

ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS

**ASPECTOS TECNOLÓGICOS DO BENEFICIAMENTO DO
CARVÃO DE CANDIOTA (RS)**

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

São Paulo
1995

ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS

**ASPECTOS TECNOLÓGICOS DO BENEFICIAMENTO DO
CARVÃO DE CANDIOTA (RS)**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA
POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE MESTRE EM ENGENHARIA.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA
MINERAL

ORIENTADOR: PROF. DR. ARTHUR PINTO
CHAVES

SÃO PAULO
1995

A meus queridos Pais, "in memoriam", que possibilitaram o meu acesso a este curso, pelo constante incentivo, apoio e compreensão da importância do estudo na vida de um homem.

À minha esposa Wânia e às minhas filhas Nathália e Andréia pela paciência face às horas que tive que dispensar para realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves, pelas seguras orientações, grande incentivo e à iniciativa e esforço junto à EPUSP para a realização do curso.

Ao Diretor do CETEM, Prof. Dr. Roberto C. Villas Bôas, pelo encampamento da idéia vinda da EPUSP, pelo grande empenho na implementação do curso, pela oportunidade dada a mim e a todos os colegas do CETEM na realização do mesmo.

A todos os professores da EPUSP/USP pela transmissão dos seus valiosos conhecimentos.

Às secretárias do CETEM, Maria de Fatima Borges de Mello e Valéria Cristina de Souza, pelo eficiente apoio na digitação e formatação do texto.

A todos que, diretamente ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

ABSTRACT

RESUMO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Jazidas Carboníferas Brasileiras	1
1.2. Produção e Consumo Industrial de Carvão no Brasil	7
1.3. Jazida de Carvão de Candiota	11
1.4. Exploração, Utilização Industrial do Carvão de Candiota e Impacto Ambiental	18
1.5. Projetos em Andamento e/ou Previstos	22
2. JUSTIFICATIVA PARA REALIZAÇÃO DO TRABALHO	24
3. OBJETIVOS	27
4. TRABALHO EXECUTADO	28
5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO CARVÃO DE CANDIOTA	29
6. CONSTITUIÇÃO PETROGRÁFICA DOS CARVÕES	32
6.1. Características Petrográficas do Carvão de Candiota	34
7. CLASSIFICAÇÃO DOS CARVÕES	39
7.1. Classificação Internacional das Hulhas	41
7.2. Classificação do Carvão de Candiota, pela Classificação Internacional das Hulhas	41
7.3. Classificação do Carvão de Candiota na Série Evolutiva	42
7.4. Algumas das Principais Classificações Desenvolvidas por Diferentes Países	42
7.4.1 Classificação Norte-Americana	42
7.4.2 Classificação Francesa	42

7.4.3 Classificação Inglesa	44
7.4.4 Classificação Alemã	44
7.4.5 Classificação Brasileira	44
8. LAVABILIDADE DE CARVÕES	46
8.1. Características de Lavabilidade do carvão de Candiota	48
9. ENSAIOS INDUSTRIAIS COM O CARVÃO DE CANDIOTA	70
10. IMPORTÂNCIA DO BENEFICIAMENTO E INDICAÇÃO DE ROTAS PARA O MESMO	72
11. CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXO 1	
ANEXO 2	
ANEXO 3	
ANEXO 4	
ANEXO 5	

ABSTRACT

This work aims at presenting a brief review on Brazilian coal orebodies, their characteristics and industrial applications. A detailed description on the Candiota coal reserve is presented. The Candiota coal reserve is located in the state of Rio Grande do Sul and the potential its applications in the Brazilian market is described, as well as the mining companies which produce and commercialize such coal, the exploration methods used, the preparation of coal and its utilization by industries.

The results of petrographic, mineralogical and technological characterization of this coal, as well as chemical analysis are presented and discussed. Technological aspects on the beneficiation of Candiota coal are also discussed, based on washability, grindability and beneficiation studies carried out by different research centres and engineering companies. Such studies were carried out in bench and pilot plant scale, both in Brazil and abroad.

Full-scale industrial tests carried out by coal mining companies or by associations between mining and beneficiation companies on Candiota coal are shown and discussed.

Finally, looking upon the data presented as a basis, some alternative beneficiation routes are suggested, taking in account particular technological aspects of Candiota coal and the specific characteristics of the area where the coal reserve is located.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um panorama sucinto sobre as jazidas de carvão no Brasil, suas qualidades e aplicações industriais. É feita uma descrição mais aprofundada da jazida de Candiota, localizada no Estado do Rio Grande do Sul, exaltando a sua potencialidade em termos de Brasil; as empresas de mineração que fazem a sua exploração e comercialização; o método de lavra empregado na sua extração; a forma de preparação do carvão e a sua utilização atual pela indústria.

São apresentados e comentados os dados disponíveis de análises químicas e de estudos de caracterização petrográfica, mineralógica e tecnológica do carvão. Aspectos tecnológicos de beneficiamento do carvão de Candiota são discutidos, baseados em estudos de lavabilidade, de degradabilidade, bem como ensaios de beneficiamento realizados por diferentes órgãos de pesquisa e empresas de engenharia. Estes estudos foram conduzidos em escalas de bancada ou piloto, dentro e fora do país.

São apresentados e comentados ensaios em escala industrial, realizados por empresas de mineração que fazem a exploração do carvão ou em conjunto com outras empresas interessadas em viabilizar o beneficiamento do carvão de Candiota.

Finalmente, com base nos dados levantados, são indicadas algumas alternativas de beneficiamento julgadas mais adequadas, levando em conta as características tecnológicas peculiares do carvão da jazida de Candiota e as características da região onde ela se localiza.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Jazidas Carboníferas Brasileiras

As bacias carboníferas brasileiras pertencem ao vasto antigo continente do Gondwana que reunia, na época permiana, os territórios da América do Sul, da África do Sul, da Índia e da Austrália. As bacias carboníferas dessas regiões têm traços comuns importantes, como por exemplo, em relação aos aspectos petrográficos e qualidades do carvão, de um modo geral⁽¹⁾.

As jazidas de carvão brasileiras que são atualmente exploradas, estão todas localizadas no sul do país na formação conhecida como Bacia do Paraná, que atravessa os estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A maior das jazidas é a de Candiota, no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Situam-se, portanto longe dos grandes centros consumidores (São Paulo Minas Gerais e Rio de Janeiro). Existem ainda jazidas no Estado de São Paulo e indícios de depósitos em Minas Gerais, Amazonas, Pará, Goiás, Piauí e Maranhão⁽¹⁾,(Figura 2).

O "rank" das jazidas carboníferas brasileiras aumenta do sudoeste (jazida de Candiota) para o nordeste (jazidas de Santa Catarina), provavelmente devido a variações térmicas provocadas pela proximidade de corpos intrusivos das camadas de carvão. Uma outra influência provável nessa direção de carbonização é a profundidade crescente dos depósitos carboníferos. O grau de carbonização ou carbonificação (ou "rank") dos carvões brasileiros varia de sub-betuminoso A (jazida de Candiota) a betuminoso alto volátil A (Camada Barro Branco de Santa Catarina), segundo classificação da ASTM⁽²⁾. Por outro lado, o ambiente deposicional originou a formação de jazidas de carvões com altos teores de matéria mineral associada ou disseminada nas camadas de carvão. Conseqüentemente, os carvões brasileiros são considerados, de uma maneira geral, como carvões de alta cinza e alto enxofre.

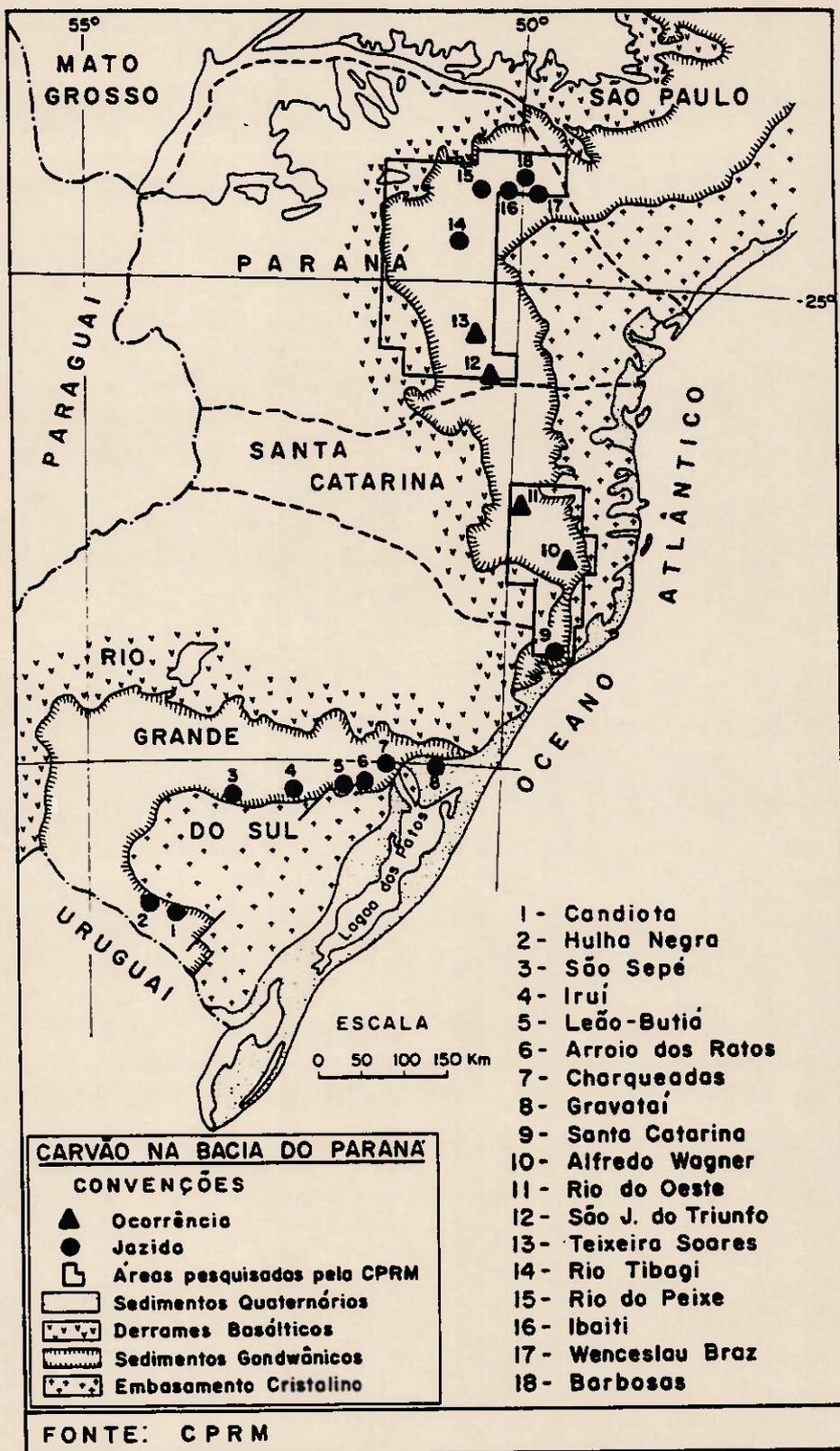


Figura 1 - Localização das Ocorrências e Jazidas de Carvão Brasileiras.



Figura 2 - Distritos Carboníferos Brasileiros.

Nos jazimentos carboníferos brasileiros, o teor de cinzas nos carvões aumenta no sentido norte-sul (do Paraná para o Rio Grande do Sul), enquanto o teor de enxofre aumenta no sentido inverso, ou seja, do Rio Grande do Sul para o Paraná, passando, é claro, pelos jazimentos carboníferos de Santa Catarina. As camadas de carvão no Brasil chegam a atingir vários metros de espessura e são intercaladas por folhelhos (xistos), argilitos e outros.

O carvão mineral representa cerca de 30% dos recursos energéticos do globo terrestre. No Brasil, os recursos energéticos não renováveis representam 64% da matriz energética nacional, onde tem no carvão mineral a sua maior participação⁽²⁾. Segundo dados do Balanço Energético Nacional 1994⁽³⁾, dos recursos energéticos não renováveis brasileiros, o carvão mineral representa 48% destes recursos; apesar disso, menos de 1,5% dos recursos referentes ao carvão mineral nacional são utilizados pela indústria brasileira. Segundo o Sumário Mineral, do DNPM, de 1993⁽⁴⁾, em 1991 a média anual mundial de consumo de carvão mineral foi da ordem de 28% do consumo total de energia primária.

Os recursos identificados de carvão mineral no Brasil são da ordem de 32,4 bilhões de toneladas de reservas totais, conforme distribuição mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Reservas de Carvão Mineral do Brasil

Estado	Reservas (x 10 ⁶ t)	%
Paraná	86,7	0,3
Santa Catarina	4.288,3	13,2
Rio Grande do Sul	28.025,5	86,5
São Paulo	1,0	0,0
Total	32.401,5	100,0

Fonte: Cia. Riograndense de Mineração (CRM)

Com relação a aplicações industriais, os carvões brasileiros são, na sua maioria, carvões energéticos. No Rio Grande do Sul, os carvões são essencialmente energéticos, sendo suas principais aplicações industriais em termoelectricidade e industriais cimenteiras. Exceções são feitas às jazidas de Santa Terezinha, Chico Lomã e Morungava que foram identificadas pela CPRM (Cia. de Pesquisas de Recursos Minerais) como jazidas de carvão metalúrgico. Embora não existam previsões de uso imediato destas reservas pelas indústrias brasileiras, as pesquisas realizadas mostraram que os carvões extraídos destas jazidas, para as mesmas condições de teores de cinzas, apresentaram rendimentos em carvão metalúrgico bem superiores ao carvão da camada Barro Branco, de Santa Catarina, como mostra o Tabela 2⁽⁵⁾.

Tabela 2 - Comparação entre alguns resultados típicos de análise para algumas jazidas com carvão coqueificável no RS e SC.

Jazida / Camada	Rendimento total (pré-lavado)	Rendimento com 18,5% (metalúrgico)	Rendimento com 40% (vapor ou energético)	Enxofre no metalúrgico	F.S.I.
SANTA CATARINA BARRO BRANCO	30%	15%	15%	1%	4
MORUNGAVA CAMADA 2	60%	40%	20%	1%	2
CHICO LOMÃ CAMADA 4	60%	45%	15%	0,6%	3
SANTA TEREZINHA CAMADA 4	70%	70%	-	0,9%	4

Em Santa Catarina a camada "Barro Branco" é a camada de carvão mais importante, não só por se tratar de uma reserva de carvão metalúrgico, mas também por representar 40 a 45% das reservas totais de carvão do Estado, sendo também a mais explorada⁽⁶⁾. Porém, lamentavelmente, na atualidade, esta reserva está sendo explorada e comercializada como carvão energético, devido

principalmente, ao seu alto teor de cinzas; apenas a fração fina abaixo de 0,6 mm, beneficiada em lavadores localizados próximos às minerações, é que são destinados à fabricação de coque de fundição⁽⁶⁾, em fornos rudimentares "bee-hive" instalados na própria região carbonífera. Estes fornos não dispõem de sistemas de recuperação de subprodutos oriundos da destilação do carvão, e estes são então lançados na atmosfera, causando uma considerável poluição ambiental na região⁽⁷⁾.

Os técnicos das indústrias siderúrgicas brasileiras alegam que o carvão brasileiro, além dos seus altos teores de cinza e enxofre, chegavam às indústrias siderúrgicas com um preço bem mais elevado que o carvões metalúrgicos importados, que são de melhores qualidades. Isto prejudica, segundo eles, a colocação dos produtos siderúrgicos brasileiros no mercado internacional, em termos de qualidade e preço. Com isto, o Brasil está importando cerca de 11,5 milhões de toneladas por ano de carvão metalúrgico de vários países, despendendo em torno de 670 milhões de dólares^(2,4). O Brasil, até meados do ano de 1990, produzia uma fração de carvão metalúrgico, em Santa Catarina, com teores de cinzas que variavam entre 16 e 18,5% de cinzas, e enxofre em torno de 1,65%. Esta fração era misturada ao carvão metalúrgico importado, para a fabricação de coque metalúrgico. O restante da produção era carvão energético para uso em diferentes aplicações industriais, notadamente em indústrias cimenteiras e termoelétricas. O carvão metalúrgico de Santa Catarina tem excelentes propriedades coqueificantes; o seu maior problema se restringe praticamente aos seus altos teores em cinzas e enxofre.

