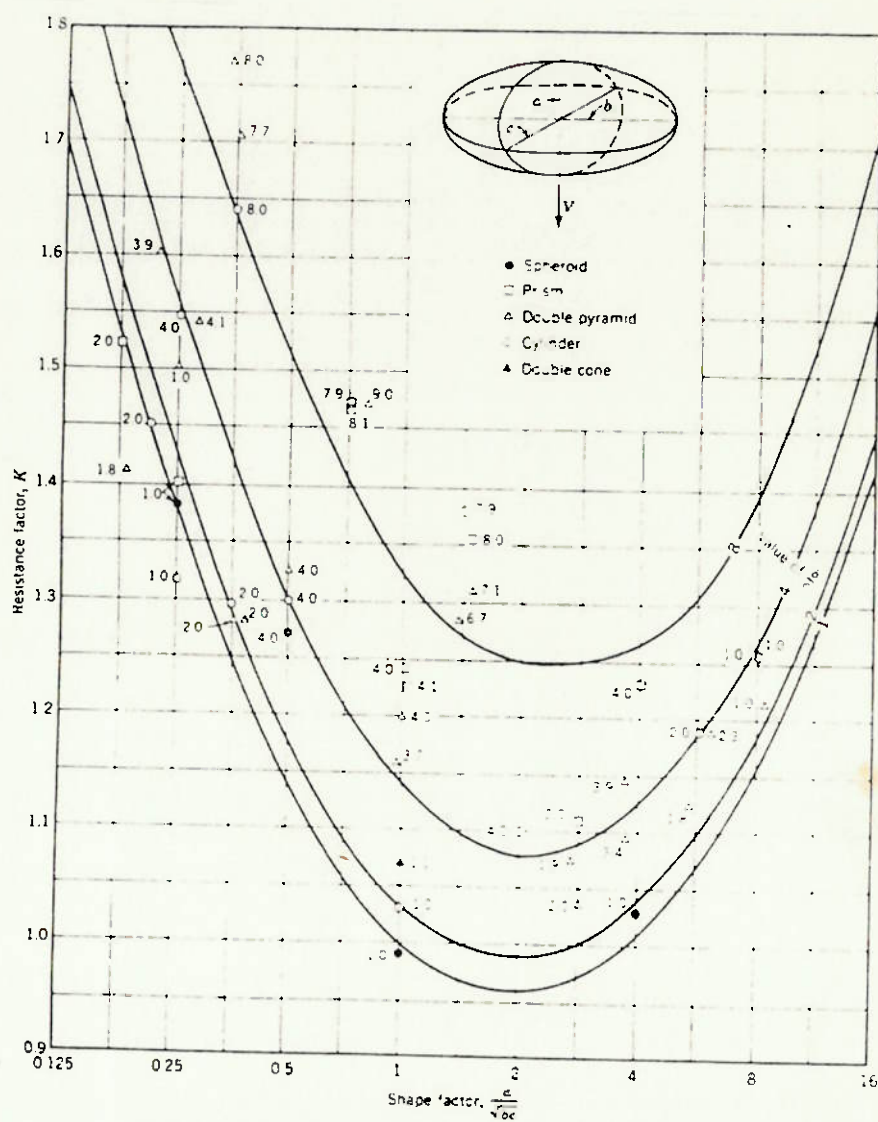
Antes de começar qualquer estudo sobre os processos de separação de minérios de metais pesados, torna-se necessária uma classificação granulométrica das partículas, já que, em muitos casos, nota-se que, partículas de grande peso específico, mas de tamanhos pequenos, comportam-se quase identicamente a partículas de tamanho maior, porém de baixo peso específico.

A reação de uma partícula a um processo de separação é bastante influenciada pelo seu formato, ou seja, pela relação entre sua superfície e seu volume. Para um dado volume, de todas as formas geométricas, a esfera é a que tem mínima área, ao passo que um disco chato tem a maior.

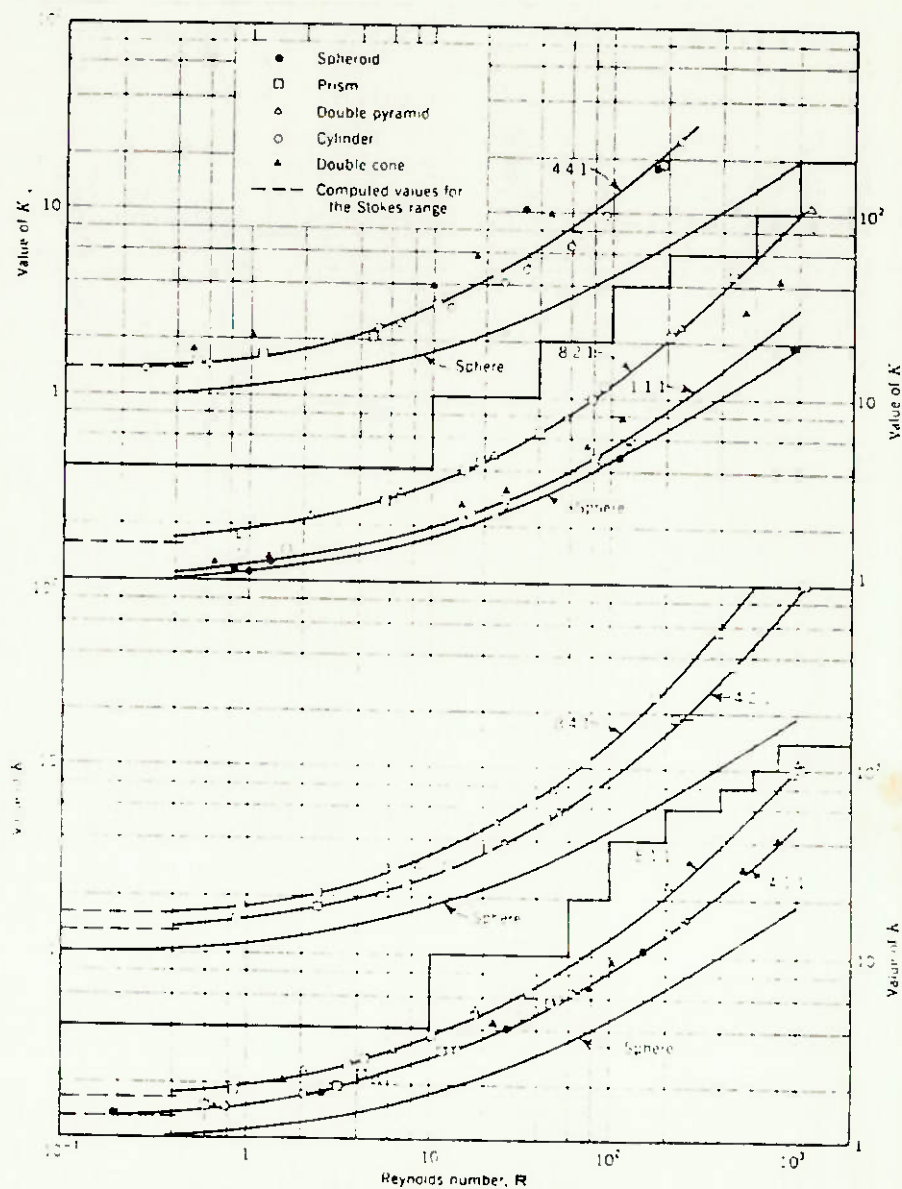
O formato das partículas, ou melhor, a superfície correspondente a este formato, é de grande importância, especialmente em mineração.

Seus principais efeitos são:

- a) Variação do coeficiente de atrito entre partícula e fluido, provocando diferentes esforços de arrasto hidrodinâmico.
- b) Transferência de calor de e para uma partícula.
- c) Reações químicas superficiais.
- d) Proteção a outro minério ao qual uma partícula poderá sobrepor-se.
- e) Influência na viscosidade do fluido em que está em suspensão.



-Comparison of Theoretical Values of K for Ellipsoids and Observed Values for Ellipsoids and Several Other Shapes for Reynolds Numbers Less than 0.1 (McNown, et al., 1951)



—Variation of K with Reynolds Number for Several Particle Shapes Falling with Their Short Axes Vertical (McNown, et al., 1951)

2. TAMANHO DAS PARTÍCULAS

Medir o tamanho de uma partícula sólida (gerada por um processo de degradação natural ou imposta) prende-se à dificuldade dos indivíduos em si não manterem uma forma geométrica ou qualquer similaridade geométrica no sistema de partículas, as quais pudessem definir uma forma de população. Existe, portanto, uma variabilidade de formas que dificulta a definição de tamanho das partículas.

A determinação do tamanho de uma partícula irregular depende do método de medida. Existem três formas básicas de caracterização desse tamanho:

- a) por medida linear: diâmetro médio, mínimo ou máximo;
- b) por uma área: área total externa, área de uma seção da partícula.
- c) por volume.

Analogamente, existem várias formas de exprimir a distribuição do tamanho de partículas em um sistema, função da variável aleatória assumida para definição do tamanho e do processo utilizado.

Esta distribuição em um sistema é usualmente repre-

sentada por:

- a) Números, $FN(x)$
- b) Comprimento, $FL(x)$
- c) Superfície, $FS(x)$
- d) Massa ou Volume, $FM(x)$.

Existe uma correlação entre essas distribuições, que pode ser visualizada pela análise das equações:

$$FL(x) = K1 \quad FN(x)$$

$$FS(x) = K2 \quad FN(x)$$

$$FM(x) = K3 \quad FN(x)$$

A conversão será possível, desde que os fatores de forma $K1$, $K2$, $K3$ sejam constantes ou independentes do tamanho da partícula.

3. PROCESSOS DE DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA

Existe uma série de processos de medida do tamanho de partículas ou determinação da granulometria. A escolha do método adequado para cada caso específico se prende ao tipo da medida desejada e dimensão das partículas, além de outros fatores de ordem prática, como quantidade de amostra disponível, frequência da análise, grau de automatização.

Para processos em que a variável aleatória é o diâmetro da partícula, a medida pode ser direta, como na microscopia, ou por uma comparação ao acaso, como no peneiramento. Na microscopia, mede-se diretamente o diâmetro desejado e a distribuição é dada por números que representam frequências de diâmetros. No peneiramento, a partícula é submetida a um gabarito, que a aceita ou não, e a distribuição é dada por massas de material aceito ou rejeitado.

O peneiramento é o método de determinação da granulometria mais amplamente utilizado.

Embora esse processo dê como resultado números discretos, é uma representação razoavelmente boa para uma variação contínua. Sendo a frequência expressa em massa, o processo nos permitirá, para grandes quantidades, obter a certeza estatística de que a média da distribuição total é a média das médias de cada classe, com desvio padrão igual à média dos desvios de cada classe.

Aliada às características já descritas está a facilidade de execução por meio de equipamento simples e barato, obtenção de resultados precisos e técnica apurada.

PROCESSOS USUAIS PARA MEDIDA DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS

VARIÁVEL ALEATÓRIA	MÉTODO	GRANULOMETRIA (MICRA)	DISTRIBUIÇÃO OBTIDA
Linear (Diâmetro das Partículas)	Peneiramento	37 - 4000	Por Massa
	Infrapeneiramento	5 - 120	Por Massa
	Microscopia	0,8 - 150	Por Número
	Micros. Eletrônica	0,001 - 5	Por Número
Linear (Diâmetros de Esferas com Igual Comportamento Hidrodinâmico)	Sedimentação	2 - 100	Por Massa
	Sed. por Centrífuga	0,01 - 10	Por Massa
	Elutriação	5 - 100	Por Massa
	Elutr. por Centrífuga	2 - 50	Por Massa
	Ciclonagem	5 - 50	Por Massa
Área (Superfícies ou Volumes)	Permeametria		
	Turbidimetria		
	Adsorção		
	Difusão Gasosa		
	Absorção		

O peneiramento tem limitações quanto ao tamanho das partículas. Para grãos menores que 38 micra o método não é utilizado, devido ao elevado custo para produção de gabaritos de aberturas finas e uniformes.

Para que os resultados da classificação granulométrica sejam comparáveis, os gabaritos são padronizados em:

a) forma das abertura: utiliza-se a abertura quadra-

da mundialmente.

- b) diâmetro dos fios: função da abertura.
- c) formação das malhas: fios de aço com textura quadrada.
- d) tamanho e formato das peneiras: normalmente redondas, presas a uma estrutura cilíndrica de diâmetro 200 mm e altura 50 mm.
- e) classes de diâmetros ou aberturas: conforme escala padronizada.

Um processo de peneiramento atende a um grande número de variáveis, destacando-se a massa a ser peneirada, a maneira de carregamento das partículas através da tela, o tipo de movimento utilizado e o tempo de peneiramento. Quanto ao movimento, observou-se experimentalmente que rotação associada a vibração produz os melhores resultados.

No grupo de processos em que a variável aleatória são diâmetros de esferas com igual densidade e comportamento hidrodinâmico idêntico às classes de partículas da população em estudo, a maioria dos métodos caracteriza o tamanho das partículas com base na sua velocidade de sedimentação em uma suspensão homogênea. A lei de STOKES é usada para avaliação dos diâmetros.

SISTEMAS MAIS COMUNS DE SÉRIES DE PENEIRAS

USBM (1)		TYLER (2)		ABNT (3)	
ABERTURA (mm)	DESIGNAÇÃO	ABERTURA (mm)	DESIGNAÇÃO	ABERTURA (mm)	NÚMERO
107,6mm	4,24"			108mm	
101,6mm				100mm	
90,5mm	3 1/2"			90mm	
76,1mm	3"			76mm	
64,0mm	2 1/2"			64mm	
53,8mm	2,12"			54mm	
50,8mm				50mm	
45,3mm	1 3/4"			45mm	
38,1mm	1 1/2"			38mm	
32,0mm	1 1/4"			32mm	
26,9mm	1,06"	26,8mm	1,050"	27mm	
25,4mm	1"			25mm	
*22,6mm	7/8"			22,5mm	
19,0mm	3/4"	18,9mm	0,742"	19,0mm	
* 16,0mm	5/8"			16,0mm	
13,5mm	0,530"	13,4mm		13,5mm	
12,7mm				12,5mm	
* 11,2mm	7/16"			11,2mm	
9,51mm	3/8"	9,47mm	0,371"	9,5mm	
* 8,00mm	5/15"			8,0mm	
6,73mm	0,265"	5,70mm	3 mesh	6,8mm	
6,35mm				6,3mm	
* 5,66mm	nº 3 1/2			5,6mm	
4,76mm	nº 4	4,74mm	4 mesh	4,8mm	
* 4,00mm	nº 5			4,0mm	ABNT nº 5
3,36mm	nº 6	3,35mm	6 mesh	3,4mm	ABNT nº 6
* 2,83mm	nº 7			2,8mm	ABNT nº 7
2,38	nº 8	2,36	8 mesh	2,4mm	ABNT nº 8
* 2,00	nº 10			2,0mm	ABNT nº 10
1,68mm	nº 12	1,65mm	10 mesh	1,7mm	ABNT nº 12
1,41mm	nº 14			1,4mm	ABNT nº 14
1,19mm	nº 16	1,18mm	14 mesh	1,2mm	ABNT nº 16
1,00mm	nº 18			1,0mm	ABNT nº 18
0,841mm	nº 20	0,837mm	20 mesh	0,840mm	ABNT nº 20
* 0,707mm	nº 25			0,700mm	ABNT nº 25
0,595mm	nº 30	0,592mm	28 mesh	0,600mm	ABNT nº 30
* 0,500mm	nº 35			0,500mm	ABNT nº 35
0,420mm	nº 40	0,419mm	35 mesh	0,400mm	ABNT nº 40
* 0,354mm	nº 45			0,350mm	ABNT nº 45
0,297mm	nº 50	0,296mm	48 mesh	0,300mm	ABNT nº 50
0,250mm	nº 60			0,250mm	ABNT nº 60
0,210mm	nº 70	0,209mm	65 mesh	0,210mm	ABNT nº 70
0,177mm	nº 80			0,175mm	ABNT nº 80
0,149mm	nº 100	0,148mm	100 mesh	0,150mm	ABNT nº 100
0,125mm	nº 120			0,125mm	ABNT nº 120
0,105mm	nº 140	0,105mm	150 mesh	0,105mm	ABNT nº 140
0,088mm	nº 170			0,088mm	ABNT nº 170
0,074mm	nº 200	0,074mm	200 mesh	0,075mm	ABNT nº 200
0,063mm	nº 230			0,063mm	ABNT nº 230
0,053mm	nº 270	0,052mm	270 mesh	0,053mm	ABNT nº 270
0,044mm	nº 325			0,044mm	ABNT nº 325
0,037mm	nº 400	0,037mm	400 mesh	0,037mm	ABNT nº 400

(1) Série de peneiras do sistema americano – ASTM especificação E-11-70

(2) Série de peneiras Tyler

(3) Série de peneiras do sistema brasileiro – ABNT especificações e-22B

* Série de peneiras propostas como Padrão Internacional – ISO

-A STANDARD SIZING SCALE BASED ON THE STANDARD 200-MESH
SCREEN

Size		Mesh	Sizing method	Example
Milli- meters	Microns			
26.67			Screening	River gravel
18.85				
13.33				
9.423				
6.680	.....	3		
4.699		4		Pea gravel
3.327	.....	6		
2.362	.....	8		
1.651	.....	10		
1.168	.....	14		
0.833		20	Classification and (elutriation and sedimentation)	Beach sand
0.589	.....	28		
0.417	.....	35		
0.295	.....	48		
0.208	.....	65		
0.147		100		Fine silt
0.104	.....	150		
0.074	.....	200		
0.052	52	270		
0.037	37	400		
	26		Microscope	Blood cells
	18.5	(800)		
	13			
	9.25	(1,600)		Many germs
	6.5			
	4.62	(3,200)		
	3.25			Wave length of visible light
	2.32			
	1.62			
	1.16		Centrifuge	Thinnest iridescent films visible by light interference
	0.81			
	0.58			
	0.41			Very large molecules
	0.29			
	0.20			
	0.14			Average unit crystal
	0.10			
	0.07			
	0.05			
	0.035			
	0.025			
	0.017			
	0.012			
	0.008			
	0.006			
	0.004			
	0.003			
	0.002			
	0.0015			
	0.001			
	0.0007			
	0.0005			

Uma variação deste processo pode ser observada na se
dimentação de partículas mais finas, onde se empregam centrí-
fugas.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

As distribuições esperadas, trabalhando-se com um sistema de partículas sólidas, são as do tipo centrada assimétrica, limitadas inferiormente pelo valor zero (não há valores negativos a não ser no caso de comparação com padrões). Os produtos granulares com predominância de frações grosseiras tendem a seguir uma distribuição normal.

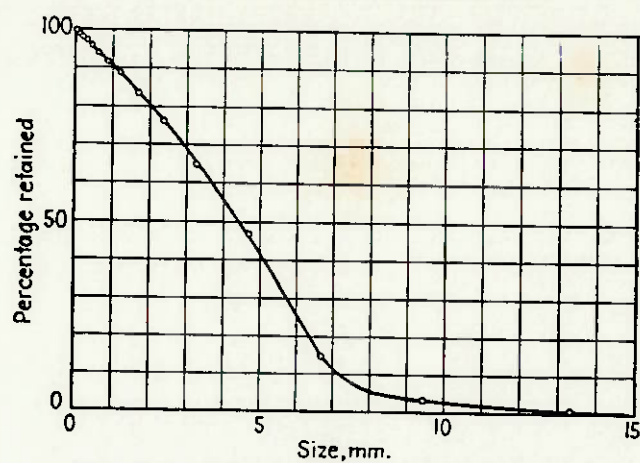
A apresentação dos resultados de distribuição granulométrica normalmente é por frequências individuais acumulativas, expressas por porcentagens ou frações em massa.

Esta apresentação ainda pode ser feita através de gráficos, tabelas ou na forma analítica.

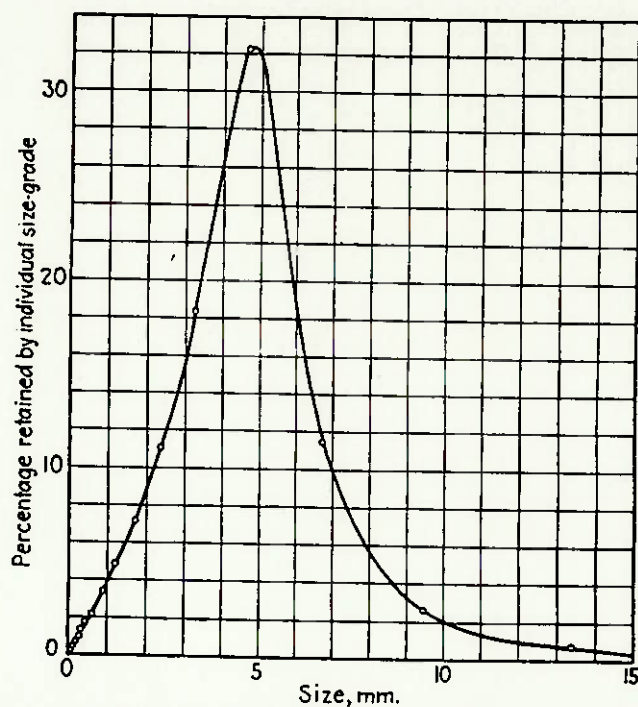
A forma analítica é bastante interessante, pois permite extrapolação de dados que não correspondam às aberturas de peneiras usadas para a análise granulométrica.

—TYPICAL SCREEN ANALYSIS
(Crusher product obtained in crushing rolls)

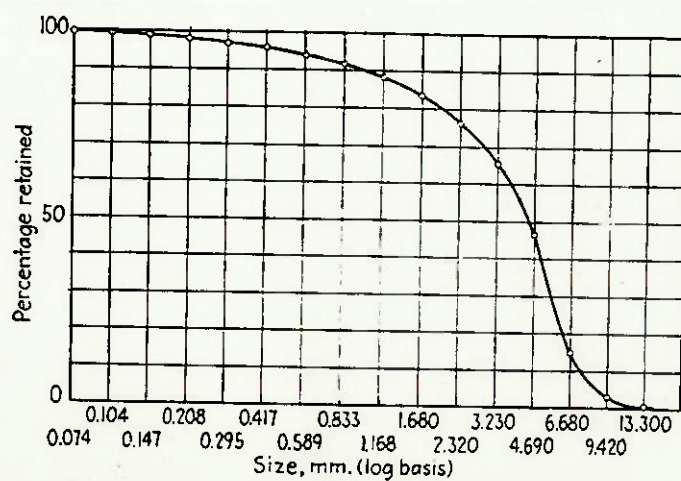
Size, millimeters	Actual percentage	Cumulative percentage
+ 13.33	0.74	0.74
-13.33 + 9.423	2.60	3.34
- 9.423 + 6.680	11.41	14.75
- 6.680 + 4.699	32.12	46.87
- 4.699 + 3.327	18.34	65.21
- 3.327 + 2.362	11.05	76.26
- 2.362 + 1.651	7.13	83.39
- 1.651 + 1.168	4.83	88.22
- 1.168 + 0.833	3.33	91.55
- 0.833 + 0.589	2.30	93.85
- 0.589 + 0.417	1.71	95.56
- 0.417 + 0.295	1.33	96.89
- 0.295 + 0.208	0.94	97.83
- 0.208 + 0.147	0.70	98.53
- 0.147 + 0.104	0.52	99.05
- 0.104 + 0.074	0.33	99.38
- 0.074	0.62	100.00
	100.00	



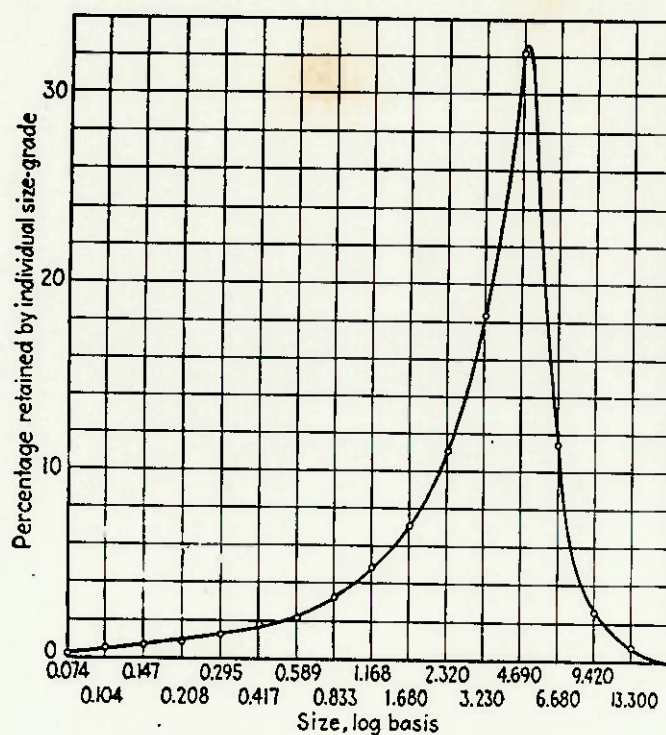
—Cumulative charting of a sizing analysis (data from Table 7).



—Direct charting of a sizing analysis (data from Table 7).



—Cumulative charting of a sizing analysis, logarithmic scale



-Direct charting of a sizing analysis, logarithmic scale

Example. The following tabulation shows a simple way of calculating average size on the basis of Eq. [III.1].

Size, mesh	Average size of grade, cm. (n)	Volume abundance, per cent (f)	$\frac{f}{n}$
28/35	0.0503	2	39.8
35/48	0.0356	8	224.5
48/65	0.0251	18	717.5
65/100	0.0178	30	1685.0
100/150	0.0125	20	1600.0
150/200	0.0089	12	1350.0
200/270	0.0063	7	1110.0
270/400	0.0044	3	681.0
			$\sum \frac{f}{n} = 7407.8$

$$x = \frac{100}{\sum \frac{f}{n}} = \frac{100}{7407.8} = 0.0135 \text{ cm.}$$

CAPÍTULO II

PRINCIPAIS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO DE MINÉRIOS DE METAIS PESADOS

1. SLUICES

(sluice = eclusa, água represada por comporta, dique, calha que conduz água para lavar o ouro)

Os sluices são, talvez, os aparelhos concentradores mais primitivos que se conhece. São usados, principalmente, para o tratamento de minérios aluvionais, nos quais o mineral se encontra livre, em granulometria fina e a diferença de seu peso específico para o das gangas é grande.

