



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

FLOTAÇÃO DE CARVÃO DE SANTA CATARINA EM ESCALA DE BANCADA E PILOTO

Série Tecnologia Mineral	nº 15	Seção Beneficiamento	nº 10	Brasília	1981
-----------------------------	-------	----------------------	-------	----------	------

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

Cesar Cals — Ministro de Estado

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

Yvan Barretto de Carvalho — Diretor Geral

DIVISÃO DE FOMENTO DA PRODUÇÃO MINERAL

Manoel da Redenção e Silva — Diretor

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Roberto C. Villas Bõas — Superintendente

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM
CONVÊNIO DNPM/CPRM



Beneficiamento
nº 10

Autores: Antonio Rodrigues de Campos *
Salvador L. Matos de Almeida **

FLOTAÇÃO DE CARVÃO DE SANTA CATARINA
EM ESCALA DE BANCADA E PILOTO

Execução e elaboração do trabalho pelo
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM
através do convênio DNPM/CPRM

* Eng. Metalurgista
** Eng. Metalurgista

Brasília
1981

**Publicação do Departamento Nacional da Produção Mineral
Setor de Autarquias Norte
Quadra 01 - Bloco B - Telex (061)1116
70.000 - Brasília (DF) - Brasil**

**Copyright 1981
Reservados todos os direitos
Permitida a reprodução, desde que mencionada a fonte**

**Depósito Legal
Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro
Instituto Nacional do Livro**

Brasil.DNPM

Flotação de carvão de Santa Catarina em escala de bancada e piloto/ Por/A.R.de Campos e S.L.M.de Almeida. Brasília, 1981.

10p.graf. (Brasil.DNPM.Ser.Tecnologia Mineral, 15.Seção Beneficiamento, 10)

"Trabalho executado pelo Centro de Tecnologia Mineral, através do Convênio DNPM/CPRM".

1.Tecnologia Mineral-Brasil.1.Campos,A.R.de Almeida,S.L.M.111.Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro.IV.Título (Série).

CDD 622.364

CLU 622.2(81)

SUMÁRIO	PÁGINAS
RESUMO	
ABSTRACT	
1 . OBJETIVO DO TRABALHO	1
2 . DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	1
2.1- Estudo do carvão pré-lavado da mina A-Escala de bancada	1
2.2- Estudo do carvão pré-lavado da mina A-Escala piloto	5
2.3- Estudo do carvão pré-lavado da mina Siderópolis - Escala piloto	6
2.4- Estudo dos finos naturais de Siderópolis - Escala de bancada e piloto	6
2.5- Estudo dos finos naturais da mina A-Escala de bancada.	7

RESUMO

Nas pesquisas deu-se ênfase ao estudo da cinética de flotação do carvão com o uso de reagentes: óleo de pinho, metil isobutil carbinol, querosene e óleo diesel. Estudou-se também, a influência dos depressores da pirita: óxido de cálcio, cloreto férrico e amido cáustico. Estabeleceu-se inicialmente as condições ideais do processo em escala de bancada, e com as conclusões obtidas, passou-se a fase piloto. Os resultados alcançados em escala piloto, mostraram ser possível obter, mediante recirculação de produtos intermediários, os seguintes valores: - Para carvão pré-lavado da mina A, com 30% cinzas, obteve-se recuperação em massa de 75% - teor de cinzas de 18,5%. - Para os finos naturais de Siderópolis, com 45% de cinzas, obteve-se recuperação em massa de 46,2% - teor de cinzas de 16,7%.

ABSTRACT

The flotation of coal was studied in the presence of the reagents pine oil, methyl isobutyl carbinol, kerosene and diesel oil, with particular emphasis on the kinetics of the process. Also, it was studied the influence of pyrite depressors such as: calcium oxide, ferric chloride and caustic starch. The ideal process conditions at bench scale were established and then pilot tests were carried out. The results of the pilots plant tests showed it possible to obtain the following values the recycling of intermediate products: - For the washed coal at Sangão Mine with 30% of ash content: mass recuperation of 75% with 18,5% ash content. - For the natural fines at Siderópolis Mine with 45% of ash content: mass recuperation of 46,2% with 16,7% ash content.

1. OBJETIVO DO TRABALHO

O presente trabalho visa estudar o processo de flotação para o carvão catarinense. Foram estudados os seguintes materiais: carvão pré-lavado da mina A (Sangão); carvão pré-lavado da mina Siderópolis; finos naturais da mina A (Sangão) e finos naturais da mina Siderópolis.