Os carvões do Paraná são comercializados como energéticos, tendo suas principais aplicações na geração de energia elétrica e em indústrias de papel e celulose. O maior problema da aplicação industrial desse carvão tem sido o seu alto teor de enxofre, que no ROM varia entre 8 a 10%. Em relação ao teor de cinzas, este carvão é dos melhores em termos nacionais, pois através de britagem

grosseira e de beneficiamento por métodos gravíticos, é possível a obtenção de carvão com 20% de cinzas e rendimento mássico superior a 60%, podendo este rendimento chegar a 80%. Caso seja necessário, é possível a obtenção de produto beneficiado com até 10% de cinzas⁽⁶⁾. Ele fornece também, concentrado de pirita, como subproduto.

1.2. Produção e Consumo Industrial de Carvão no Brasil⁽⁴⁾

A produção de carvão vendável no Brasil, para os anos de 1990, 1991 e 1992, pode ser vista na Tabela 3. Por este quadro, nota-se que a produção anual de carvão energético foi da ordem 4,1 milhões de toneladas. Com relação ao carvão metalúrgico, houve um acentuado decréscimo de produção a partir de 1991, devido à desativação do lavador de Capivari, em Santa Catarina, em razão da política governamental de liberação de importação deste tipo de carvão por parte das indústrias siderúrgicas brasileiras.

A Tabela 4 mostra as principais estatísticas em relação ao carvão mineral no Brasil.

Tabela 3 - Produção Mineral Brasileira - 1990-1992

Unid. 1000 t

SUBSTÂNCIA MINERAL	PRODUÇÃO BENEFICIADA			VARIÇÃO PERCENTUAL	
	1990	1991	1992	90/91	91/92
ÁGUA MINERAL ⁽¹⁾	835.39	1.562.904	1.568.562	87.17	0.36
ALUMÍNIO (bauxita)	9.700	10.365	9.366	6.86	(9.64)
AMIANTO (fibra)	205	237	170	15.61	(28.27)
BARITA	56	47	55	(16.07)	17.02
BENTONITA	180	130	131	(27.78)	0.77
CAL	4.900	5.000	5.240	2.04	4.80
CARVÃO					
. metalúrgico	535	162	143	(69.72)	(11.73)
. energético ⁽²⁾	4.167	4.254	4.081	2.09	(4.07)
CAULIM	659	746	790	13.20	5.90
CHUMBO (metal contido)	9	7	4	(22.22)	(42.86)
CIMENTO	25.848	27.490	24.920	6.35	(9.35)
COBRE (metal contido)	36	38	40	5.56	5.26
CROMO (Cr ₂ O ₃ contido) ⁽³⁾	103	143	198	38.83	38.46
DIATOMITA	13	12	15	(7.69)	25.00
ENXOFRE	276	282	285	2.17	1.06
ESTANHO (metal contido)	39	29	28	(25.64)	(3.45)
FELDSPATO (minério)	105	120	140	14.29	16.67
FERRO	152.300	151.500	146.000	(0.53)	(3.63)
FERT. FOSF. NATURAIS	2.968	3.280	2.825	10.51	(13.87)
FLUORITA					
. grau ácido	48	52	61	8.33	17.31
. grau metalúrgico	23	29	22	26.09	(24.14)
GIPSITA (ROM)	824	967	888	17.35	(8.17)
GRAFITA	29	27	29	(6.90)	7.41
MAGNESITA (calcinada)	257	242	273	(5.84)	12.81
MANGANÊS	2.300	2.000	1.703	(13.04)	(14.85)
MICA (moscovita)	5	5	7	0.00	40.00
NIÓBIO (Nb ₂ O ₃ contido)	18	18	18	0.00	0.00
NÍQUEL (contido no minério)	24	26	29	8.33	11.54
OURO ⁽⁵⁾	85.098	76.053	76.044	(10.63)	(0.01)
POTÁSSIO (K ₂ O)	66	101	85	53.03	(15.84)
PRATA ⁽⁵⁾	171.052	154.000	162.000	(9.97)	5.19
ROCHAS ORNAMENTAIS	1.294	1.504	1.663	16.23	10.57
SAL MARINHO	4.170	3.703	4.030	(11.20)	8.83
SAL-GEMA	1.204	1.200	1.231	(0.33)	2.58
TALCO (minério)	470	478	430	1.70	(10.04)
TERRAS RARAS	2	1	1	(50.00)	0.00
TITÂNIO					
. ilmenita	114	69	77	(39.47)	11.59
. rutilo	2	1	2	(50.00)	100.00
TUNGSTÊNIO	316	223	205	(29.43)	(8.07)
VERMICULITA	23	11	14	(52.17)	27.27
ZINCO (metal contido)	158	130	149	(17.72)	14.62
ZIRCÔNIO ⁽⁶⁾	17	19	17	11.76	(10.53)

(1) Unidade expressa em 1.000 litros; (2) Inclui carvão antracitoso; (3) Inclui minério "lump" e concentrado; (4) Produção bruta + beneficiada; (5) Unidade expressa em quilograma; (6) Corresponde a zirconita e caldasito.

Fonte: Sumário Mineral do DNPM⁽⁴⁾

Tabela 4 - Principais Estatísticas - Brasil.

	USOS	UNIDADE	1990	1991(r)	1992(p)
Produção	Met. p/fundição	1.000 t	119	162	143
	Met. p/siderurgia	1.000 t	416	-	-
	Energético	1.000 t	4.167	4.254	4.081
Importação		1.000 t	10.107	11.554	11.998
		(1.000 US\$-CIF)	582.433	668.544	685.760
Exportação		1.000 t	1	-	-
		(1.000 US\$-FOB)	209	173	135
Cons.Aparente	Met. p/fundição	1.000 t	119	162	143
	Met. p/siderurgia	1.000 t	10.287	10.494	10.818
	Energético	1.000 t	4.947	6.083	5.280
Preços	Met. Importado	(US\$/t)	58	58	57

Fontes: DNPM, DECEX, Balanço Energético - MME⁽⁴⁾

(r) revisado

(p) preliminar

Por esta tabela, nota-se que houve um pequeno decréscimo na produção de carvão energético (4%), passando de 4,2 milhões de toneladas em 1991 para 4,1 milhões de toneladas em 1992. O consumo nesse período teve um decréscimo mais acentuado (13,0%), passando de 6,1 para 5,3 milhões de toneladas de carvão. As Tabelas 3 e 4 mostram também que a produção de carvão metalúrgico, a partir de 1991, se restringiu apenas à fabricação de coque de fundição (fabricado a partir de finos de carvões), que por sua vez, teve um pequeno decréscimo na produção (12%) no ano de 1992 em relação ao ano anterior, passando de 162.000 para 143.000 t.

Em 1992, a produção, por Estado da Federação, foi de 63% para o Rio Grande do Sul; 33% para Santa Catarina; e 4% para o Paraná.

Com relação à importação, esta se restringe, praticamente ao carvão metalúrgico importado para as indústrias siderúrgicas brasileiras. Em 1992, os principais países fornecedores foram; Estados Unidos(43,7%), Polônia (10%),

Canadá (10%), Austrália (20,9%). Outros fornecedores menos representativos foram: Colômbia, Venezuela, África do Sul, Alemanha etc.

Em relação à exportação, há registro em 1992, de apenas 304 t de carvão antracitoso, com destino a Argentina, Equador e Nigéria.

O consumo interno de carvão mineral, no ano de 1992, foi de 16.241.000 t, que representou uma queda de 8% em relação a 1991. Desse total o carvão metalúrgico representou 67% e o carvão energético 33%. O consumo de carvão energético atingiu 5.280.000 t no ano de 1992, e teve a seguinte distribuição, por segmentos:

- Termoelétricas	59%
- Indústria Cimenteira	17%
- Indústria Química	9%
- Papel e Celulose	4%
- Alimentos e Bebidas	3%
- Cerâmica	3%
- Outros	5%

Em relação aos anos anteriores, observou-se um crescimento na participação da termoeletricidade e um decréscimo no consumo industrial do carvão, tendo como causa principal, o término do subsídio que tornava o carvão competitivo frente a outros energéticos alternativos, principalmente no que se refere ao transporte. A indústria cimenteira, que era a principal consumidora dentro do segmento industrial, no período de 1982 a 1989, chegou a consumir, em 1986, 2.441.000 t, contra apenas 890.000 t em 1992⁽⁴⁾.

Cabe ressaltar que o consumo de carvão correspondente à indústria química, diz respeito praticamente à COPESUL, central de matérias-primas do Polo Petroquímico do Rio Grande do Sul, onde, na realidade é usado para a geração de vapor.

Segundo Chaves, A. P.⁽⁷⁾, o declínio da indústria Carbonífera brasileira se deve aos seguintes fatores:

- política protencionista do governo desde o início das atividades mineiras no setor, (século XVIII), nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul; e
- poucos investimentos em tecnologia, por parte dos mineradores, apesar desta tecnologia estar disponível no País, pelos menos a partir de meados da década de 70.

Por outro lado os empresários não investiram em tecnologia porque os preços eram determinados pelo governo, bem como as especificações requeridas para os produtos. Assim sendo, não havia nenhum estímulo para melhoria da qualidade dos mesmos.

1.3. Jazida de Carvão de Candiota

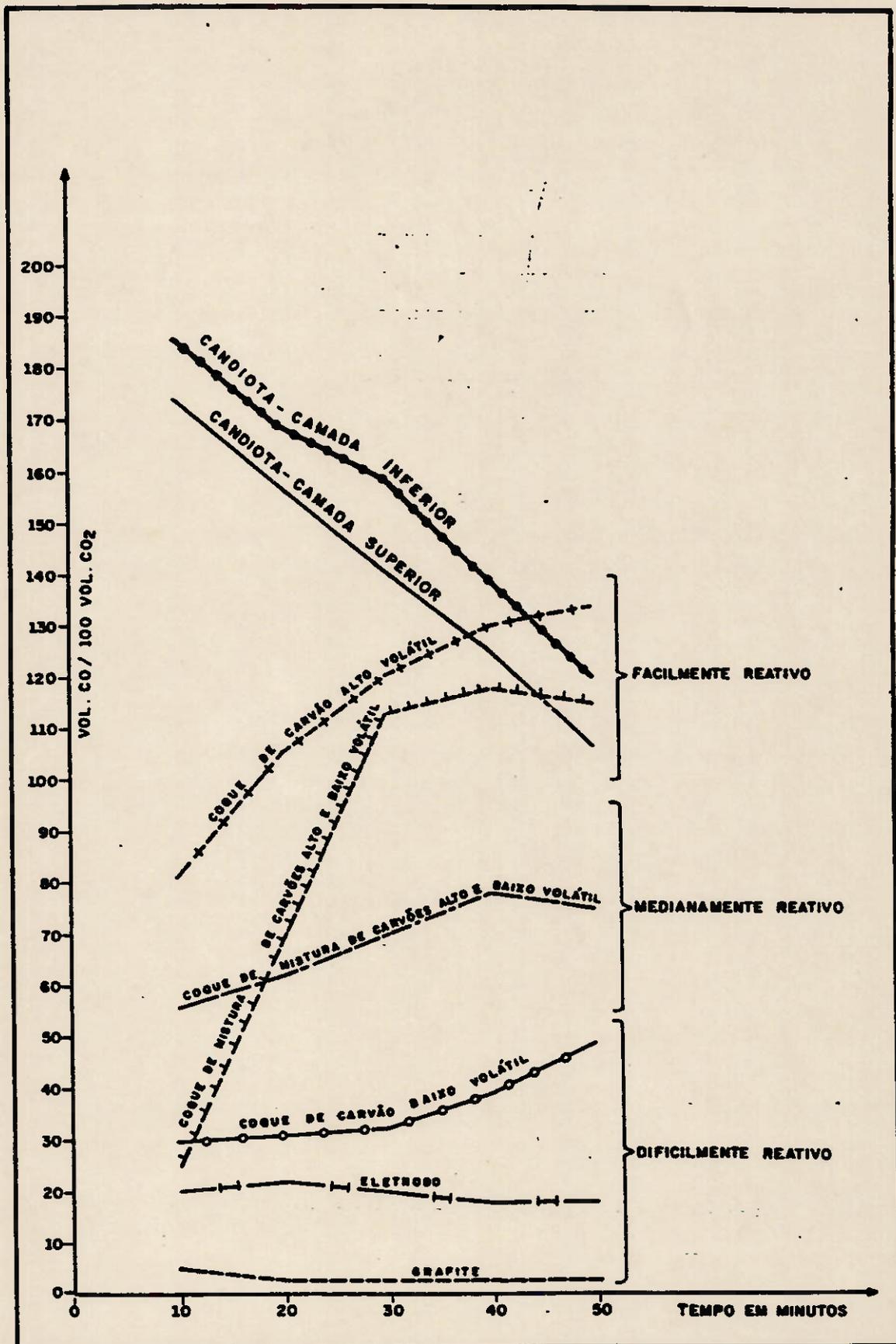
Esta jazida localiza-se a sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, no município de Candiota, perto da fronteira com o Uruguai (Figura 1). A mina de Candiota, que é responsável pela quase totalidade da produção da jazida, fica na localidade de Dario Lassance, distante 135 km de Pelotas, 165 km de Rio Grande, 400 km de Porto Alegre e 450 km de Montevideo⁽⁸⁾. Esta jazida situa-se na Depressão Periférica, numa faixa aflorante de rochas sedimentares da Bacia do Paraná, com ocorrências de carvão na formação Rio Bonito, o que lhe atribui a idade de Permiano Inferior⁽⁹⁾.

A reserva de Candiota é estimada em 12.295×10^6 t, o que corresponde a 38% das reservas totais de carvão do Brasil e 44% das reservas do Rio Grande do Sul, constituindo-se, assim, na maior reserva brasileira de carvão.

O carvão desta jazida, como já foi mencionado, é tipicamente energético (Free Swelling Index-FSI=0), cuja principal aplicação no momento, é na geração de energia elétrica em termoelétricas, localizadas no município de Candiota (RS), onde o carvão bruto (ROM) é submetido apenas a etapas de cominuição e peneiramento.

Em comparação com outras jazidas de carvão brasileiras, a jazida de Candiota apresenta as seguintes peculiaridades.

- além de ser a maior jazida de carvão do Brasil, grande parte dela pode ser minerada a céu aberto. Portanto, produz carvão a um baixo custo, podendo este custo chegar a ser três a quatro vezes menor que o dos outros carvões brasileiros. Entretanto, possui alto conteúdo de cinzas (matéria mineral)⁽³⁾.
- é um carvão que tem alta reatividade, qualidade esta que chega a ser mais ou menos comum aos carvões do Rio Grande do Sul⁽¹⁰⁾ (Figura 3).



Fonte: CIENTEC

Figura 3 - Resultados de Ensaio de Reatividade.

- o carvão desta jazida apresenta teor de enxofre um pouco maior em relação a outros carvões gaúchos, porém bem menor quando comparado com os teores de enxofre dos carvões catarinenses e paranaenses. A Tabela 5 mostra resultados de análises imediata, de enxofre e poder calorífico do carvão de Candiota em relação a outros carvões do estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 5 - Análises imediata, de enxofre e poder calorífico de carvões gaúchos.

Procedência	Umidade Total (%)	Materiais Voláteis (%)	Carbono Fixo (%)	Cinzas (%)	Enxofre Total (%)	Poder Calor. Super. (kcal/kg)
Mina do Leão ("run of mine")	10,9	22,4	30,5	47,1	1,7	3.740
Mina do Leão (Termoel.S.Jerônimo)	13,8	25,2	34,9	38,5	1,10	4.400
Mina do Leão (Termoelétrico II)	13,4	21,6	29,0	49,4	0,77	3.560
Mina do Leão (fração nobre)	17,5	34,0	47,9	18,2	0,62	6.300
Mina de Candiota ("rom")	15,2	22,3	27,6	52,0	1,9	3.200
Mina de Charqueadas (TECH)	6,7	19,5	26,9	53,6	0,7	3.100
Jazida de Iruí (bruto)	9,5	28,6	22,7	48,7	0,3	3.620

Fonte: Carvões Minerais do Brasil - Características de Carvões Brutos do RS, CIENTEC.(10,11)

- Com relação à moabilidade, o carvão desta jazida apresenta um índice de moabilidade Hardgrove alto, entre os valores 100 e 122. Os valores mais comumente encontrados na bibliografia giram em torno de 110. Este valor alto de "Hardgrove Grindability Index" (HGI) caracteriza o carvão de Candiota como um carvão friável, ou de fácil moabilidade. A geração de finos abaixo de 0,6 mm (-28 malhas) atinge valores em torno de 20%, independentemente do grau de britagem aplicado ao carvão ROM⁽¹¹⁾. A Tabela 6 apresenta valores de índice de moabilidade (H.G.I.) de carvões do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

Tabela 6 - Índices de Moabilidade HGI de carvões do Rio Grande do Sul e Santa Catarina⁽⁹⁾.