A operação do sluice é intermitente. A alimentação é feita pelo topo e dura o tempo necessário para saturá-lo (algumas vezes, até dias).

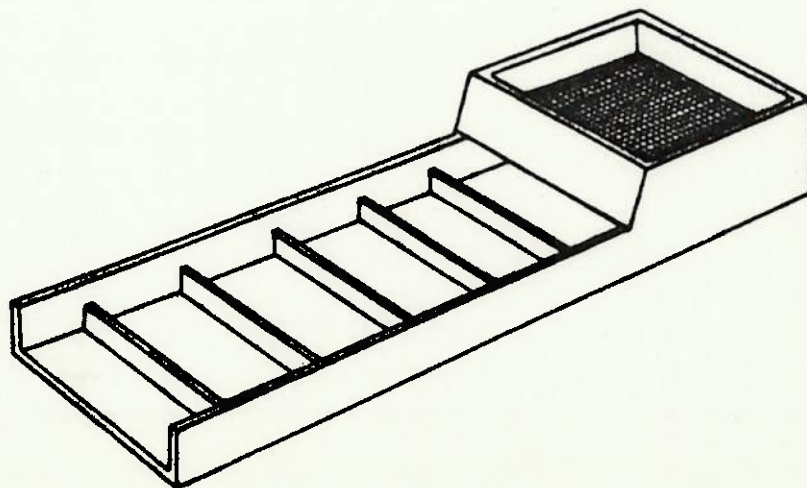
2. SLUICES DE RIFFLES

(riffle = dispositivo para reter a areia aurífera numa passagem inclinada)

São normalmente construídos de madeira, possuindo uma peneira fixa inclinada no topo da caixa de alimentação, com saída de estêreis grossos.

A altura dos "riffles" é variável, até três polegadas, assim como seu espaçamento, de acordo com cada aplicação. Sua largura é de, aproximadamente, um décimo do comprimento.

Este processo permite retirar minérios de jazidas cujas reservas são pouco relevantes e de difícil acesso com equipamentos mais sofisticados. O sistema não proporciona concentração de elevado teor, acarretando uma grande perda de finos no rejeito.



3. SLUICES DE DEFLETORES DE IMPACTO

Desenvolvido por uma equipe de engenheiros australia nos, este aparelho encontrou aplicação nas jazidas de baixo teor, de areias pesadas na Austrália e África.

Alimenta-se o aparelho; este promove uma sedimentação natural das partículas que formarão um leito inferior denso; este leito denso é então bombeado e lançado contra defletores, formando-se dois novos jatos e assim sucessivamente.

As partículas minerais são então classificadas em: concentrados, semi-concentrados e estéreis.

Quanto maior a porcentagem dos pesados na polpa, menor será a necessidade de aplicar passes e cortes pelo sluice.

Dependendo da configuração de montagem dos aparelhos, consegue-se uma recuperação de até 90% e concentrações da ordem de 60 a 70%. Para obter-se melhor eficiência, controla-se:

- a) Viscosidade e acidez da polpa.
- b) Ângulo dos defletores
- c) Inclinação do sluice.
- d) Alimentação em faixas granulométricas estreitas e bem definidas.

O equipamento é leve, construído em "fiberglass", podendo trabalhar nas mais variadas configurações, sejam em série ou paralelo.

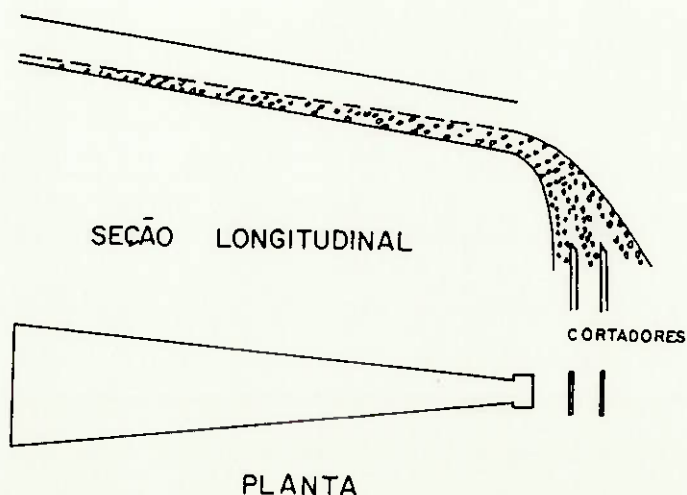
4. PINCHED SLUICE

(calha estrangulada)

Este tipo de "sluice" é uma calha de paredes convergentes. Em sua forma mais simples possui de 0,5 a 1,0 metro de comprimento, estreitando-se de 230 milímetros de largura no topo para 25 na descarga.

A alimentação é feita pelo topo em polpa contendo de 50 a 55% de sólidos e estratifica-se à medida que desce pela calha. Na extremidade de descarga, existe uma placa formando um pequeno ângulo com a calha, destinada a fazer a polpa esparramar-se antes de atingir os cortadores. Estes cortadores interceptam o fluxo já fora da calha e o divide em: concentrado, semi-concentrado e rejeito.

A faixa granulométrica ideal para alimentação é de 20 a 200 malhas. A capacidade de trabalho varia de 0,5 a 2,0 toneladas por hora.



5. LAMFLO

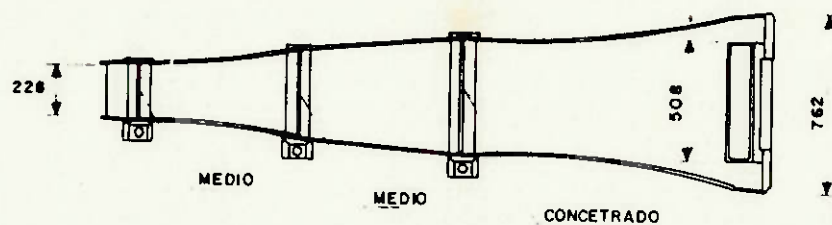
É um concentrador gravimétrico a úmido, cujo princípio de funcionamento é semelhante ao de uma calha estrangulada.

O aparelho é composto por três calhas, sendo a primeira e a terceira de paredes curvas, e a segunda de paredes convergentes.

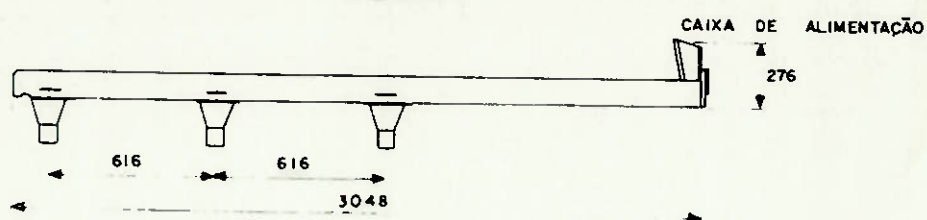
A separação é auxiliada pelas curvas. A resultante final de arraste será em direção ao eixo do canal, ao invés de paralela às paredes. Com a convergência das paredes e a consequente diminuição da seção do canal, há um aumento de velocidade no centro do canal e uma rápida remoção de partículas leves suspensas para a direção central. Em seguida, com o alargamento da seção do canal, há uma diminuição da velocidade, principalmente das partículas pesadas, acarretando uma melhor eficiência de separação.

Dependendo da granulometria do material, pode-se trabalhar com taxas de alimentação de 4 a 10 toneladas por hora de sólidos a 40 ou 45% de água.

O "lamflo" é normalmente operado sob um ângulo de 15° com a horizontal.



PLANTA



ELEVACÃO

6. SEPARAÇÃO POR ESCOAMENTO LAMINAR

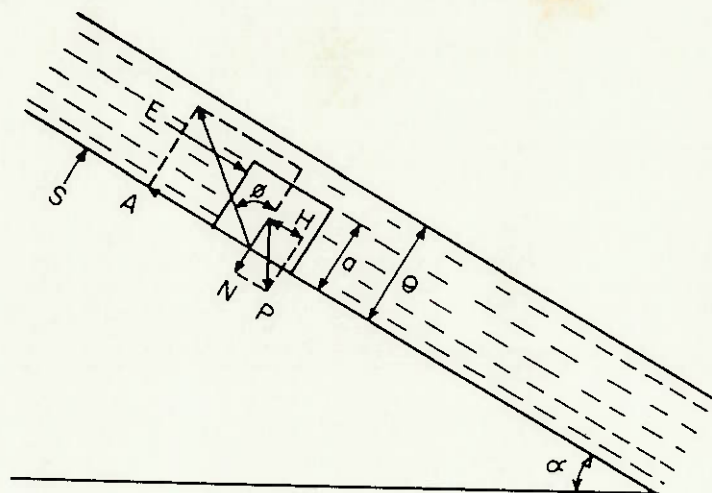
O escoamento laminar é caracterizado pelo fato da corrente longitudinal consistir de uma lâmina líquida de pequena espessura.

A estratificação das partículas é dada devido aos seguintes fatores:

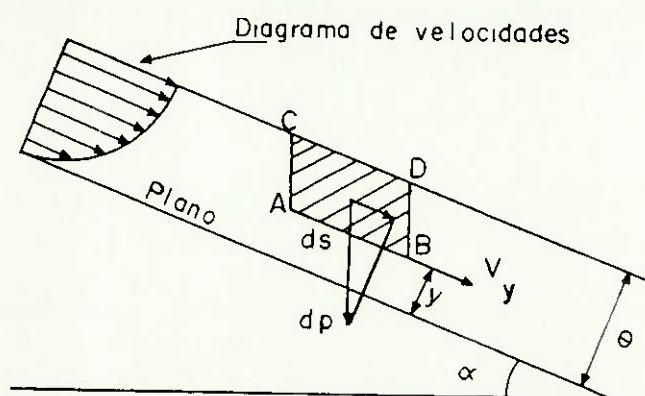
- a) Pressão exercida pela lâmina líquida sobre a partícula.
- b) Velocidade diferencial do fluido a diferentes profundidades na lâmina.
- c) Atrito da superfície onde ocorre o escoamento.

A velocidade diferencial das camadas líquidas provoca uma estratificação das partículas sobre a superfície onde ocorre o escoamento, sendo que as mais pesadas e finas sedimentam-se em primeiro lugar; as pesadas grossas e as leves finas logo após e as leves grossas por último.

A figura mostra uma partícula cúbica, apoiada sobre uma superfície, com todas as forças a que ela está sujeita.



PRINCÍPIO DE AÇÃO LAMINAR



7. CONCENTRAÇÃO EM ESPIRAIS

A espiral consiste em um canal helicoidal cilíndrico com seção transversal semi-circular modificada. No topo, existe uma caixa destinada a receber a alimentação em forma de polpa. À medida que esta polpa escoar, as partículas mais pesadas se encontram numa faixa ao longo do lado interno do fluxo e são removidas por aberturas localizadas na parte mais baixa de sua seção transversal.

Existem duas aberturas para cada volta da espiral. Estas aberturas são providas de um dispositivo que permite guiar os minerais pesados para se obter a separação desejada, através de regulagens. Cada abertura é conectada a um tubo coletor central, de forma a juntar todo material recolhido nas várias aberturas. No terminal inferior do canal, existe uma caixa destinada a recolher os minerais leves que não são recolhidos pelas aberturas.

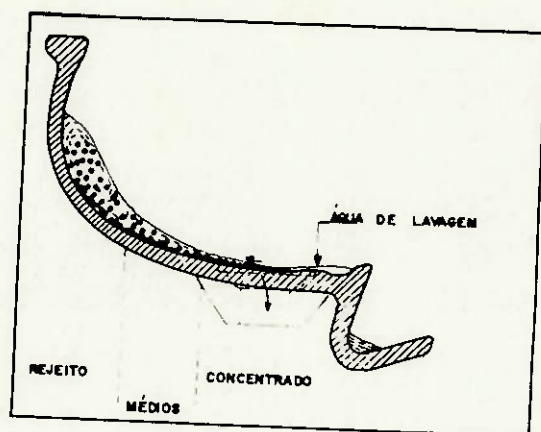
O princípio de funcionamento das espirais é uma combinação de escoamento laminar e força centrífuga. Uma vez em contato com a superfície do canal, as partículas de maior densidade são levadas por uma película de fluido aderente à superfície. Esta película possui uma velocidade bem menor do que o restante da corrente fluida, que contém os minerais leves e pequenos, que não se depositaram. Desta forma, a polpa se divide em duas partes distintas: a película fluida, contendo os minerais pesados e grossos, e o restante, contendo os mi

nerais leves e pequenos.

A película fluida não tem sua trajetória influenciada pela ação centrífuga e move-se lentamente para o interior do canal, onde é removida pelas aberturas. O restante da corrente desenvolve uma velocidade várias vezes superior, sendo lançada contra a parte externa do canal pela ação da força centrífuga. Desta maneira, a diferença de forças centrífugas entre as duas correntes promove uma "rotação transversal", no sentido de remover os minerais pesados, levá-los às aberturas e devolver os leves à corrente, separando-os.

A concentração em espirais acontece rapidamente. Logo nas duas primeiras voltas, pode-se retirar um concentrado puro. O material recolhido nas últimas espirais pode ser tratado separadamente, constituindo-se de um produto médio (semi-concentrado).

A espiral mais largamente utilizada é a de HUMPHREYS, fabricada normalmente com 5 ou 6 espiras.



- PARTÍCULAS DE BAIXA DENSIDADE
- PARTÍCULAS DE ALTA DENSIDADE

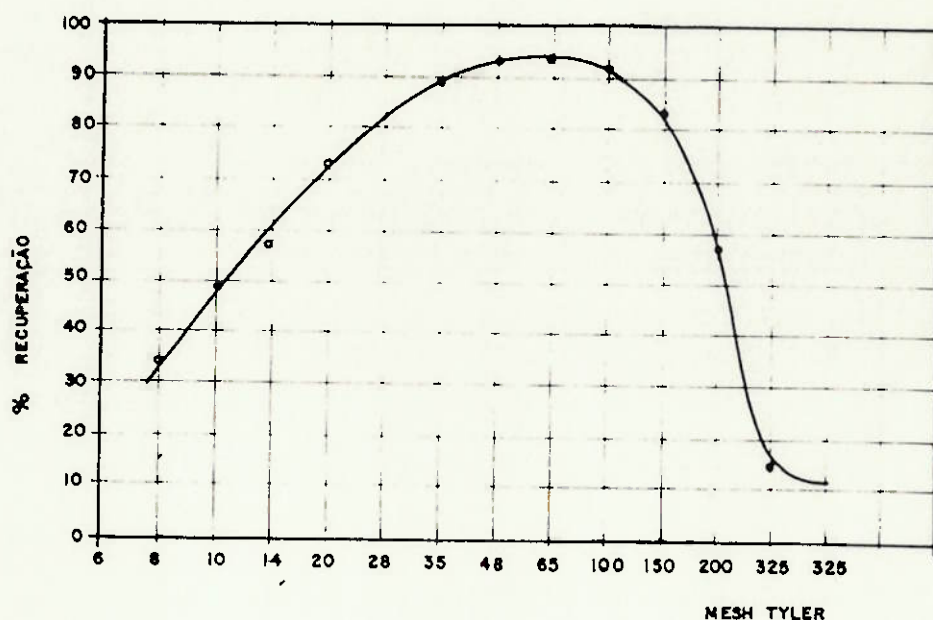
SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA ESPIRAL MOSTRANDO
A POSIÇÃO RELATIVA DOS PRODUTOS

Características Funcionais das Espirais

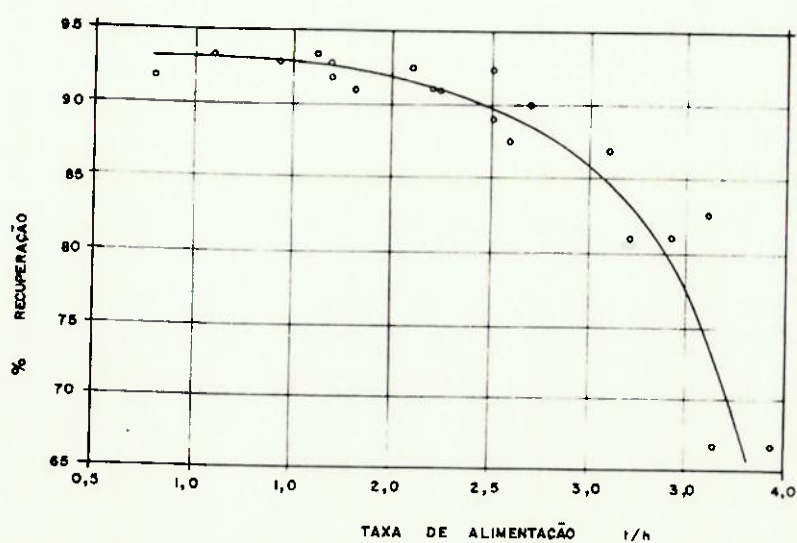
A capacidade de alimentação por espiral é da ordem de 0,5 a 2,5 toneladas por hora de sólidos. A razão da polpa de alimentação depende das características dos minérios de alimentação, variando de 50 a 110 litros por minuto, tanto maior quanto mais grosso for o mineral.

A porcentagem de sólidos na alimentação é usualmente regulada de 20 a 30%, podendo chegar a 50%.

Os limites granulométricos dos minerais pesados devem ser de 8 a 200 mesh.



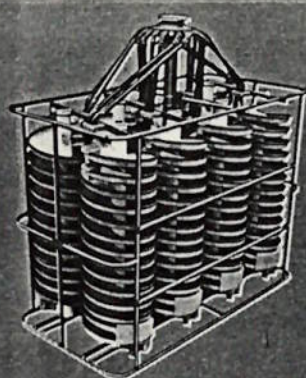
RECUPERAÇÃO VERSUS GRANULOMETRIA



RECUPERAÇÃO VERSUS TAXA DE ALIMENTAÇÃO

A diferença de pesos específicos entre os minerais deve ser sempre maior do que $1,0 \text{ g/cm}^3$, para que se obtenha uma concentração satisfatória. Entretanto, não é verificada a separação de dois ou mais minerais pesados, mesmo que a diferença entre suas densidades seja grande.

A forma ou tamanho das partículas pode influenciar de tal forma a concentração que, em certos casos, pode-se obter uma boa separação para minerais de densidades próximas.



ESPIRAIS CONCENTRADORAS TIPO M.E.C.

Construídas em fibra de vidro com revestimento de poliuretano, aplicáveis a tratamentos e recuperação de minérios em geral. A capacidade horária é de aprox. 3 ton./hora por espira, podendo tratar até 72 ton./hora num módulo de 8 espirais, de três espiras sobrepostas. *Modelos:* 63, de uma, duas e três espiras sobrepostas. Módulos com duas, quatro, seis e oito espirais.

8. MESAS VIBRATÓRIAS

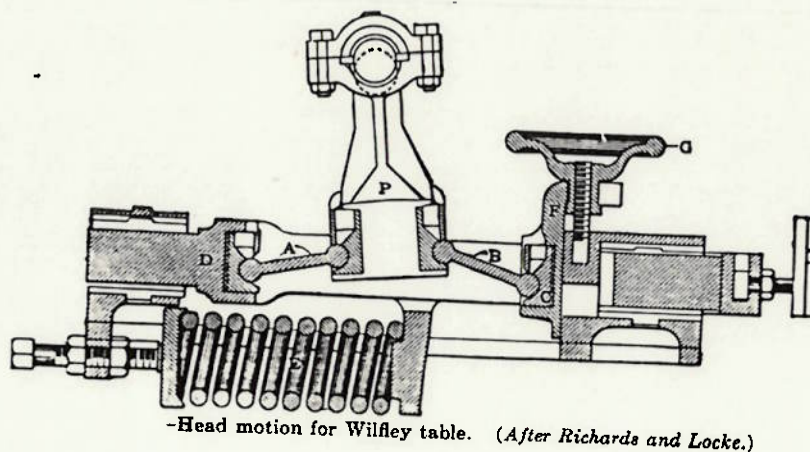
A concentração em mesas vibratórias se dá devido ao seu movimento com acelerações assimétricas, combinado ao princípio do escoamento laminar.

A mesa mais conhecida e utilizada é a de WILFLEY, com "riffles" paralelos ao eixo longitudinal, proporcionando a formação de um leito e estratificação por ação semelhante à da jigagem. As partículas grandes e leves são expostas ao fluxo transversal de água de lavagem depois da estratificação e são carregadas.

A inclinação da mesa de Wilfley no sentido transversal ao eixo longitudinal pode ser controlada através de um volante externo, variando de 0 a 3 graus. A água de lavagem é adicionada na parte superior através de uma calha perfurada.

As mesas de Wilfley podem ser divididas em 3 regiões distintas: a área onde os "riffles" são mais profundos corresponde à região dos rejeitos; a região dos concentrados fica após o final dos "rifles", onde há separação por escoamento laminar; a região central, entre rejeitos e concentrados, reúne as partículas pequenas leves e as grandes pesadas.

A vibração da mesa de Wilfley é produzida pelo mecanismo da figura.



Este mecanismo é provido de uma biela *P*, acionada por um excêntrico e presa a duas barras móveis *A* e *B*. A barra *A* articula-se no quadro *D*, enquanto a barra *B* apóia-se em uma peça fixa *C*, vinculada ao chassi principal. A mola *E* serve para manter as barras *A* e *B* ajustadas à biela.

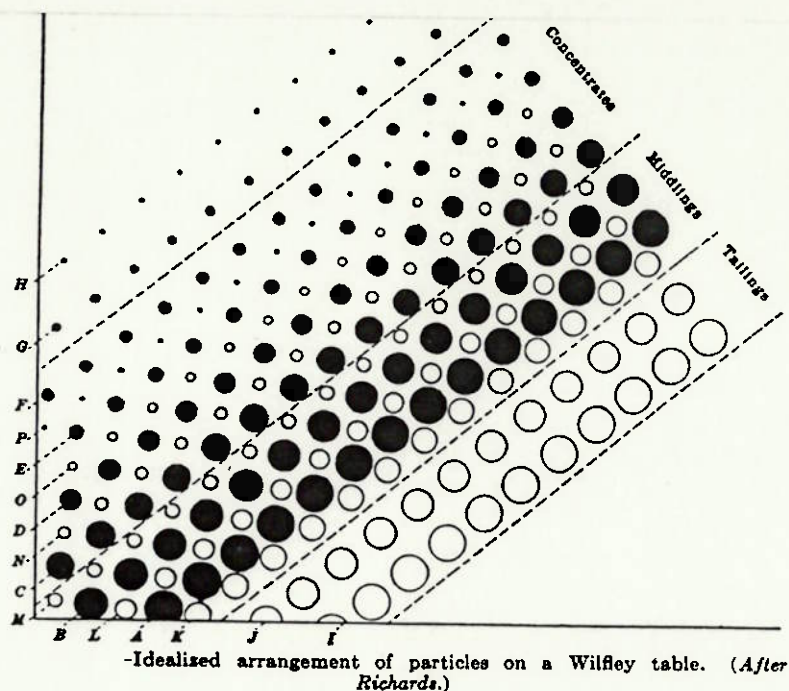
O comprimento do curso e a energia do impulso podem ser variados através da cunha *F*, que desliza sobre o apoio *C*. Com o aumento da distância entre as barras, obtêm-se um curso e um impulso mais fortes.

Para se alterar a frequência de vibração, a veloci-

dade do excêntrico deve ser modificada.

A frequência e o curso de oscilação de uma mesa vibratória devem ser ajustados de acordo com a granulometria da alimentação. Para material fino, utiliza-se alta frequência e baixa amplitude; para materiais grossos, utiliza-se o inverso.

Normalmente, a frequência varia de 150 a 290 ciclos por minuto e a amplitude de 6 a 32 milímetros.



A capacidade das mesas vibratórias depende não só da frequência e da amplitude, como também da inclinação, quantidade de água e características da alimentação, tais como granulometria e densidade. Ela varia de 5 a 50 toneladas em 24 horas.

9. CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA

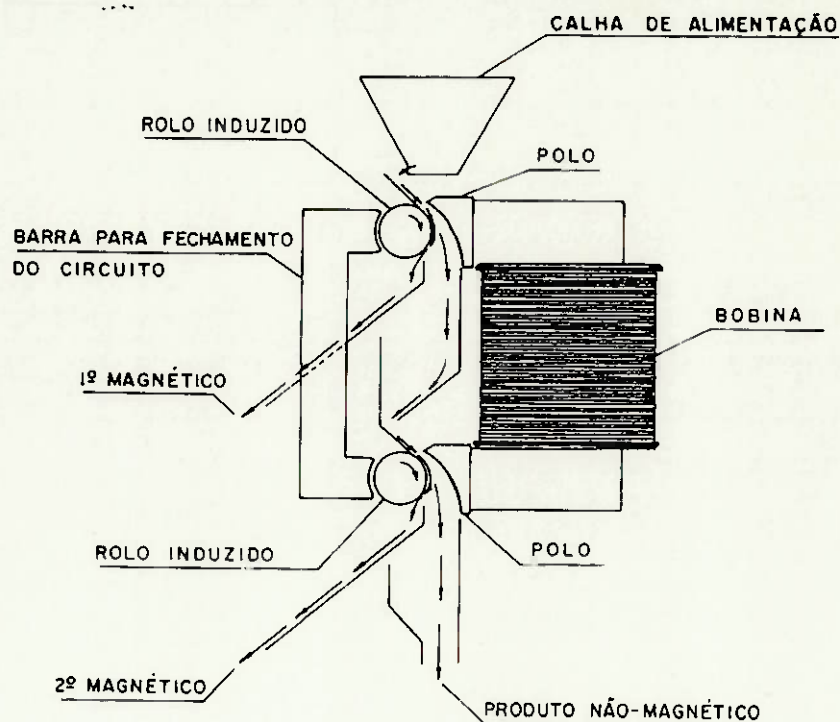
A concentração magnética é largamente utilizada no beneficiamento de minerais de ferro, quando este está presente em qualquer de suas formas.