Com o objetivo de conseguir as melhores condições de flotação em escala de bancada e posteriormente em escala piloto, as seguintes etapas foram seguidas: testar o efeito dos reagentes: óleo de pinho, metil isobutil carbinol, querosene e óleo diesel, com adição escalonada; estudar a influência dos depressores da pirita: óxido de cálcio, cloreto férrico e amido cáustico; obter um concentrado com baixos teores de cinza e enxofre, aliados a uma boa recuperação em peso.

O estudo do carvão pré-lavado moído a 28 malhas, teve objetivo acadêmico: ele permitiu estudar o comportamento de diversas variáveis influentes na flotação deste carvão, que puderam ser diretamente aplicáveis aos finos naturais, produzidos nos Lavadores.

2. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

2.1. - Estudo do carvão pré-lavado da mina A - Escala de bancada.

Fez-se uma série de ensaios de flotação com o CPL da mina A, com controle de tempo, usando-se os espumantes metil isobutil carbinol (MIBC) ou óleo de pinho (OP) simplesmente, ou combinados com coletores óleo diesel (OD) ou querosene (Qs). Tratam-se dos reagentes de uso mais generalizados na flotação de carvão. A hipótese de trabalho adotada, foi a de verificar a possibilidade de tirar partido apenas das características cinéticas, para aumentar a seletividade da flotação. Estes ensaios visavam determinar a influência dos diferentes reagentes e do seu modo de adição, bem como determinar as dosagens adequadas.

A amostra utilizada do CPL da mina A, foi a

mostrada na correia transportadora do Lavador de Capivari, resul_ltante de 15 dias de amostragem. O carvão a uma granulometria de 1 1/2" foi britado a - 1/2". Fez-se então, uma pilha de homoge_nização com todo o carvão abaixo de 1/2".

Para cada ensaio de flotação a ser realizado, retirava-se uma alíquota representativa da pilha, e todo o mate_rial era moído (em moinho de barras) a - 28 M. Todos os ensaios foram realizados com as seguintes condições mantidas constantes: pH natural da polpa; rotação do rotor - 1200 rpm; percentagem de sólido - 11% em peso; célula de flotação - Denver(5 litros); gra_nulometria - 28 M.

Realizou-se primeiramente uma série de dezes_eis ensaios de flotação sem condicionamento, que visavam avaliar o efeito dos espumantes de per si, e combinados com os dois cole_tores. A programação foi a seguinte:

Ensaio nº 1: óleo de pinho - adição escalonada (132g/t) e quero_sene - adição no final (105g/t).

Ensaio nº 2: MIBC - adição escalonada (96g/t) e Qs - adição no fi_nal (105g/t).

Ensaio nº 3: somente MIBC - adição escalonada (112g/t).

Ensaio nº 4: somente OP - adição escalonada (154g/t).

Ensaio nº 5: OP + Qs - adição escalonada de ambos em conjunto (154g/t OP + 147g/t Qs).

Ensaio nº 6: MIBC + Qs - adição escalonada de ambos em conjunto (112g/t MIBC + 147g/t Qs).

Ensaio nº 7: MIBC + OD - adição escalonada de ambos em conjunto (112g/t MIBC + 98g/t OD).

Ensaio nº 8: OP + OD - adição escalonada de ambos em conjunto (154g/t OP + 98g/t OD).

Ensaio nº 9: idêntico ao nº 1.

Ensaio nº 10: idêntico ao nº 2.

Ensaio nº 11: semelhante ao nº 5: OP + Qs - tudo adicionado no i_nício. (154g/t OP + 147g/t Qs).

Ensaio nº 12: semelhante ao nº 6: MIBC + Qs - tudo adicionado no

início (112g/t MIBC + 147g/t Qs).

Ensaio nº 13: semelhante ao nº 7: MIBC + OD - tudo adicionado no início: (112g/t MIBC + 98g/t OD).

Ensaio nº 14: semelhante ao nº 8: OP + OD - tudo adicionado no início (154g/t OP + 98g/t OD).

Ensaio nº 15: semelhante ao nº 3: somente MIBC - tudo adicionado no início (112g/t MIBC).

Ensaio nº 16: semelhante ao nº 4: somente OP - tudo adicionado no início (154g/t OP).