PROCEDÊNCIA	Índice de Moabilidade (HGI)
Carvão pré-lavado, de Santa Catarina	50
Carvão lavado em "jigüe", de Santa Catarina	50
Carvão lavado em ciclone de Santa Catarina	52
Carvão bruto, Camada I ₁ F - Charqueadas (RS)	69,5
Carvão redutor, Camada I ₁ F - Charqueadas (RS)	52,5
Carvão bruto, Camada I ₂ b - Charqueadas (RS)	60,2
Carvão bruto - Candiota (RS)	122
Carvão bruto - Leão (RS)	67
Carvão c/ 18% cinzas - Leão (RS)	55

- Estudos microscópicos^(11,12) mostram que é alto o grau de disseminação de matéria inorgânica na matéria carbonosa no carvão da jazida de Candiota. Como exemplo desta alta disseminação, os teores de cinzas não variam significativamente com a diminuição do tamanho da partícula como acontece com outros carvões. Esses estudos mostraram também que a liberação total da matéria carbonosa em relação à matéria mineral se dá a frações muito finas, possivelmente abaixo de 0,037 mm (400 malhas).

Devido às características anteriormente anunciadas, o carvão da Candiota apresenta um alto grau de dificuldade de beneficiamento ("Near Gravity Material" - NGM) superior a 25, para diferentes densidades de corte, ou de separação, até mesmo para cominuições finas (3,3 mm). As curvas de lavabilidade obtidas a diferentes graus de britagem, conseqüentemente, não variam muito, e não se mostram favoráveis à obtenção de produtos com baixos teores de cinzas. Para se ter uma idéia do grau de dificuldade do beneficiamento do carvão de Candiota, em relação a outros carvões brasileiros, são mostradas na Figura 4 as curvas de lavabilidade do carvão de Candiota e do carvão do Leão⁽¹⁰⁾.

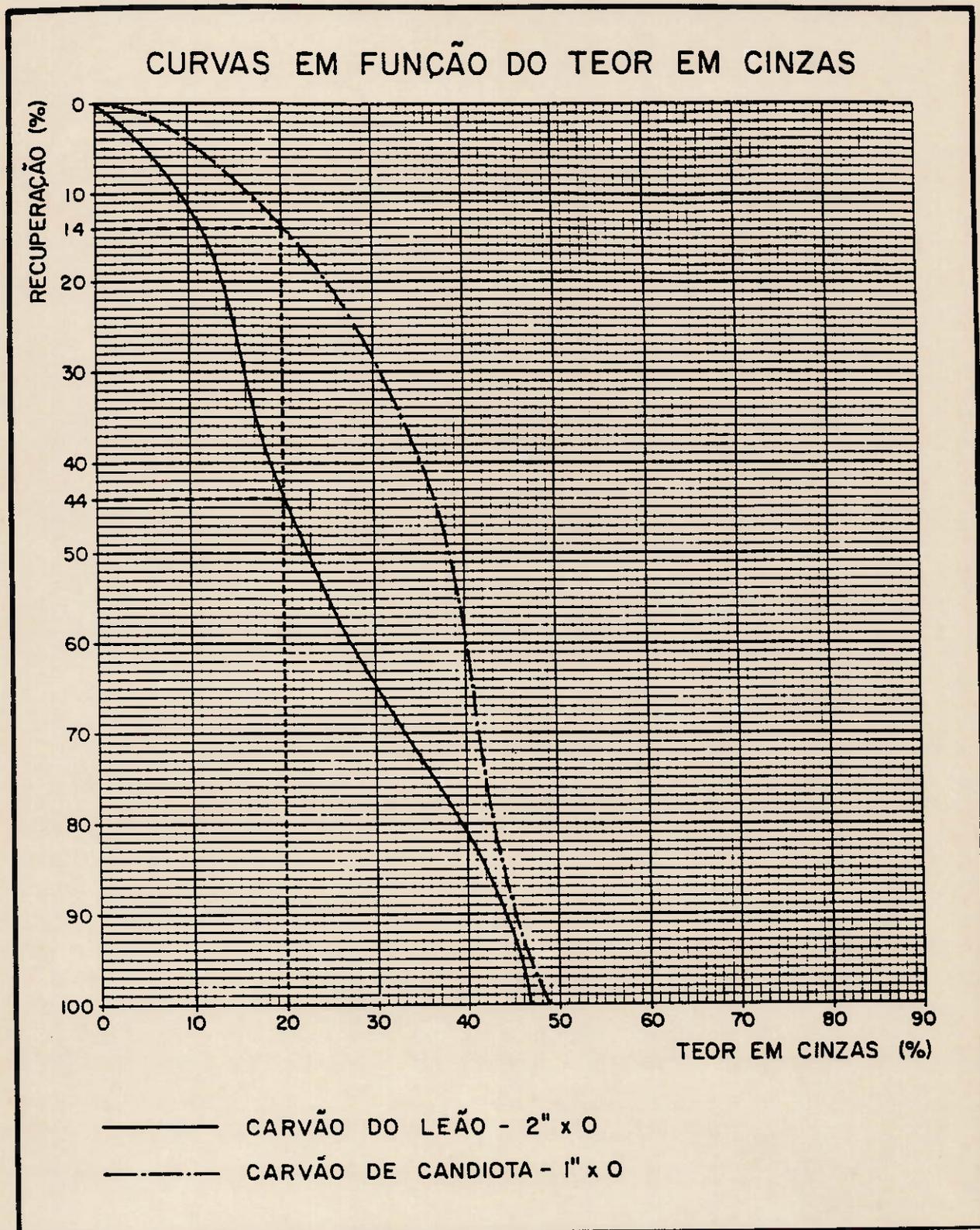


Figura 4 - Curvas de Lavabilidade dos Carvões do Leão e de Candiota-RS⁽⁹⁾.

Ensaio de beneficiamento realizados em laboratório e em escala industrial, como será visto posteriormente neste trabalho, comprovaram a dificuldade real de beneficiamento desse carvão. Todas essas características citadas para o carvão de Candiota são válidas para toda a extensão da jazida, a menos de pequenas variações, principalmente no tocante ao teor de enxofre e distribuição do mesmo nos bancos superior e inferior da camada.

No banco superior, ou camada 1, o enxofre se concentra mais na base da camada, portanto mais fácil de ser controlado, até mesmo durante a lavra, dependendo do método de extração. Este banco tem no mínimo 2 m de espessura, podendo chegar a mais de 3 m na região de Seival^(*). O carvão deste banco é mais friável e de lavabilidade mais favorável que o do banco inferior. Neste, o enxofre é mais disseminado por toda a espessura da camada. Este banco, na região de Seival, é mais delgado, entre 1 e 1,5m; e o carvão é mais duro^(*).

Apesar das características tecnológicas desfavoráveis do carvão do município de Candiota, a região é o maior centro regional de desenvolvimento da termoelectricidade, com previsão de expressiva expansão no consumo de carvão nos horizontes dos anos 2.000 e 2.010. As termoelétricas ficam localizadas próximas às jazidas e funcionam à base de carvão pulverizado.

A quantificação das diferentes formas de reservas da jazida de Candiota é mostrada na Tabela 7.

^(*) Faria, C.E. - Diretor Técnico da CNMC (Comunicação Pessoal)

Tabela 7 - Distribuição das reservas do carvão de Candiota (banco superior + banco inferior).

Reserva	t x 10 ⁶	%
Medida	1.743	14,2
Indicada	4.132	33,6
Inferida	2.570	20,9
Marginal	3.850	31,3
Total	12.295	100,0

Fonte: DNPM/CPRM, citada em⁽¹³⁾.

Pela tabela acima, nota-se que a soma das reservas medida + indicada, representa, praticamente, 48% do total das reservas, incluindo, no total das reservas, a reserva marginal. Isto significa que se trata de uma jazida muito bem conhecida, com informações disponíveis, mais que suficientes, para o desenvolvimento de um bom projeto de lavra.

1.4. Exploração, Utilização Industrial do Carvão de Candiota e Impacto Ambiental

O carvão de Candiota é explorado principalmente pela Cia. Riograndense de Mineração-CRM desde 1969, que completou, em outubro de 1994, 25 anos de sua fundação, apesar de ter suas origens da década de 40, quando foi criado o Departamento Autônomo de Carvão Mineral - DACM⁽¹⁴⁾. A produção atual, segundo informações da própria CRM, em janeiro de 1995, é de 120.000 t/mês, para uma capacidade instalada de 230.000 t/mês. Uma outra empresa de mineração que exerce atividades de mineração nessa jazida é a Cia. Nacional de Mineração Candiota-CNMC, com uma produção, em fevereiro de 1995, equivalente a 50.000 t/ano. A CRM é uma empresa estatal de economia mista, enquanto que a CNMC pertence a uma associação dos produtores de cimento.

A utilização industrial desse carvão é, praticamente toda voltada, no momento, para a geração de energia elétrica nas usinas termoelétricas instaladas na própria região de Candiota, onde o principal cliente é a Companhia Estadual de Energia Elétrica-CEEE, através da Usina Termolétrica Presidente Médici. As outras pequenas utilizações, que ainda não chegam a ser expressivas, serão citadas mais adiante.

Depois de minerado, o carvão bruto é cominuído abaixo de 40 mm, em instalações de britagem da própria CRM, sendo que a maior tonelagem é destinada à Termoelétrica Presidente Médici, onde é pulverizado para alimentação das caldeiras, com teor de cinzas entre 52 a 54%, teor de enxofre de 1 a 1,2% e poder calorífico superior da ordem de 3.300 kcal/kg⁽¹⁵⁾. Para atender às especificações desse mercado termoelétrico, o carvão bruto é submetido, eventualmente, a uma catação manual do material estéril presente e liberado no R.O.M.

A parte restante da produção está sendo destinada a outros mercados, como o cimenteiro (ainda incipiente), indústria de fertilizantes, como adubo orgânico (carvão moído a 28# misturado ao NPK) e outros, mercados estes que a CRM e a CNMC vêm conquistando, ultimamente. Para estes pequenos mercados, o carvão de Candiota (ROM britado abaixo de 2"), está sendo comercializado atualmente à base de 8,50 R\$/t. Houve um decréscimo expressivo no preço, pois ele já foi comercializado a 13,00 R\$/t^(*).

A indústria cimenteira, além de poder usar o carvão de Candiota com até 40 a 42% de cinzas, poderia utilizar também parte das cinzas volantes produzidas nas

(*) Faria, C.E. - Diretor Técnico da CNMC (Comunicação Pessoal).

temoelétricas, numa proporção de até 30%, em peso, devido às propriedades pozolánicas destas cinzas⁽¹⁵⁾.

Uma pequena usina experimental de beneficiamento à base de jigagem foi instalada pela CRM recentemente, para a produção de carvão com 35% de cinzas, que está sendo fornecido à indústria cimenteira.

Na jazida, como já foi mencionado anteriormente, ocorrem várias camadas de carvão, mas somente a camada de Candiota é minerada. Ela é constituída por dois bancos de carvão (superior e inferior) tendo em média 2 m de espessura, que são intercalados por uma camada de argilito que pode variar de 0,80 a 1 m de espessura⁽⁸⁾. Algumas sondagens realizadas em certos pontos de jazida indicaram espessuras acima de 6m para as duas camadas de carvão; nestas sondagens verificou-se espessamento da camada inferior e adelgaçamento da camada superior (na região de Seival, foi visto que acontece o inerso). Normalmente aparecem camadas descontínuas de carvão, com pequena espessura, localizadas acima da camada superior, que são as camadas superiores à camada Candiota. Mas até agora, somente a camada Candiota é que se mostrou economicamente explotável. A intercalação (argilito) que divide a camada de carvão nos bancos superior e inferior, tem propriedades cerâmicas, e foi estudada por Formoso⁽⁹⁾, que detectou a presença de finos leitões de caulinita, os quais foram caracterizados por Correa da Silva⁽⁹⁾ como "Tonstein", que significa pedra argilosa ou pedra de argila, devido ao grau de compacidade apresentado por este material.

Segundo Marques Toigo & Corrêa da Silva citados em⁽¹⁶⁾, os carvões gaúchos formaram-se a partir de turfeiras predominantemente subaquáticas, onde as camadas de carvão estão associadas a arenitos, siltitos e argilitos, que integram a denominada formação Rio Bonito⁽¹⁶⁾.

Com cobertura ou capeamento em torno de 10 m, a extração se processa a céu aberto. Em alguns pontos da jazida, a espessura do capeamento pode assumir valores bem mais elevados, como, por exemplo, na região de Hulha Negra, que chega atingir valores acima de 15 m. A espessura do capeamento de uma jazida é importante para a definição do método de lavra a ser implantado, porém o que pesa mesmo em termos econômicos é a espessura da camada de carvão que está debaixo desse capeamento. A relação estéril/minério é da ordem de 1,5 m³/t de carvão ROM. O método de lavra a céu aberto atualmente empregado é o de "lavra de contorno" em uma frente de aproximadamente 30 m. O decapeamento é feito por uma dragline, com caçamba de 27 m³. As camadas de carvão são desmontadas com o uso de explosivos e o argilito intermediário, que fica intercalado entre as camadas superior e inferior, é escarificado e separado com trator de esteiras. O carvão bruto extraído é transportado até a unidade de britagem pelo sistema "truck-shovel". Depois de britado, o carvão é enviado, por transportador de correia, à Termoelétrica Presidente Médici, localizada nas vizinhanças da mina, onde são consumidas atualmente cerca de 1.500.000 t/ano(9,15).

O impacto ambiental que era causado pela mineração a céu aberto no Brasil já foi bastante mitigado e já está havendo, por parte das minerações, a preocupação de reconstituir a área minerada, recolocando as diferentes camadas de material extraído na mesma ordem em que elas se encontravam antes de iniciar as atividades de mineração e, quando possível, a intenção é reconstituir aproximadamente também o relevo anterior. Segundo a imprensa e técnicos da própria empresa, em termos de mineração de carvão, a CRM é uma das pioneiras neste tipo de preocupação.

1.5. Projetos em Andamento e/ou Previstos

- Expansão do setor termoelétrico, com implantações das usinas termoelétricas Jacuí I⁽⁴⁾ e Jorge Lacerda IV, a curto prazo.
- Com a implantação da usina termoelétrica de Jacuí I, as minas do Leão II e Guaíba poderão ser implementadas⁽⁴⁾.
- Programa de Centrais Termoelétricas à carvão, que são pequenas usinas, com combustão à base, principalmente, de leito fluidizado.
- Projeto de secagem de finos, pela COPELMI Mineração⁽⁴⁾.
- Criação de um órgão central voltado somente aos interesses do carvão mineral⁽⁶⁾.
- Implantação de um lavador de meio denso para beneficiar carvão da mina de Candiota. Os equipamentos para esta unidade foram adquiridos da Aços Finos Piratini (do Grupo Gerdau), que desativou a sua usina de separação em meio denso, para beneficiamento de carvão. O custo para adaptação desse lavador em Candiota foi estimado em US\$ 2,1 milhões (novembro de 1994). Este lavador terá capacidade para tratar 170 t/h de carvão, sendo esta uma das adaptações, pois a capacidade original era de 100 t/h⁽¹⁴⁾.
- Implantação de uma segunda linha de britagem em Candiota para atendimento da termoelétrica Presidente Médici e do lavador da mina. O objetivo é aumentar em 400 t/h a capacidade de produção de carvão britado. O investimento total deverá ser de R\$ 800 mil reais⁽¹⁴⁾, a valores de novembro de 1994.

- O projeto conceitual da mina do Poacá, da CRM, também na jazida de Candiota, foi desenvolvido e será destinado a abastecer o complexo termoelétrico Candiota III, da CEEE, que está em compasso de esfera⁽¹⁴⁾.
- Outros projetos já foram desenvolvidos pela CRM, como o da mina a céu aberto de São Vicente Norte, na região do Baixo Jacuí, e a mina Taquara. Esta última entrou em operação primeiro, por exigir investimento bem menor.
- Quanto à mina do Leão II, a CRM está na fase de estudos para viabilizar o empreendimento.
- Está prevista, para os próximos anos, a instalação de um Centro Industrial Cerâmico para o aproveitamento do "ball clay" que ocorre entre as camadas do carvão.