Separadores Magnéticos a Seco

Mais conhecidos como Separadores de Rolo Induzido, utilizam campos magnéticos de alta intensidade e são usados desde o início do século.

São fabricados com várias combinações de rolos, de forma que, os não magnéticos vão sendo retratados em estágios sucessivos. São disponíveis com rolos de 5 a 10 polegadas de largura e com até dez rolos induzidos numa única máquina. O material a ser tratado deve estar seco, permitindo um fluxo uniforme.

Para se obter bons resultados, deve-se trabalhar na faixa de 8 a 150 mesh. Os melhores resultados são obtidos em faixas granulométricas estreitas.



SEPARADOR DE ROLO INDUZIDO

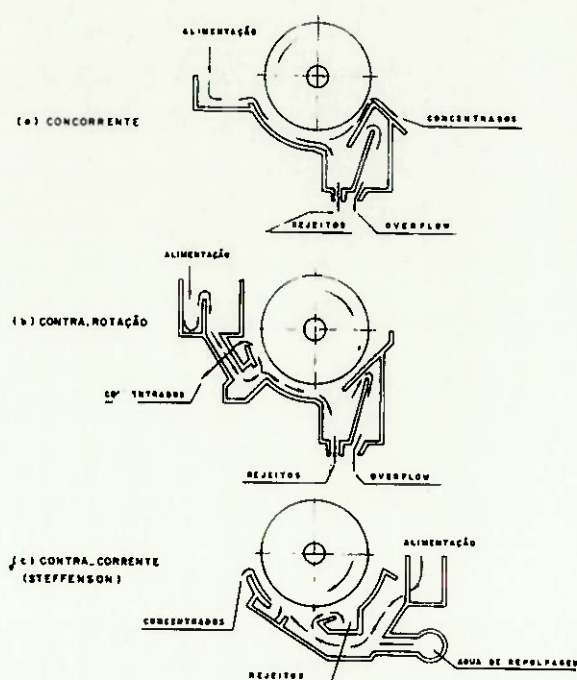
Separadores Magnéticos a Úmido

Conhecidos também como Separadores Magnéticos de Tambor, são aplicáveis, tanto à concentração de minérios fortemente magnéticos, quanto à recuperação de magnetita ou ferrosilício em plantas que utilizam meio denso.

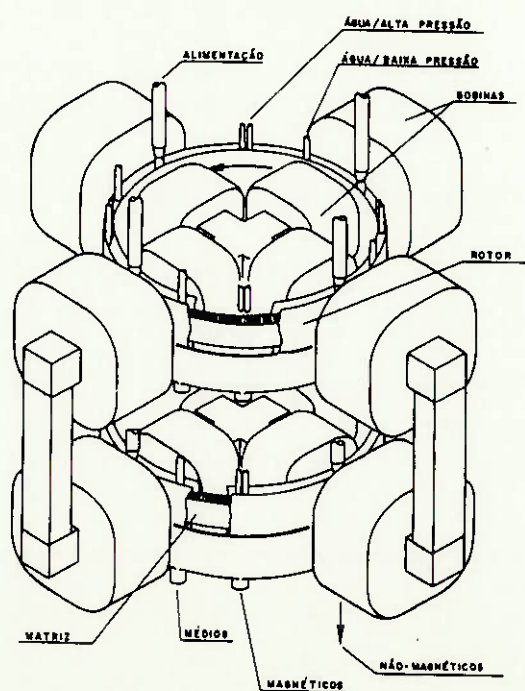
Para atender a diferentes aplicações, os separadores de tambor a úmido são divididos em 3 grupos: concorrente, contra-corrente e contra-rotação. A diferença entre estes tipos de concentradores está no desenho do tanque e na direção do

fluxo de alimentação em relação à rotação do tambor.

Para operações de recuperação em meio denso, é desejável fazer uma combinação entre os tipos concorrentes e contra- rotação, para se otimizar a recuperação.



SEPARADORES DE TAMBOR VIA ÚMIDA



SEPARADOR BOXMAG. RAPID DE OITO POLOS (HIW 8)

10. CONCENTRAÇÃO EM HIDROCICLONES

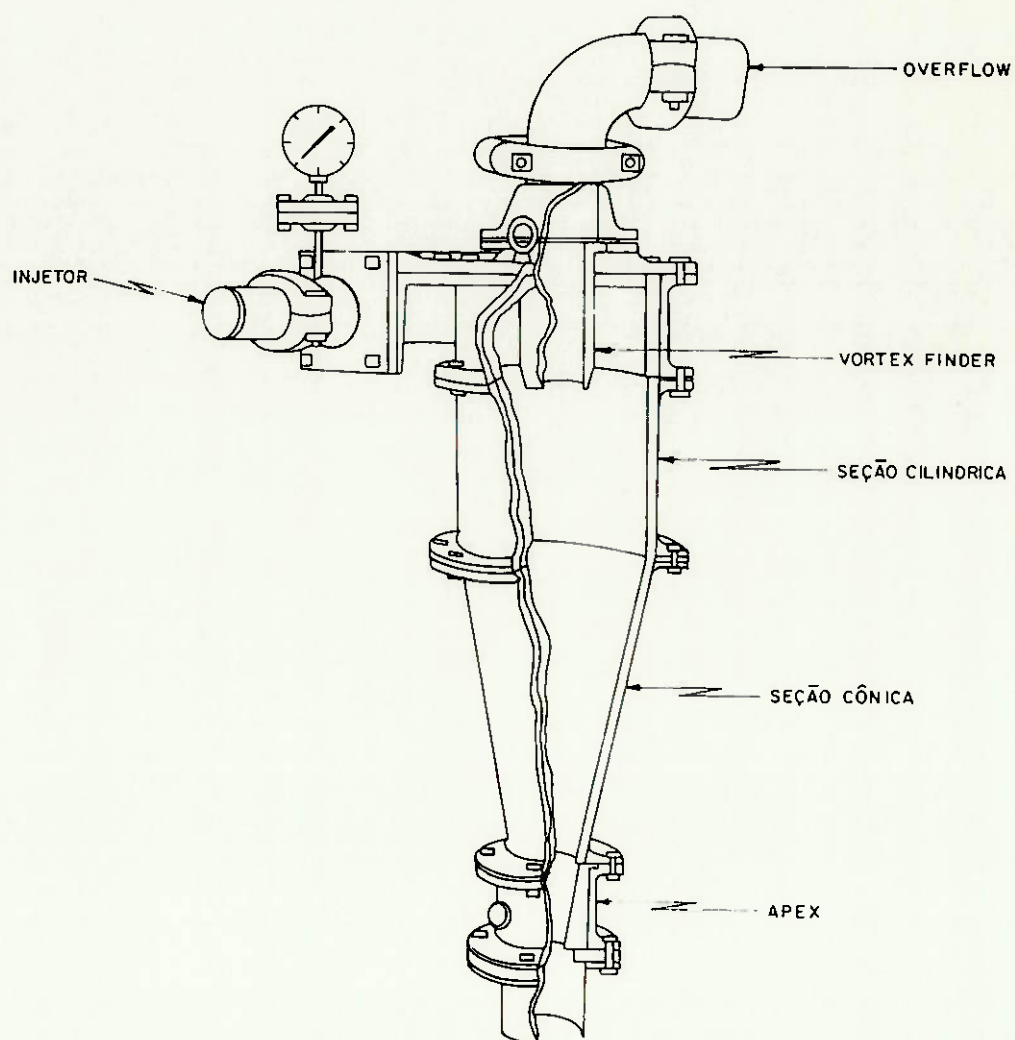
O hidrociclone é um equipamento desprovido de partes móveis, sendo composto basicamente por duas peças; um cilindro e um cone.

Pode-se observar a existência de 3 orifícios nos hidrociclonos:

- a) injetor: é por onde se dá a entrada da polpa.
- b) "vortex": é o lugar onde se dá a descarga da água, juntamente com a fração fina dos sólidos; seu eixo coincide com o do hidrociclone.
- c) "apex": é o orifício de descarga da fração grossa dos sólidos, em porcentagens de sólidos mais elevados.

A dimensão característica do hidrociclone é o seu diâmetro. O diâmetro do "vortex" é variável dentro de certos limites, assim como o "apex", dependendo da aplicação.

HIDROCICLONE TÍPICO



Mecanismo de Separação

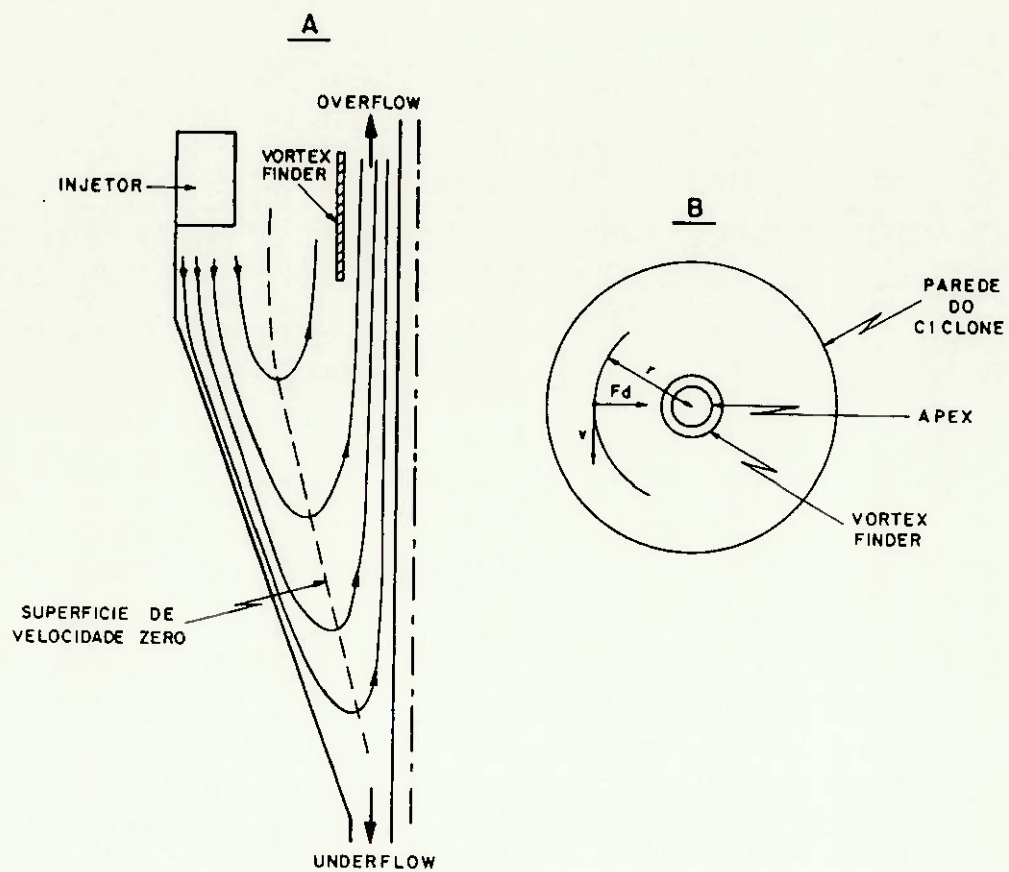
A polpa injetada tangencialmente na parte cilíndrica caminha em direção ao centro, na forma de uma espiral, ao mesmo tempo em que vai para a descarga, por um de seus dois orifícios de saída.

Devido ao regime hidrodinâmico que ocorre dentro do ciclone, tornam-se muito importantes a disposição e forma do orifício de entrada para minimização da turbulência, que afeta bastante a concentração.

Normalmente, o injetor é de forma retangular e disposto de modo a introduzir a polpa helicoidalmente, tangenciando a parede do aparelho.

O hidrociclone faz a separação das partículas pela ação da força centrífuga. A polpa injetada segue uma trajetória circular que cria no centro do ciclone um vórtice de baixa pressão, o qual aspira ar pelo "apex", criando uma corrente de polpa que se dirige ao "vortex" e outra, em sua parede, que vai para o "apex". Desta maneira, haverá dentro do ciclone uma distribuição de velocidades como mostra a figura.

ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE FORÇAS
DENTRO DO HIDROCICLONE



Pode-se observar que existirá uma superfície imaginária cuja velocidade vertical será nula. Nas partes externas a esta superfície, haverá uma velocidade em direção ao "apex", e, nas partes internas, em direção ao "vortex".

Uma partícula colocada em um ponto qualquer do hidrociclone estará sob efeito de uma força centrífuga e outra de arraste, que se dirige ao "vortex". Para partículas grossas ou pesadas, a força centrífuga supera a de arraste, fazendo com que esta partícula se dirija à parede do ciclone, entrando na corrente do "apex". As partículas finas e leves irão se aproximar do centro do ciclone, pelo fato da força de arraste superar a centrífuga, sendo descarregada pelo "vortex".

11. CONCENTRAÇÃO EM JIGUES

Processo descoberto a mais de 2000 anos, a jigagem é uma forma especial de decantação retardada.

Este processo consiste na estratificação das partículas em camadas de diferentes densidades, pelo movimento rítmico e repetitivo de uma suspensão espessa que, por curtos períodos de tempo, tem a oportunidade de se movimentar, subindo ou descendo, de modo a se arranjar em camadas.

Comercialmente, destacam-se três tipos de jiges:

a) Jigue de Membrana Submersa Vertical.

Também conhecido como jigue "YUBA", é uma máquina concebida para efetuar a separação de minérios complexos, onde tornam-se necessárias operações múltiplas.

O movimento da água é transmitido por um diafragma vertical movido por um excêntrico.

b) Jigue de Membrana Submersa Horizontal

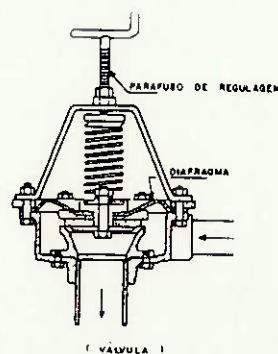
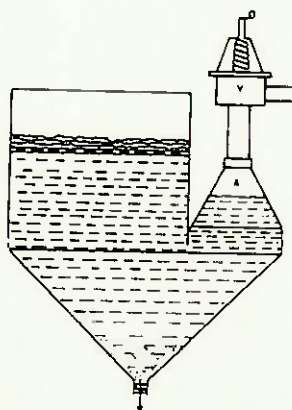
Conhecido como jigue tipo "Panamerican", possui todas as características do anterior, a menos da membrana, que é horizontal. Seu peso é geralmente inferior ao daquele, facilitando sua instalação, onde quer que seja.

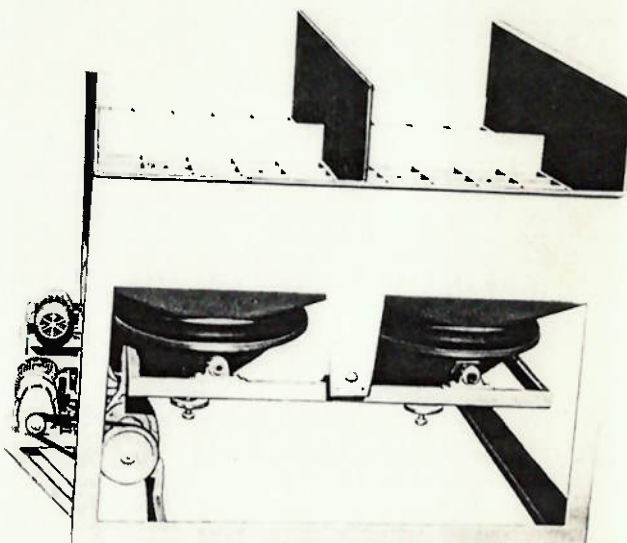
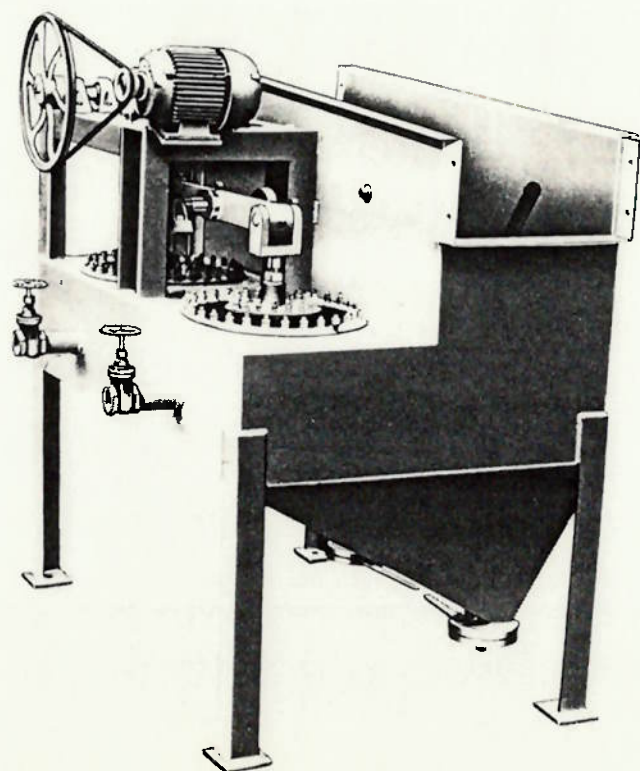
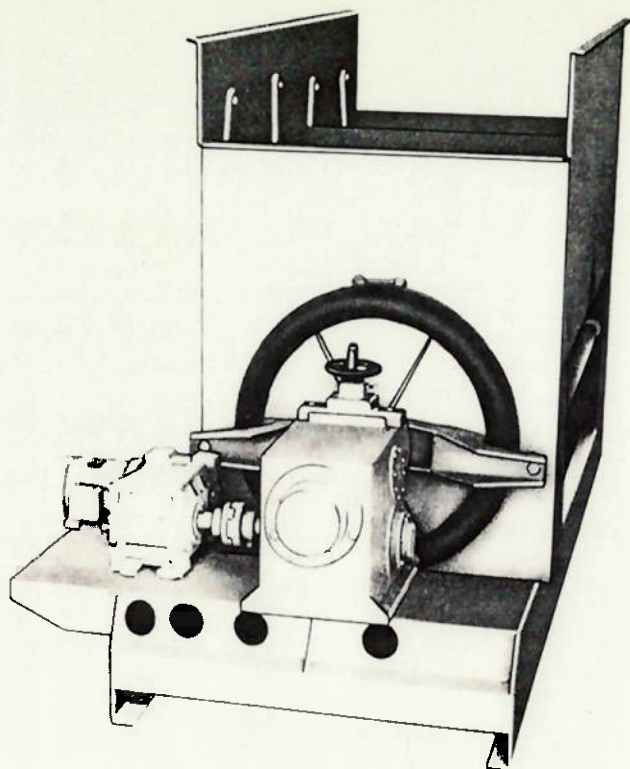
c) Jigue de Membrana Sobre o Nível da Água.

Conhecido como jigue "DENVER", é utilizado em separações finas, onde torna-se necessário um semi-acabamento ou acabamento destes finos.

Neste tipo de jigue, deve-se descarregar periodicamente uma bolsa de ar, que se forma entre a membrana e o nível da água, a qual dificulta o bom andamento do processo. Esta descarga é realizada através de válvulas colocadas lateralmente à máquina.

Além destes três tipos principais, pode haver diferenças quanto à maneira de se promover o movimento periódico da água. Este movimento pode ser produzido mecanicamente, pneumaticamente ou até por jatos descontínuos e periódicos de água ou ar.





Para um melhor aproveitamento do minério a ser beneficiado, utilizam-se várias células de jigagem em série. Isto se faz, visando recuperar diferentes faixas granulométricas em jiges sucessivos.

Regula-se o primeiro jige para concentrar as partículas grossas e pesadas em prejuízo das pequenas e leves que deverão ser recuperadas em células sucessivas. Criam-se então a jigagem primária, a secundária, a terciária e assim por diante.

Uma descrição mais detalhada do jige propriamente dito e de seu mecanismo de recuperação será feita no capítulo 4.

CAPÍTULO III

FUNDAMENTOS TEÓRICOS LIGADOS AOS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO GRAVIMÉTRICA DE MINÉRIO

1. DECANTAÇÃO

Uma das melhores técnicas de medição do tamanho das partículas é a decantação.

Decantação é o ato de precipitação, sob ação da força de gravidade, de partículas sólidas em um meio fluido.

Algumas observações mostram que existem forças naturais que, sob controle, podem ser utilizadas na separação de dois minerais, ou um mineral e um fluido.

Sabe-se que, uma pena e um martelo deixados cair de uma mesma altura no ar, este último cairá antes, pois aí atuam diferentes esforços, devido aos diferentes formatos. Seragam flutua e areia afunda em água, isto devido às diferentes densidades dos dois materiais.

Os exemplos acima são manifestações incontroláveis de

resistência fluida e forças de gravidade, forças que, se controladas, poderão ser úteis na separação de minérios.

Do ponto de vista de um técnico, existem várias maneiras de se aumentar esta força, proporcionando uma aceleração na taxa de decantação. Nós poderíamos, por exemplo, aplicar forças elétricas, magnéticas ou centrífugas.

Para um tratamento analítico do problema, pode-se considerar simplificadaamente o caso de uma única partícula sob ação da gravidade, em um fluido estacionário e infinito. Esta condição pode-se chamar "Decantação Livre".

O conhecimento dos parâmetros que realmente influem na taxa de decantação é de grande importância.

2. DECANTAÇÃO DE UMA PARTÍCULA EM UM MEIO FLUIDO

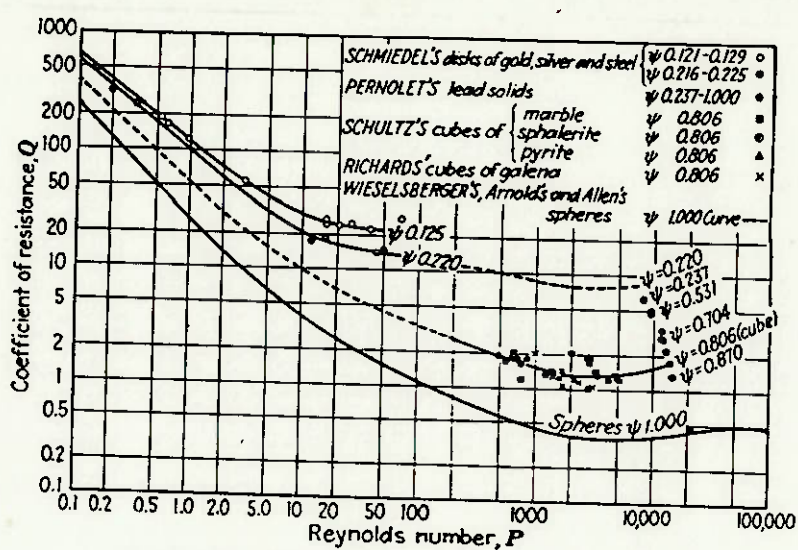
Quando uma partícula se move livremente em um fluido, atuam sobre ela as duas forças já mencionadas: gravidade e atrito.

A primeira é função de sua massa; a segunda, de sua área e viscosidade do fluido.

Algumas vezes, a energia gravitacional, que deve acelerar a partícula, é perdida, transformando-se em movimento de rotação ou outro qualquer. Pode-se imaginar uma partícula caindo, composta de duas metades, de massas iguais, porém de áreas diferentes. Esta diferença de áreas irá provocar forças de atrito diferentes nas duas metades, provocando um movimento não retilíneo ou rotação da partícula. Isto não ocorreria se as partículas fossem cubos perfeitos ou esferas.

As partículas encontradas na natureza não são esféricas, mas possuem uma forma irregular. O efeito produzido por esta irregularidade é de difícil quantificação, já que cada partícula apresenta sua própria forma, diferente das demais.

Uma aproximação razoável deste efeito foi realizada por WADELL, que definiu o "Grau de Esfericidade" das partículas como sendo a razão entre a superfície da esfera de mesmo volume e a superfície da própria partícula.



-Relationship of Reynolds number to the coefficient of resistance for nonspherical bodies. (After Wadell.)

-SPHERICITY OF VARIOUS GEOMETRIC BODIES

Body	Sphericity
Sphere.....	1.000
Cube.....	0.806
Prism $a \times a \times 2a$	0.767
Prism $a \times 2a \times 2a$	0.761
Prism $a \times 2a \times 3a$	0.725
Disk $h = r$	0.827
Disk $h = \frac{1}{3}r$	0.594
Disk $h = \frac{1}{10}r$	0.323
Disk $h = \frac{1}{15}r$	0.220
Cylinder $h = 3r$	0.860
Cylinder $h = 10r$	0.691
Cylinder $h = 20r$	0.580

Os parâmetros que influem na velocidade de queda das partículas são:

- a) Densidade
- b) Volume
- c) Superfície total
- d) Textura da superfície.

A análise da velocidade de decantação de uma partícula consiste em um balanço das forças gravitacional e de resistência, no ponto de equilíbrio, ou seja, de aceleração nula.

$$F_g = mg - m'g \quad (1)$$

onde : F_g = força gravitacional líquida

mg = peso

$m'g$ = empuxo

Para uma esfera de raio r pode-se escrever:

$$F_g = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot g \cdot (d_s - d_l) \quad (2)$$

onde: d_s = densidade do sólido

d_l = densidade do líquido

Para a força resistiva, devem ser feitas as seguintes hipóteses:

- a) As partículas são supostas livres.
- b) Todos os choques entre partículas fluidas são elásticos.
- c) A área da seção do volume deslocado é igual à área de projeção da partícula.
- d) A resistência fluida é a mesma que teria uma placa plana de mesmo formato e área projetada.
- e) Enquanto a "placa plana" cai, uma massa de água desloca-se com uma velocidade que é proporcional à velocidade de queda da partícula.

$$M = A \cdot kV \cdot t \cdot d_l \quad (3)$$

onde :

M = massa de água deslocada

A = área da seção da partícula

K = constante de proporcionalidade

V = velocidade de queda

t = tempo

d_l = densidade do fluido.