Os melhores resultados experimentais foram colocados em gráficos, figura 5 (curva de seletividade). Examinando-se esta figura, é possível notar que:

- a). O ensaio que demonstrou maior seletividade foi o de nº 6, realizado com MIBC e Qs. O ensaio menos seletivo foi o realizado com OP, nº 16.
- b). Os dois ensaios realizados com MIBC (nº 6 e nº 15) são mais seletivos, pelo menos na faixa de nosso interesse, que é em torno de 15% cinza, que os ensaios feitos com óleo de pinho (nºs 1, 5 e 16).

Programou-se então nova série de ensaios, desta vez com um condicionamento de 90 segundos. Variou-se a quantidade de reagente adicionado, para prevenir alguma eventual absorção do mesmo. Realizou-se ainda um ensaio de adição escalonada de MIBC e outro de óleo de pinho, com 60% de espumante no início. A programação foi a seguinte:

Ensaio nº 21: 110g/t OP - tudo adicionado no início.

Ensaio nº 22: 176g/t OP - tudo adicionado no início.

Ensaio nº 23: 112g/t MIBC - tudo adicionado no início.

Ensaio nº 24: 160g/t MIBC - tudo adicionado no início.

Ensaio nº 25: 154g/t OP - adição escalonada, com 60% no início.

Ensaio nº 26: 160g/t MIBC - adição escalonada, com 60% no início.

As curvas de seletividades destes ensaios, são apresentadas na figura 6. Do exame destas curvas, é possível concluir que:

- a). Os três ensaios mais seletivos foram os realizados com MIBC (23, 24 e 26), o que confirma a constatação já feita anteriormente, de que o MIBC é mais seletivo que o óleo de pinho.
- b). O ensaio 23 perde seletividade em relação aos ensaios 24 e 26, e isto pode ser atribuído a uma adição insuficiente de reagente.

Análise dos resultados e conclusões: O Trabalho realizado em escala de bancada, permitiu estabelecer uma série de conclusões importantes:

- a). O carvão pré-lavado da mina A possui características de flotabilidade suficientemente enérgicas para dispensar o uso de coletores. Aliás, parece haver um efeito nocivo destes reagentes no que se refere ao teor de cinzas do flotado. Recomenda-se portanto, eliminar o uso do querosene e do óleo diesel.
- b). A separação de diferentes concentrados, segundo as características cinéticas da flotação, é suficientemente para permitir a retirada de concentrados de teores compatíveis com o que se deseja, e em recuperações convenientes. Não há pois necessidade de operações auxiliares de "cleaner" ou de remoagem dos rejeitos.
- c). O MIBC é o mais seletivo dos reagentes estudados. O nível de 110g/t parece ser insuficiente, ao que se recomenda o estudo de adições acima de 160g/t.
- d). O óleo de pinho é menos seletivo que o MIBC, o que pode ser atribuído a uma ação coletora, e seria confirmado pelo tempo de indução decorrido nos ensaios sem condicionamento. No caso de seu uso, é essencial que se faça o escalonamento da sua adição.
- e). Não há evidência de que seja necessário escalonar a adição de MIBC.

Com base nos resultados obtidos com os ensaios em escala de bancada passou-se de imediato para escala piloto, tentando reproduzir os ensaios de bancada que tenham dado os melho

res resultados, no caso os ensaios 24(MIBC) e 25 (óleo de pinho). Como entretanto, o escalonamento da adição de reagente parece ser variável importante, executou-se em escala piloto, o circuito correspondente ao ensaio 26, em vez do ensaio 24, para o uso do MIBC.

2.2.- Estudo do carvão pré-lavado da mina A - Escala piloto.

Os ensaios realizados com o CPL da mina A em usina piloto, foram feitos nas condições dos testes 25 e 26(bancada). O circuito foi dimensionado a partir das informações levantadas nos ensaios descontínuos. Foram feitas algumas adaptações, para acertar o fato de que se passava de um regime descontínuo para contínuo. Assim, nos ensaios realizados mudou-se um pouco as configurações dos circuitos, ora colocando mais uma ou duas células e adicionando-se gotas de querosene, afim de tentar recuperar algum carvão adicional recuperável, mesmo que com elevado teor de cinzas.

Na figura 8, é apresentado o fluxograma da usina piloto de carvão do CETEM, com sua instrumentação e características.

A amostra utilizada foi amostrada no Lavador de Capivari. O carvão a uma granulometria de 1 1/2" foi peneirado a 1/2". O material grosseiro foi britado a 1/2". A seguir fez-se uma pilha de homogeneização com todo o carvão abaixo de 1/2". Com o carvão retirado desta pilha alimentou-se a usina piloto.