2. JUSTIFICATIVA PARA A REALIZAÇÃO DO TRABALHO

Como já mencionado, a jazida de Candiota é a maior jazida de carvão brasileira, com uma reserva total da ordem de 12×10^9 t, sendo que deste total, $1,7 \times 10^9$ t representam reservas medidas. Devido a isto, a jazida de Candiota constitui uma reserva econômica de carvão muito importante para o Brasil. Estes dados, como não poderia deixar de ser, sempre despertaram a atenção de empresários e pesquisadores do ramo, que buscaram, por diferentes caminhos e com diferentes graus de sucesso, encontrar destinos mais nobres para as suas utilizações industriais, dentro do mercado existente, além de meramente o seu uso nas termoelétricas de Candiota. A maioria desses estudos foram conduzidos de forma a viabilizar a obtenção de produtos com mais baixos teores de cinzas e enxofre, visando, principalmente, o mercado cimenteiro.

Por outro lado, já existem reclamações de países vizinhos, como o Uruguai, denunciando que as chuvas ácidas que afetam esses países em alguns períodos do ano, são originárias das chaminés das termoelétricas da região de Candiota. Estas chuvas ácidas seriam provenientes do gás SO_2 que é lançado na atmosfera através das chaminés dessas termoelétricas.

Tenham eles razão ou não, o fato é que com a ampliação das capacidades de geração das termoelétricas, prevista para depois do ano 2.000 (plano 2010)(17), haverá um grande aumento no consumo de carvão bruto (R.O.M.), por ano, o que provocará, certamente, um aumento proporcional da poluição ambiental na região, o que poderá agravar ainda mais os problemas ambientais com os países vizinhos e com o próprio município de Candiota. Isso exigirá, pelo menos, uma preocupação maior, principalmente na redução dos níveis de emissão de enxofre na atmosfera, por essas termoelétricas.

A redução dessas emissões de enxofre na atmosfera pode ser conseguida através de uma das duas alternativas:

- a) beneficiamento físico do carvão ROM nas proximidades da mina, visando a obtenção de uma fração nobre com teor de cinza de 35 a 42% e conseqüentemente menor teor de enxofre, e uma fração mista própria para o uso em termoelétrica, obtida nesse mesmo beneficiamento, com menor teor de enxofre, ou
- b) processar a dessulfuração dos gases emitidos nas usinas termoelétricas após a queima do carvão ROM, pulverizado.

O investimento estimado para esta última alternativa é 3 a 4 vezes superior ao custo de uma usina de beneficiamento. Das duas opções, é claro que a primeira seria a mais indicada.

Segundo Campos et al⁽¹⁷⁾, a médio e longo prazos, o método de geração de energia elétrica a carvão mineral, no Brasil deverá, por sua vez, ser gradualmente substituído por tecnologias "limpas" de geração, já disponíveis no mercado internacional. Estas tecnologias "limpas" de aproveitamento energético do carvão, estão sendo avaliadas pelos técnicos do setor, para a sua utilização no Brasil. Elas são baseadas em tecnologias de queima em leito fluidizado, que são tecnologias apropriadas para queima de carvões com altos teores de cinzas e enxofre, como é caso dos carvões brasileiros. Com o emprego destas tecnologias, o controle da poluição ambiental fica mais fácil de ser controlado.

De qualquer forma, uma preparação mais adequada do carvão antes da sua queima nas indústrias, sempre terá o seu papel de destaque, tanto técnico, como financeiro.

Pelo acima exposto, verifica-se a importância da preocupação com relação ao beneficiamento do carvão de Candiota, pois apesar de ser um carvão considerado de difícil beneficiamento, tem que haver uma solução técnica melhor para o seu aproveitamento nas indústrias, que já usam ou podem vir a usar este carvão.

Por outro lado, devido aos condicionantes geológicos da jazida, com grande parte dela minerável à céu aberto e à baixa relação estéril/minério, o carvão de Candiota apresenta um preço por caloria dos mais baixos do mundo⁽¹⁶⁾. No momento, é o carvão cuja extração é a mais rentável para a C.R.M.

3. OBJETIVOS

- indicação de rotas de beneficiamento supostas tecnicamente mais adequadas a este carvão, visando a produção de, pelo menos,

dois produtos para o mercado consumidor:

- carvão lavado com 35% (ou 42%) de cinzas (fração nobre), que poderá ser consumido principalmente pela indústria cimenteira e outros segmentos da indústria, tais como: secagem de grãos, papel celulose, fumo, ou mesmo em gaseificação, mercados estes emergentes⁽¹⁴⁾; e
 - produto misto com 52 a 54% de cinzas, que continuará a ser utilizado para geração de eletricidade nas Usinas termoelétricas, em substituição ao "ROM" atualmente consumido. O teor de cinzas deste produto será praticamente o mesmo do ROM atualmente usado, porém o teor de enxofre deverá ser bastante reduzido em relação a este, contribuindo, assim, para diminuição do impacto ambiental causado por este elemento.
- recomendar, eventualmente, pesquisas complementares que devam ser realizadas (ou aprofundadas) relativas ao beneficiamento deste carvão.

4. TRABALHO EXECUTADO

- pesquisa bibliográfica e contatos com técnicos das minerações de carvão.
 - levantamento das características físicas, químicas, petrográficas, mineralógicas/tecnológicas do carvão de Candiota, visando o seu beneficiamento e aplicações industriais;
 - discussão dos aspectos do beneficiamento do carvão de Candiota com base em estudos de lavabilidade e de degradabilidade realizados com este carvão;
 - levantamento de ensaios de beneficiamento gravíticos realizados em escala de bancada, piloto e industriais com o carvão de Candiota, usando equipamentos, tais como: jigues, espirais, ciclones de meio denso, autógenos e classificadores, DWP (dynawhirpool) e outros;
 - levantamento de estudos de flotação por espuma ("froth flotation"), flotação aglomerante e floculação seletiva realizados com finos e ultrafinos do carvão de Candiota;
 - análise dos dados levantados;
 - indicação de rotas (ou processos) de beneficiamento julgadas mais apropriadas para o carvão de Candiota, levando em conta suas características tecnológicas e possíveis utilizações pela indústria;
 - conclusões; e
- recomendações, se for o caso.

5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO CARVÃO DE CANDIOTA(8,10,18,19)

As características físicas, químicas, físico-químicas, petrográficas e mineralógicas de um carvão são muito importantes, pois propiciam o conhecimento de vários parâmetros que podem ser influentes no beneficiamento e nas suas prováveis aplicações tecnológicas. As características físico-químicas e petrográficas são fundamentais para a determinação do "rank" do carvão.

Algumas características físicas e físico-químicas do carvão de Candiota são listadas a seguir:

- Cinzas: o teor médio de cinzas do R.O.M, base seca, é de 50,3%; a faixa de variação é de 42,2 a 55,2%; para o carvão flutuado na densidade 1,5, o teor de cinzas é de 24,0%. Como se vê, até no material flutuado na densidade 1,5, o teor de cinzas se apresenta muito alto.
- Matérias voláteis: o teor médio das matérias voláteis, base seca, é de 33,0%, no carvão flutuado na densidade 1,50. Este teor de voláteis, caracteriza o carvão como um alto volátil.
- Umidade higroscópica: apresenta um valor médio de 9,6%, com uma faixa de variação de 4,8 a 14,5%. Esta umidade é determinada em amostra de carvão reduzida à granulometria de 0,25 mm (60 malhas), submetida à secagem na estufa a 105°C, por uma hora.
- Umidade de retenção: valor médio 14,9%, com uma faixa de variação de 12,4 a 17,5%. É, portanto, um carvão de alta umidade. Esta umidade foi determinada no vácuo, por aquecimento da amostra em banho maria à 30°C, durante 96 horas.

- Enxofre: o teor médio de enxofre total é de 2,4%, com uma faixa de variação de 1,0 a 3,0%. Desse teor de enxofre total, 0,2 a 0,3% é constituído de enxofre orgânico, sendo o restante, enxofre pirítico. Em termos de carvões brasileiros, esse teor não é considerado alto, mas deve ser reduzido abaixo de 1% para as aplicações industriais. No material flutuado em 1,5 o enxofre total gira em torno de 0,7%.
- Poder calorífico superior: apresenta um valor médio de 3.381 cal/g, com uma faixa de variação que vai de 2.854 a 4.563 cal/g. Este valor é considerado baixo, mas para as termoelétricas em Candiota ele é satisfatório, se levar em conta que estas se localizam próximas as minerações. No material flutuado em 1,5, o poder calorífico superior, base seca, passa para em torno de 5.624 cal/g.
- É um carvão altamente reativo (Figura 3), característica conveniente para um carvão destinado a combustão (energético)
- F.S.I. ("Free Swelling Index") igual a zero. Por este valor de F.S.I., verifica-se que o carvão não possui nada de propriedades coqueificantes.
- HGI ("Hardgrove Grindability Index") superior a 90, normalmente na faixa de 100 a 110⁽¹⁹⁾. Portanto, trata-se de um carvão altamente friável. Esta característica de carvão friável, faz com que ele se degrade muito quando do seu manuseio. Com relação a esta degradabilidade, constatou-se a geração de 15 a 20% de finos - 0,5 mm (- 28 malhas Tyler), em frações granulométricas compreendidas entre 50 e 3 mm (2" e 1/8"), submetidas a diferentes tipos de ensaios de degradabilidade⁽¹⁸⁾. Esta degradabilidade pode ser atribuída, em parte, à facilidade de degradação do fusênio.

Na estrutura do carvão, observa-se a formação de um sal pulverulento (sulfato), fenômeno este denominado de eflorescência, formando aí planos de

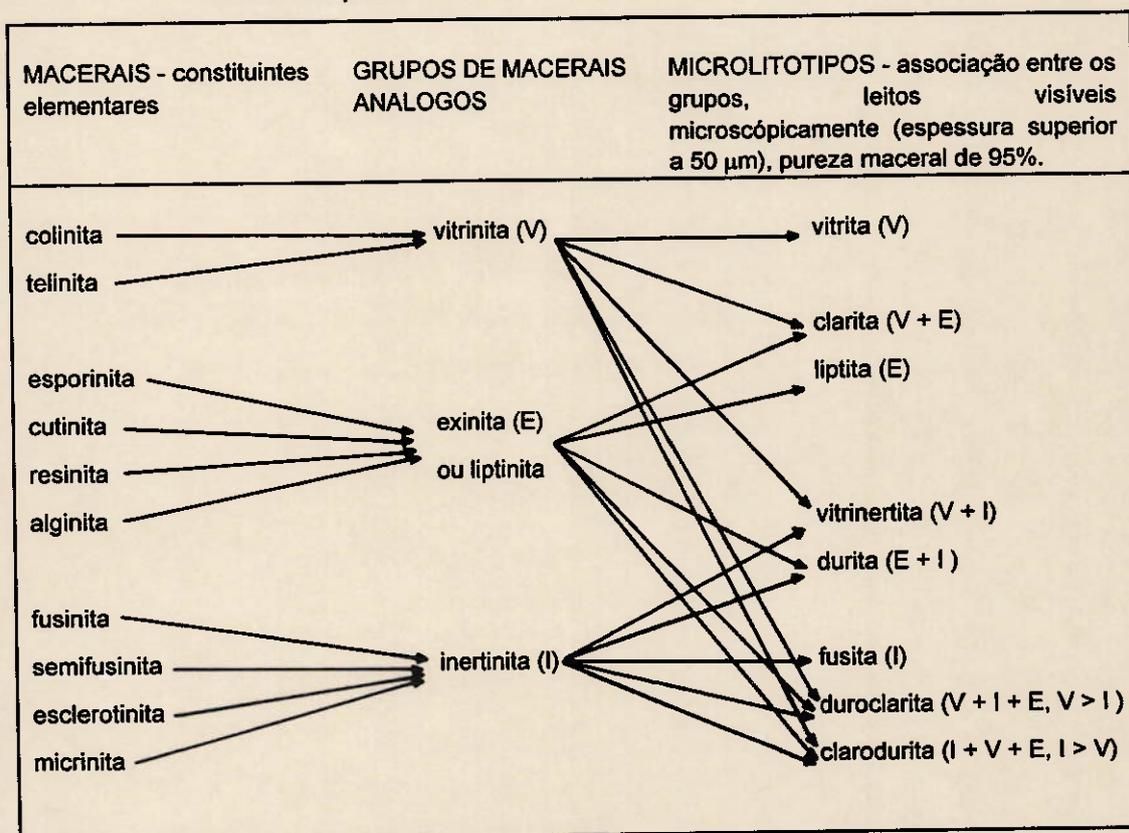
fraqueza, ou de baixa coesão, que terminam por dividir a partícula em placas de carvão de pequena espessura. Este fenômeno ocorre sempre quando o mesmo é estocado por um período de tempo mais alongado, devido às oscilações de teor de umidade. Quando examinado em lupa⁽¹⁹⁾, o carvão de Candiota se apresenta com bandas bem distintas: uma semelhante ao vitrênio, mostrando um grande brilho e forma cúbica nas fraturas; e a outra semelhante ao durênio e/ou fusênio, cuja aparência é fosca, fibrosa e que se degrada facilmente.

Essa estrutura do carvão de Candiota, leva a imprecisões nos resultados de análises e estudos laboratoriais, trazendo consequências difíceis de se prever em seu beneficiamento. Em separações densimétricas realizadas nos laboratórios do CETEM, por exemplo, constatou-se aumentos de peso de até 10% quando se usou cloreto de zinco para a realização destes ensaios. Partículas de carvão com densidade 1,3, determinada em picnômetro, não flutuavam em densidade 1,5, quando foram utilizados líquidos orgânicos como meio de separação. Estas imprecisões podem ser explicadas pela constatação da existência de espaços vazios (forma porosa), que provocam estas alterações de densidades e também de resultados de análises de cinzas.

6. CONSTITUIÇÃO PETROGRÁFICA DOS CARVÕES(7,10,19,20)

As constituição petrográfica de um determinado carvão resulta de várias combinações dos diferentes constituintes petrográficos, bem como das proporções destes constituintes na composição deste carvão(20). Estes constituintes petrográficos são denominados macerais, e são constituintes microscópicos elementares do carvão e que, a grosso modo, podem ser comparados aos minerais nas rochas(11). Os macerais não ocorrem isoladamente, e são normalmente enquadrados em três grandes grupos, que são os grupos da vitrinita, de exinita e da inertinita. O poder refletor da vitrinita é um parâmetro importante na determinação do "rank" de um carvão. O Quadro 1 apresenta os macerais que formam estes três grandes grupos, bem como as suas origens.

Quadro 1 - Relações entre macerais, grupos de macerais análogos e microlitotipos(21).



Associações típicas dos grupos de macerais formam os grupos dos microlitotipos, que são a vitrita, inertita, liptita e outros. Estes microlitotipos, por sua vez, vão corresponder aos chamados litotipos, que são as bandas macroscopicamente reconhecíveis nas camadas de carvão. De acordo com a literatura, são quatro os litotipos descritos para o carvão:

- Vitrênio: constitui os leitos brilhantes, contínuos, que terminam em forma de cunha. Não mancha os dedos e frequentemente apresenta fissuras perpendiculares à estratificação, formando pequenos cubos de fratura concoide. O vitrênio tem uma correspondência direta com o microlitotipo vitrita, que é constituído de mais de 95% de vitrinita ($V > 95\%$).
- Clarênio: devido às intercalações foscas, apresenta-se finamente estriado e interestratificado e com aparência semibrilhante. O clarênio corresponde ao microlitotipo clarita que é constituído essencialmente dos grupos de macerais vitrinita e exinita, onde a inertinita apresenta-se numa proporção de menos de 5%, ou seja, $V + E (I < 5\%)$.
- Durênio: possui aspecto opaco e representa as camadas duras do carvão. Pode ser confundido com folhelho carbonoso e carvão impuro. Apresenta superfície rugosa, e às vezes, rica em poros.
- Fusênio: constitui os leitos opacos, fibrosos e friáveis, semelhantes ao carvão vegetal. É o único constituinte que mancha os dedos ao contato. O Quadro 2 apresenta as relações entre os grupos de macerais, os grupos de microlitotipos e os litotipos resultantes.

Quadro 2 - Relações entre os litotipos e os microlitotipos constituintes(21,22).