A força resistente será dada por:

$$R = \frac{M}{t} \cdot kV \quad (4)$$

Fazendo $2K^2 = D$ e substituindo 3 em 4, tem-se a expressão final da força resitiva:

$$R = \frac{1}{2} D \cdot d l V^2 A \quad (5)$$

A tabela a seguir mostra alguns valores do coeficiente de arrasto D .

Values of drag coefficient*			
Shape	Dimensions	Orientation	D
Circular plate†	Thin	Plane surfaces perpendicular to line of motion	1.08-1.24
Square plate†	Thin		1.12-1.26
Rectangular plate†	Thin; $l = 4w$		1.14-1.19
Rectangular plate†	Thin; $l = 10w$		1.29
Rectangular plate†	Thin; $l = 20w$		1.45
Rectangular plate†	Thin; $l = 100w$		Nearly 2.0
Cylinder†	$l = d$	Axis perpendicular to line of motion	1.1
Cylinder†	$l = 1.5d$		0.80
Cylinder†	$l = 5d$		0.7
Cylinder	$l = 100d$	Axis perpendicular to line of motion	0.9-1.2
Cylinder with right-conical nose	Cyl., $l = d$ Nose 60° apex angle	Nose ahead; axis on line of motion	0.44
Cylinder with curved nose faired on	Cyl., $l = d$ Nose pointed		0.22
Tear drop with pointed end faired	$l = \text{about } 4d$	Point behind; axis on line of motion	0.044
Sphere			0.42-0.45‡

* Determined principally from work with large bodies in air. Mostly after Eiffel.
† Sharp-edged. ‡ Average from Fig. 3 = 0.35.

Trabalhos mostram que, quando o fluido é água, a velocidade final da partícula é alcançada em um curto período de tempo, o que vale dizer que a força gravitacional líquida é igual à força resistente.

Igualando as expressões 2 e 5, tem-se:

$$V^2 = \frac{8}{3} \cdot \frac{rg}{D} \cdot \frac{ds - d_l}{d_l} \quad (6)$$

ou

$$V = K \cdot \sqrt{D \cdot \left(\frac{ds - d_l}{d_l} \right)} \quad (7)$$

onde: $K = 27$ para esfera de galena de $r = 0,3$ mm

$K = 32$ para esfera de quartzo de $r = 0,6$ mm

A equação 7 simula uma decantação NEWTONIANA ou turbulenta e fornece a velocidade final de decantação em função do coeficiente de arrasto e densidades de partícula e fluido.

3. DECANTAÇÃO DE UMA PARTÍCULA FINA EM UM FLUIDO

O físico inglês STOKES demonstrou que, se a velocidade de decantação for baixa o suficiente para resultar um movimento laminar, a resistência ao movimento de uma esfera será:

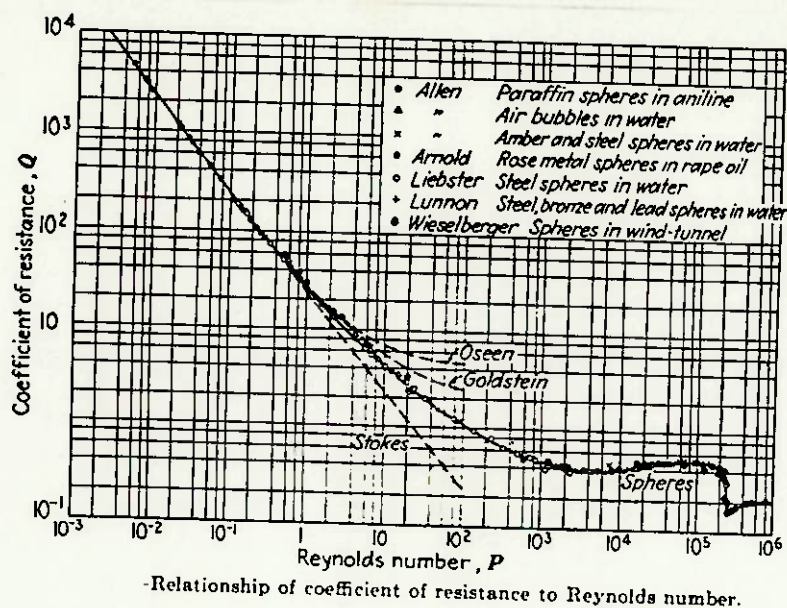
$$R = 6.\pi.r. V. u \quad (8)$$

onde: r = raio
 V = velocidade
 u = viscosidade do fluido

Fazendo o balanço de forças teremos no equilíbrio a seguinte velocidade:

$$V = \frac{2}{9} \cdot \frac{gr^2.(ds - dl)}{u} \quad (9)$$

Este caso aplica-se à decantação de partículas de quartzo a 150 mesh ou galena a 200 mesh.



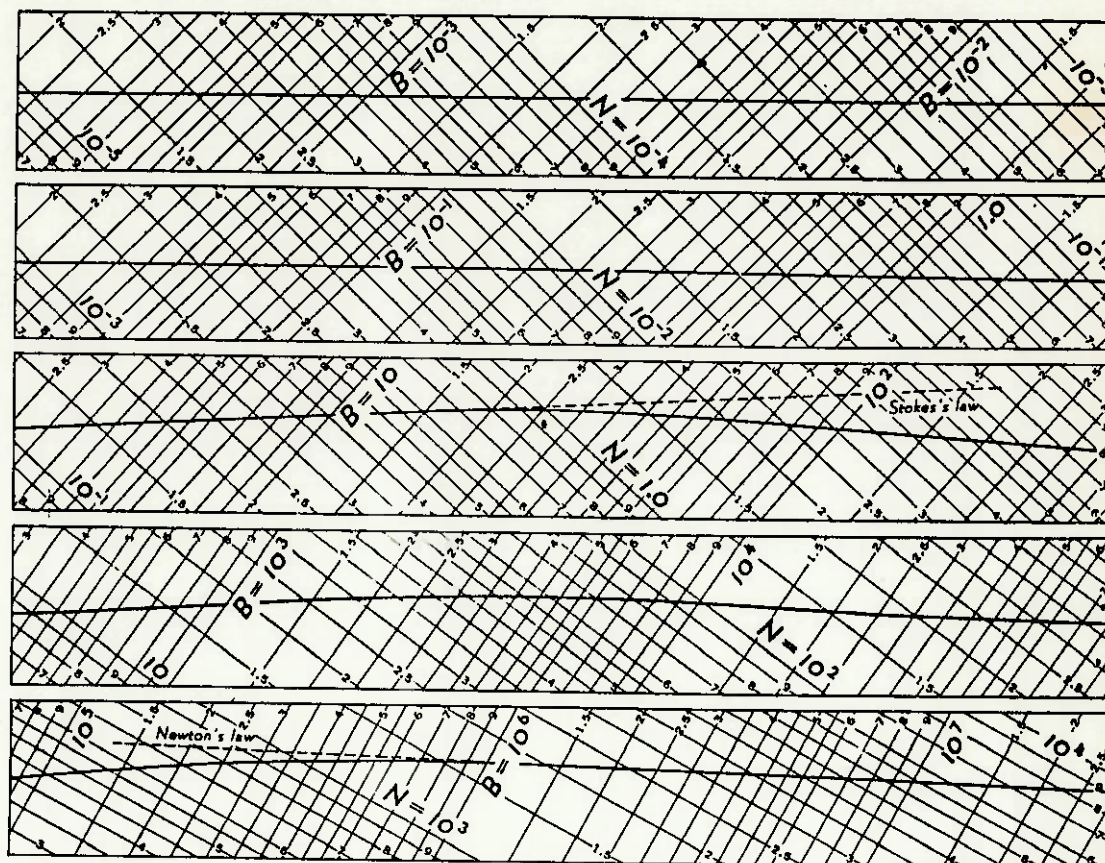
O diagrama mostra que a lei de STOKES é válida e precisa até REYNOLDS igual a 1. Para REYNOLDS entre 800 e 200.000, pode-se aplicar NEWTON, onde o coeficiente de resistência varia de 0,35 a 0,48.

Para REYNOLDS de 200.000 a 300.000, há uma excepcional queda do coeficiente de resistência de 0,4 para 0,15 aproximadamente.

Para o caso de REYNOLDS entre 1 e 800, não são válidas as leis de STOKES e NEWTON, porém, pode-se aplicar com alguma segurança a chamada função de CASTLEMAN.

$$Re^2 D = \frac{32}{3} \cdot g \cdot r^3 \cdot \frac{dl \cdot (ds - dl)}{u^2} \quad (10)$$

onde: $Re^2 D = B = \text{função de CASTLEMAN.}$



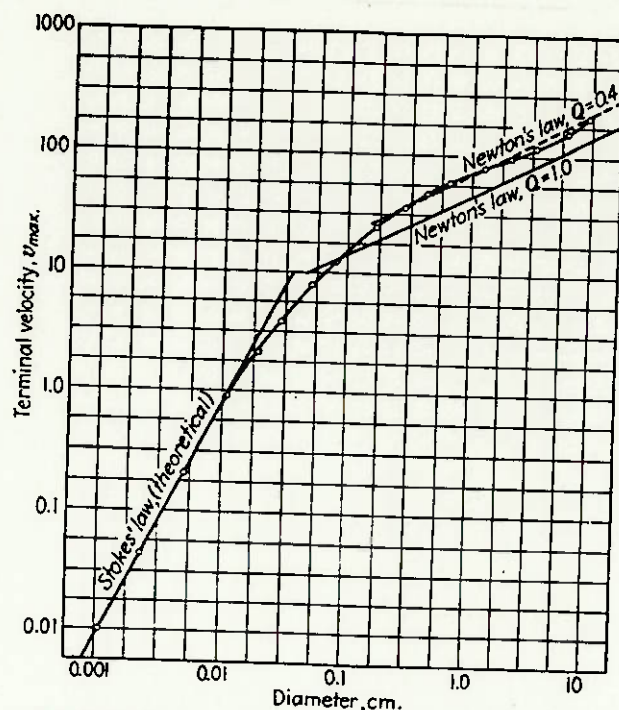
ESC curve. Reynolds number vs. Castleman function for spheres (for determining ν when given d , δ , ρ , and η).

Para este caso, também pode-se aplicar uma expressão proposta por OSEEN, que é baseada nas teorias de STOKES e NEWTON, a qual considera a força resistiva como sendo a soma das resistências propostas pelos dois cientistas.

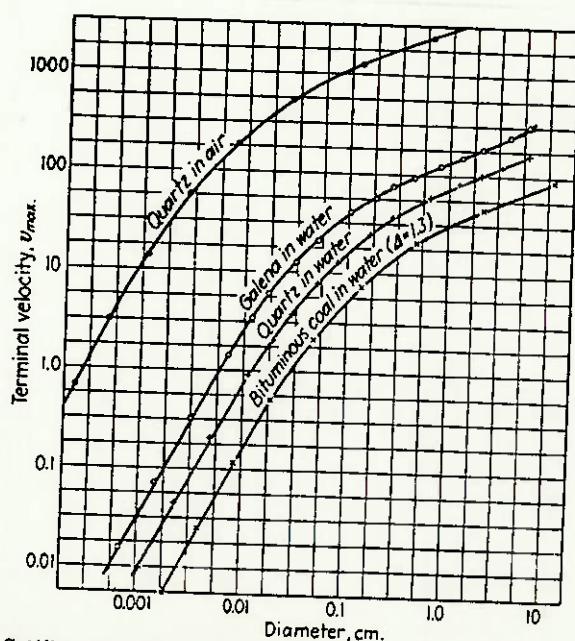
$$R = 6\pi \cdot r \cdot V_u \cdot \left(1 + \frac{3}{8} r \cdot V \cdot \delta\right) \quad (11)$$

É interessante observar que a velocidade terminal é proporcional ao quadrado do diâmetro para regime laminar e à raiz quadrada do diâmetro para regime turbulento.

Nos gráficos a seguir, pode-se ver o comportamento da velocidade terminal em função de diâmetros e fluidos.



-Settling velocities of quartz spheres in water, as determined experimentally compared with theoretical settling velocities according to Stokes' and Newton's laws.



-Settling velocities of galena, coal, and quartz spheres in water, and of quartz spheres in air.

4. VELOCIDADE TERMINAL EM QUEDA OBSTRUÍDA

A decantação de partículas em beneficiamento de minerais não se dá sob forma de uma queda livre, mas sim, obstruída. Isto ocorre devido à existência de várias partículas sólidas em suspensão, o que implica em mudanças no peso específico do fluido de transporte e obstrução à passagem das partículas, pois há outras partículas em suspensão.

Por estas razões, aparecem alguns coeficientes corretivos na fórmula de STOKES, que é a mais utilizada em classificação por decantação.

(12)

$$V = SF (1 - K^{0,67}) (1 - K) (1 - 2,5K) \cdot \frac{2}{9} \text{ gr}^2 \frac{(ds - dl)}{u}$$

- onde K é a fração em volume de sólidos em suspensão e os coeficientes são respectivamente: fator de forma; restrição devido à presença de sólidos em suspensão; variação do peso específico do fluido de transporte; e variação da viscosidade do fluido de transporte.

Para a grande maioria dos casos SF pode ser considerado igual a 0,65.

5. RELAÇÃO DE DECANTAÇÃO

São ditas partículas de igual decantação aquelas partículas que, no mesmo fluido, apresentam a mesma velocidade terminal de decantação.

Para tal, deve ser válida a relação:

$$r_1.(ds_1 - d_1)^{m_1} = r_2.(ds_2 - d_1)^{m_2} \quad (13)$$

Os expoentes m_1 e m_2 são muito próximos e variam de 0,5 no escoamento laminar a 1,0 no escoamento turbulento.

A relação entre o 1º e o 2º membros da equação anterior é denominada relação de decantação e, devido ao fato dos expoentes serem muito próximos, pode-se escrever:

$$RD = \left(\frac{ds_1 - d_1}{ds_2 - d_1} \right)^m \quad (14)$$

As tabelas a seguir dão uma idéia mais concreta da relação.

-FREE-SETTLING AND HINDERED-SETTLING RATIOS OF VARIOUS
MINERALS, WITH RESPECT TO QUARTZ
(According to Richards)

Mineral	Free-settling ratios for 228 mm. per sec. fastest grain	Hindered- settling ratios
Copper.....	3.75	8.60
Galena.....	3.75	5.84
Wolframite.....	3.26	5.15
Antimony.....	3.00	4.90
Cassiterite.....	3.12	4.70
Arsenopyrite.....	2.94	3.74
Chalcocite.....	2.17	3.11
Pyrrhotite.....	2.08	2.81
Sphalerite.....	1.56	2.13
Epidote.....	1.46	2.04
Anthracite.....	.....	5.61*

-CALCULATED FREE-SETTLING RATIOS OF SOME MINERAL PAIRS
IN WATER

Mineral pair	Free-settling ratios for			
	$m = 1$ ($2r >$ 0.1 cm.)	$m = 0.85$ ($2r$ about 0.03 cm.)	$m = 0.65$ ($2r$ about 0.01 cm.)	$m = 0.5$ ($2r <$ 0.005 cm.)
Native Gold—quartz..... (17) (2.65)	9.70	6.91	4.38	3.11
Galena—quartz..... (7.5) (2.65)	3.94	3.20	2.44	1.98
Cassiterite—quartz..... (6.9) (2.65)	3.57	2.95	2.29	1.89
Hematite—quartz..... (5.2) (2.65)	2.55	2.22	1.84	1.60
Sphalerite—quartz..... (4.1) (2.65)	1.88	1.71	1.51	1.37
Rhodochrosite—quartz.... (3.5) (2.65)	1.51	1.42	1.30	1.23
Slate—anthracite..... (2.7) (1.7)	2.43	2.13	1.78	1.56
Slate—bituminous coal.... (2.5) (1.3)	5.00	3.94	2.85	2.24

Analogamente, pode-se obter a Relação de Decantação Obstruída. O estudo desta relação torna-se bastante importante no caso de precipitação de partículas em um fluido que já contém outras partículas, como é o caso da jigagem.

$$RDO = \left(\frac{ds_1 - d_1'}{ds_2 - d_1'} \right)^m \quad (15)$$

$$d_1' = K \cdot d_{ss} + (1 - K) \cdot d_1 \quad (16)$$

onde: - d_1' é a densidade aparente do líquido contendo sólidos em suspensão.

- d_{ss} é a densidade do sólido em suspensão.

- K é a fração volumétrica de sólidos em suspensão.

·CALCULATED HINDERED-SETTLING RATIOS*
GALENA-QUARTZ-WATER

Percentage heavy mineral out of total solids	Percentage solids by volume				
	0	10	20	30	40
0	3.94	4.27	4.65	5.2	5.9
	3.20	3.43	3.69	4.07	4.53
	2.44	2.57	2.72	2.92	3.17
	1.98	2.01	2.15	2.29	2.43
25	3.94	4.55	5.5	6.45	10.7
	3.20	3.63	4.26	4.93	7.5
	2.44	2.68	3.03	3.36	4.67
	1.98	2.13	2.35	2.55	3.27
50	3.94	4.9	6.8	12.3	∞
	3.20	3.86	5.1	8.5	↓
	2.44	2.82	3.40	5.1	↓
	1.98	2.22	2.61	3.51	↓
75	3.94	5.3	9.2	82.0	∞
	3.20	4.13	6.6	42.3	↓
	2.44	2.96	4.23	17.5	↓
	1.98	2.31	3.03	9.1	↓
100	3.94	5.85	14.9	∞	∞
	3.20	4.49	9.8	↓	↓
	2.44	3.15	5.8	↓	↓
	1.98	2.42	3.87	↓	↓

* The successive values in each block are for $m = 1.0; 0.85; 0.65; \text{ and } 0.50.$

Baseando-se na definição das relações e observando-se a última tabela, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- a) Há grande variação na relação de decantação em função da variação da quantidade de sólidos em suspensão.
- b) Há grande variação devido à proporção entre minerais leves e pesados.
- c) Há alguns casos em que a relação tende ao infinito, o que equivale dizer que os minerais leves não mais participarão da suspensão.

Independentemente do tamanho dos minerais, uma suspensão composta por 20% galena, 20% quartzo e 60% água em volume, irá segregar em duas outras suspensões antes de chegar ao equilíbrio dinâmico.

- d) Quanto maior a relação mais fácil a concentração da espécie 1.

6. APLICABILIDADE DOS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO GRAVIMÉTRICA

A possibilidade de separação de um par mineral pode ser avaliada mediante o cálculo e interpretação da Relação de Decantação Obstruída.

Se $RDO > 2,5$ ou $RDO < 0$, a separação em água é fácil em quaisquer tamanhos, inclusive as granulometrias mais finas.

Se $RDO \geq 1,75$, a separação é possível até tamanhos da ordem de 65 a 100 malhas (0,21 a 0,15 mm).

Se $RDO \geq 1,5$, a separação é possível até tamanhos correspondentes a 10 malhas (1,68 mm), sendo, contudo, uma operação difícil.

Se $RDO \approx 1,25$, pode-se separar partículas de tamanhos correspondentes aos cascalhos, mas não os correspondentes às areias.

Se $RDO < 1,25$, é preciso um meio fluido mais pesado que a água ou efetuar uma modificação seletiva no peso específico dos minerais que estão sendo separados, como, por exemplo, a aderência de bolhas de ar na superfície de um dos minerais, de modo a torná-lo mais leve que os outros (princípio da flotação).

CAPÍTULO IV

PRINCÍPIOS DE JIGAGEM

1. MOVIMENTO DE PARTÍCULAS DE UM MINERAL EM UM MEIO FLUIDO

Basicamente, concentração gravimétrica, assim como a que ocorre em um jig, é o processo de separação entre minerais de diferentes pesos específicos, através dos diferentes movimentos provocados pela ação simultânea da gravidade e outras forças que nele agem.

Considerando somente o assentamento vertical de um grão mineral em um fluido qualquer, a aceleração resultante será, para início de movimento:

$$a = \left(1 - \frac{d_1}{d_s} \right) \cdot g \quad (17)$$

Teoricamente, seria possível promover a separação de diferentes minerais, independentemente de seu tamanho e formato, porém, muitos outros fatores influem no processo, e o uso

de uma formulação matemática só irá servir para indicar o provável efeito da alteração de alguma variável.

Além de todas as variáveis pertencentes à expressão de STOKES (12), o jigue deve apresentar tamanho e formato tais que possibilitem o transporte lateral das partículas, havendo tempo suficiente para se realizar a decantação.

2. O TRABALHO DO JIGUE

Dentro do jigue, as partículas são submetidas a uma corrente de água pulsante.

Além do movimento de decantação e de transporte lateral, esta alternância faz o movimento vertical interromper-se e reverter-se periodicamente. Isto provoca uma decantação diferenciada, favorecendo os minerais pesados, em detrimento dos leves.

A decantação diferenciada pode ser explicada através de 3 fenômenos que ocorrem na jigagem:

- a) aceleração diferenciada do início de queda
- b) decantação obstruída
- c) consolidação

Para a exemplificação destes fenômenos, pode-se analisar o comportamento de quatro tipos de partículas especialmente selecionadas:

- grão fino de quartzo
- grão fino de cassiterita
- grão grosso de quartzo
- grão grosso de cassiterita.

- a) A aceleração diferenciada é que provoca o movimento

to inicial das partículas. Ela depende única e exclusivamente das diferentes densidades envolvidas no processo, já que, no início da queda, a força resistiva é praticamente nula.

No exemplo dado, as densidades são, respectivamente, 2,65 e 7,0 g/cm³ aproximadamente e, portanto, aplicando a equação 17 para água, tem-se uma aceleração inicial de 6,1 m/s² para o quartzo e 8,5 m/s² para a cassiterita, ou seja, esta acelerará 1,38 vezes mais rapidamente do que o quartzo.

Considerando que o tempo de queda é curto, as velocidades iniciais baixas e dependentes somente da aceleração, tem-se, para um fluido estagnado, o seguinte comportamento:



t_0

○ quartzo
● cassiterita

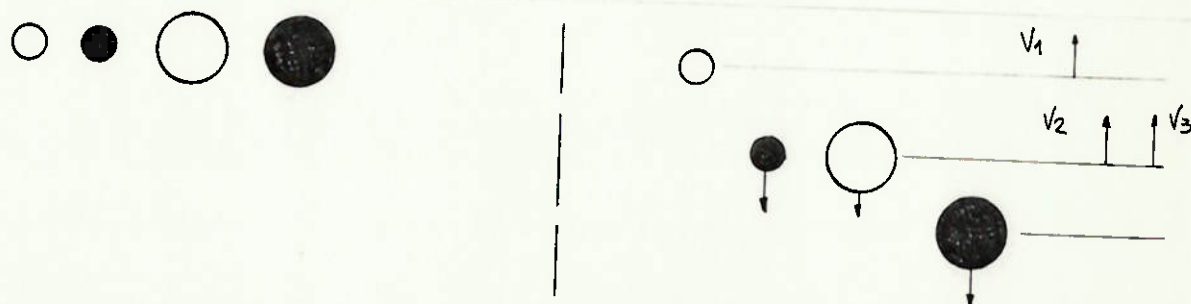


$\Delta t = \text{fração de segundo}$

b) Decantação obstruída: se for examinada a queda dos grãos após um longo período de tempo, a velocidade das partículas terá crescido a ponto da resistência hidrodinâmica ser igual à força gravitacional. A aceleração será nula e a velocidade igual à velocidade limite de queda.

Muitos grãos são decantados simultaneamente e o movimento de alguns influencia o de outros. A velocidade limite dos grãos leves é mais afetada do que a dos outros, valorizando este fenômeno sobre o da decantação livre.

Neste caso, as velocidades não vão só depender das diferentes densidades, mas também do tamanho e formato das partículas. Voltando aos quatro grãos, este fenômeno pode ser representado da seguinte maneira:



t_0

$t = \text{após velocidade limite de queda}$

Se a decantação destes quatro grãos em um fluxo d'água for considerada ascendente de velocidade V_1 , percebe-se que o grão leve mais fino é arrastado para cima pelo fluxo, já que sua velocidade terminal é inferior a V_1 , ao passo que os outros três continuarão a cair contra o fluxo.

Se outra velocidade V_2 for escolhida, provavelmente, só os grãos grandes cairão.

Se outra V_3 ainda maior for adotada, somente os grãos grossos dos minerais pesados decantarão.

É importante observar que não é possível escolher uma velocidade ascendente que separe o mineral fino do quartzo grosso, tornando este fenômeno aplicável na separação das partículas grossas, mas não às finas.

c) Consolidação: considerando que diferentes partículas, de mesmo material ou não, percorrem diferentes distâncias durante a decantação, a imobilidade será atingida em instantes diferentes. Um grão grosso de mineral irá assentar-se muito mais rapidamente que outro grão fino do mesmo material. Portanto, estes grãos finos ir-se-ão depositar sobre uma camada de grãos maiores.

Esta camada que assenta antes ficará compacta e incapaz de se movimentar, ao passo que, os grãos finos ainda podem mover-se livremente.

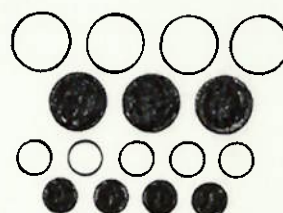
Estes grãos finos começam a se sedimentar pela ação da gravidade nos espaços existentes entre as partículas maiores, caracterizando a consolidação. Esta é, portanto, uma condição de sedimentação, na qual os grãos finos continuam a decantar, enquanto os mais grossos já estão imóveis.

É óbvio que, sob tal condição, a velocidade de decantação das partículas finas não será igual àquela da fase inicial, mas se for possível atingir esta fase, a recuperação do mineral será bem maior.