Foram realizados em escala piloto, os seguintes ensaios com o CPL da mina A: ensaios sem recirculação de produutos intermediários, ensaios com recirculação dos "middlings", e ensaios com o uso de depressores de pirita.

Na tabela A estão os melhores resultados obtidos para o CPL da mina A. Por esta tabela, conclui-se:

- a). Os depressores utilizados não foram efetivos na depressão da pirita.
- b). Existe grande semelhança entre os resultados obtidos em escala de bancada e usina piloto

- c). O metil isobutil carbinol (MIBC) foi mais seletivo para en saios de bancada, enquanto que o óleo de pinho teve mais se letividade em usina piloto.
- d). Os melhores resultados para o CPL da mina A, foram consegui dos com o uso de 154g/t OP + 56g/t Qs e com recirculação dos "middlings".

2.3.- Estudo do carvão pré-lavado da mina Siderópolis - Es cala piloto.

Admitindo-se como hipótese de trabalho que as conclusões obtidas até o momento com o CPL da mina A, seriam a plicáveis a este material, decidiu-se partir de imediato para a experimentação em escala piloto. A programação foi usar em usina piloto, as condições dos ensaios 25 (OP) e 26 (MIBC), feitos em escala de bancada com CPL da mina A. Foram realizados em escala piloto, os seguintes ensaios com o CPL da mina Siderópolis: sem o uso de depressor para pirita, e com adições de depressores da pirita.

Na tabela B estão apresentados os melhores re sultados obtidos com o CPL da mina Siderópolis. Destes resulta dos, tirou-se as seguintes conclusões:

- a). Os melhores resultados foram obtidos com o uso de 128g/t MIBC + 42g/t Qs.
- b). As recuperações obtidas com este carvão, deram bem próximas das conseguidas com o CPL da mina A.
- c). O único depressor utilizado que ocasionou rebaixamento no te or de enxofre dos produtos, foi o óxido de cálcio, na dosa gem 450g/t.

2.4. - Estudo dos finos naturais de Siderópolis - Escala de bancada e piloto.

O material usado nos ensaios foi amostrado na saída da peneira desaguadora do circuito do Pré-Lavador de Side rópolis. Foram realizados os seguintes ensaios com os finos natu rais de Siderópolis: ensaios de bancada com o uso de OP ou MIBC combinado ou não com querosene, ensaios de bancada com o uso de

depressores (CaO, cloreto férrico e amido cáustico), ensaios piloto com o uso de mesa vibratória e recirculação dos "middlings".

Na tabela C estão apresentados os melhores resultados obtidos com os finos naturais de Siderópolis. Destes resultados, tirou-se as seguintes conclusões:

- a). Os melhores resultados foram conseguidos com o uso do MIBC.
- b). O uso de depressores não se mostrou interessante, pois causam diminuição tanto no teor de enxofre, quanto nas recuperações dos produtos.
- c). Os melhores resultados foram obtidos em escala piloto, com o uso de 128g/t MIBC + 63g/t Qs e de mesa vibratória, e com recirculação dos "middlings".

2.5. - Estudos dos finos naturais da mina A - Escala de bancada.

A amostra utilizada foi amostrada no "under flow" do ciclone, que corresponde a alimentação da flotação do circuito de finos do Pré-Lavador da mina 4, que lavava o carvão da mina A, na ocasião. Portanto, neste material já houve uma descartagem de fração de ultrafino.

Admitindo como válidas para este carvão as conclusões obtidas nos ensaios realizados com o CPL da mina A, programou-se uma série de ensaios com o uso do MIBC ou óleo de pinho, com adições totais no início, ou escalonadamente.

Os melhores resultados obtidos estão apresentados na tabela D. Destes dados conseguidos, concluiu-se.

- a). Os melhores resultados obtidos foram com o uso do MIBC, em saio nº 32 (224g/t MIBC).
- b). As recuperações conseguidas, deram bem melhores que as obtidas com os finos naturais de Siderópolis.