Litotipos	Constituintes		Microlitotipos		Observações
	Essenciais	Acessórios	Fundamentais	Outros	
Fusênio (leito fibroso)	Inertinita (I)	-	Fusita	- Durita Vitrinertita Clarodurita	- muito rica em I idem idem
Vitrênio (leito bilhante)	Vitrinita (V)	-	Vitrita	- Vitrinertita Duroclarita Clarita	- muito rica em V idem idem
Durênio (leito mate)	Exinita Inertinita (E, I)	Vitrinita (V)	Clarodurita Durita Liptita	- - - Duroclarita Clarita	muito pobre em V - - muito pobre em V muito pobre em E
Clarênio (leito semi brilhante)	Vitrinita (V)	Exinita, Inertinita (E, I)	Duroclarita	- Clarita Vitrinertinita	rica em V idem idem

A constituição petrográfica dos carvões proporcionará comportamentos diferenciados dos mesmos nas etapas de mineração, cominuição e beneficiamento, bem como, posteriormente nas aplicações industriais. O poder refletor das vitrinitas propicia a determinação do "rank" do carvão.

A petrografia de carvões é muito usada, no Brasil, pelas indústrias siderúrgicas, principalmente no controle da mistura de carvões a ser coqueificada, visando a previsão das características do coque a ser formado, e no controle de qualidade de carvões metalúrgicos adquiridos de outros países.

6.1. Características Petrográficas do Carvão de Candiota(8,22,23)

As características petrográficas do carvão de Candiota que serão apresentadas à seguir, foram realizadas principalmente em testemunhos de sondagem e em algumas amostras da mina de Candiota; e foram levantadas em trabalho realizado pela CIENTEC(8).

Em relação à análise maceral, verificou-se que a vitrinita é o grupo maceral predominante, 53% em média; que a inertinita, com percentagem média de 25%, está presente em menor quantidade do que a habitual em carvões gonduânicos,

onde este teor chega a atingir 40 e até 50%; e que no caso da exinita, sua participação é de 10% em média, e é perfeitamente comparável a de outros carvões brasileiros. Estas análises petrográficas foram realizadas em fração flutuada em líquido de densidade 1,5. O teor de minerais encontrado mesmo nestas condições foi alto, cerca de 12%.

Da análise dos microlitotipos, verificou-se que a vitrita é o predominante: 51%, em média. Os esporos acham-se presentes em quantidade bem maior na clarita e na durita, do que na liptita, havendo em média, 7% de clarita, 5% de durita e 1% de liptita.

O poder refletor médio da vitrinita é de $0,47 \pm 0,05$. Apesar de não ser alto, é perfeitamente condizente com as demais propriedades do carvão de Candiota. Isto mostra que ele é um carvão considerado de baixo "rank" (baixo grau de carbonização), o que já explica, de alguma forma, a sua má flotabilidade, que é uma característica normal dos carvões de baixo "rank".

Estudos petrográficos realizados pelo CETEM⁽²²⁾, nos bancos superior e inferior da camada Candiota, amostrados na mina de Candiota apresentaram os resultados descritos a seguir.

Banco Superior: a amostra de carvão mostrou ao microscópio ser constituída essencialmente pelos macerais do grupo da vitrinita, seguidos, em menor quantidade, pelos macerais do grupo da inertinita. A vitrinita ocorre em grãos, muitas vezes fraturados e livres de inclusões piritosas. A inertinita foi representada nesta amostra, em sua maioria, pela variedade fusinita. Mostrou também a presença de raros grãos de exinita, porém ocorrendo somente como inclusões nos microlitotipos.

Os microlitotipos observados nesta amostra foram, principalmente, do tipo vitrinertinita. Muito raramente assinalam-se aqueles do tipo vitrita.

Dos carbominerais, o carboargilito é predominante, em geral constituído de vitrinertinita + argila. Apresentam-se grãos de inertinita + vitrinita + argila. A carbopirita mostra-se em quantidade bem inferior ao carboargilito, e é constituída, em geral, de fusinita + pirita.

Com relação aos minerais, poucos grãos de pirita livre, em tamanhos de até 2,0 mm e exibindo formas irregulares.

A reflectância média da vitrinita, com base em 120 medidas de reflectância, foi de $0,55 \pm 0,03$.

Os constituintes da amostra e sua relação em volume são mostrados a seguir:

<u>Constituintes</u>	<u>% Vol.</u>
Vitrinita	9,2
Inertinita	1,4
Microlitotipo	9,4
Carboargilito	64,0
Carbopirito	12,0
Pirita livre	4,0.

Banco Inferior: A amostra de carvão mostrou-se, ao microscópio, ser constituída, em sua maioria, pelos macerais do grupo da vitrinita. Esta vitrinita exibiu aspectos um pouco diferentes da amostra do banco superior, cujos grãos permitiram um melhor polimento e melhor individualização dos macerais. As vitrinitas mostraram-se, ainda, livres de inclusões piritosas (um ou outro grão mostrou este tipo de inclusão), e normalmente com linhas irregulares de fraturas, ou seja, algumas fraturas estão preenchidas por microgrãos de pirita ou quartzo.

Os microlitotipos, em quantidade inferior à vitrinita, mostram-se quase que exclusivamente do tipo vitrinertinita, e também a presença de alguns grãos de

vitrita. A inertinita ocorre raramente sob a forma de fusinita, e às vezes como semifusinita. Há também a presença de um ou outro grão de exinita, em geral com inclusão.

O carbomineral predominante é o carboargilito, em grãos de formas e aspectos irregulares. As vezes, mostram-se grãos constituídos de camadas uniformes e alternadas de carvão + argila. O carbopirito ocorre em quantidade muito pequena, e em alguns casos, tem-se a fusinita associada a pirita. Muito raramente vêm-se grãos de carbossilicatos, às vezes com impregnações avermelhadas de óxido de ferro hidratado.

Os minerais livres e identificados neste carvão foram essencialmente dos tipos pirita e quartzo. A pirita apresenta-se em grãos de formas irregulares e de tamanhos variáveis, chegando até 1,5mm. Muito raramente assinalou-se pirita alterando-se nas bordas para óxido de ferro. O quartzo, também em pequeníssima quantidade, ocorre em grãos resultantes de aglomerados quartzosos.

O grau de reflectância da vitrinita foi calculado, medindo 105 reflectâncias, e o resultado foi de $0,54 \pm 0,03$.

Os constituintes do carvão e sua relação em volume são mostrados a seguir.

<u>Constituintes</u>	<u>% Vol.</u>
Vitrinita	15,6
Inertinita	2,3
Microlitotipo	7,8
Carboargilito	59,2
Carbopirito	7,4
Carbosilicatos	3,7
Pirita livre	2,2
Quartzo livre	1,4.

7. CLASSIFICAÇÃO DOS CARVÕES(20,22,23,24)

A classificação de carvões é uma tema bastante complexo, considerando que carvões de algumas regiões da crosta terrestre têm características bastante diferenciadas em relação à maioria de outros carvões, devido às condições de formação dos mesmos. É o caso, por exemplo, dos carvões gonduânicos em relação aos carvões europeus, cujas constituições petrográficas são bastante diferentes.

As classificações podem ser enfocadas sob diversos aspectos, quais sejam: regional, científico, prático, dentre outros.

O aspecto prático dá, via de regra, na classificação, uma idéia da característica tecnológica ou comercial do carvão para as suas aplicações industriais; no caso do Brasil, por exemplo, tem-se o carvão "CE 6000 grosso", dando a idéia de um carvão energético, com capacidade calorífica próxima de 6000 Kcal/h e que se trata de carvão de granulometria grosseira.

Quanto aos parâmetros científicos utilizados nas diferentes classificações, há uma certa variação de utilização destes parâmetros, dependendo do tipo de classificação que foi desenvolvido. Alguns países utilizam na sua classificação um ou outro parâmetro, mas há o caso da classificação internacional, que utiliza parâmetros físicos, químicos e físico-químicos.

O Dr. Boris Alpern, do "Centre d' Etudes et Recherches des Charbonages de France"- CERCHAR(24), procurou correlacionar os sistemas de classificação francês, alemão, americano, russo e internacional, chegando a construir uma tabela, tentando estabelecer essa correlação. Por fim, ele mesmo verificou não haver uma correlação perfeita entre esses diversos sistemas de classificação, pois as faixas estabelecidas num sistema, não raro, estão em classificação diversa em relação a outra.

Os parâmetros mais utilizados nas várias classificações internacionais são: teor de carbono, teor de matérias voláteis, poder calorífico superior, propriedades coqueificantes e o poder refletor da vitrinita. O teor de carbono varia de 50% até próximo de 100%, da turfa até o grafite; o limite entre o linhito e a hulha é atingido a 77% de carbono⁽²⁴⁾. O teor de matérias voláteis representa um teste de medida de diagênese; na classificação internacional o teor de matérias voláteis fornece o primeiro algarismo, de um total de três, e designa a classe a qual o carvão pertence. O teor de matérias voláteis é um parâmetro muito usado nas classificações européias de carvão. Acima de 33%, admite-se que as matérias voláteis perdem seu significado como parâmetro de classificação, sendo então substituídas pelo valor do poder calorífico superior, como no caso da classificação internacional. As propriedades coqueificantes desempenham um grande papel nas classificações internacionais, em virtude do grande valor comercial e industrial dos carvões que servem para fabricação do coque metalúrgico. E finalmente, o poder refletor da vitrinita que é um parâmetro de fundamental importância na determinação do "rank" de um carvão.

À medida que um depósito de carvão evolui, desde o estágio inicial da turfa até o estágio final de antracito, ocorre um enriquecimento relativo de carbono, diminuição das matérias voláteis contidas, do hidrogênio e do oxigênio, e conseqüentemente um aumento, até um certo valor, do poder calorífico. Como as classificações dos carvões podem ser enfocadas sobre várias formas, uma delas pode ser a da série evolutiva dos carvões, através dos seus diferentes estágios de carbonização até chegar ao antracito, ou seja: TURFA → LINHITO → HULHA → ANTRACITO.

7.1. Classificação Internacional das Hulhas

A classificação Internacional das Hulhas, baseia-se nos seguintes parâmetros:

- teor de matérias voláteis ou
- poder calorífico,
- poder aglutinante,
- poder coqueificante.

Com estes parâmetros, constrói-se um número de três algarismos para classificar o carvão, sendo que o primeiro algarismo fornece a classe; o segundo indica o grupo; e o terceiro indica o subgrupo. O primeiro algarismo que fornece a classe, é definido pelo teor de matérias voláteis, se este teor for menor que 33%; se for maior que este valor (maioria dos carvões do mundo), ele será definido pelo valor do poder calorífico superior do carvão isento de cinzas. O segundo algarismo, que indica o grupo, é definido pelo poder aglutinante, que é determinado pelo valor do F.S.I. (Free Swelling Index) ou índice de Roga. E por fim, o terceiro algarismo que indica o sub grupo, é definido pelo inchamento, determinado no Dilatômetro Audibert - Arnu^(22,23).

7.2. Classificação do Carvão de Candiota, pela Classificação Internacional das Hulhas

O carvão de Candiota se for classificado por este sistema, será representado pelo número "900", onde a classe é representada pelo algarismo 9; grupo e subgrupo sendo representados pelo algarismo 0 (zero).

A classe é 9, porque o teor de matérias voláteis, nas condições requeridas, é superior a 33%, logo tem que se basear no valor do poder calorífico superior,

isento de cinzas, que é 5779 cal/g. Este valor corresponde, na classificação internacional, ao número "9". O grupo e o subgrupo são representados por 0 (zero), porque tanto o poder aglutinante, como o poder coqueificante são nulos.

7.3. Classificação do Carvão de Candiota na Série Evolutiva

Para estabelecer a posição do carvão de Candiota na Série evolutiva, o mesmo foi plotado na curva de Kötter (Figura 5), que é estabelecida em função da % de carbono de um carvão seco, descontadas as cinzas e de seu poder refletor no óleo de cedro⁽⁸⁾. Verifica-se, por esta curva, levando em conta que o carvão de Candiota tem em média 70% C e 0,47 de poder refletor no óleo⁽⁸⁾, que ele deverá ser classificado na série metamórfica, na faixa dos linhitos duros, próximo das hulhas denominadas "flambant", que têm índice mínimo de 76% de carbono e 0,5 de poder refletor no óleo.

7.4. Algumas das Principais Classificações Desenvolvidas por Diferentes Países⁽²⁴⁾

7.4.1 Classificação Norte-Americana

Classifica o carvão pelo seu "rank" e utiliza como parâmetros a % de carbono fixo, o valor do poder calorífico (em Btu/lb) e o teor de matérias voláteis.

7.4.2 Classificação Francesa

Além da classificação internacional, a França tem a sua própria classificação dada pela norma AFNOR M-10-001, utilizando como parâmetros de classificação, o índice de matérias voláteis e os índices de inchamento.

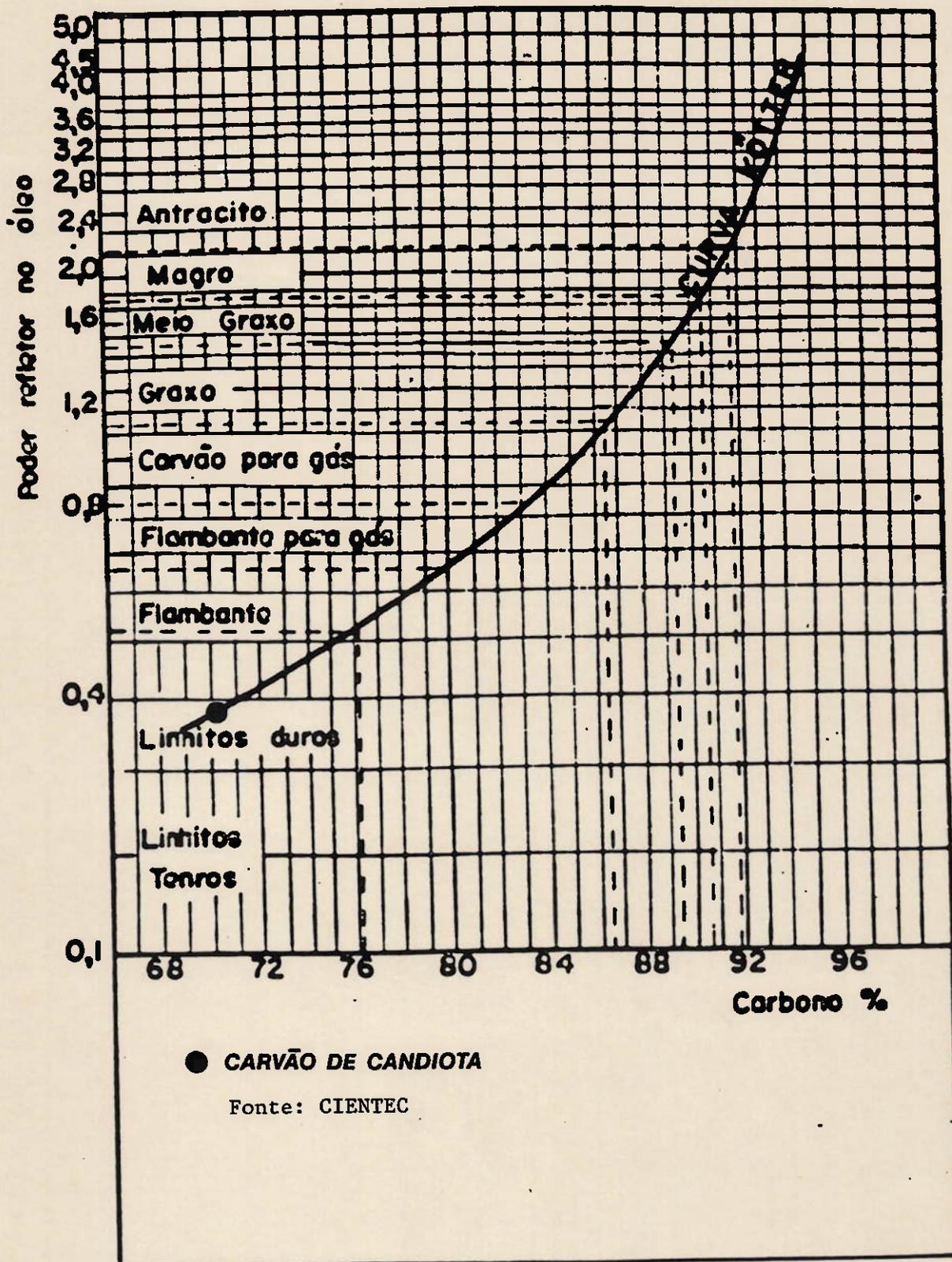


Figura 5 - Posição do carvão de Candiota na série de evolução (curva de Kötter)

7.4.3 Classificação Inglesa

Esta utiliza como parâmetro para classificação de carvões, o teor de matérias voláteis, calculado sobre o carvão seco e isento de matérias minerais.