A consolidação pode ser esquematizada pela figura abaixo:



início.

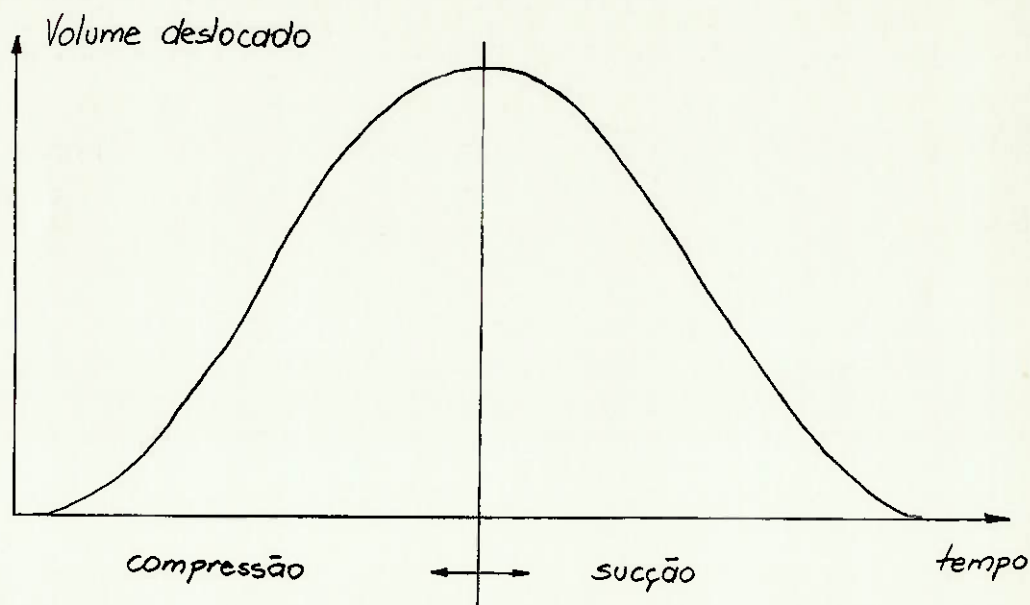


final.

3. O JIGUE

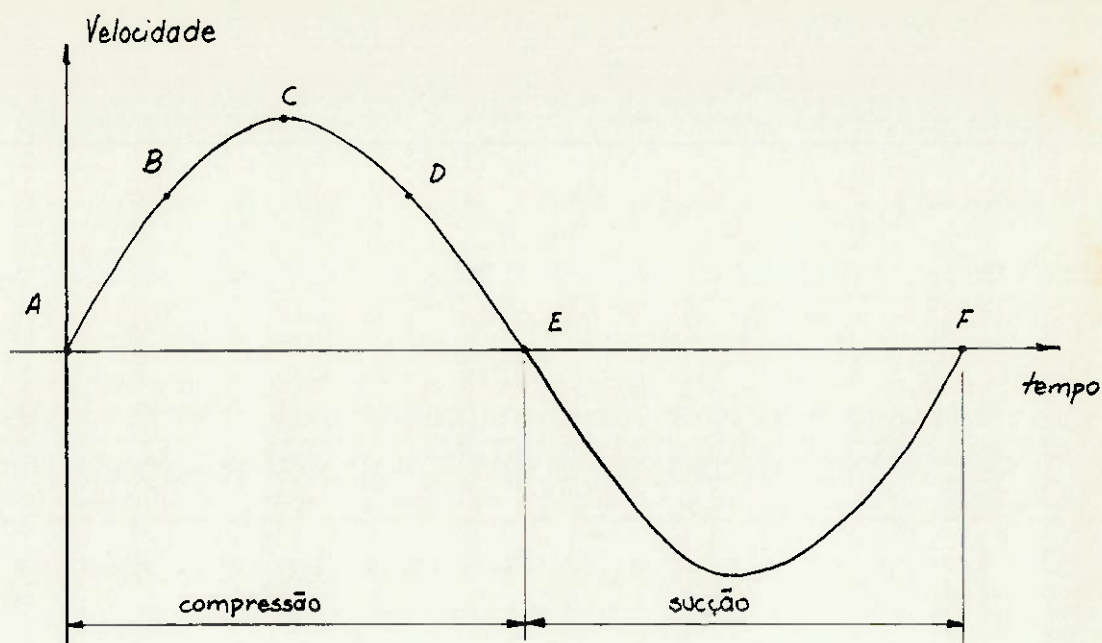
Para que haja um aproveitamento dos três fenômenos da decantação obstruída, existe nos jiques um mecanismo de pulsação que promove uma variação na velocidade do meio fluido, pela atuação de um sistema de camo e seguidor.

Geralmente este mecanismo provoca um movimento que pode ser representado pela figura:



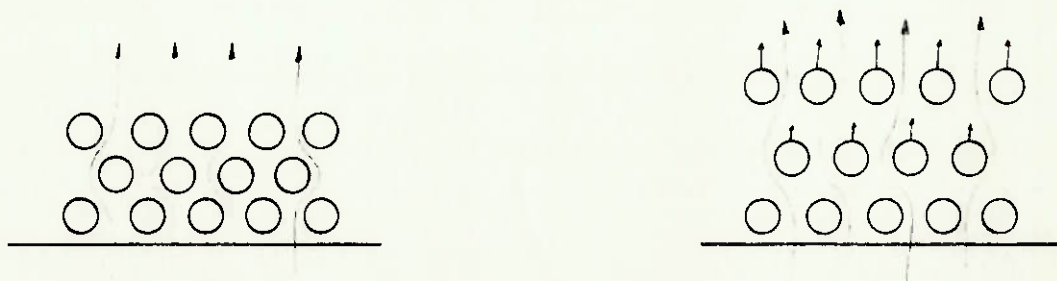
A velocidade vertical do fluxo de água é proporcional à velocidade da membrana: quando esta é máxima, aquela também é.

Um diagrama velocidade em função do tempo terá a seguinte forma:



Observando este diagrama, pode-se analisar o comportamento das partículas sob o ponto de vista dos três principais fenômenos envolvidos no processo.

No começo do movimento, haverá um fraco fluxo de água através dos espaços formados entre os grãos da camada mais leve, a qual estará firmemente assentada até B.



À medida que a velocidade do fluxo aumenta, os grãos começam a se desprender e a camada é forçada para cima.

Nesta região da curva (B-C), atinge-se a decantação obstruída.

Como até C a velocidade continua a subir, os grãos finos de quartzo e do mineral serão empurrados para cima, juntamente com o fluxo. A probabilidade destas partículas serem carregadas e perdidas é bastante grande.

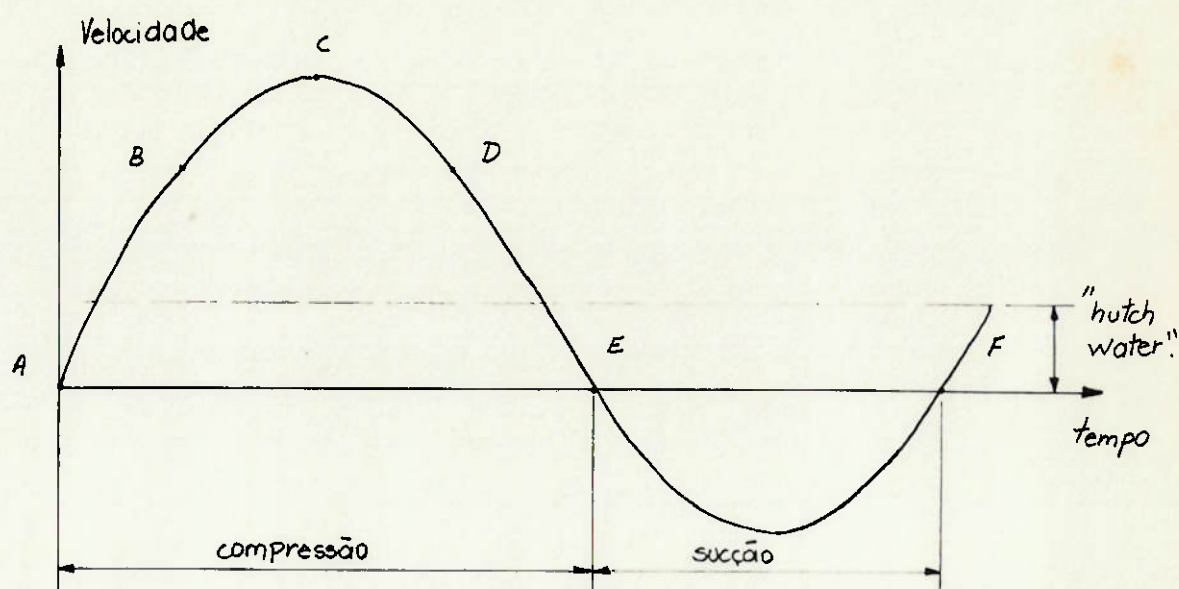
Após o ponto C, a velocidade começa a cair. Ao redor do ponto D, começarão a cair os grãos grossos e depois, os finos, quando ocorre uma combinação de aceleração inicial e decantação obstruída.

Durante a fase E-F, o sentido do movimento se inverte e a camada depositada fica compacta. Aqui, ocorre o fenômeno da consolidação, onde as partículas finas penetram por entre as grossas. Apesar disto, na compressão, um grande número destas partículas já foram perdidas.

Um aspecto que merece atenção é o fato dos grãos grossos de mineral penetrarem com dificuldade na camada sedimentada, pois esta é muito compacta. Esta compacidade pode provocar perdas de minério pelo rejeito, se houver uma movimentação horizontal em tal direção.

Estas desvantagens podem ser parcialmente eliminadas, somando-se, ao fluxo pulsante, uma corrente ascendente de água ("back" ou "hutch water").

O fluxo de água resultante é a soma dos dois e pode ser visualizado pela figura:



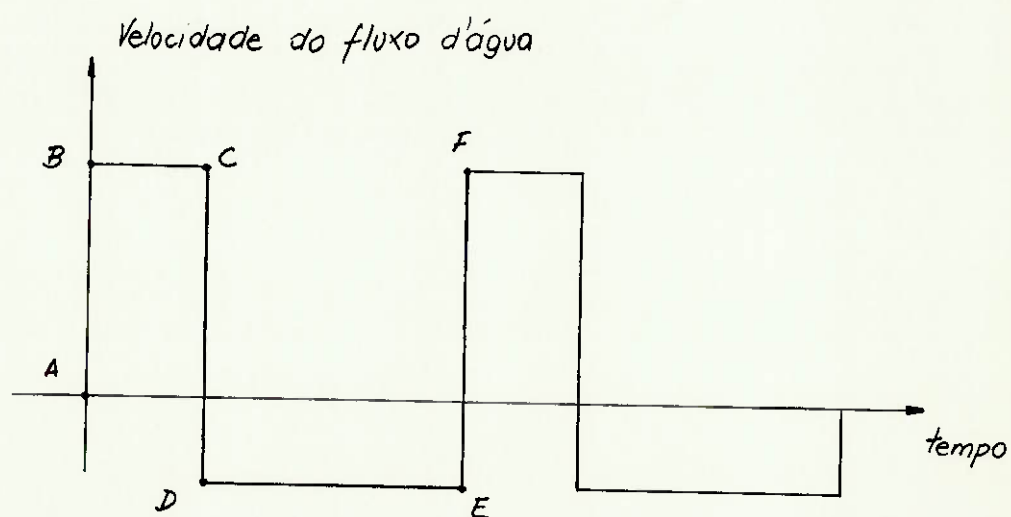
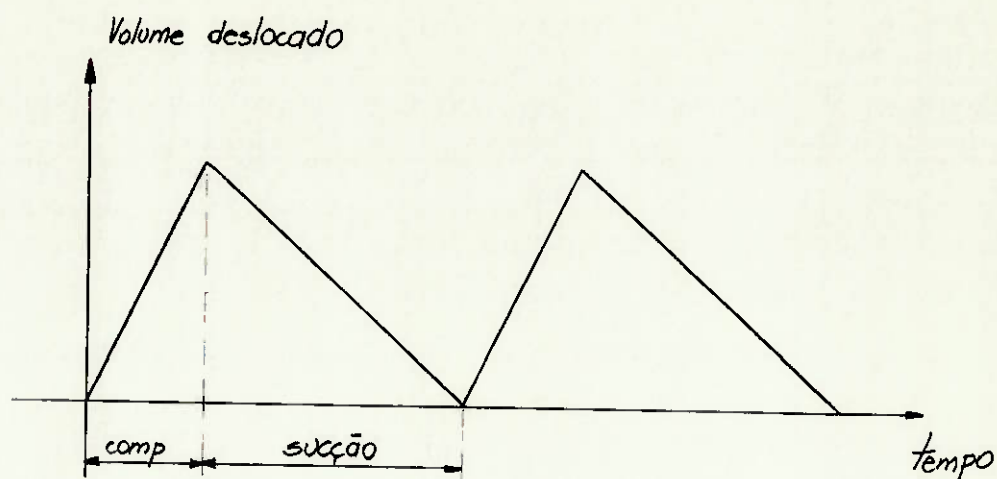
A velocidade de sucção é reduzida, assim como o tempo, podendo até ser totalmente eliminada.

Desta maneira, as partículas minerais grossas poderão penetrar mais facilmente na camada sedimentada.

Por outro lado, as perdas de partículas finas aumentam, não só devido à velocidade ascendente maior, mas também ao tempo de compressão mais prolongado.

Se se desejar aumentar a recuperação do mineral, evitando as perdas para o rejeito, deve-se pensar em suprimir a decantação obstruída. Desta forma, não só as grossas, mas também as partículas finas são recuperadas.

Uma maneira de se obter esta recuperação é provocar um movimento ascendente de grande intensidade, porém de curta duração, conforme os diagramas a seguir:



Durante o curto período de velocidade positiva B-C, as partículas leves são aceleradas para cima em um bloco único (provavelmente, por questões de inércia, os grãos permane-

cem juntos, não apresentando velocidades relativas - são simplesmente levantados).

No ponto C, o fluxo pára repentinamente e muda de sentido. Aí começa a atuar a aceleração de início de queda e uma certa decantação obstruída.

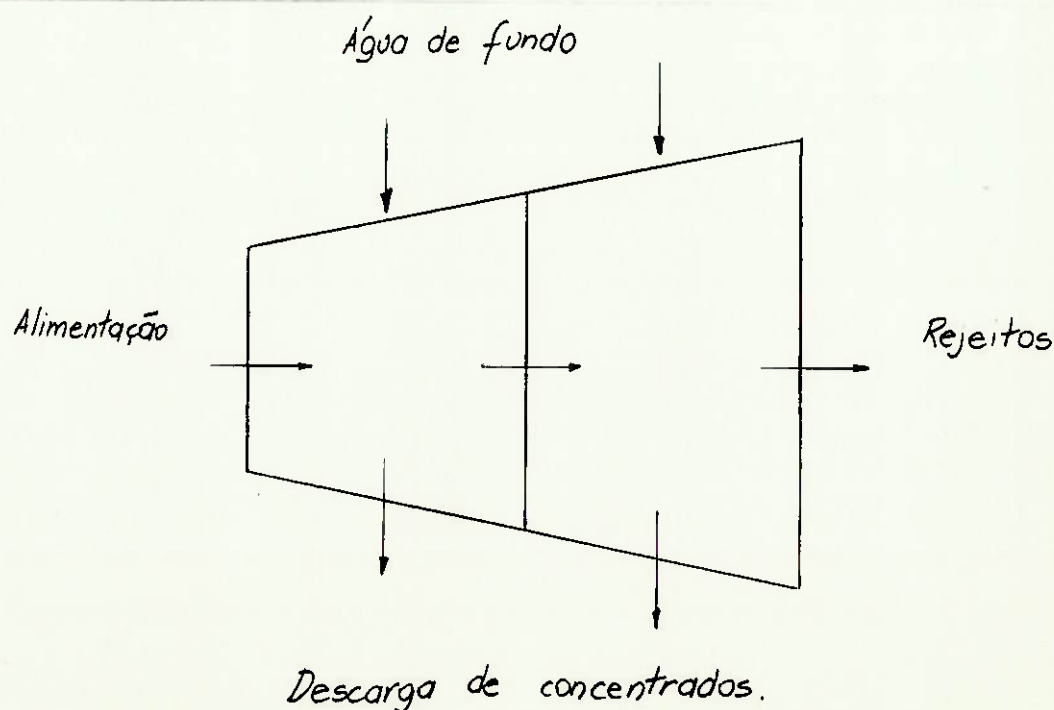
Durante o período D-E, haverá uma sucção fraca e a camada decantada não ficará tão compactada, não impedindo a penetração dos grãos finos e o movimento horizontal de transporte. Neste caso, não é necessária a água de "hutch".

4. TRANSPORTE DENTRO DO JIGUE

Um jigue é composto por células quadradas ou retangulares em série. A razão desta disposição é fazer a célula seguinte concentrar o material que foi perdido na anterior e as sim por diante. Geralmente, o arranjo é composto por 3 ou 4 células.

Fazendo um balanço de massa para analisar o transporte dentro do jigue, verifica-se que, à medida que o escoamento avança, sua velocidade é aumentada, devido à introdução da água de fundo.

Este aumento da velocidade pode levar grande quantidade de mineral a ser perdido nos rejeitos. O ideal seria uma redução na velocidade do fluxo, resultando então em uma nova forma para o jigue.



Segundo esta disposição trapezoidal, pode-se estabilizar ou até reduzir a velocidade do fluxo sobre o jigue, aumentando portanto seu rendimento de concentração.

5. ELEMENTOS DE UM JIGUE

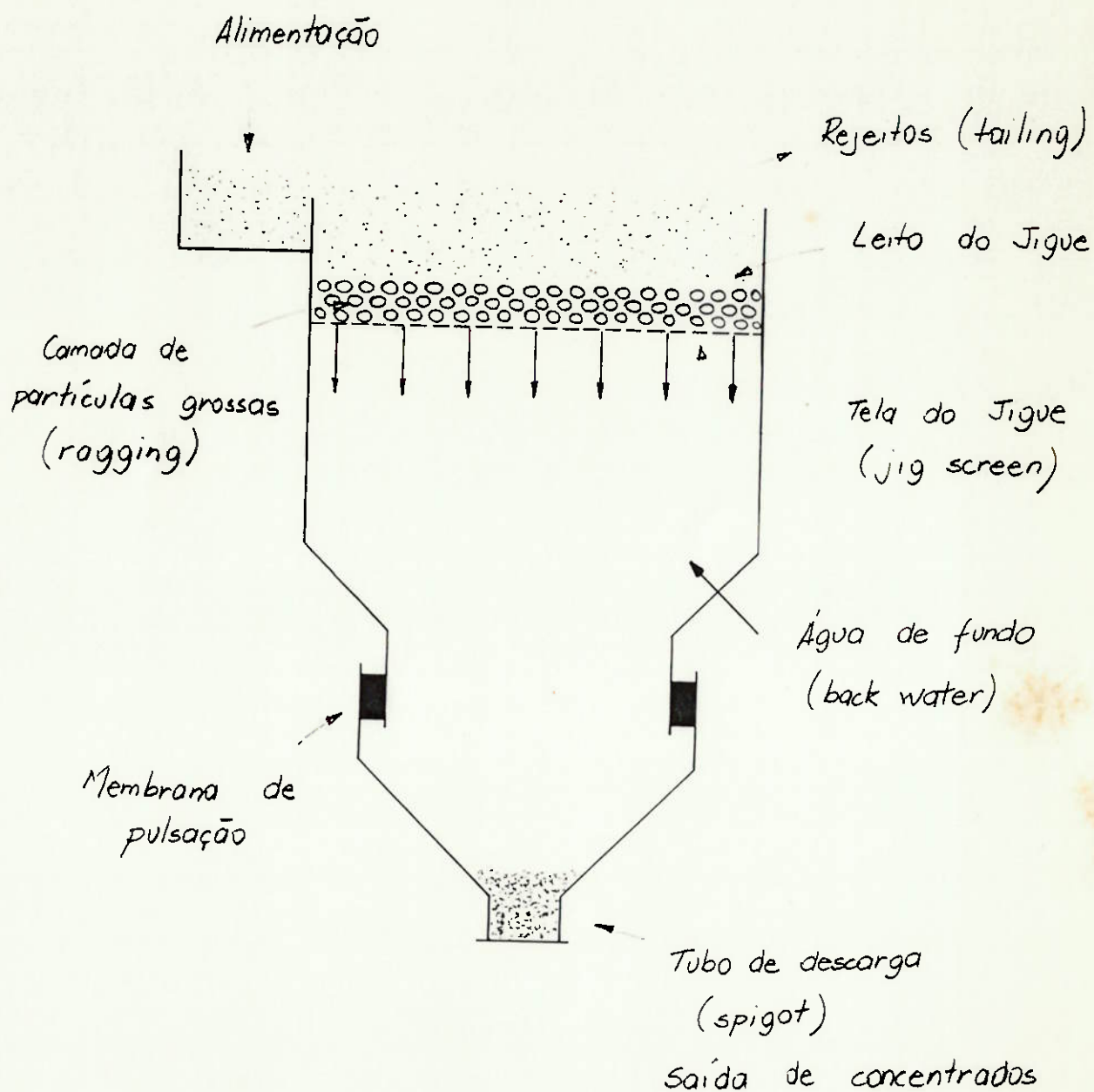
Um jigue é basicamente um tanque aberto, cheio de água, com uma tela horizontal na parte superior e provido de um tubo de descarga, por onde se retira o material concentrado.

O leito do jigue é normalmente composto por uma camada de partículas pesadas de granulação grosseira, que fica depositada sobre a tela. Normalmente, esta camada é composta pelo mesmo mineral que se deseja concentrar.

A alimentação é feita sobre este leito e é composta por água e partículas sólidas em suspensão.

As partículas pesadas caminham através do leito, passam através da tela e são recolhidas no tubo de descarga. Os rejeitos caminham segundo um movimento horizontal por sobre o leito e são descarregados como alimentação de outra célula, ou simplesmente perdidos.

O Jigue



CAPÍTULO V

ESTUDO DA JIGAGEM

1. INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS NO DIMENSIONAMENTO DO JIGUE

Muitos são os fatores que podem ser modificados, alterando o desempenho do jigue quanto a recuperação e concentração. Dentre eles, pode-se citar.

- a) tamanho das partículas
- b) formato das partículas
- c) peso específico das partículas
- d) relação sólido - líquido na alimentação
- e) concentração da alimentação
- f) quantidade de lodo suspenso
- g) formato da curva de pulsação
- h) amplitude de pulsação
- i) frequência de pulsação
- j) profundidade da camada de partículas grossas sobre a tela
- k) densidade desta camada.
- l) vazão da água de fundo
- m) inclinação

Talvez seja impossível ou impraticável correlacionar todos estes fatores em um modelo matemático capaz de traduzir

o comportamento do jigue.

Estudos realizados mostraram que, para correlacionar apenas o tamanho das partículas com a recuperação, seria necessário um polinômio de sexto grau. Se fossem introduzidos outros parâmetros, o tratamento matemático poderia se tornar ainda mais complexo.

Por outro lado, dentre os fatores que influenciam a jigagem, existem aqueles mais importantes e outros, cuja influência é quase nula. Assim sendo, poder-se-ia pensar em tratar matematicamente apenas aqueles fatores mais relevantes e significativos, no que diz respeito ao rendimento da recuperação e concentração. Dentre estes fatores, pode-se fazer uma classificação em dois grandes grupos: variáveis independentes ou de entrada e parâmetros. Existe ainda um terceiro grupo, o das variáveis dependentes ou de saída.

Variáveis Independentes

Pode-se admitir, como variáveis independentes, os fatores intrínsecos da natureza do local onde se faz a jigagem e as propriedades e características do minério a ser beneficiado.

Segundo esta definição, poderiam ser consideradas como entradas os seguintes fatores: tamanho, formato, peso específico, concentração e quantidade de lodo suspenso.

Os três primeiros fatores estão intimamente ligados à velocidade de assentamento, pela expressão de STOKES; o lo-do suspenso irá provocar uma obstrução na queda das partícu - las, dificultando a recuperação; a concentração do minério pode ser uma entrada decisiva na escolha do processo de benefi - ciamento. Quando a concentração é muito baixa ou o diâmetro das partículas muito pequeno, a recuperação por processos gravimétricos torna-se quase impossível. Neste caso, o mais indicado seria recorrer a outros processos que não os gravimétricos.

Parâmetros

Parâmetros são os fatores que podem ser modificados, na tentativa de se obter melhores resultados.

A inclinação do jigge será diretamente responsável pelo movimento lateral das partículas, aumentando ou diminuindo a velocidade e, conseqüentemente, o tempo em que as partí - culas estarão sob efeito da jigagem.

Quanto maior (ou menor) for a relação sólido-líquido na alimentação, tanto menor (ou maior) será a facilidade de decantação.

A profundidade, a densidade e o tamanho das partícu - las grossas sobre a tela irão proporcionar um leito mais ou menos compacto, não devendo nunca obstruir a passagem, seja vertical, seja horizontal, do minério a ser beneficiado. Usual

mente, utilizam-se materiais de peso específico semelhante ao minério a ser concentrado, ou até o mesmo, porém em granulometrias superiores. Seu formato deve ser arredondado e as camadas variar de 25 a 60 milímetros de altura.

O formato da curva de pulsação (volume deslocado x tempo) pode beneficiar a recuperação, a medida que a sucção seja mais suave que a impulsão.

A vazão da água de fundo tem o poder de modificar a curva de pulsação. Através de um fluxo ascendente de água, evita-se uma grande compactação do leito do jig e uma possível obstrução da passagem do concentrado.