Fig. 5-Ensaios de bancada - C.P.L. mina A
 Curvas de seletividade-Ensaios sistemáticos-1ª série

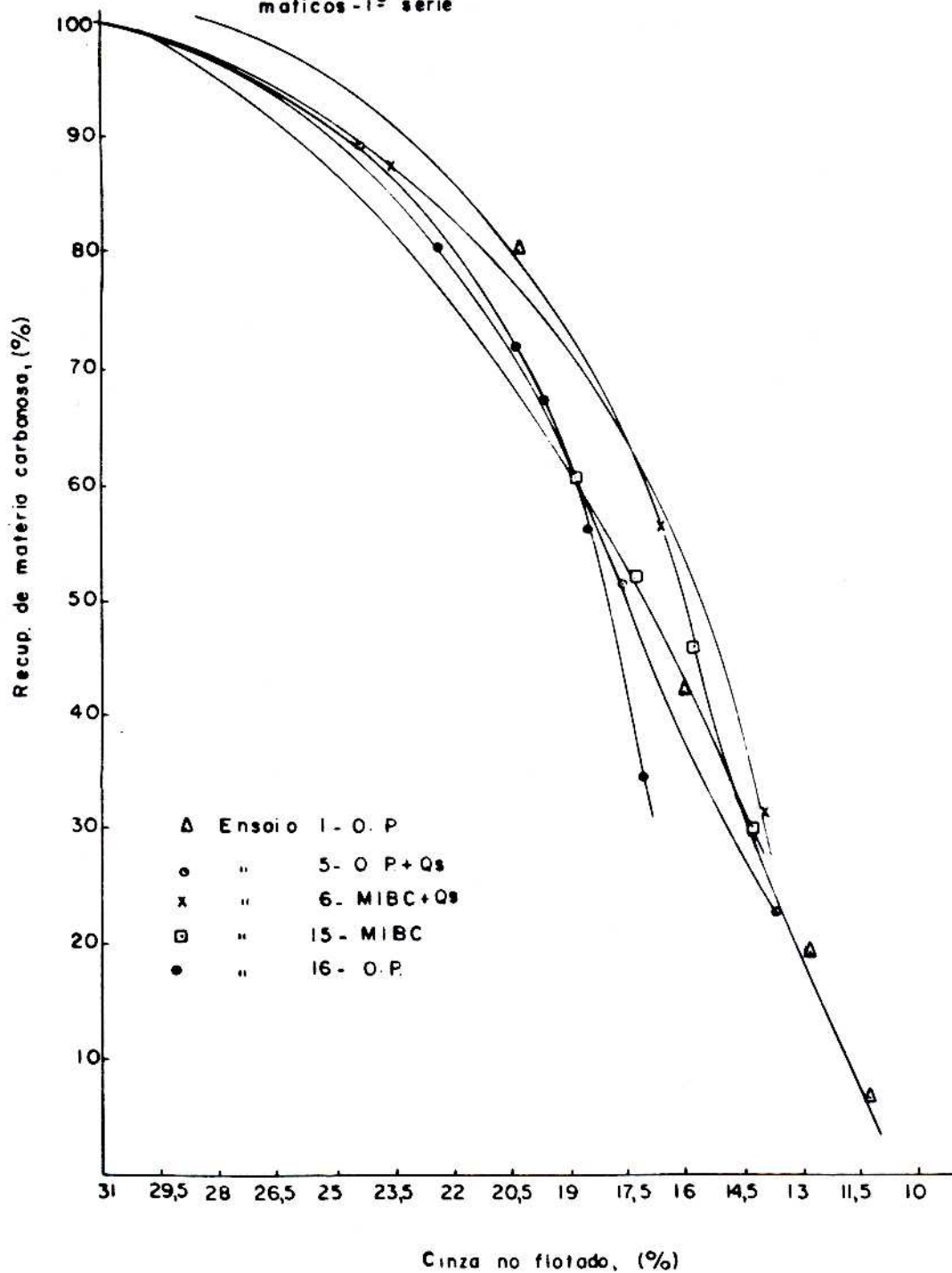
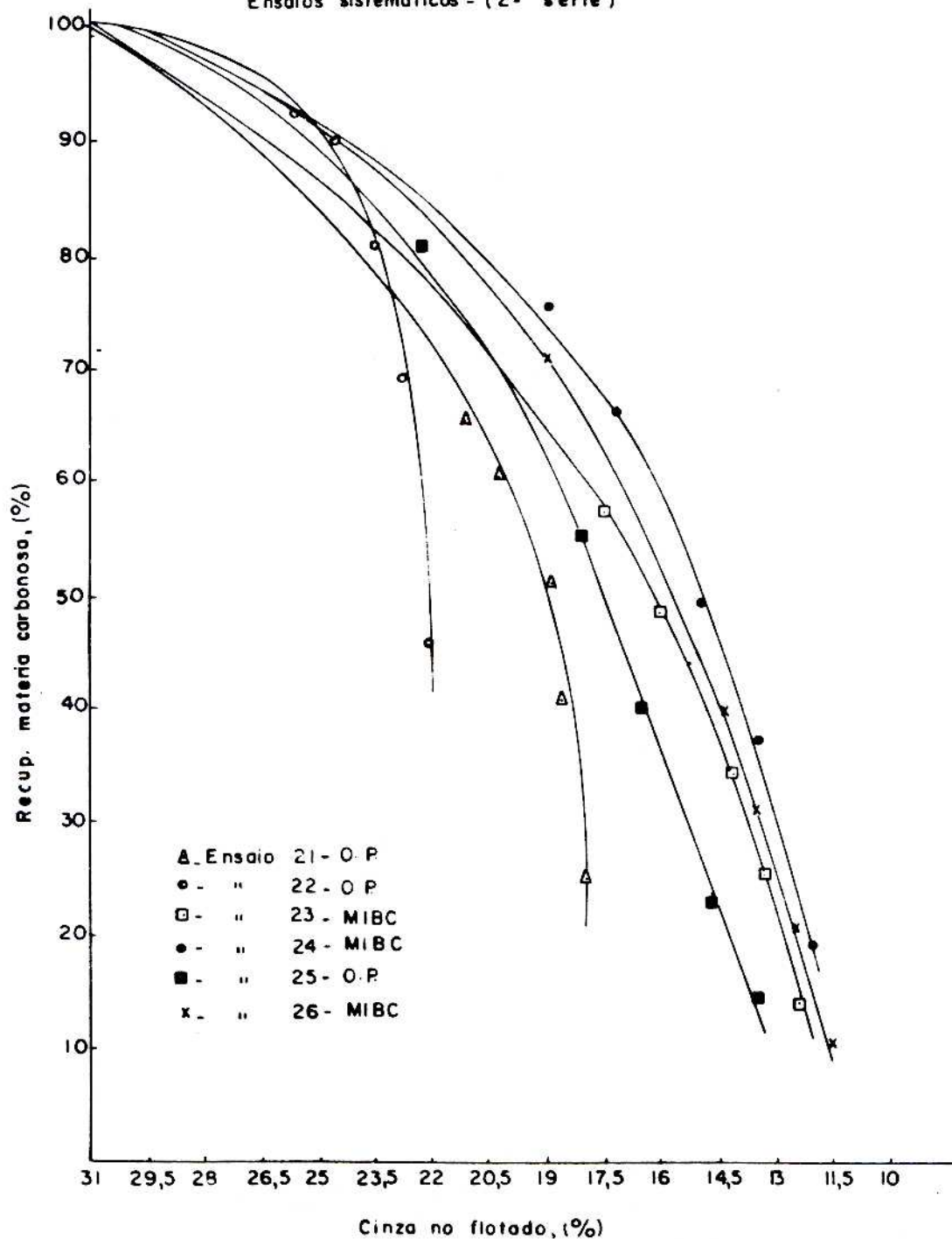