7.4.4 Classificação Alemã

Esta classificação é representada pela norma DIN 23002 (International Klassifikation Systems für Steinkohlen). Ela usa como parâmetros de classificação: cinzas, carbono, hidrogênio, oxigênio e matérias voláteis.

Se o carvão de Candiota fosse classificado pelos sistemas de classificação supra citados, ele seria mais ou menos classificado como: "flambant sec", na França; gas flamkohle, na Alemanha; high volatil, na Inglaterra; e subbetuminoso nos Estados Unidos da América.

7.4.5 Classificação Brasileira

Enquanto as demais classificações citadas se baseiam em parâmetros científicos, a brasileira sempre se baseou na comercialização. Os diferentes tipos comerciais de carvão sempre foram mais ou menos definidos segundo a origem, processo de beneficiamento, granulometria, poder calorífico e teores de cinza e enxofre. Para cada estado ou região produtora, existe normalmente uma designação comercial regional adequada aos seus produtos. Trata-se de um sistema arbitrário e casuístico.

Depois da crise do petróleo, em 1979, surgiu uma nova nomenclatura atribuída pelo Ministério das Minas e Energia, onde os carvões brasileiros foram classificados, de uma forma abrangente, em carvões energéticos e carvão metalúrgico. Para os carvões energéticos, é ressaltado o valor do poder calorífico(ex. CE 3300, CE 4700 etc), onde CE significa carvão energético e o número colocado em frente indica o valor máximo do poder calorífico. No caso do

carvão metalúrgico, o mais importante é o teor de cinzas, já que o teor de enxofre, no caso, não é tão crítico. Porém outras denominações são usadas, como por exemplo: carvão redutor (carvão que era usado para produzir o ferro esponja na Aços Finos Piratini), carvão "siderúrgico" para designar os finos de carvão metalúrgico destinados a fabricação de coque de fundição; e outros.

8. LAVABILIDADE DE CARVÕES

Entende-se por lavabilidade à maior ou menor facilidade de separação das partículas de carvão (fração combustível), da matéria mineral que normalmente acompanha o carvão bruto (fração incombustível). Esta matéria mineral é composta principalmente de argila, calcita, quartzo e pirita.

Os estudos de lavabilidade são conduzidos em laboratório normalmente por meio de líquidos orgânicos. As densidades de separação que deverão ser usadas nos ensaios são pré-estabelecidas e são formadas com a mistura desses líquidos orgânicos em proporções adequadas, de acordo com as densidades desejadas. Os tipos de líquidos orgânicos usados variam de um laboratório para outro. No CETEM usam-se bromofórmio ($d=2,9$), percloroetileno ($1,6$) e nafta ($d=0,8$); com a mistura destes líquidos, pode-se formar densidades desde $1,2$ a $2,9$. Nesta faixa de densidades, podem-se separar carvões de diferentes qualidades e as diferentes matérias minerais normalmente a eles associadas. Dependendo do "rank", teor de umidade e conteúdo de matéria inorgânica presentes no carvão, a sua densidade aumenta desde $1,2$, para uma matéria carbonosa de baixo "rank" e sem matéria mineral⁽²⁰⁾, até $2,0$, que corresponde ao início da faixa de densidade dos folhelhos carbonosos, indo até $2,7$. As partículas com densidades superiores a $2,7$ são basicamente pirita, argila calcita e quartzo. Acima de $2,9$ é basicamente pirita ou marcasita.

Normalmente os estudos de lavabilidade são realizados por faixas granulométricas separadas. Cada uma destas faixas (frações) é passada nas densidades pré-estabelecidas, obtendo-se, assim, as diversas frações densimétricas. Estas frações são secadas e pesadas. Em cada uma delas, determina-se o teor em cinzas e/ou teor de enxofre. Com estes dados: densidades utilizadas, pesos das frações densimétricas, resultados das análises químicas e a faixa granulométrica em questão, constroem-se tabelas. As expressões gráficas

destes resultados tabelados constituem as chamadas curvas de lavabilidade. A análise técnico-econômica destas curvas de lavabilidade permite determinar a densidade mais adequada para a separação do produto que se quer obter; uma avaliação do grau de dificuldade de separação nesta densidade; prever rendimentos mássicos dos produtos; e ter uma idéia preliminar dos equipamentos que poderão ser usados no beneficiamento do carvão.

Uma das formas de avaliar o grau de dificuldade de beneficiamento é a determinação do "near gravity material", que corresponde à quantidade de material que flutuará na faixa de densidade $\pm 0,1$, com centro na densidade de corte considerada. Por exemplo, é a quantidade de material entre 1,4 e 1,6, no caso de um corte em 1,5. Quanto maior for esta massa, mais difícil e imprecisa será a separação nesta densidade. A Tabela de Bird, a seguir, dá idéia desta dificuldade.

QUANTIDADE DE MATERIAL "NEAR GRAVITY"	ESTIMATIVA DA DIFICULDADE DE BENEFICIAMENTO
0 - 7	Simple
7 - 10	Moderadamente difícil
10 - 15	Difícil
15 - 20	Muito difícil
20 - 25	Excessivamente difícil
> 25	Quase Impraticável

Existem vários tipos de curvas de lavabilidade, e cada País usa ou desenvolve um tipo de diagrama que lhe é mais conveniente, porém todas têm o mesmo objetivo, ou seja, caracterizar e avaliar os carvões quanto ao grau de dificuldade de beneficiamento em relação à obtenção dos produtos desejados.

8.1. Características de Lavabilidade do Carvão da Candiota

Devido às suas características de formação, o carvão de Candiota é considerado por todos que com ele trabalharam (nacionais e estrangeiros), como um carvão de "difícil beneficiamento". As curvas de lavabilidade obtidas a partir de ensaios densimétricos realizados em amostras desse carvão, mesmo quando submetidas a diferentes graus de britagem, não apresentaram características favoráveis ao beneficiamento. As características de lavabilidade de um carvão são de fácil visualização no gráfico de Henry Reinhardt (Figura 6). As curvas de lavabilidade apresentadas neste gráfico são típicas de um carvão de fácil beneficiamento, que no caso é um carvão da Alemanha. A curva A1 (curva elementar) apresenta uma caída acentuada, sofrendo depois uma inflexão e formando, em seguida, uma lombada. Esta lombada evidencia aumentos acentuados dos teores de cinzas nos produtos, a partir de certos valores de rendimento, o que indica o início da faixa apropriada para a densidade de corte, que no entanto deverá ser compatibilizada com o teor de cinzas que se deseja nos produtos. Como o carvão de Candiota é de difícil beneficiamento, a curva A1 do gráfico de Henry Reinhardt já não apresenta esta lombada característica de um carvão de fácil beneficiamento. As curvas de lavabilidade do carvão de Candiota, segundo método Henry Reinhardt, apresentam as configurações mostradas na Figura 7. Nos carvões de difícil lavabilidade, para pequenas variações na densidade de corte, ocorrem grandes variações dos teores de cinzas dos produtos.

Devido à matéria mineral estar íntima e finamente disseminada na matriz orgânica ou carbonosa, os resultados das análises de cinzas das diferentes frações granulométricas do carvão de Candiota não variam muito, mesmo para diferentes graus de britagem. Exceção feita à fração - 74 μ m (-200 malhas), que normalmente apresenta um teor de cinzas bem maior em relação às outras, devido certamente a uma maior liberação do material argiloso⁽¹⁹⁾.

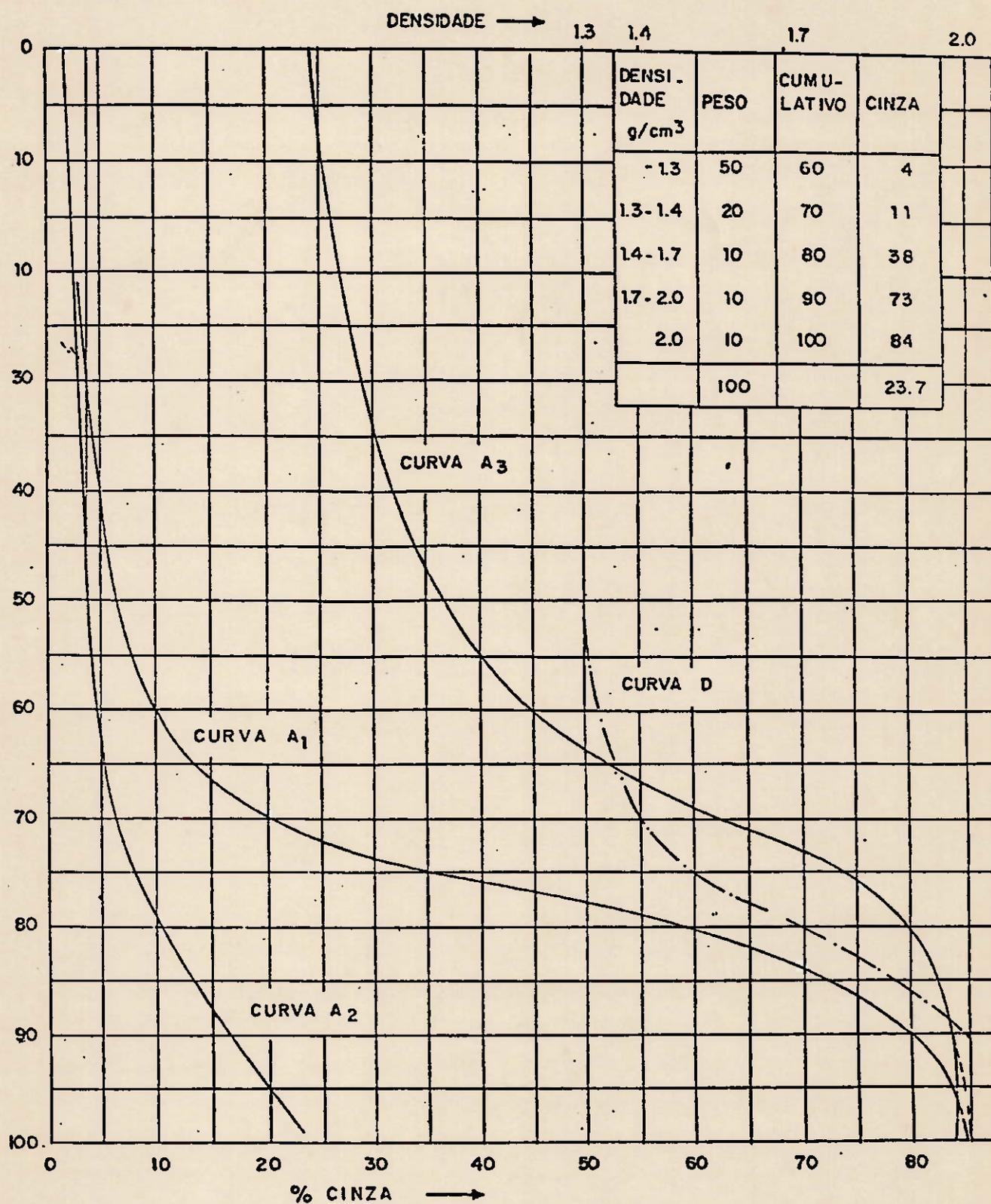


Figura 6 - Curva de lavabilidade segundo Henry-Reinhardt

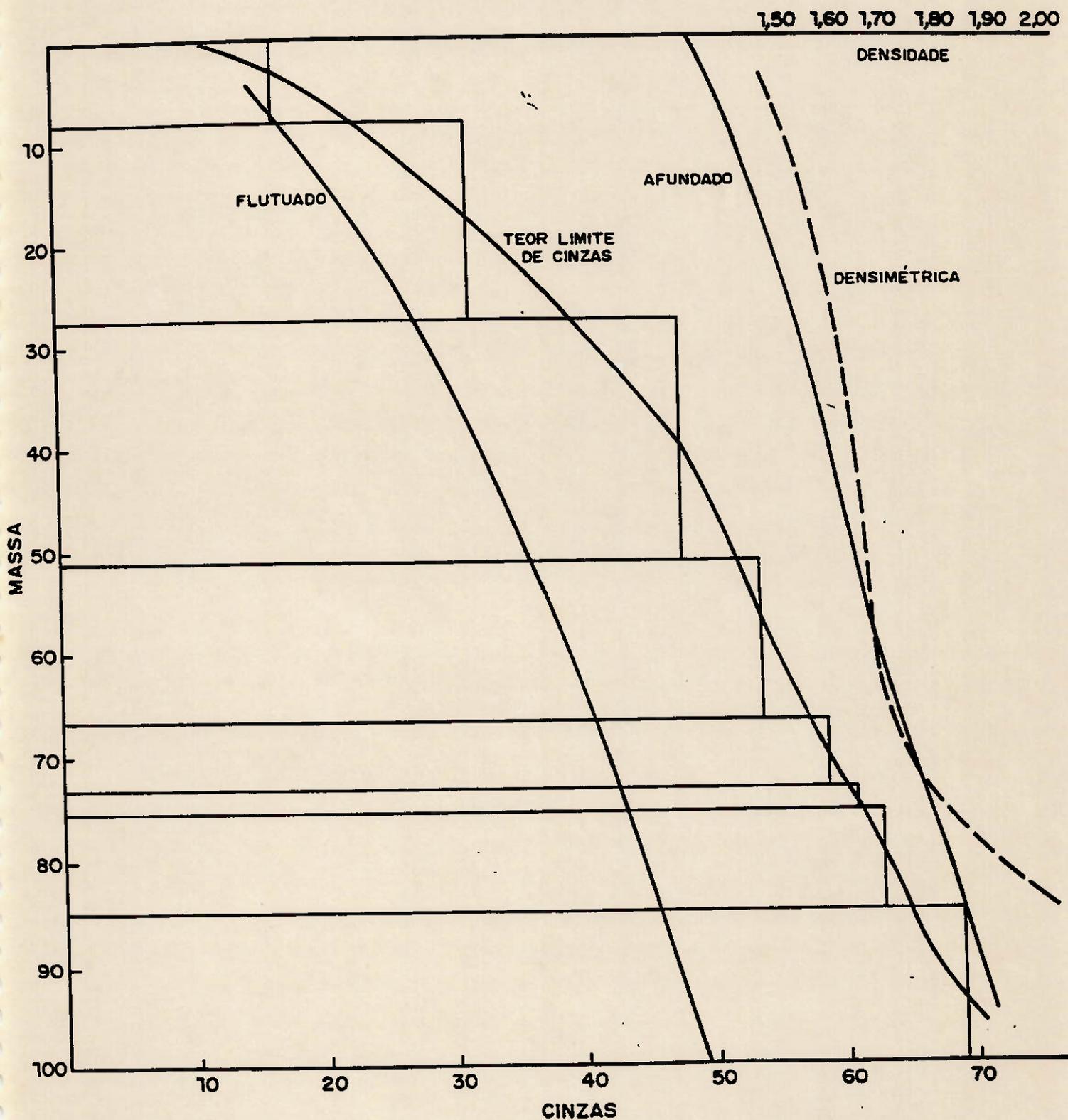


FIG. 7 - CURVAS DE LAVABILIDADE DO CARVÃO DE CANDIOTA, SEGUNDO MÉTODO HENRY-REINHARDT

Por ser o carvão de Candiota um carvão de difícil beneficiamento, conseqüentemente suas aplicações tecnológicas tornam-se restritas, devido às poucas alternativas técnicas de se colocar no mercado consumidor produtos de melhor qualidade a um custo compatível.

Por outro lado, sabe-se, também, que este carvão varia de qualidade, mesmo em diferentes pontos de uma mesma camada, principalmente no que tange ao teor de enxofre, onde as especificações para a indústria tornam-se cada vez mais rigorosas.

Este carvão apresenta ainda um outro grande problema que afeta, e muito, o seu beneficiamento, que é a sua alta degradabilidade, já mencionada e constatada, quando o mesmo é submetido à processos de cominuição; processos mecânicos de concentração, a seco ou a úmido; ao manuseio; e até mesmo durante a sua estocagem, se esta for por um tempo prolongado. É um carvão muito friável, que desagrega com extrema facilidade, originando um grande volume de finos à medida que o mesmo vai sendo manuseado. Até mesmo a separação em ciclones de meio denso, que é um método de separação precisa é prejudicada pela geração destes finos, que aumentam sensivelmente a viscosidade do meio e as perdas de meio denso e carvão fino no processo. A argila que vai sendo liberada durante a operação modifica as características reológicas do meio denso, alterando a densidade de separação previamente estabelecida, tornando, assim, a operação ineficiente em termos dos produtos que se deseja obter.