A amplitude e a frequência de pulsação podem ser consideradas como os parâmetros mais importantes na jigagem. Os bons técnicos dizem que o segredo do bom funcionamento está na escolha do curso e rotação do equipamento. Existem algumas regras práticas que se deve ter em mente ao se fazer a regulação: quanto maiores as partículas, sua densidade e a altura do leito, maior será a amplitude e menor a frequência, a água de fundo pode melhorar a recuperação, contanto que a frequência e o curso sejam bem controlados (caso contrário, pode haver grandes perdas para o rejeito).

Variáveis Dependentes

As saídas nada mais são do que o resultado da opera-

ção. Podem ser divididas em recuperação e teor. Os teores indicam a quantidade do minério presente no concentrado recuperado.

2. CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA A VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE UM JIGUE

Devido à impossibilidade de obtenção de uma expressão matemática que envolva todos os parâmetros do processo, a regulagem do equipamento torna-se uma tarefa puramente experimental.

É bem verdade que um especialista com grande experiência em processos de concentração gravimétrica saberá como regular um jigue de maneira satisfatória, porém, dificilmente estaria obtendo o rendimento máximo da instalação.

Para se obter este rendimento máximo, deve-se realizar alguns testes exploratórios, antes de colocar o jigue em funcionamento. Dado o devido tratamento matemático aos resultados, pode-se avaliar com alguma precisão sob que condições operá-lo, visando sua otimização.

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO PARA OTIMIZAÇÃO DA JIGAGEM

Nestes ensaios, o objetivo é testar experimentalmente algumas mudanças nas variáveis mais importantes, analisando o comportamento das saídas.

Otimização do Leito

Com este teste, procura-se analisar a influência da altura, do peso específico e do tamanho das partículas sobre a tela do jig.

Via de regra, o material a ser utilizado é o mesmo mineral que se deseja beneficiar, porém, em granulação grosseira. Portanto, este trabalho fica reduzido, muitas vezes, à escolha da altura da camada.

Este ensaio é realizado, fixando-se todas as variáveis e mudando-se apenas a altura desejada.

Através de análises químicas da alimentação e dos concentrados, pode-se fazer um balanço de massa, verificando a quantidade de mineral recuperado. Da mesma forma, verificando-se a quantidade de pesados concentrados, pode-se estabelecer uma razão de concentração. Quanto maior for a razão de concentração e a recuperação, melhor será o desempenho do jig e, portanto, melhor a camada sobre a tela.

A frequência e amplitude do movimento oscilatório não são importantes neste ensaio, porém devem ser mantidas constantes. Uma boa escolha destes dois parâmetros seria aquela em que a velocidade máxima do fluxo ascendente fosse igual a 60% da Velocidade Terminal de Queda Obstruída para o material a ser concentrado.

Exemplo:

O presente exemplo é resultado de trabalhos realizados pelo Professor Antonio Carlos Jambeiro de Oliveira, na Mina de Santana - Corumbá.

Resultado da classificação granulométrica do minério de manganês utilizado (Peneiramento seco).

Malhas Tyler	Abertura (mm)	% em Peso	% acumuladas	
			(acima)	(abaixo)
4	4,76	0,7	0,7	99,3
9	2,00	57,9	58,6	41,4
20	0,841	36,7	95,3	4,7
35	0,420	2,5	97,8	2,2
48	0,297	0,5	98,3	1,7
65	0,210	0,5	98,8	1,2
- 65	- 0,210	1,2	100,0	0,0

Usando o critério apresentado no capítulo 1, calcula-se o diâmetro médio das partículas. Para este caso, $D \approx 1,98$ mm, densidade do minério $4,7 \text{ g/cm}^3$, densidade do líquido $1,0 \text{ g/cm}^3$, relação sólido-líquido 25%, viscosidade do fluido

$1,005 \cdot 10^{-3}$ N.S./m².

Aplicando a expressão de STOKES (12), obtém-se $V_{m\acute{a}x} = 0,875$ m/s, o que, para um jigue convencional de pulsação senoidal, seria uma rotação de 300 rpm e um curso de 33 mm.

Faz-se várias tentativas, variando-se a camada do leite. Destas tentativas, pode-se conhecer qual a mais conveniente para o processo.

Otimização da Frequência, Curso e Vazão

Nesta fase, deve-se analisar a influência conjunta dos três parâmetros mais importantes no processo de jigagem: frequência, curso e vazão.

Os ensaios para esta análise deverão ser realizados da mesma forma como foram na fase anterior, analisando-se sempre as entradas e saídas e verificando-se a recuperação e a concentração.

Neste ensaio, deve-se, de início, reduzir a velocidade máxima do fluxo, já que adiciona-se água de fundo e, portanto, contribui-se para seu aumento e para as perdas de finos para o rejeito. Pode-se adotar de 30 a 40% da Velocidade Terminal de Queda Obstruída.

Toma-se três frequências, três cursos e três vazões compatíveis com o equipamento e o processo de recuperação em

questão, totalizando 27 ensaios diferentes, variando-se um a um todos os parâmetros (poderiam ser tomados mais pontos, porém elevar-se-ia enormemente o número de ensaios diferentes).

Feitas as 27 análises do material concentrado, pode-se tabelar os resultados, incluindo aos valores de curso, frequência e vazão, a recuperação e a concentração.

A seguir, deve-se realizar um tratamento matemático (regressão polinomial) dos resultados, obtendo duas funções:

recuperação = F (frequência, curso, vazão)

teor = G (frequência, curso, vazão)

Com as funções determinadas, é possível fazer uma previsão do funcionamento do jig, assim como procurar maximizar a recuperação e a concentração, através de um processo de refinamento dos dados de entrada (pode-se dividir as escalas de frequência, curso e vazão em um maior número de pontos e estimar os valores de recuperação e teores).

Usando este método, no qual utiliza-se funções de 3 variáveis, não se pode visualizar graficamente o comportamento do jig. Para que isto seja possível, deve-se recorrer ao traçado das curvas de nível, para uma determinada frequência, por exemplo. Para isto, pode-se fixar a frequência e trabalhar com a mesma função ou, então, levantar curvas diferentes, uma para cada valor de frequência.

No anexo I deste trabalho, encontra-se um programa de computador, que calcula as curvas de recuperação e teor, em função do curso e da vazão da água de fundo, para um processo de beneficiamento em jigues do minério de manganês da Mina de Corumbá (dados colhidos de levantamentos feitos pelo Professor Jambeiro).

Dados experimentais levantados em ensaios para uma frequência de 222 pulsos/minuto.

Curso de Jigue (mm)	Vazão de "Hutch" (m ³ /min)	Recuperação (%)	Teor (%)
22	0,058	68,9	41,34
22	0,054	67,0	40,60
22	0,044	78,4	36,52
26	0,034	85,8	32,84
26	0,054	74,5	38,50
26	0,044	64,9	34,91
29	0,034	91,5	33,64
29	0,054	70,5	36,92
29	0,044	78,3	33,44
22	0,034	67,0	34,37

O programa utiliza a seguinte equação de regressão:

$$Z = C_1 + C_2x^{-2} + C_3x^{-1} + C_4x^2 + C_5y^{-2} + C_6y^{-1} + C_7y^2 + C_8xy + C_9x^2y^2$$

Observando o gráfico 1, pode-se notar que:

- a) As recuperações apresentam um máximo para cursos ao redor de 28 mm e vazões na faixa de 54 a 60 l/min.
- b) Para vazões entre 34 e 44 l/min, as recuperações são crescentes com os aumentos de curso.
- c) Para mesmas recuperações, as vazões maiores levam à obtenção de teores mais elevados.

CAPÍTULO VI

ANÁLISE DINÂMICA DE UM
MECANISMO DE ACIONAMENTO
PARA JIGUES

Do estudo realizado no capítulo 4, chega-se à conclusão, que um movimento em forma de "dente de serra" seria ideal para o fluxo de água dentro do jigue.

Tal forma de pulsação é encontrada em alguns jiges, como por exemplo o IHC, onde o movimento é produzido por dispositivos hidráulico-mecânicos, associados à membrana de pulsação.

Seria impraticável obter tal forma de onda em um equipamento puramente mecânico, porém outras formas bem próximas àquelas, poderiam ser produzidas por mecanismos mais elaborados.

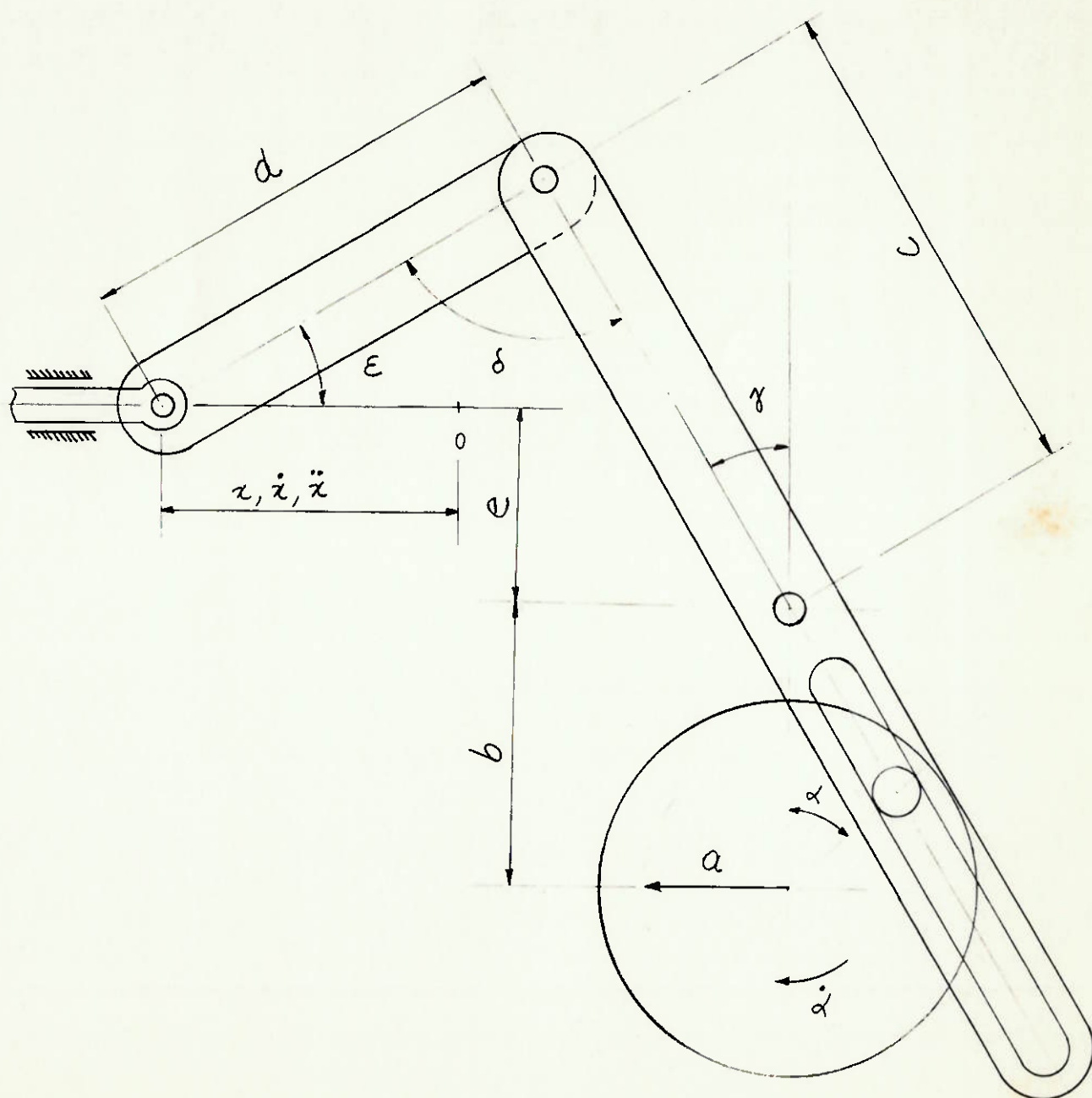
Neste capítulo, propõe-se um programa de calculadora (HP-41) para a análise de um mecanismo de "recuo rápido", que permite a obtenção da posição, velocidade e aceleração da membrana de pulsação, em função do ângulo da manivela.

Como pode ser observado pelo gráfico 2 (anexo 2), a forma de onda produzida não é um "dente de serra" puro, porém, através da variação dos parâmetros *a*, *b*, *c*, *d*, *e* e velocidade angular da manivela, pode-se ajustar o curso total de pulsação,

a velocidade máxima, assim como a relação: velocidade máx. de avanço/velocidade máx. de recuo.

A figura mostra um esquema de mecanismo utilizado, com a indicação de todos os seus parâmetros.

Mecanismo de acionamento



Os dados de aceleração em cada ponto, seriam utilizados no dimensionamento dos membros do mecanismo, em uma fase posterior do projeto.

Para efeito de exemplificação foi calculado um mecanismo que atendesse às seguintes exigências:

- Curso: aproximadamente 65 mm
- Velocidade máxima: 0,75 m/s
- Relação de velocidades: 2 para 1.

O mecanismo encontrado é aquele do gráfico 2, onde foram plotadas as três curvas, posição, velocidade e aceleração.

BIBLIOGRAFIA

1. VANONI, Vito A. Sedimentatio Engineering, American Society of Civil Engineers, 1977.
2. TAGGART, Arthur F. Elements of Ore Dressing, John Wiley and Sons, 1951.
3. GAUDIN, A. M. Principles of Mineral Dressing, McGraw-Hill Book Company, 1939
4. ANDERY, Paulo Abib. Tratamento de Minério e Hidrometalurgia, Recife, 1980.
5. CRISTONI, Sílvio. Teoria e Prática de Tratamento, Beneficiamento e Recuperação de Minérios por Sistemas Gravitométricos, SP, 1983.
6. CURRIE, John M. Unit Operations in Mineral Processing, CSM pres, 1978.
7. IHC, Jigs. Mineral Dressing by IHC.
8. OLIVEIRA, Antônio Carlos Jambeiro de. Os Segredos da Separação Gravimétrica, Me & P, novembro 1980.
9. FREEMAN, Miller. Espirais, uma Opção na Recuperação de Finos, Me & P setembro 1984.
10. AANHOLT, Georges D.H.M. Beneficiamento de Minério e Concentração por Gravidade, Me & P novembro 1980
11. TRAWINSKI, H. Hydrocyclones et Classificateurs à courants ascendants pour le traitement des ultrafines, Reveu de L'industrie Minerale.

ANEXOS I

IBM Personal Computer XT Version
DOS Version 2.10
14:13:16

```
100 REM *****
101 REM *   CALCULO DE RECUPERACAO E TEOR DE MINERIO EM JIGUES   *
102 REM *   -----
103 REM * ESTE PROGRAMA CALCULA UMA FUNCAO INTERPOLADORA PARA OS *
104 REM * DADOS EXPERIMENTALMENTE LEVANTADOS, PERMITINDO QUE SE- *
105 REM * JA POSSIVEL OBTENHA O MAXIMO VALOR DO RENDIMENTO NA RE- *
106 REM * CUPERACAO, OTIMIZANDO O FUNCIONAMENTO DA MAQUINA.      *
107 REM *
108 REM * O METODO EMPREGADO E' O DA INTERPOLACAO POLINOMIAL A    *
109 REM * DUAS VARIAVEIS, UTILIZANDO-SE ARITMETICA DE DUPLA      *
110 REM * PRECISAO, PARA MAIOR CONFIABILIDADE DOS RESULTADOS.    *
111 REM *
112 REM *   PROGRAMA DESENVOLVIDO POR FERNANDO PRIETO              *
113 REM *****
114 CLS: DEFDBL A,B,C,X,Y,Z,W : DEFINT I-N
115 OPTION BASE 1
116 DIM A(10,10),B,C,X,Y,Z,W : XT,XR(10)
117 REM
118 REM *****
119 REM *   CALCULO DA MATRIZ DE COEFICIENTES PARA O M.M.Q.      *
120 REM *****
121 FOR I=1 TO 10
122 READ X,Y,Z,W
123 LPRINT USING "PONTO ##";I;:LPRINT USING "X=##.##";X;
124 LPRINT USING "Y=##.##";Y;:LPRINT USING "Z=##.###";Z;
125 LPRINT USING "W=##.###";W
126 A(1,1)=A(1,1)+1
127 A(2,2)=A(2,2)+1/(X*X*X*X)
128 A(2,3)=A(2,3)+1/(X*X*X)
129 A(1,2)=A(1,2)+1/(X*X)
130 A(1,3)=A(1,3)+1/X
131 A(3,4)=A(3,4)+X
132 A(1,4)=A(1,4)+X*X
133 A(4,4)=A(4,4)+X*X*X*X
134 A(5,5)=A(5,5)+1/(Y*Y*Y*Y)
135 A(5,6)=A(5,6)+1/(Y*Y*Y)
136 A(1,5)=A(1,5)+1/(Y*Y)
137 A(1,6)=A(1,6)+1/Y
138 A(3,8)=A(3,8)+Y
139 A(1,7)=A(1,7)+Y*Y
140 A(7,7)=A(7,7)+Y*Y*Y*Y
141 A(2,5)=A(2,5)+1/(X*X*Y*Y)
142 A(3,6)=A(3,6)+1/(X*Y)
143 A(1,8)=A(1,8)+X*Y
144 A(1,9)=A(1,9)+X*X*Y*Y
145 A(8,9)=A(8,9)+X*X*X*Y*Y*Y
146 A(9,9)=A(9,9)+X*X*X*X*Y*Y*Y*Y
147 A(2,6)=A(2,6)+1/(X*X*Y)
148 A(3,5)=A(3,5)+1/(X*Y*Y)
149 A(6,9)=A(6,9)+X*X*Y
150 A(3,9)=A(3,9)+X*Y*Y
151 A(4,8)=A(4,8)+X*X*X*Y
152 A(7,8)=A(7,8)+X*Y*Y*Y
153 A(4,9)=A(4,9)+X*X*X*X*Y*Y*Y
154 A(7,9)=A(7,9)+X*X*Y*Y*Y*Y*Y
155 A(5,8)=A(5,8)+X/Y
156 A(4,5)=A(4,5)+X*X/(Y*Y)
157 A(4,6)=A(4,6)+X*X/Y
158 A(2,8)=A(2,8)+Y/X
159 A(2,7)=A(2,7)+Y*Y/(X*X)
160 A(3,7)=A(3,7)+Y*Y/X
```

```

161 REM *****
162 REM *          CALCULO DOS VETORES DE TERMOS INDEPENDENTES          *
163 REM *****
164 B(1)=B(1)+Z          : C(1)=C(1)+W
165 B(2)=B(2)+Z/(X*X)    : C(2)=C(2)+W/(X*X)
166 B(3)=B(3)+Z/X        : C(3)=C(3)+W/X
167 B(4)=B(4)+Z*X*X      : C(4)=C(4)+W*X*X
168 B(5)=B(5)+Z/(Y*Y)    : C(5)=C(5)+W/(Y*Y)
169 B(6)=B(6)+Z/Y        : C(6)=C(6)+W/Y
170 B(7)=B(7)+Z*Y*Y      : C(7)=C(7)+W*Y*Y
171 B(8)=B(8)+Z*X*Y      : C(8)=C(8)+W*X*Y
172 B(9)=B(9)+Z*X*X*Y*Y  : C(9)=C(9)+W*X*X*Y*Y
173 NEXT I
174 REM *****
175 REM *          ACERTOS FINAIS NA MATRIZ, PARA RESOLVER OS SISTEMAS    *
176 REM *****
177 A(2,4)=A(1,1)
178 A(5,7)=A(1,1)
179 A(3,3)=A(1,2)
180 A(6,8)=A(3,4)
181 A(5,9)=A(1,4)
182 A(6,6)=A(1,5)
183 A(6,7)=A(3,8)
184 A(2,9)=A(1,7)
185 A(8,8)=A(1,9)
186 A(4,7)=A(1,9)
187 FOR I=1 TO 9 : FOR J=I TO 9
188 A(J,I)=A(I,J)
189 NEXT J,I
190 REM *****
191 REM *          RESOLUCAO DA FUNCAO INTERPOLADORA PARA RENDIMENTO      *
192 REM *                                     E PARA TEOR                  *
193 REM *****
194 N=9
195 GOSUB 240
196 REM *****
197 REM *          APRESENTACAO DOS RESULTADOS OBTIDOS                    *
198 REM *          TABELAMENTO DAS FUNCOES PARA AVALIACAO                  *
199 REM *****
200 LPRINT :LPRINT :LPRINT :LPRINT
201 LPRINT TAB(13)"COEFICIENTES DAS FUNCOES OBTIDAS PELO PROGRAMA"
202 LPRINT TAB(13)"=====  ===  =====  =====  ====="
203 LPRINT
204 LPRINT TAB(17)"RECUPERACAO                                TEOR"
205 FOR I=1 TO 9
206 LPRINT USING " X(#";I;:LPRINT " ) = ";
207 LPRINT TAB(17);:LPRINT USING"+##.#####";XR(I);
208 LPRINT TAB(46);:LPRINT USING"+##.#####";XT(I)
209 NEXT I
210 LPRINT :LPRINT
211 LPRINT TAB(13)"EVOLUCAO DAS FUNCOES ENCONTRADAS"
212 LPRINT TAB(13)"=====  ===  =====  =====  ====="
213 LPRINT
214 LPRINT "VARIACAO DO CURSO: 2.0 ATE 3.0 EM PASSOS DE 0.1"
215 LPRINT "VARIACAO DA VAZAO: 3.0 ATE 6.0 EM PASSOS DE 0.1"
216 LPRINT
217 FOR SC=2 TO 3 STEP .1
218 FOR SV=3 TO 6 STEP .1
219 FOR I=1 TO 9
220 XC(I)=XR(I)
221 NEXT I
222 GOSUB 274
223 FOR I=1 TO 9
224 XC(I)=XT(I)
225 NEXT I
226 XP=W

```

```

227 GOSUB 274
228 LPRINT USING "  CURSO= +#.##";SC;
229 LPRINT USING "  VAZA0= +#.##";SV;
230 LPRINT TAB(29);:LPRINT USING "REC.= +#.####";XP;
231 LPRINT TAB(49);:LPRINT USING "TEOR= +#.####";W
232 NEXT SV,SC
233 REM
234 REM
235 END
236 REM *****
237 REM * SUBROTINA PARA RESOLUCAO DE SISTEMAS LINEARES PELO ME- *
238 REM * DO DE ELIMINACAO DE GAUSS *
239 REM *****
240 K=1:N=9
241 I=K+1
242 IF A(K,K)=0 THEN 215
243 X=A(I,K)/A(K,K)
244 B(I)=B(I)-B(K)*X : C(I)=C(I)-C(K)*X
245 J=K
246 A(I,J)=A(I,J)-A(K,J)*X
247 IF J>=N THEN 250
248 J=J+1
249 GOTO 246
250 IF I>=N THEN 253
251 I=I+1
252 GOTO 242
253 IF K>=(N-1) THEN 262
254 K=K+1
255 GOTO 241
256 M=K+1
257 IF A(M,K)<>0 THEN 260
258 M=M+1
259 IF M<=N THEN 257
260 Y=B(K) : B(K)=B(M) : B(M)=Y : X=C(K) : C(K)=C(M) : C(M)=X
261 FOR J=1 TO N : Y=A(K,J) : A(K,J)=A(M,J) : A(M,J)=Y : NEXT I : GOTO 243
262 L=N
263 X=0 : Y=0
264 IF L<N THEN 269
265 XR(L)=(B(L)-X)/A(L,L) : XT(L)=(C(L)-Y)/A(L,L)
266 IF L<=1 THEN RETURN
267 L=L-1
268 GOTO 263
269 J=L+1
270 X=X+A(L,J)*XR(J) : Y=Y+A(L,J)*XT(J)
271 IF J>=N THEN 265
272 J=J+1
273 GOTO 270
274 REM *****
275 REM * ROTINA PARA EVOLUCAO DO POLINOMIO A PARTIR DOS TERMOS *
276 REM * CALCULADOS *
277 REM *****
278 X=CDBL(VAL(STR$(SC)))
279 Y=CDBL(VAL(STR$(SV)))
280 W=XC(1)+XC(2)/(X*X)+XC(3)/X+XC(4)*X*X+XC(5)/(Y*Y)+XC(6)/Y
281 W=W+XC(7)*Y*Y+XC(8)*X*Y+XC(9)*X*X*Y*Y
282 RETURN
283 DATA 2.2,5.8,.689,.4134,2.2,5.4,.67,.406,2.2,4.4,.784,.3652,2.6,3.4
284 DATA .858,.3284,2.6,5.4,.745,.385,2.6,4.4,.649,.3491,2.9,3.4,.915,.3364
285 DATA 2.9,5.4,.705,.3692,2.9,4.4,.783,.3344,2.2,3.4,.67,.3437

```

PONTO 1:	X=2.20	Y=5.80	Z=0.6890	W=0.4134
PONTO 2:	X=2.20	Y=5.40	Z=0.6700	W=0.4060
PONTO 3:	X=2.20	Y=4.40	Z=0.7840	W=0.3652
PONTO 4:	X=2.60	Y=3.40	Z=0.8580	W=0.3284
PONTO 5:	X=2.60	Y=5.40	Z=0.7450	W=0.3850
PONTO 6:	X=2.60	Y=4.40	Z=0.6490	W=0.3491
PONTO 7:	X=2.90	Y=3.40	Z=0.9150	W=0.3364
PONTO 8:	X=2.90	Y=5.40	Z=0.7050	W=0.3692
PONTO 9:	X=2.90	Y=4.40	Z=0.7830	W=0.3344
PONTO 10:	X=2.20	Y=3.40	Z=0.6700	W=0.3437

COEFICIENTES DAS FUNCOES OBTIDAS PELO PROGRAMA

=====

	RECUPERACAO	TEOR
X(1) =	+21.504991	+2.653025
X(2) =	-23.199638	-2.235761
X(3) =	+10.792329	+2.369382
X(4) =	+0.482504	+0.035636
X(5) =	+74.641058	+26.660840
X(6) =	-69.336331	-16.924809
X(7) =	+0.024086	-0.014387
X(8) =	-1.512397	-0.037683
X(9) =	+0.030464	+0.000388