Fig. 6 - Ensaios de bancada, C. P. L. mina A.
 Curvas de seletividade (matéria carbonosa).
 Ensaios sistematicos - (2ª série)



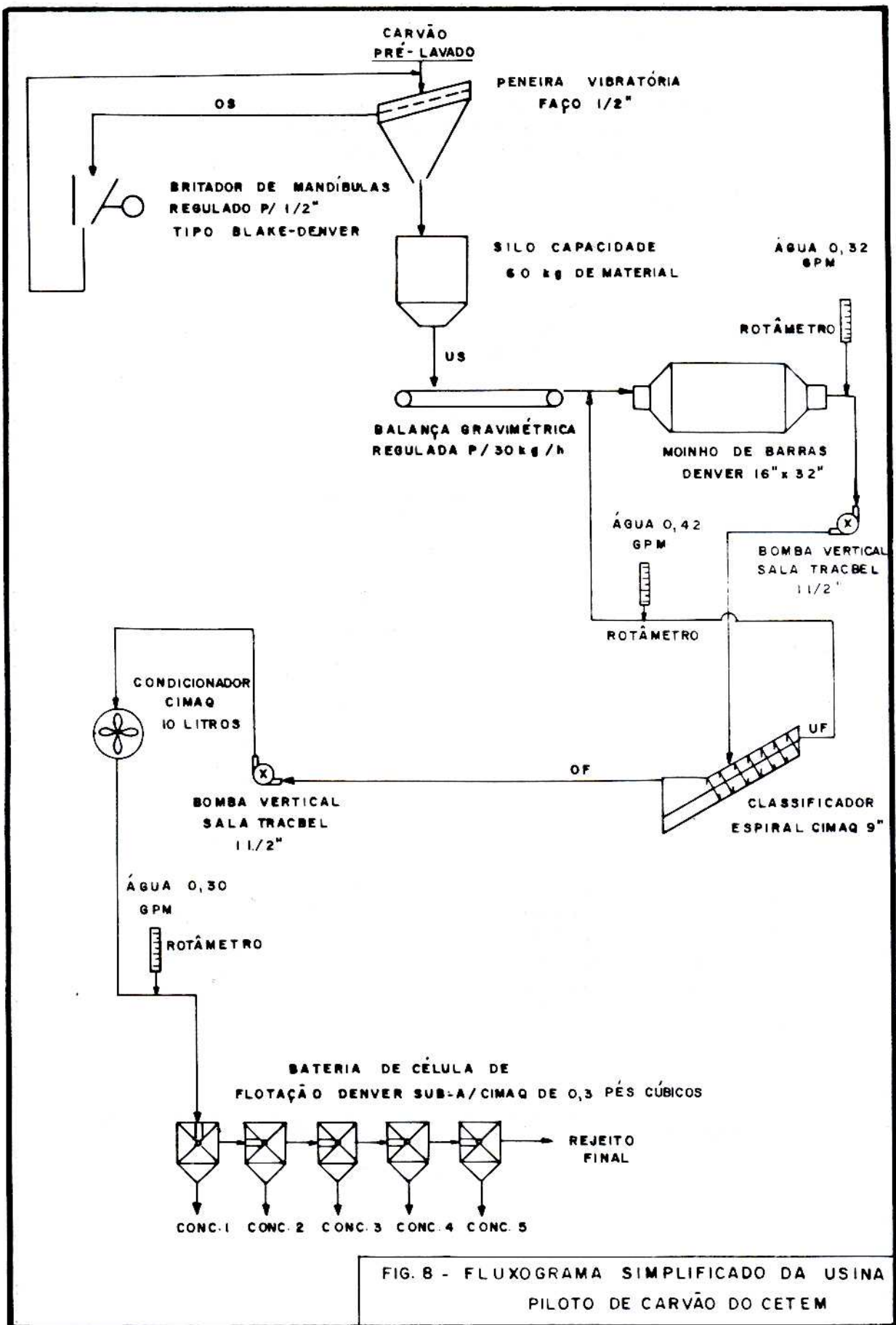


FIG. 8 - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DA USINA PILOTO DE CARVÃO DO CETEM

3.1.3. TABELA A

BANCADA				P I L O T O				P I L O T O C O M D E P R E S S O R							
ENSAIO Nº 24 COM MIBC (ALIMENTAÇÃO 29,9% CINZA)				ENSAIO DIA 29.05.80, CIRCUITO 25, COM ÓLEO DE P I N H O.				ENSAIO DIA 27.06.80, COM 320g/t CAL, CIRCUITO 25, COM ÓLEO DE PINHO.							
CINZA (%)	MASSA (%)	RECUPERAÇÃO MATÉ RIA CARBONOSA (%)	ENXÓFRE (%)	TEMPO (s)	ALIMENTAÇÃO { 30,2% cinza 1,14% enxófre			ALIMENTAÇÃO { 32,6% cinza 1,20% enxófre							
					CINZA (%)	MASSA (%)	RECUPERAÇÃO MATÉ RIA CARBONOSA (%)	ENXÓFRE (%)	TEMPO (s)	CINZA (%)	MASSA (%)	RECUPERAÇÃO MATÉ RIA CARBONOSA (%)	ENXÓFRE (%)	TEMPO (s)	
12	14	20		30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	25	30	NÃO	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	34	42	AVALL SADO	68	14	29	36	1,00	95	-	-	-	-	-	-
15	40	51		90	15	40	55	1,01	200	15	25	25	1,06	20	-
16	47	58		120	16	47	65	1,02	240	16	37	47	1,07	119	-
17	53	65		158	17	53	70	1,02	285	17	47	61	1,09	213	-
18	61	70		240	18	59	73	1,02	315	18	55	69	1,10	250	-
BANCADA				P I L O T O				P I L O T O							
ENSAIO Nº 24 COM MIBC (ALIMENTAÇÃO 29,9% CINZA)				ENSAIO DIA 04.12.80, CIRCUITO 25, COM ÓLEO DE PINHO E RECIRCULAÇÃO DOS "MIDDINGS".				ENSAIO DIA 04.12.80, CIRCUITO 25, COM ÓLEO DE PINHO E RECIRCULAÇÃO DOS "MIDDINGS".							
CINZA (%)	MASSA (%)	RECUPERAÇÃO MATÉ RIA CARBONOSA (%)	ENXÓFRE (%)	TEMPO (s)	ALIMENTAÇÃO { 26,3% cinza 1,04% enxófre			ALIMENTAÇÃO { 26,3% cinza 1,04% enxófre							
					CINZA (%)	MASSA (%)	RECUPERAÇÃO MATÉ RIA CARBONOSA (%)	ENXÓFRE (%)	TEMPO (s)	CINZA (%)	MASSA (%)	RECUPERAÇÃO MATÉ RIA CARBONOSA (%)	ENXÓFRE (%)	TEMPO (s)	
13,5	35,5	41,7		1,09	13,5	35,5	41,7	1,09	1,03	13,5	35,5	41,7	1,09	1,03	
19,7	87,1	94,9		1,03	19,7	87,1	94,9	1,03		19,7	87,1	94,9	1,03		