Os processos físicos, tais como umedecimento seguido de secagem são apontados, devido à natureza do carvão, como os mais responsáveis pela alta degradabilidade do mesmo. Esta degradação é causada por regiões de fraqueza que aparecem nas diferentes camadas, resultantes de pressões internas provenientes de variações do volume resultante de água adsorvida e dessorvida pela partícula, que é maior que na parte interna da mesma. Desta forma,

desenvolvem-se fissuras e fraturas que podem ser detetadas em uma análise microscópica, ou mesmo a olho nu, se a amostra for deixada exposta ao ar por um período de tempo mais longo. Isto provoca a posterior desintegração ou degradação das partículas de carvão, dando origem a novas áreas de exposição à oxidação, e assim sucessivamente. O carvão de Candiota, por apresentar um baixo "rank", apresenta uma alta suscetibilidade à oxidação, sendo esta uma outra provável justificativa de sua degradabilidade, mesmo durante o tempo de estocagem⁽²⁶⁾.

Experiências realizadas no CETEM com o carvão de Candiota abaixo de 1/2", no separador de meio denso Dynawhirpool (DWP)⁽²⁷⁾, mostraram uma geração de finos durante a operação, que foi estimada em 15% em relação à faixa granulométrica alimentada. Estas experiências mostraram, por sua vez, que o DWP é um dos equipamentos que deve ser recomendado para o beneficiamento do carvão de Candiota, apesar da percentagem de finos que foi gerada nos ensaios realizados com este equipamento. Devido às características de funcionamento do DWP, essa quantidade de finos gerada no processo tenderá a ser menor em relação aos outros equipamentos de separação, notadamente em ciclones de meio denso. Este trabalho foi conduzido em amostras retiradas da mina de Candiota, num total de 10 t, numa amostragem bastante criteriosa, feita pela CIENTEC.

Estudos de lavabilidade realizados pelo CETEM⁽²³⁾ com amostras do banco superior e banco inferior da camada de Candiota, amostradas na mina de Candiota evidenciaram, pela primeira vez, (segundo comentário de um técnico da CRM, na época), uma conclusão muito importante em termos de beneficiamento, que é a de que os bancos superior e inferior da camada de Candiota possuem características de lavabilidade diferentes. O banco superior possui características de lavabilidade mais favoráveis que o banco inferior. Em termos do teor de cinzas não há muita diferença entre eles, sendo que o banco superior apresenta um teor de cinzas

mais baixo (51% para o banco inferior e 46% para o banco superior). Neste trabalho, os estudos de lavabilidade foram realizados em cada um dos bancos, separadamente, a diferentes graus de britagem (25, 19 e 12,5 mm). As recuperações em massa, em relação a alimentação, de carvão com 35% de cinzas, considerando as frações de granulometrias acima e abaixo de 0,5 mm (28 malhas), para cada um dos graus de britagem aplicados, foram as que são mostradas na Tabela 8. No anexo 1, são mostradas as curvas de lavabilidade, segundo Mayer, referentes a estes graus de britagem, com suas recuperações correspondentes de produtos com 35% de cinzas.

Com relação à distribuição de cinzas nas diversas frações granulométricas, verificou-se que esta é maior nas frações grosseiras acima de 12,5 mm (1/2") e nas frações ultrafinas abaixo de 0,074 mm (200 malhas).

Tabela 8 - Diferenças de recuperação de carvão 35% de cinzas em relação à alimentação, obtidos dos bancos superior e inferior de Candiota, em função do grau de britagem aplicado.

Grau de Britagem	Banco Superior		Banco Inferior	
	+28 Malhas	-28 Malhas	+28 Malhas	-28 Malhas
25,0 mm	34,7	5,8	13,4	5,8
19,0 mm	41,7	6,9	14,4	7,1
12,5 mm	38,6	10,3	19,7	8,3

Pela tabela 1, observa-se que as recuperações, para o material acima de 0,5 mm (28 malhas) foram bem maiores para o caso do banco superior. A diferença foi bastante expressiva para a britagem a 19 mm (3/4"), 41,7% contra 14,4%. Para o banco superior, este grau de britagem foi o que deu melhor recuperação de carvão

com 35% de cinzas. Para os finos abaixo de 0,5 mm (28 malhas), a diferença já não foi tão grande. Os finos -0,5 mm (- 28 malhas) foram também tratados por flotação, porém os resultados não foram bons, como já era de se esperar, por ser um carvão de baixo "rank" (baixo poder refletor da vitrinita) e com problemas de liberação da matéria carbonosa em relação à matéria mineral, mesmo a esta granulometria. Nos ensaios de flotação realizados, não foi possível conseguir concentrados com 35% de cinzas com apenas uma etapa de limpeza.

Estudos de lavabilidade realizados pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-PPGEMM/UFRGS, por Sampaio e colaboradores⁽¹⁶⁾, mostraram que é possível a separação de um rejeito com pelo menos 10% em massa do carvão ROM, com teores de cinzas superiores a 70%. Este rejeito conteria, por sua vez, mais da metade do enxofre total contido no ROM, recomendando, assim, um estágio de pré-lavagem da fração grosseira desse carvão. Em relação aos diferentes tipos de enxofre contidos nas diferentes faixas granulométricas, evidencia um acúmulo do enxofre pirítico nas frações mais grosseiras, devido ao elevado grau de dureza dos grãos de pirita, forma de enxofre que ocorre em maior quantidade nesse carvão. A outra forma de enxofre encontrada, é o enxofre orgânico, tal como já foi mencionado. Esse estudo mostrou, também, através de ensaios densimétricos realizados com o carvão cominuído abaixo de 2 mm, que praticamente inexistem pirita nas frações com densidade abaixo de 2,1 g/cm³, indicando, assim, que os grãos de pirita estão liberados neste grau de cominuição.

Esse estudo⁽¹⁶⁾ propõe, no final, um circuito de beneficiamento, que substancialmente se compõe das seguintes etapas: o carvão ROM é britado abaixo de 30 mm, e logo após, é separado em duas frações: (- 30 + 2) mm e - 2 mm. A fração (- 30 + 2) mm segue para um beneficiamento em jig, onde é removido um rejeito, representando 10% em massa, com teor de cinzas de aproximadamente 70%. Neste beneficiamento poderá ser removido, através do

rejeito, mais de 50% do enxofre total do carvão alimentado. O concentrado obtido teria também 10% em massa do carvão ROM, com um teor de cinzas de aproximadamente 35%. Ainda no beneficiamento desta fração (- 30 + 2) mm, obtém-se um produto intermediário (misto) pode ser usado como carvão termoelétrico (44% do ROM), com a vantagem, em relação ao ROM atualmente utilizado, de ter o teor de enxofre bastante reduzido. O teor de cinzas dessa fração mista e do ROM é praticamente o mesmo, em torno de 50%. Em suma, o beneficiamento da fração grosseira (- 30 + 2 mm), forneceria um produto nobre com aproximadamente 35% de cinzas para o setor cimenteiro e uma fração mista, de melhor quantidade que o ROM britado, em termos de teor de enxofre, para o mercado termoelétrico. Os finos (- 2 mm) seriam beneficiados em ciclones deslamadores e espirais, onde o "underflow" dos ciclones alimentaria as espirais. Neste circuito de finos haveria uma recuperação em massa de 18% do ROM, com um produto (concentrado) com 35% de cinzas. O balanço total de massas do circuito seria:

- 10% em massa do ROM, no concentrado do jigge (35% de cinzas)
- 44% em massa do ROM, nos mistos do jigge (50% de cinzas)
- 18% em massa do ROM, no concentrado das espirais (35% de cinzas)
- 28% em massa do ROM de rejeito total (incluindo os finos - 0,063mm).

A Figura 8 ilustra melhor o beneficiamento proposto pelos autores.

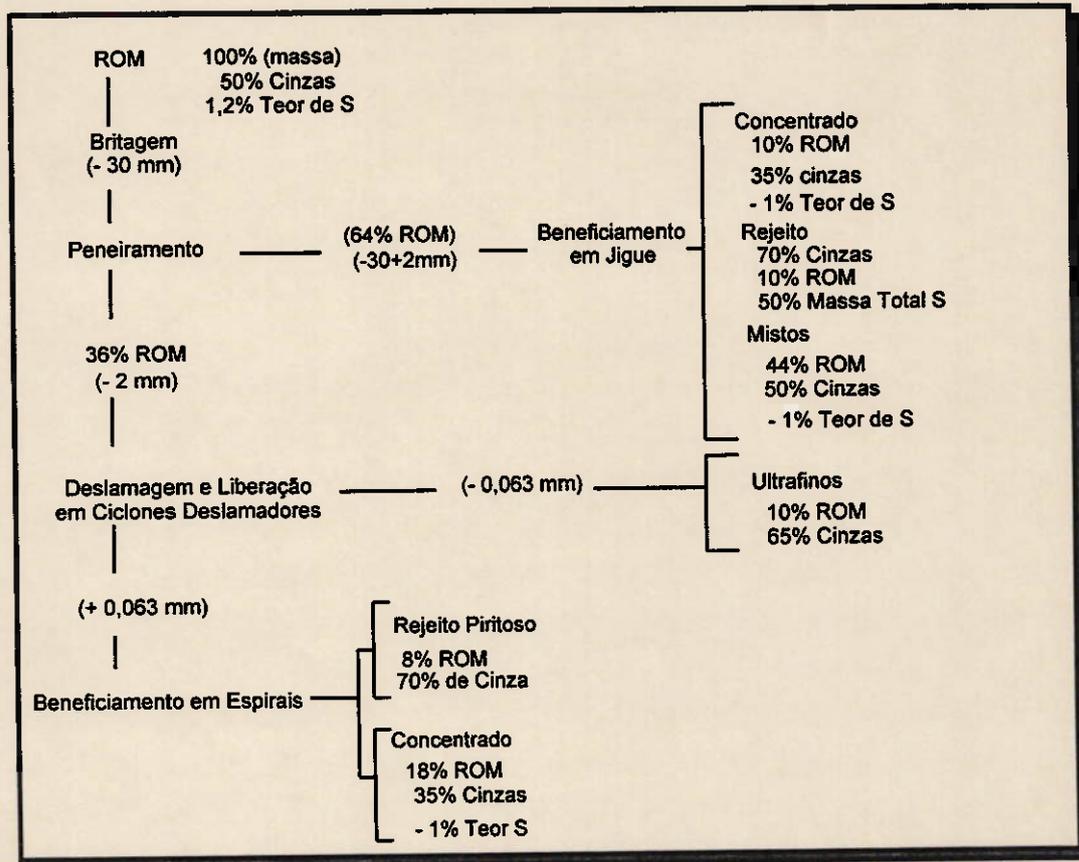


Figura 8 - Circuito de beneficiamento para o Carvão de Candiotá, proposto pelo PPGEMM, da UFRGS(8).

A recuperação, da ordem de 10%, de carvão com 35% de cinzas é considerada baixa, se comparada às obtidas em estudos de lavabilidade realizados no CETEM, que variaram entre 25 e 40%, dependendo do grau de britagem aplicado e da realização do estudo em separado, ou não, das duas camadas.

Como o equipamento indicado para o beneficiamento foi jigue "Baum", a baixa recuperação da fração nobre apresentada, certamente deve ter sido levado em conta a baixa eficiência de separação desse equipamento, principalmente em se tratando do carvão de Candiota. Até mesmo nos ensaios realizados em escala industrial, o rendimento da fração nobre foi maior.

Estudos de lavabilidade realizados pelo CETEM⁽¹⁹⁾, com as camadas superior (56%) e inferior (44%), blendadas, e cominuídas a diferentes tamanhos, mostraram recuperação em torno de 30%, em relação à alimentação, para obtenção de um carvão com 35% de cinzas para a britagem a 1", como pode ser visto na Tabela 9. Esta tabela sumariza todas as recuperações obtidas para os outros graus de cominuição aplicados ao carvão, que foram: 12,5 mm; 6,3 mm e 3,3 mm (1/2", 1/4" e 1/8"). Por ela, pode se notar que a granulometria que proporcionou maior recuperação em massa foi aquela proveniente da britagem a 12,5 mm (1/2"), que ultrapassou a 40%, em relação à fração estudada e 36% em relação à alimentação. Com base neste estudo, foi sugerido pelo CETEM, o fluxograma da Figura 9, baseado na britagem a 12,5 mm (1/2"). Além de proporcionar uma boa recuperação, esta britagem não gera muitos finos. A cominuição a uma granulometria mais grosseira, segundo os autores, conduziria a uma considerável quantidade de partículas de forma lamelar, que prejudicaria a operação de jigagem. Este estudo mostrou, também, que um grau de liberação satisfatório é conseguido na britagem a 3,0 mm (1/8"). Neste trabalho foi determinado o H.G.I., que se comprovou ser superior a 90. O teor de matérias voláteis foi de 38%, para um carvão com menos de 10% de cinzas. Para os finos -

Tabela 9 - Recuperações obtidas do carvão de Candiota com 35% de cinzas, de diferentes faixas granulométricas, para diferentes graus de cominuição.

Fração ↓	Cominuição →	1"					1/2"					1/4"					1/8"					
		Peso (%)	Cinza (%)	Rec. Fração %	Rec. Alim. %	Cz no Rej. %	Peso (%)	Cinza (%)	Rec. Fração %	Rec. Alim. %	Cz no Rej. %	Peso (%)	Cinza (%)	Rec. Fração %	Rec. Alim. %	Cz no Rej. %	Peso (%)	Cinza (%)	Rec. Fração %	Rec. Alim. %	Cz no Rej. %	
	-1" + 1/2"	34,5	50,6	16,0	5,69	53,55																
	-1/2" + 1/4"	21,4	48,9	32,3	6,91	55,61	42,3	48,6	30,5	12,9	54,57											
	-1/4" + 1/8"	11,9	47,1	46,4	5,52	55,73	17,3	47,0	47,3	8,18	57,76	34,5	49,9	30,5	10,52	56,45						
	-1/8" + 28 #	19,6	44,7	59,8	11,72	59,73	25,7	45,2	59,4	15,27	60,13	38,7	47,3	45,5	17,61	57,59	59,7	48,5	44,5	26,57	59,33	
	+28 #	87,4	48,4	34,1	29,84	55,30	85,3	47,2	42,6	36,35	56,30	73,2	48,5	38,4	28,13	56,90	59,7	48,5	44,5	26,57	59,33	
	-28#	7,5	45,6	26,0	1,95	49,40	8,2	47,5	24,5	2,00	51,56	15,6	46,5	39,5	6,0	54,01	21,8	45,4	41,0	8,94	47,38	
	HIP 1	3,6	42,0	83,5	3,00	77,20	5,1	42,0	81,5	4,16	72,84	8,4	43,2	77,6	6,51	71,44	14,5	43,7	76,7	11,12	72,34	
	Densimetria + 270#	1,5	94,5*	-	-	94,5*	1,4	97,7*	-	-	97,7*	3,2	90,3*	-	-	90,3*	4,0	96,1*	-	-	96,1*	
	-270 #	12,6	50,4	39,3	4,95	60,4	14,7	50,4	41,9	6,16	61,50	26,8	50,7	46,7	12,51	64,50	40,3	49,5	49,8	20,06	63,90	
	-28 # (HIP 1)																					
	Densimetria	5,9	43,5	75,7	4,47	69,80	8,6	45,5	67,0	5,76	66,80	15,2	43,5	75,7	11,51	70,0	24,0	42,5	77,4	18,55	68,2	
	-28 + 200 #	6,7	56,5	-	-	56,50	6,1	57,3	-	-	57,30	11,6	60,2	-	-	60,2	16,3	59,5	-	-	59,5	
	HIP 2																					
	-28 # (HIP 2)	12,6	50,4	35,5	4,47	56,90	14,7	50,4	39,2	5,76	60,30	26,8	50,7	42,9	11,51	62,50	40,3	49,5	46,1	18,58	61,90	
	Total com HIP 1	100,0	48,65	-	34,79	55,90	100,0	47,67	-	42,51	57,00	100,0	49,09	-	40,64	58,70	100,0	48,9	-	46,63	61,00	
	Total com HIP 2	100,0	48,65	-	34,31	55,80	100,0	47,67	-	42,11	56,90	100,0	49,09	-	39,64	58,30	100,0	48,9	-	45,15	60,30	

* teor calculado

HIP: hipótese

#: malhas

#: malhas

0,5 mm (-28 malhas) foram seguidas duas rotas de beneficiamento. Uma delas foi através de ensaios densitários da fração 0,5 mm x 0,074 mm (28 x 200 malhas), e a outra usando uma combinação de flotação e métodos densitários. A rota de ensaios gravíticos apresentou melhor recuperação. A Figura 10 ilustra a rota, usando a forma combinada (flotação + métodos gravíticos).