EVOLUCAO DAS FUNCOES ENCONTRADAS

=====

VARIACAO DO CURSO: 2.0 ATE' 3.0 EM PASSOS DE 0.1
 VARIACAO DA VAZAO: 3.0 ATE' 6.0 EM PASSOS DE 0.1

CURSO= +2.0	VAZAO= +3.0	REC.= +0.4517	TEOR= +0.4004
CURSO= +2.0	VAZAO= +3.1	REC.= +0.4574	TEOR= +0.3790
CURSO= +2.0	VAZAO= +3.2	REC.= +0.4679	TEOR= +0.3633
CURSO= +2.0	VAZAO= +3.3	REC.= +0.4818	TEOR= +0.3523
CURSO= +2.0	VAZAO= +3.4	REC.= +0.4978	TEOR= +0.3451
CURSO= +2.0	VAZAO= +3.5	REC.= +0.5150	TEOR= +0.3410
CURSO= +2.0	VAZAO= +3.6	REC.= +0.5327	TEOR= +0.3395
CURSO= +2.0	VAZAO= +3.7	REC.= +0.5501	TEOR= +0.3400
CURSO= +2.0	VAZAO= +3.8	REC.= +0.5671	TEOR= +0.3420
CURSO= +2.0	VAZAO= +3.9	REC.= +0.5832	TEOR= +0.3453
CURSO= +2.0	VAZAO= +4.0	REC.= +0.5981	TEOR= +0.3496
CURSO= +2.0	VAZAO= +4.1	REC.= +0.6119	TEOR= +0.3546
CURSO= +2.0	VAZAO= +4.2	REC.= +0.6242	TEOR= +0.3600
CURSO= +2.0	VAZAO= +4.3	REC.= +0.6352	TEOR= +0.3658
CURSO= +2.0	VAZAO= +4.4	REC.= +0.6448	TEOR= +0.3718
CURSO= +2.0	VAZAO= +4.5	REC.= +0.6529	TEOR= +0.3778
CURSO= +2.0	VAZAO= +4.6	REC.= +0.6597	TEOR= +0.3837
CURSO= +2.0	VAZAO= +4.7	REC.= +0.6651	TEOR= +0.3895
CURSO= +2.0	VAZAO= +4.8	REC.= +0.6693	TEOR= +0.3950
CURSO= +2.0	VAZAO= +4.9	REC.= +0.6723	TEOR= +0.4002
CURSO= +2.0	VAZAO= +5.0	REC.= +0.6742	TEOR= +0.4051
CURSO= +2.0	VAZAO= +5.1	REC.= +0.6751	TEOR= +0.4096
CURSO= +2.0	VAZAO= +5.2	REC.= +0.6751	TEOR= +0.4136
CURSO= +2.0	VAZAO= +5.3	REC.= +0.6742	TEOR= +0.4171
CURSO= +2.0	VAZAO= +5.4	REC.= +0.6727	TEOR= +0.4202
CURSO= +2.0	VAZAO= +5.5	REC.= +0.6705	TEOR= +0.4227
CURSO= +2.0	VAZAO= +5.6	REC.= +0.6678	TEOR= +0.4246
CURSO= +2.0	VAZAO= +5.7	REC.= +0.6647	TEOR= +0.4261
CURSO= +2.0	VAZAO= +5.8	REC.= +0.6612	TEOR= +0.4269
CURSO= +2.0	VAZAO= +5.9	REC.= +0.6575	TEOR= +0.4272

CURSO= +2.0	VAZA0= +6.0	REC.= +0.6537	TEOR= +0.4269
CURSO= +2.1	VAZA0= +3.0	REC.= +0.5905	TEOR= +0.4007
CURSO= +2.1	VAZA0= +3.1	REC.= +0.5886	TEOR= +0.3790
CURSO= +2.1	VAZA0= +3.2	REC.= +0.5919	TEOR= +0.3630
CURSO= +2.1	VAZA0= +3.3	REC.= +0.5988	TEOR= +0.3518
CURSO= +2.1	VAZA0= +3.4	REC.= +0.6081	TEOR= +0.3443
CURSO= +2.1	VAZA0= +3.5	REC.= +0.6188	TEOR= +0.3400
CURSO= +2.1	VAZA0= +3.6	REC.= +0.6302	TEOR= +0.3382
CURSO= +2.1	VAZA0= +3.7	REC.= +0.6416	TEOR= +0.3384
CURSO= +2.1	VAZA0= +3.8	REC.= +0.6528	TEOR= +0.3402
CURSO= +2.1	VAZA0= +3.9	REC.= +0.6634	TEOR= +0.3432
CURSO= +2.1	VAZA0= +4.0	REC.= +0.6731	TEOR= +0.3472
CURSO= +2.1	VAZA0= +4.1	REC.= +0.6818	TEOR= +0.3520
CURSO= +2.1	VAZA0= +4.2	REC.= +0.6894	TEOR= +0.3572
CURSO= +2.1	VAZA0= +4.3	REC.= +0.6959	TEOR= +0.3627
CURSO= +2.1	VAZA0= +4.4	REC.= +0.7012	TEOR= +0.3685
CURSO= +2.1	VAZA0= +4.5	REC.= +0.7053	TEOR= +0.3742
CURSO= +2.1	VAZA0= +4.6	REC.= +0.7084	TEOR= +0.3799
CURSO= +2.1	VAZA0= +4.7	REC.= +0.7103	TEOR= +0.3854
CURSO= +2.1	VAZA0= +4.8	REC.= +0.7112	TEOR= +0.3907
CURSO= +2.1	VAZA0= +4.9	REC.= +0.7112	TEOR= +0.3957
CURSO= +2.1	VAZA0= +5.0	REC.= +0.7103	TEOR= +0.4004
CURSO= +2.1	VAZA0= +5.1	REC.= +0.7087	TEOR= +0.4046
CURSO= +2.1	VAZA0= +5.2	REC.= +0.7065	TEOR= +0.4084
CURSO= +2.1	VAZA0= +5.3	REC.= +0.7036	TEOR= +0.4118
CURSO= +2.1	VAZA0= +5.4	REC.= +0.7003	TEOR= +0.4146
CURSO= +2.1	VAZA0= +5.5	REC.= +0.6966	TEOR= +0.4169
CURSO= +2.1	VAZA0= +5.6	REC.= +0.6926	TEOR= +0.4187
CURSO= +2.1	VAZA0= +5.7	REC.= +0.6885	TEOR= +0.4199
CURSO= +2.1	VAZA0= +5.8	REC.= +0.6843	TEOR= +0.4206
CURSO= +2.1	VAZA0= +5.9	REC.= +0.6801	TEOR= +0.4206
CURSO= +2.1	VAZA0= +6.0	REC.= +0.6760	TEOR= +0.4201
CURSO= +2.2	VAZA0= +3.0	REC.= +0.6959	TEOR= +0.4000
CURSO= +2.2	VAZA0= +3.1	REC.= +0.6869	TEOR= +0.3780
CURSO= +2.2	VAZA0= +3.2	REC.= +0.6834	TEOR= +0.3618
CURSO= +2.2	VAZA0= +3.3	REC.= +0.6837	TEOR= +0.3502
CURSO= +2.2	VAZA0= +3.4	REC.= +0.6866	TEOR= +0.3425
CURSO= +2.2	VAZA0= +3.5	REC.= +0.6912	TEOR= +0.3379
CURSO= +2.2	VAZA0= +3.6	REC.= +0.6967	TEOR= +0.3358
CURSO= +2.2	VAZA0= +3.7	REC.= +0.7026	TEOR= +0.3358
CURSO= +2.2	VAZA0= +3.8	REC.= +0.7085	TEOR= +0.3373
CURSO= +2.2	VAZA0= +3.9	REC.= +0.7140	TEOR= +0.3401
CURSO= +2.2	VAZA0= +4.0	REC.= +0.7190	TEOR= +0.3439
CURSO= +2.2	VAZA0= +4.1	REC.= +0.7232	TEOR= +0.3484
CURSO= +2.2	VAZA0= +4.2	REC.= +0.7266	TEOR= +0.3534
CURSO= +2.2	VAZA0= +4.3	REC.= +0.7290	TEOR= +0.3587
CURSO= +2.2	VAZA0= +4.4	REC.= +0.7306	TEOR= +0.3642
CURSO= +2.2	VAZA0= +4.5	REC.= +0.7313	TEOR= +0.3697
CURSO= +2.2	VAZA0= +4.6	REC.= +0.7311	TEOR= +0.3752
CURSO= +2.2	VAZA0= +4.7	REC.= +0.7301	TEOR= +0.3805
CURSO= +2.2	VAZA0= +4.8	REC.= +0.7283	TEOR= +0.3856
CURSO= +2.2	VAZA0= +4.9	REC.= +0.7259	TEOR= +0.3904
CURSO= +2.2	VAZA0= +5.0	REC.= +0.7229	TEOR= +0.3948
CURSO= +2.2	VAZA0= +5.1	REC.= +0.7194	TEOR= +0.3988
CURSO= +2.2	VAZA0= +5.2	REC.= +0.7155	TEOR= +0.4024
CURSO= +2.2	VAZA0= +5.3	REC.= +0.7112	TEOR= +0.4056
CURSO= +2.2	VAZA0= +5.4	REC.= +0.7068	TEOR= +0.4082
CURSO= +2.2	VAZA0= +5.5	REC.= +0.7023	TEOR= +0.4103
CURSO= +2.2	VAZA0= +5.6	REC.= +0.6977	TEOR= +0.4119
CURSO= +2.2	VAZA0= +5.7	REC.= +0.6933	TEOR= +0.4129
CURSO= +2.2	VAZA0= +5.8	REC.= +0.6890	TEOR= +0.4134
CURSO= +2.2	VAZA0= +5.9	REC.= +0.6850	TEOR= +0.4133
CURSO= +2.2	VAZA0= +6.0	REC.= +0.6814	TEOR= +0.4126
CURSO= +2.3	VAZA0= +3.0	REC.= +0.7772	TEOR= +0.3988
CURSO= +2.3	VAZA0= +3.1	REC.= +0.7614	TEOR= +0.3765
CURSO= +2.3	VAZA0= +3.2	REC.= +0.7514	TEOR= +0.3600

CURSO= +2.3	VAZA0= +3.3	REC.= +0.7454	TEOR= +0.3482
CURSO= +2.3	VAZA0= +3.4	REC.= +0.7424	TEOR= +0.3402
CURSO= +2.3	VAZA0= +3.5	REC.= +0.7413	TEOR= +0.3354
CURSO= +2.3	VAZA0= +3.6	REC.= +0.7415	TEOR= +0.3330
CURSO= +2.3	VAZA0= +3.7	REC.= +0.7423	TEOR= +0.3327
CURSO= +2.3	VAZA0= +3.8	REC.= +0.7433	TEOR= +0.3340
CURSO= +2.3	VAZA0= +3.9	REC.= +0.7443	TEOR= +0.3366
CURSO= +2.3	VAZA0= +4.0	REC.= +0.7450	TEOR= +0.3401
CURSO= +2.3	VAZA0= +4.1	REC.= +0.7451	TEOR= +0.3444
CURSO= +2.3	VAZA0= +4.2	REC.= +0.7448	TEOR= +0.3491
CURSO= +2.3	VAZA0= +4.3	REC.= +0.7438	TEOR= +0.3542
CURSO= +2.3	VAZA0= +4.4	REC.= +0.7421	TEOR= +0.3595
CURSO= +2.3	VAZA0= +4.5	REC.= +0.7399	TEOR= +0.3648
CURSO= +2.3	VAZA0= +4.6	REC.= +0.7370	TEOR= +0.3701
CURSO= +2.3	VAZA0= +4.7	REC.= +0.7337	TEOR= +0.3752
CURSO= +2.3	VAZA0= +4.8	REC.= +0.7298	TEOR= +0.3800
CURSO= +2.3	VAZA0= +4.9	REC.= +0.7256	TEOR= +0.3846
CURSO= +2.3	VAZA0= +5.0	REC.= +0.7210	TEOR= +0.3888
CURSO= +2.3	VAZA0= +5.1	REC.= +0.7162	TEOR= +0.3927
CURSO= +2.3	VAZA0= +5.2	REC.= +0.7113	TEOR= +0.3961
CURSO= +2.3	VAZA0= +5.3	REC.= +0.7063	TEOR= +0.3990
CURSO= +2.3	VAZA0= +5.4	REC.= +0.7015	TEOR= +0.4015
CURSO= +2.3	VAZA0= +5.5	REC.= +0.6967	TEOR= +0.4034
CURSO= +2.3	VAZA0= +5.6	REC.= +0.6923	TEOR= +0.4048
CURSO= +2.3	VAZA0= +5.7	REC.= +0.6882	TEOR= +0.4056
CURSO= +2.3	VAZA0= +5.8	REC.= +0.6846	TEOR= +0.4059
CURSO= +2.3	VAZA0= +5.9	REC.= +0.6815	TEOR= +0.4056
CURSO= +2.3	VAZA0= +6.0	REC.= +0.6791	TEOR= +0.4048
CURSO= +2.4	VAZA0= +3.0	REC.= +0.8414	TEOR= +0.3974
CURSO= +2.4	VAZA0= +3.1	REC.= +0.8193	TEOR= +0.3749
CURSO= +2.4	VAZA0= +3.2	REC.= +0.8031	TEOR= +0.3581
CURSO= +2.4	VAZA0= +3.3	REC.= +0.7914	TEOR= +0.3461
CURSO= +2.4	VAZA0= +3.4	REC.= +0.7828	TEOR= +0.3378
CURSO= +2.4	VAZA0= +3.5	REC.= +0.7765	TEOR= +0.3327
CURSO= +2.4	VAZA0= +3.6	REC.= +0.7717	TEOR= +0.3301
CURSO= +2.4	VAZA0= +3.7	REC.= +0.7678	TEOR= +0.3296
CURSO= +2.4	VAZA0= +3.8	REC.= +0.7645	TEOR= +0.3307
CURSO= +2.4	VAZA0= +3.9	REC.= +0.7614	TEOR= +0.3330
CURSO= +2.4	VAZA0= +4.0	REC.= +0.7582	TEOR= +0.3363
CURSO= +2.4	VAZA0= +4.1	REC.= +0.7549	TEOR= +0.3403
CURSO= +2.4	VAZA0= +4.2	REC.= +0.7512	TEOR= +0.3448
CURSO= +2.4	VAZA0= +4.3	REC.= +0.7473	TEOR= +0.3497
CURSO= +2.4	VAZA0= +4.4	REC.= +0.7430	TEOR= +0.3548
CURSO= +2.4	VAZA0= +4.5	REC.= +0.7384	TEOR= +0.3598
CURSO= +2.4	VAZA0= +4.6	REC.= +0.7334	TEOR= +0.3649
CURSO= +2.4	VAZA0= +4.7	REC.= +0.7282	TEOR= +0.3698
CURSO= +2.4	VAZA0= +4.8	REC.= +0.7229	TEOR= +0.3745
CURSO= +2.4	VAZA0= +4.9	REC.= +0.7174	TEOR= +0.3788
CURSO= +2.4	VAZA0= +5.0	REC.= +0.7119	TEOR= +0.3829
CURSO= +2.4	VAZA0= +5.1	REC.= +0.7064	TEOR= +0.3865
CURSO= +2.4	VAZA0= +5.2	REC.= +0.7011	TEOR= +0.3897
CURSO= +2.4	VAZA0= +5.3	REC.= +0.6961	TEOR= +0.3925
CURSO= +2.4	VAZA0= +5.4	REC.= +0.6914	TEOR= +0.3947
CURSO= +2.4	VAZA0= +5.5	REC.= +0.6872	TEOR= +0.3965
CURSO= +2.4	VAZA0= +5.6	REC.= +0.6835	TEOR= +0.3977
CURSO= +2.4	VAZA0= +5.7	REC.= +0.6804	TEOR= +0.3984
CURSO= +2.4	VAZA0= +5.8	REC.= +0.6781	TEOR= +0.3985
CURSO= +2.4	VAZA0= +5.9	REC.= +0.6767	TEOR= +0.3981
CURSO= +2.4	VAZA0= +6.0	REC.= +0.6762	TEOR= +0.3971
CURSO= +2.5	VAZA0= +3.0	REC.= +0.8944	TEOR= +0.3962
CURSO= +2.5	VAZA0= +3.1	REC.= +0.8662	TEOR= +0.3735
CURSO= +2.5	VAZA0= +3.2	REC.= +0.8443	TEOR= +0.3564
CURSO= +2.5	VAZA0= +3.3	REC.= +0.8272	TEOR= +0.3441
CURSO= +2.5	VAZA0= +3.4	REC.= +0.8135	TEOR= +0.3356
CURSO= +2.5	VAZA0= +3.5	REC.= +0.8024	TEOR= +0.3303
CURSO= +2.5	VAZA0= +3.6	REC.= +0.7930	TEOR= +0.3274

CURSO= +2.5	VAZA0= +3.7	REC.= +0.7849	TEOR= +0.3267
CURSO= +2.5	VAZA0= +3.8	REC.= +0.7777	TEOR= +0.3275
CURSO= +2.5	VAZA0= +3.9	REC.= +0.7709	TEOR= +0.3296
CURSO= +2.5	VAZA0= +4.0	REC.= +0.7644	TEOR= +0.3327
CURSO= +2.5	VAZA0= +4.1	REC.= +0.7580	TEOR= +0.3365
CURSO= +2.5	VAZA0= +4.2	REC.= +0.7517	TEOR= +0.3408
CURSO= +2.5	VAZA0= +4.3	REC.= +0.7453	TEOR= +0.3454
CURSO= +2.5	VAZA0= +4.4	REC.= +0.7389	TEOR= +0.3503
CURSO= +2.5	VAZA0= +4.5	REC.= +0.7324	TEOR= +0.3551
CURSO= +2.5	VAZA0= +4.6	REC.= +0.7259	TEOR= +0.3600
CURSO= +2.5	VAZA0= +4.7	REC.= +0.7195	TEOR= +0.3647
CURSO= +2.5	VAZA0= +4.8	REC.= +0.7132	TEOR= +0.3691
CURSO= +2.5	VAZA0= +4.9	REC.= +0.7070	TEOR= +0.3733
CURSO= +2.5	VAZA0= +5.0	REC.= +0.7012	TEOR= +0.3772
CURSO= +2.5	VAZA0= +5.1	REC.= +0.6957	TEOR= +0.3806
CURSO= +2.5	VAZA0= +5.2	REC.= +0.6906	TEOR= +0.3837
CURSO= +2.5	VAZA0= +5.3	REC.= +0.6861	TEOR= +0.3863
CURSO= +2.5	VAZA0= +5.4	REC.= +0.6823	TEOR= +0.3883
CURSO= +2.5	VAZA0= +5.5	REC.= +0.6792	TEOR= +0.3899
CURSO= +2.5	VAZA0= +5.6	REC.= +0.6770	TEOR= +0.3910
CURSO= +2.5	VAZA0= +5.7	REC.= +0.6757	TEOR= +0.3915
CURSO= +2.5	VAZA0= +5.8	REC.= +0.6754	TEOR= +0.3915
CURSO= +2.5	VAZA0= +5.9	REC.= +0.6763	TEOR= +0.3909
CURSO= +2.5	VAZA0= +6.0	REC.= +0.6784	TEOR= +0.3897
CURSO= +2.6	VAZA0= +3.0	REC.= +0.9406	TEOR= +0.3954
CURSO= +2.6	VAZA0= +3.1	REC.= +0.9068	TEOR= +0.3724
CURSO= +2.6	VAZA0= +3.2	REC.= +0.8796	TEOR= +0.3551
CURSO= +2.6	VAZA0= +3.3	REC.= +0.8574	TEOR= +0.3425
CURSO= +2.6	VAZA0= +3.4	REC.= +0.8390	TEOR= +0.3338
CURSO= +2.6	VAZA0= +3.5	REC.= +0.8234	TEOR= +0.3282
CURSO= +2.6	VAZA0= +3.6	REC.= +0.8100	TEOR= +0.3252
CURSO= +2.6	VAZA0= +3.7	REC.= +0.7981	TEOR= +0.3241
CURSO= +2.6	VAZA0= +3.8	REC.= +0.7874	TEOR= +0.3247
CURSO= +2.6	VAZA0= +3.9	REC.= +0.7775	TEOR= +0.3266
CURSO= +2.6	VAZA0= +4.0	REC.= +0.7681	TEOR= +0.3295
CURSO= +2.6	VAZA0= +4.1	REC.= +0.7592	TEOR= +0.3331
CURSO= +2.6	VAZA0= +4.2	REC.= +0.7506	TEOR= +0.3372
CURSO= +2.6	VAZA0= +4.3	REC.= +0.7423	TEOR= +0.3416
CURSO= +2.6	VAZA0= +4.4	REC.= +0.7343	TEOR= +0.3462
CURSO= +2.6	VAZA0= +4.5	REC.= +0.7265	TEOR= +0.3509
CURSO= +2.6	VAZA0= +4.6	REC.= +0.7191	TEOR= +0.3555
CURSO= +2.6	VAZA0= +4.7	REC.= +0.7119	TEOR= +0.3600
CURSO= +2.6	VAZA0= +4.8	REC.= +0.7053	TEOR= +0.3643
CURSO= +2.6	VAZA0= +4.9	REC.= +0.6991	TEOR= +0.3683
CURSO= +2.6	VAZA0= +5.0	REC.= +0.6935	TEOR= +0.3720
CURSO= +2.6	VAZA0= +5.1	REC.= +0.6885	TEOR= +0.3753
CURSO= +2.6	VAZA0= +5.2	REC.= +0.6844	TEOR= +0.3781
CURSO= +2.6	VAZA0= +5.3	REC.= +0.6811	TEOR= +0.3805
CURSO= +2.6	VAZA0= +5.4	REC.= +0.6787	TEOR= +0.3825
CURSO= +2.6	VAZA0= +5.5	REC.= +0.6775	TEOR= +0.3839
CURSO= +2.6	VAZA0= +5.6	REC.= +0.6773	TEOR= +0.3848
CURSO= +2.6	VAZA0= +5.7	REC.= +0.6785	TEOR= +0.3852
CURSO= +2.6	VAZA0= +5.8	REC.= +0.6810	TEOR= +0.3850
CURSO= +2.6	VAZA0= +5.9	REC.= +0.6849	TEOR= +0.3842
CURSO= +2.6	VAZA0= +6.0	REC.= +0.6904	TEOR= +0.3829
CURSO= +2.7	VAZA0= +3.0	REC.= +0.9836	TEOR= +0.3951
CURSO= +2.7	VAZA0= +3.1	REC.= +0.9446	TEOR= +0.3719
CURSO= +2.7	VAZA0= +3.2	REC.= +0.9124	TEOR= +0.3543
CURSO= +2.7	VAZA0= +3.3	REC.= +0.8856	TEOR= +0.3415
CURSO= +2.7	VAZA0= +3.4	REC.= +0.8629	TEOR= +0.3326
CURSO= +2.7	VAZA0= +3.5	REC.= +0.8434	TEOR= +0.3267
CURSO= +2.7	VAZA0= +3.6	REC.= +0.8263	TEOR= +0.3234
CURSO= +2.7	VAZA0= +3.7	REC.= +0.8111	TEOR= +0.3222
CURSO= +2.7	VAZA0= +3.8	REC.= +0.7973	TEOR= +0.3226
CURSO= +2.7	VAZA0= +3.9	REC.= +0.7847	TEOR= +0.3242
CURSO= +2.7	VAZA0= +4.0	REC.= +0.7730	TEOR= +0.3269