TABELA A - TABELA DOS MELHORES RESULTADOS OBTIDOS COM O CARIÃO PRÉ-LAVADO DA MINA A.

3.2.5. TABELA B

P I L O T O		P I L O T O C O M D E P R E S S O R						
ENSAIO DIA 31.07:80, CIRCUITO 26, COM MIBC		ENSAIO DIA 14.10.80, CIRCUITO 26, COM MIBC e 450g/t CaO.						
ALIMENTAÇÃO 31,6% cinza 1,45% enxôfre		ALIMENTAÇÃO 31,2% cinza 1,31% enxôfre						
CINZA (%)	MASSA (%)	RECUPERAÇÃO MATÉRIA CARBONOSA (%)	ENXÔFRE (%)	TEMPO (s)	CINZA (%)	MASSA (%)	ENXÔFRE (%)	RECUPERAÇÃO MATÉRIA CARBONOSA (%)
14	28	36	1,32	150	14	34	1,11	45
15	35	45	1,33	285	15	40	1,13	53
16	42	53	1,34	390	16	46	1,14	60
17	48	61	1,35	460	17	53	1,15	66
18	54	64	1,35	515	18	57	1,16	76

TABELA B - TABELA DOS MELHORES RESULTADOS OBTIDOS COM CARVÃO PRÉ-LAVADO DA MINA SIDEROPOLIS.

3.3.3 - TABELA C

BANCADA				BANCADA COM DEPRESSOR				PILOTO					
ENSAIO Nº 45, COM MIBC ALIMENTAÇÃO				ENSAIO Nº 54, COM MIBC e 200g/t de FeCl ₃ ALIMENTAÇÃO				ENSAIO DIA 20.11.50, CIRCUITO 43, COM MIBC, COM MIBSA VIBRATORIA E RECIRCULAÇÃO DOS FLOCULANTES.					
48,4% cinza 3,84% enxofre				51,7% cinza 3,89% enxofre				45,00% cinza 2,26% enxofre					
CINZA (%)	MASSA (%)	RECUPERAÇÃO MATE RIA CARBONOSA (%)	ENXOFRE (%)	TEMPO (s)	CINZA (%)	MASSA (%)	RECUPERAÇÃO MATE RIA CARBONOSA (%)	ENXOFRE (%)	TEMPO (s)	CINZA (%)	MASSA (%)	RECUPERAÇÃO MATE RIA CARBONOSA (%)	ENXOFRE (%)
14	3	14	2,23	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	21	34	2,54	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	23	40	2,70	124	16	7	10	1,87	46	15,4	5,0	13,5	1,75
17	33	47	2,80	135	17	14	22	2,01	92	16,7	46,2	70,0	1,93
18	37	52	2,97	182	18	25	30	2,15	134	-	-	-	-

TABELA C - TABELA DOS MELHORES RESULTADOS OBTIDOS COM FINOS NATURAIS DA MINA SIDEROPOLIS.

3.4.2. Tabela D

B A N C A D A				
ENSAIO Nº 32, COM MIBC - ALIMENTAÇÃO { 40,3% Cinza				
CINZA (%)	MASSA (%)	RECUPERAÇÃO MATÉ- RIA CARBONOSA (%)	ENXÔFRE (%)	TEMPO (s)
12	40	59		146
13	44	63	NÃO	168
14	47	68		186
15	50	71	ANALISADO	210
16	53	74		240
17	56	77		300
18	57	80		360

Tabela D - Tabela dos melhores resultados obtidos com finos naturais da mina A.