CURSO= +2.7	VAZAO= +4.1	REC.= +0.7620	TEOR= +0.3302
CURSO= +2.7	VAZAO= +4.2	REC.= +0.7517	TEOR= +0.3341
CURSO= +2.7	VAZAO= +4.3	REC.= +0.7420	TEOR= +0.3384
CURSO= +2.7	VAZAO= +4.4	REC.= +0.7329	TEOR= +0.3428
CURSO= +2.7	VAZAO= +4.5	REC.= +0.7244	TEOR= +0.3473
CURSO= +2.7	VAZAO= +4.6	REC.= +0.7165	TEOR= +0.3517
CURSO= +2.7	VAZAO= +4.7	REC.= +0.7093	TEOR= +0.3561
CURSO= +2.7	VAZAO= +4.8	REC.= +0.7028	TEOR= +0.3602
CURSO= +2.7	VAZAO= +4.9	REC.= +0.6972	TEOR= +0.3640
CURSO= +2.7	VAZAO= +5.0	REC.= +0.6924	TEOR= +0.3675
CURSO= +2.7	VAZAO= +5.1	REC.= +0.6887	TEOR= +0.3706
CURSO= +2.7	VAZAO= +5.2	REC.= +0.6860	TEOR= +0.3733
CURSO= +2.7	VAZAO= +5.3	REC.= +0.6845	TEOR= +0.3755
CURSO= +2.7	VAZAO= +5.4	REC.= +0.6844	TEOR= +0.3773
CURSO= +2.7	VAZAO= +5.5	REC.= +0.6856	TEOR= +0.3786
CURSO= +2.7	VAZAO= +5.6	REC.= +0.6882	TEOR= +0.3793
CURSO= +2.7	VAZAO= +5.7	REC.= +0.6925	TEOR= +0.3795
CURSO= +2.7	VAZAO= +5.8	REC.= +0.6984	TEOR= +0.3792
CURSO= +2.7	VAZAO= +5.9	REC.= +0.7061	TEOR= +0.3783
CURSO= +2.7	VAZAO= +6.0	REC.= +0.7157	TEOR= +0.3769
CURSO= +2.8	VAZAO= +3.0	REC.= +1.0266	TEOR= +0.3955
CURSO= +2.8	VAZAO= +3.1	REC.= +0.9826	TEOR= +0.3720
CURSO= +2.8	VAZAO= +3.2	REC.= +0.9459	TEOR= +0.3542
CURSO= +2.8	VAZAO= +3.3	REC.= +0.9149	TEOR= +0.3412
CURSO= +2.8	VAZAO= +3.4	REC.= +0.8883	TEOR= +0.3320
CURSO= +2.8	VAZAO= +3.5	REC.= +0.8652	TEOR= +0.3259
CURSO= +2.8	VAZAO= +3.6	REC.= +0.8449	TEOR= +0.3224
CURSO= +2.8	VAZAO= +3.7	REC.= +0.8268	TEOR= +0.3209
CURSO= +2.8	VAZAO= +3.8	REC.= +0.8104	TEOR= +0.3211
CURSO= +2.8	VAZAO= +3.9	REC.= +0.7956	TEOR= +0.3226
CURSO= +2.8	VAZAO= +4.0	REC.= +0.7820	TEOR= +0.3250
CURSO= +2.8	VAZAO= +4.1	REC.= +0.7695	TEOR= +0.3282
CURSO= +2.8	VAZAO= +4.2	REC.= +0.7580	TEOR= +0.3319
CURSO= +2.8	VAZAO= +4.3	REC.= +0.7474	TEOR= +0.3359
CURSO= +2.8	VAZAO= +4.4	REC.= +0.7377	TEOR= +0.3401
CURSO= +2.8	VAZAO= +4.5	REC.= +0.7290	TEOR= +0.3444
CURSO= +2.8	VAZAO= +4.6	REC.= +0.7212	TEOR= +0.3487
CURSO= +2.8	VAZAO= +4.7	REC.= +0.7144	TEOR= +0.3528
CURSO= +2.8	VAZAO= +4.8	REC.= +0.7088	TEOR= +0.3568
CURSO= +2.8	VAZAO= +4.9	REC.= +0.7043	TEOR= +0.3604
CURSO= +2.8	VAZAO= +5.0	REC.= +0.7010	TEOR= +0.3638
CURSO= +2.8	VAZAO= +5.1	REC.= +0.6990	TEOR= +0.3667
CURSO= +2.8	VAZAO= +5.2	REC.= +0.6985	TEOR= +0.3692
CURSO= +2.8	VAZAO= +5.3	REC.= +0.6995	TEOR= +0.3713
CURSO= +2.8	VAZAO= +5.4	REC.= +0.7021	TEOR= +0.3730
CURSO= +2.8	VAZAO= +5.5	REC.= +0.7065	TEOR= +0.3741
CURSO= +2.8	VAZAO= +5.6	REC.= +0.7126	TEOR= +0.3747
CURSO= +2.8	VAZAO= +5.7	REC.= +0.7207	TEOR= +0.3748
CURSO= +2.8	VAZAO= +5.8	REC.= +0.7308	TEOR= +0.3743
CURSO= +2.8	VAZAO= +5.9	REC.= +0.7429	TEOR= +0.3733
CURSO= +2.8	VAZAO= +6.0	REC.= +0.7573	TEOR= +0.3718
CURSO= +2.9	VAZAO= +3.0	REC.= +1.0718	TEOR= +0.3967
CURSO= +2.9	VAZAO= +3.1	REC.= +1.0233	TEOR= +0.3729
CURSO= +2.9	VAZAO= +3.2	REC.= +0.9824	TEOR= +0.3549
CURSO= +2.9	VAZAO= +3.3	REC.= +0.9475	TEOR= +0.3416
CURSO= +2.9	VAZAO= +3.4	REC.= +0.9175	TEOR= +0.3322
CURSO= +2.9	VAZAO= +3.5	REC.= +0.8912	TEOR= +0.3259
CURSO= +2.9	VAZAO= +3.6	REC.= +0.8681	TEOR= +0.3222
CURSO= +2.9	VAZAO= +3.7	REC.= +0.8476	TEOR= +0.3205
CURSO= +2.9	VAZAO= +3.8	REC.= +0.8291	TEOR= +0.3204
CURSO= +2.9	VAZAO= +3.9	REC.= +0.8125	TEOR= +0.3217
CURSO= +2.9	VAZAO= +4.0	REC.= +0.7975	TEOR= +0.3239
CURSO= +2.9	VAZAO= +4.1	REC.= +0.7840	TEOR= +0.3269
CURSO= +2.9	VAZAO= +4.2	REC.= +0.7717	TEOR= +0.3304
CURSO= +2.9	VAZAO= +4.3	REC.= +0.7608	TEOR= +0.3342
CURSO= +2.9	VAZAO= +4.4	REC.= +0.7511	TEOR= +0.3383

CURSO= +2.9	VAZA0= +4.5	REC.= +0.7427	TEOR= +0.3424
CURSO= +2.9	VAZA0= +4.6	REC.= +0.7356	TEOR= +0.3465
CURSO= +2.9	VAZA0= +4.7	REC.= +0.7299	TEOR= +0.3505
CURSO= +2.9	VAZA0= +4.8	REC.= +0.7256	TEOR= +0.3542
CURSO= +2.9	VAZA0= +4.9	REC.= +0.7228	TEOR= +0.3577
CURSO= +2.9	VAZA0= +5.0	REC.= +0.7216	TEOR= +0.3609
CURSO= +2.9	VAZA0= +5.1	REC.= +0.7220	TEOR= +0.3637
CURSO= +2.9	VAZA0= +5.2	REC.= +0.7243	TEOR= +0.3661
CURSO= +2.9	VAZA0= +5.3	REC.= +0.7284	TEOR= +0.3680
CURSO= +2.9	VAZA0= +5.4	REC.= +0.7344	TEOR= +0.3695
CURSO= +2.9	VAZA0= +5.5	REC.= +0.7426	TEOR= +0.3705
CURSO= +2.9	VAZA0= +5.6	REC.= +0.7529	TEOR= +0.3710
CURSO= +2.9	VAZA0= +5.7	REC.= +0.7655	TEOR= +0.3709
CURSO= +2.9	VAZA0= +5.8	REC.= +0.7804	TEOR= +0.3704
CURSO= +2.9	VAZA0= +5.9	REC.= +0.7978	TEOR= +0.3692
CURSO= +2.9	VAZA0= +6.0	REC.= +0.8177	TEOR= +0.3676
CURSO= +3.0	VAZA0= +3.0	REC.= +1.1213	TEOR= +0.3986
CURSO= +3.0	VAZA0= +3.1	REC.= +1.0687	TEOR= +0.3746
CURSO= +3.0	VAZA0= +3.2	REC.= +1.0240	TEOR= +0.3564
CURSO= +3.0	VAZA0= +3.3	REC.= +0.9856	TEOR= +0.3429
CURSO= +3.0	VAZA0= +3.4	REC.= +0.9525	TEOR= +0.3332
CURSO= +3.0	VAZA0= +3.5	REC.= +0.9235	TEOR= +0.3267
CURSO= +3.0	VAZA0= +3.6	REC.= +0.8981	TEOR= +0.3228
CURSO= +3.0	VAZA0= +3.7	REC.= +0.8755	TEOR= +0.3209
CURSO= +3.0	VAZA0= +3.8	REC.= +0.8554	TEOR= +0.3207
CURSO= +3.0	VAZA0= +3.9	REC.= +0.8376	TEOR= +0.3217
CURSO= +3.0	VAZA0= +4.0	REC.= +0.8216	TEOR= +0.3237
CURSO= +3.0	VAZA0= +4.1	REC.= +0.8075	TEOR= +0.3265
CURSO= +3.0	VAZA0= +4.2	REC.= +0.7951	TEOR= +0.3298
CURSO= +3.0	VAZA0= +4.3	REC.= +0.7843	TEOR= +0.3335
CURSO= +3.0	VAZA0= +4.4	REC.= +0.7751	TEOR= +0.3374
CURSO= +3.0	VAZA0= +4.5	REC.= +0.7676	TEOR= +0.3413
CURSO= +3.0	VAZA0= +4.6	REC.= +0.7617	TEOR= +0.3452
CURSO= +3.0	VAZA0= +4.7	REC.= +0.7576	TEOR= +0.3490
CURSO= +3.0	VAZA0= +4.8	REC.= +0.7552	TEOR= +0.3526
CURSO= +3.0	VAZA0= +4.9	REC.= +0.7547	TEOR= +0.3560
CURSO= +3.0	VAZA0= +5.0	REC.= +0.7562	TEOR= +0.3590
CURSO= +3.0	VAZA0= +5.1	REC.= +0.7597	TEOR= +0.3617
CURSO= +3.0	VAZA0= +5.2	REC.= +0.7653	TEOR= +0.3639
CURSO= +3.0	VAZA0= +5.3	REC.= +0.7731	TEOR= +0.3657
CURSO= +3.0	VAZA0= +5.4	REC.= +0.7833	TEOR= +0.3671
CURSO= +3.0	VAZA0= +5.5	REC.= +0.7959	TEOR= +0.3679
CURSO= +3.0	VAZA0= +5.6	REC.= +0.8111	TEOR= +0.3683
CURSO= +3.0	VAZA0= +5.7	REC.= +0.8288	TEOR= +0.3681
CURSO= +3.0	VAZA0= +5.8	REC.= +0.8493	TEOR= +0.3674
CURSO= +3.0	VAZA0= +5.9	REC.= +0.8726	TEOR= +0.3662
CURSO= +3.0	VAZA0= +6.0	REC.= +0.8988	TEOR= +0.3644

Curso [mm]

30

25

20

1

Gráfico da recuperação
em função do curso e da velocidade
de "hutch", para uma rotação
de 222 rpm.

$R=0,85$

$R=0,80$

$R=0,75$

$R=0,70$

$Z=0,65$

60

50

40

30

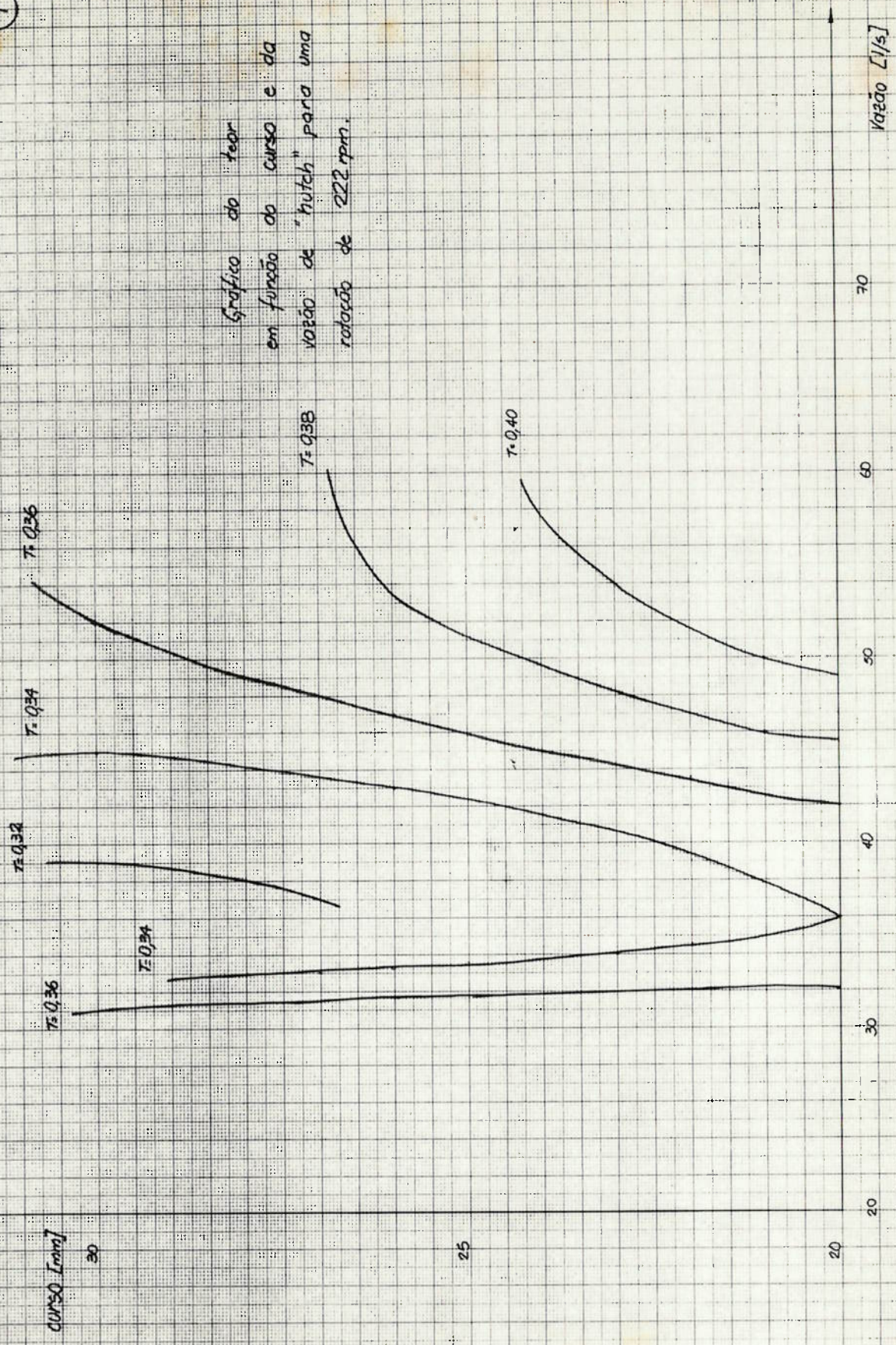
20

70

Velocidade [1/s]

1

Gráfico do teor
em função do curso e da
vazão de "hutch" para uma
rotação de 222 rpm.



A N E X O I I

PRP "JIG"	57*LBL 15	117 RCL 16
01*LBL "JIG"	58 "Δa="	118 *
02 "a=?"	59 ARCL 06	119 RCL 18
03 PROMPT	60 XEQ "Δc"	120 +
04 STO 01	61 XEQ "XE"	121 X↑2
05 "b=?"	62 "↑ X="	122 RCL 17
06 PROMPT	63 ARCL X	123 X↑2
07 STO 02	64 AVIEW	124 +
08 "c=?"	65 RCL 01	125 SQRT
09 PROMPT	66 RCL 07	126 STO 19
10 STO 03	67 *	127 RCL 17
11 "d=?"	68 STO 12	128 /
12 PROMPT	69 XEQ "VL"	129 1/X
13 STO 04	70 X↑2	130 ACOS
14 "e=?"	71 RCL 12	131 RCL 09
15 PROMPT	72 X↑2	132 ABS
16 STO 05	73 -	133 +
17 "Δa=?"	74 CHS	134 90
18 PROMPT	75 SQRT	135 -
19 STO 06	76 RCL 03	136 CHS
20 "Δ.a=?"	77 *	137 STO 21
21 PROMPT	78 XEQ "L"	138 RCL 15
22 STO 07	79 /	139 X↑2
23 "ΔaINC=?"	80 STO 13	140 RCL 04
24 PROMPT	81 RCL 03	141 /
25 STO 08	82 /	142 STO 20
26 RCL 01	83 STO 14	143 XEQ "L"
27 RCL 02	84 RCL 09	144 RCL 03
28 /	85 ABS	145 /
29 ASIN	86 SIN	146 RCL 19
30 90	87 RCL 13	147 /
31 +	88 *	148 1/X
32 COS	89 XEQ "Δe"	149 STO 22
33 CHS	90 COS	150 XEQ "RE"
34 ACOS	91 /	151 ABS
35 SIN	92 STO 15	152 "↑ X:="
36 RCL 01	93 XEQ "VE"	153 ARCL X
37 *	94 ABS	154 AVIEW
38 RCL 02	95 "X.="	155 RCL 08
39 X↑2	96 ARCL X	156 ST+ 06
40 RCL 01	97 RCL 07	157 GT0 15
41 X↑2	98 X↑2	
42 -	99 RCL 01	158*LBL "L"
43 SQRT	100 *	159 RCL 01
44 /	101 STO 16	160 X↑2
45 ASIN	102 XEQ "L"	161 RCL 02
46 STO 09	103 RCL 14	162 X↑2
47 XEQ "XE"	104 X↑2	163 +
48 "XMAX="	105 *	164 RCL 01
49 ARCL X	106 STO 17	165 RCL 02
50 AVIEW	107 XEQ "VL"	166 *
51 -1	108 RCL 14	167 2
52 ST+ 09	109 *	168 *
53 XEQ "XE"	110 2	169 RCL 06
54 "XMIN="	111 *	170 COS
55 ARCL X	112 STO 18	171 *
56 AVIEW	113 RCL 06	172 -
	114 RCL 09	173 SQRT
	115 +	174 RTN
	116 SIN	

175*LBL "VL"
176 RCL 01
177 RCL 02
178 *
179 RCL 06
180 SIN
181 *
182 RCL 07
183 *
184 XEQ "L"
185 /
186 RTN

187*LBL "XE"
188 RCL 04
189 X+2
190 RCL 09
191 COS
192 RCL 03
193 *
194 RCL 05
195 -
196 X+2
197 -
198 SQRT
199 RCL 09
200 SIN
201 RCL 03
202 *
203 +
204 STO 00
205 RCL 04
206 X+2
207 RCL 03
208 RCL 05
209 -
210 X+2
211 -
212 SQRT
213 -
214 RTN

215*LBL "LC"
216 RCL 06
217 SIN
218 RCL 01
219 *
220 XEQ "L"
221 /
222 ASIN
223 STO 09
224 RTN

225*LBL "LD"
226 RCL 03
227 X+2
228 RCL 04
229 X+2
230 +
231 RCL 05
232 X+2
233 -
234 RCL 00
235 X+2
236 -
237 2
238 /
239 RCL 03
240 /
241 RCL 04
242 /
243 ACOS
244 STO 10
245 RTN

246*LBL "LE"
247 RCL 09
248 COS
249 RCL 03
250 *
251 RCL 05
252 -
253 RCL 04
254 /
255 ASIN
256 STO 11
257 RTN

258*LBL "VE"
259 XEQ "LD"
260 COS
261 RCL 09
262 SIGN
263 *
264 2
265 *
266 RCL 13
267 *
268 RCL 15
269 *
270 RCL 15
271 X+2
272 +
273 RCL 13
274 X+2
275 +
276 SQRT
277 RTN

278*LBL "AE"
279 RCL 21
280 ABS
281 SIN
282 RCL 22
283 *
284 RCL 11
285 SIN
286 RCL 21
287 SIGN
288 *
289 RCL 20
290 *
291 -
292 RCL 11
293 TAN
294 *
295 RCL 21
296 SIGN
297 *
298 RCL 09
299 SIGN
300 *
301 RCL 11
302 COS
303 RCL 09
304 SIGN
305 *
306 RCL 20
307 *
308 -
309 CHS
310 RCL 21
311 ABS
312 COS
313 RCL 22
314 *
315 +
316 RTN
317 END

XEQ "JIG"

a=?
30.00 RUN

b=?
90.00 RUN

c=?
100.00 RUN

d=?
300.00 RUN

e=?
50.00 RUN

Δa=?
0.00 RUN

Δ.a=?
15.00 RUN

ΔaINC=?
10.00 RUN

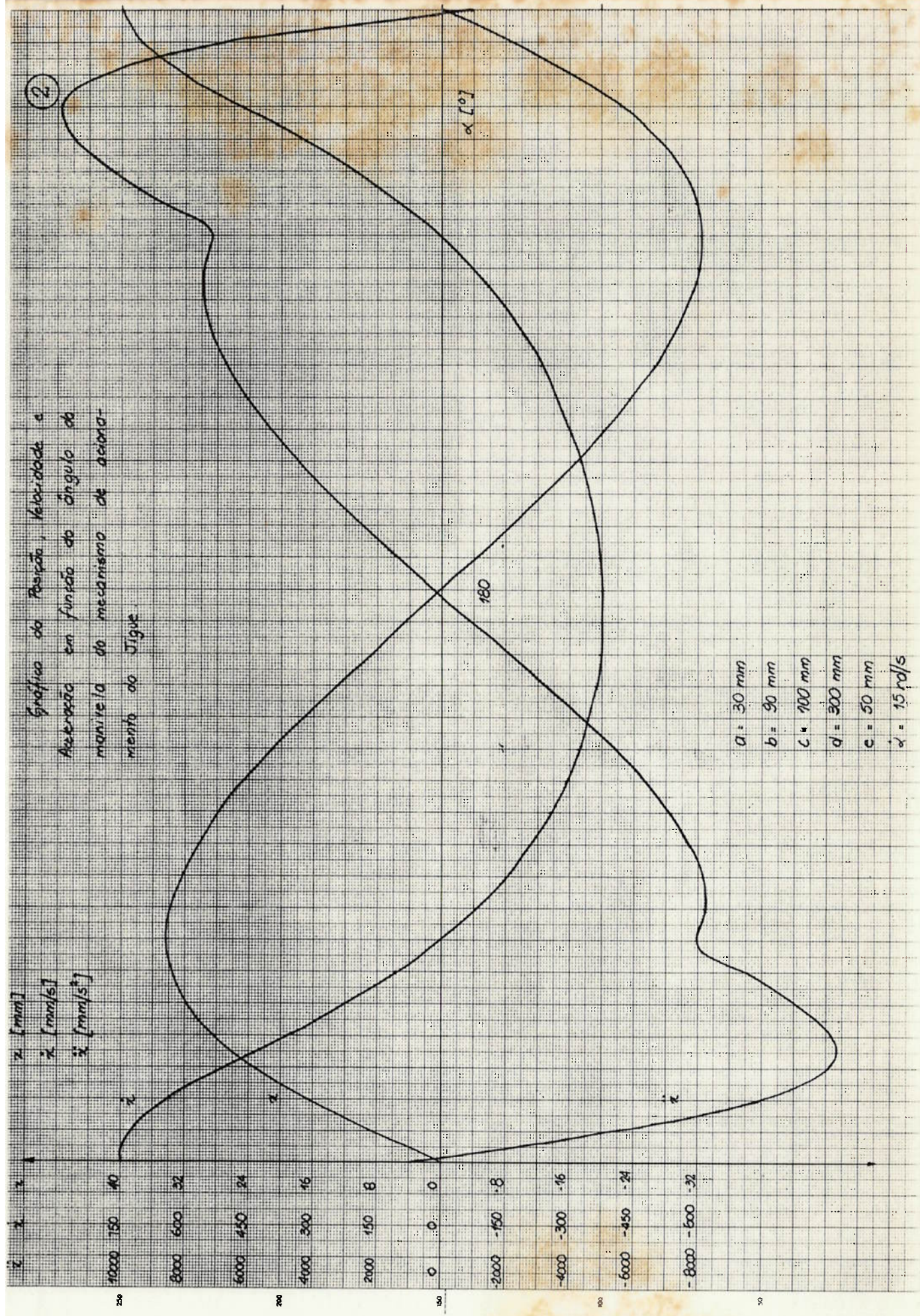
XMAX=34.24
XMIN=-32.42
Δa=0.00 X=0.00
X.=750.00 X:=950.00
Δa=10.00 X=8.65
X.=724.25 X:=5.258.10
Δa=20.00 X=16.60
X.=633.96 X:=9.880.40
Δa=30.00 X=23.25
X.=504.04 X:=12.043.50
Δa=40.00 X=20.28
X.=361.79 X:=12.134.02
Δa=50.00 X=31.69
X.=226.23 X:=11.040.90
Δa=60.00 X=33.61
X.=106.50 X:=9.512.22
Δa=70.00 X=34.24
X.=4.88 X:=7.973.26
Δa=80.00 X=33.79
X.=79.70 X:=8.176.11
Δa=90.00 X=32.44
X.=149.48 X:=8.118.41
Δa=100.00 X=30.36
X.=206.73 X:=7.759.86
Δa=110.00 X=27.67
X.=253.40 X:=7.159.66
Δa=120.00 X=24.50
X.=291.02 X:=6.369.63
Δa=130.00 X=20.93
X.=320.75 X:=5.434.30

Δa=140.00 X=17.06
X.=343.46 X:=4.392.27
Δa=150.00 X=12.96
X.=359.80 X:=3.276.54
Δa=160.00 X=8.71
X.=370.26 X:=2.116.30
Δa=170.00 X=4.37
X.=375.24 X:=937.24
Δa=180.00 X=0.00
X.=375.00 X:=237.70
Δa=190.00 X=-4.34
X.=369.76 X:=1.387.82
Δa=200.00 X=-8.59
X.=359.64 X:=2.494.05
Δa=210.00 X=-12.69
X.=344.66 X:=3.538.36
Δa=220.00 X=-16.59
X.=324.75 X:=4.503.03
Δa=230.00 X=-20.23
X.=299.67 X:=5.369.62
Δa=240.00 X=-23.54
X.=269.01 X:=6.117.80
Δa=250.00 X=-26.46
X.=232.10 X:=6.724.31
Δa=260.00 X=-28.91
X.=187.93 X:=7.160.63
Δa=270.00 X=-30.80
X.=135.13 X:=7.392.56
Δa=280.00 X=-32.02
X.=71.00 X:=7.379.90
Δa=290.00 X=-32.42
X.=4.39 X:=7.174.12
Δa=300.00 X=-31.85
X.=95.90 X:=8.599.31
Δa=310.00 X=-30.12
X.=204.93 X:=10.125.30
Δa=320.00 X=-27.02
X.=330.80 X:=11.431.18
Δa=330.00 X=-22.30
X.=467.64 X:=11.875.52
Δa=340.00 X=-16.15
X.=600.20 X:=10.554.02
Δa=350.00 X=-8.52
X.=703.61 X:=6.786.87
Δa=360.00 X=0.00
X.=750.00 X:=950.00

2

Gráfico da Posição, Velocidade e Aceleração em função do ângulo de manivela do mecanismo de acionamento do Jigue.

x [mm]
 $\dot{x}$ [mm/s]
 $\ddot{x}$ [mm/s²]



$a = 30$ mm
 $b = 90$ mm
 $c = 100$ mm
 $d = 300$ mm
 $e = 50$ mm
 $\dot{\alpha} = 15$ rad/s