Este trabalho teve sequência com o beneficiamento da fração -3 mm em jigge BATAc para finos⁽²⁸⁾ no Instituto de Beneficiamento da Universidade de Aachen, na Alemanha, tendo em vista que esta fração representava 40,4% da massa do ROM, cominuindo a 1/2". O objetivo destes ensaios de beneficiamento em Aachen eram também de produzir um produto fino com 35% de cinzas. Só foi possível a realização de 3 ensaios, devido à quantidade de amostra de que se dispunha. O ensaio considerado melhor acusou uma recuperação de 59% em massa e teor de cinzas de 38,3%, porém mostrou que seria possível obter carvão fino com 35% de cinzas, caso fosse possível a continuação dos ensaios.

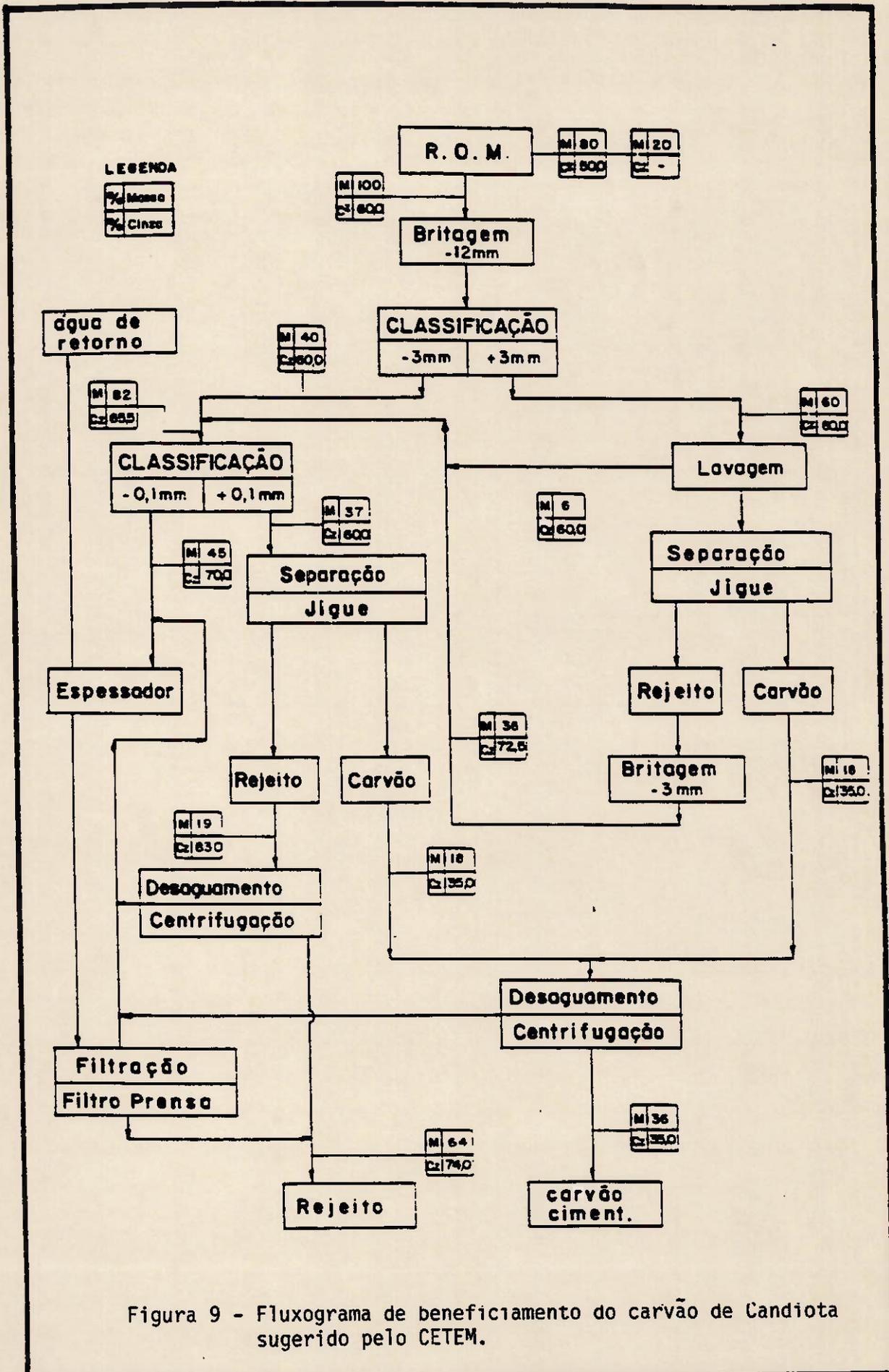


Figura 9 - Fluxograma de beneficiamento do carvão de Candiota sugerido pelo CETEM.

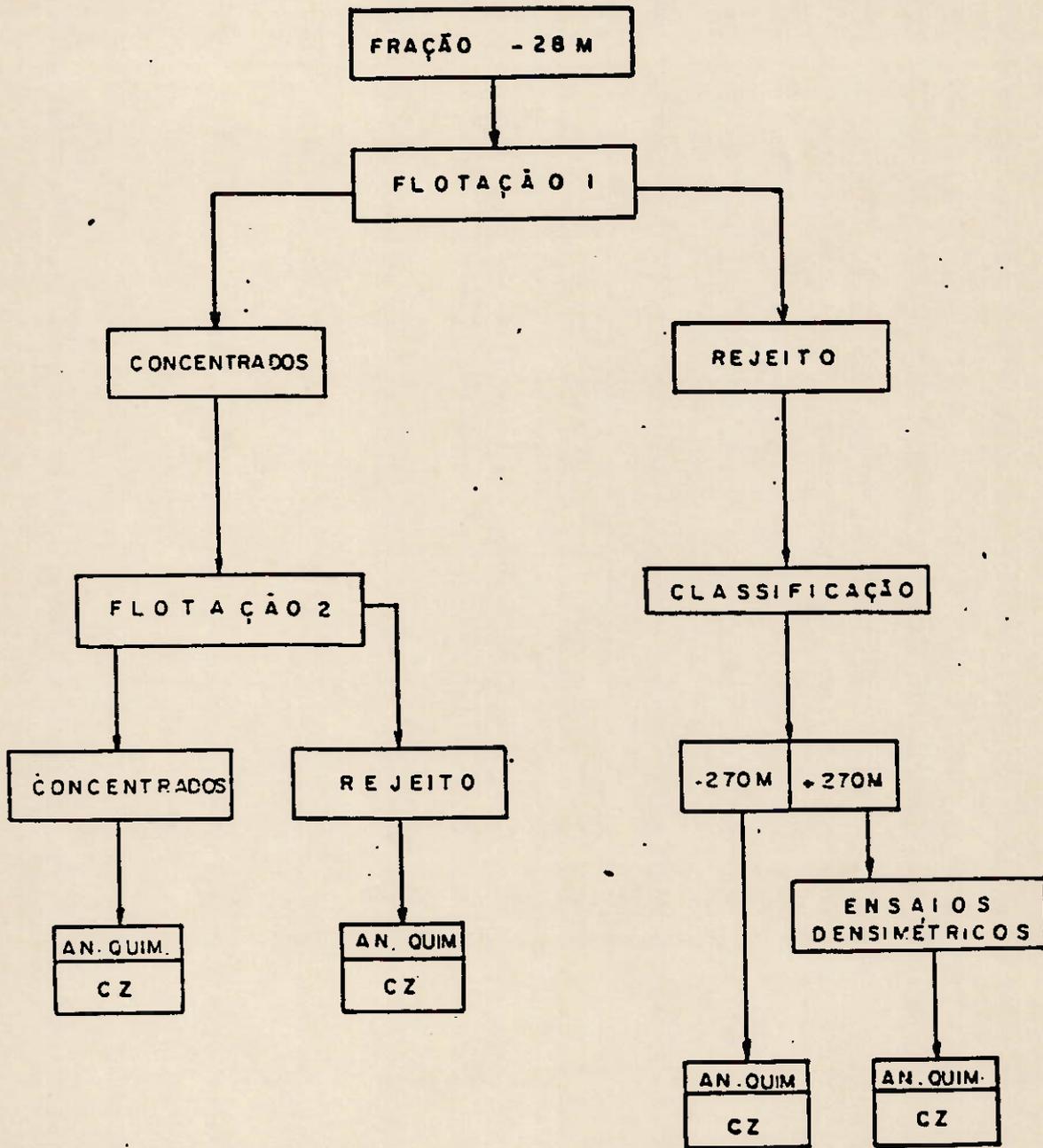


FIGURA 10 — CARACTERIZAÇÃO POR FLOTAÇÃO E ENSAIOS DENSIMÉTRICOS
(BANCO SUPERIOR E BANCO INFERIOR)

A PROMON realizou, em 1981, um projeto de pré-viabilidade⁽²⁹⁾ para exploração e beneficiamento do carvão de Hulha Negra (Candiota). Por falta de dados, na época, referentes a este carvão, este projeto foi realizado, com a suposição de que o carvão de Hulha Negra tivesse o mesmo comportamento do carvão da mina de Candiota, em termos de lavabilidade. Com isso, este projeto foi baseado em dados de lavabilidade e análises granulométricas apresentados no relatório da FINEP, realizado pela Paulo Abib Engenharia, em 1977⁽³⁰⁾, a partir dos quais foram construídas curvas de lavabilidade do carvão ROM britado a 4" e 1/8". Para os dados referentes à britagem a 1", a Promon utilizou de informações constantes da literatura existente, incluindo nesta, o trabalho realizado pelo CETEM⁽¹⁹⁾ para a CNMC (RT-18/82), em amostra coletada na mina de Candiota. Para efeito de comparação das curvas de lavabilidade constantes nesses trabalhos, elas foram todas reconstruídas, supondo-se que o carvão em estudo tivesse um teor de cinzas de 52,0%. O exame das curvas de lavabilidade referentes aos graus de britagem 100, 25 e 3 mm ou (4", 1" e 1/8", respectivamente), mostrou que existia um alinhamento sensível do comportamento do carvão, quando passava da britagem de 100 mm (4") para 25 mm (1"). Porém ao passar da britagem de 25 mm (1") para a de 1/8", a diferença era mínima. Por isso, a Promon optou pela britagem a 1" para o seu projeto de pré-viabilidade, com as justificativas complementares de que é uma granulometria adequada para ciclones de meio denso, e que granulometrias mais finas não acarretariam grandes melhorias de rendimento ou de qualidade.

Posteriormente (1982) a Promon elaborou o projeto conceitual⁽³¹⁾, referente ao mesmo carvão, porém baseando-se, desta feita, em estudo realizado pelo CETEM⁽³²⁾, em amostras de furos de sonda HX, executados nesse interim na área definida para a lavra a céu aberto. Este trabalho foi realizado, objetivando a obtenção de carvão com 35% de cinzas, para aplicação na indústria cimenteira. Pela análise deste estudo realizado pelo CETEM, a Promon pode constatar que as

diferenças entre as curvas de lavabilidade trabalhadas no projeto de pré-
viabilidade e as levantadas a partir dos testemunhos de sondagem da área de
Hulha Negra, não eram muito significativas, e em vista disto, em termos do
processo, o projeto conceitual não mudou muito em relação ao projeto de pré-
viabilidade realizado anteriormente.

O balanço de massas estabelecido no projeto conceitual foi o seguinte,
considerando-se somente métodos gravíticos de separação:

- alimentação: 100 t/h, 52% de cinzas
- carvão CV 35 grosso: 26,9 t/h, 35% de cinzas, recuperado nos ciclones
de meio denso.
- carvão CV 35 fino: 5,1 t/h, 35% de cinzas, recuperado nos ciclones
autógenos.
- carvão CV 50: 18,2 t/h, 50% de cinzas, recuperado nos ciclones de meio
denso.
- rejeito do meio denso: 38,9 t/h, 65,7% de cinzas.
- rejeito do circuito de finos: 2,2 t/h, 63,9% de cinzas.
- lamas: 7,1 t/h, 66% de cinzas.
- perdas: 1,6 t/h, 53,2% de cinzas.

No trabalho feito pela Paulo Abib Engenharia para a FINEP⁽³⁰⁾, em 1977, os
estudos sobre flotação aglomerante, realizados em produto de moagem com cerca
de 80% abaixo de 0,074 mm (200 malhas), apresentaram resultados
insatisfatórios. No entanto, nos ensaios realizados com material mais fino (87%
abaixo de 0,037 mm (400 malhas) - "overflow" dos ensaios de ciclonagem) foi
possível obter resultados muito bons, com recuperação da matéria carbonosa de
cerca de 75%, rejeição de cinzas de 73% e produto aglomerado (concentrado)

com até 24% de cinzas, a partir de uma alimentação de 55% de cinzas. Estes estudos foram retomados pelo CETEM⁽³³⁾, em 1981, na tentativa de reprodução dos mesmos, porém esta reprodução, lamentavelmente, não aconteceu. O mecanismo da flotação aglomerante é ilustrado no Anexo 2.

Os resultados insatisfatórios obtidos nos testes de flotação aglomerante com material 80% abaixo de 0,074 mm (200 malhas), podem ser explicados pela não liberação total da matéria carbonosa em relação à inorgânica, fato este constatado por diversos estudos microscópicos, realizados com este carvão, por diferentes órgãos de pesquisas^(11,12,33). Quanto à não reprodução, no CETEM, dos bons resultados obtidos pela Paulo Abib Engenharia, com a fração abaixo de 0,037 mm (400 malhas), é difícil de explicar. O que se sabe, é que já foram feitos por outros órgãos de pesquisa estudos minuciosos de concentração, por métodos convencionais e não convencionais, com finos e ultrafinos deste carvão, e os resultados sistematicamente não foram bons, e as explicações sempre recaíram principalmente na liberação muito fina da matéria carbonosa, devido à disseminação intensa e muito fina da matéria carbonosa na matéria mineral e ao próprio "rank" do carvão, que é baixo. De fato, para que haja um possível sucesso nesses métodos de concentração por aglomeração oleosa, a primeira condição é a total liberação das partículas que se pretende aglomerar. A Figura 11 ilustra o mecanismo de diminuição das cinzas de carvões pelo método de aglomeração oleosa.

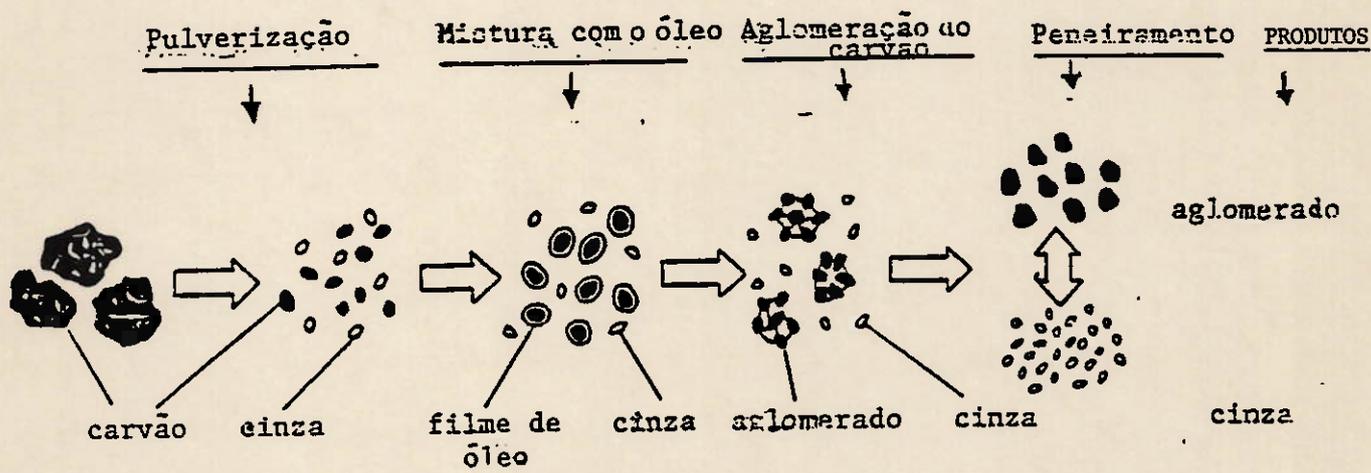


Figura 11 - Mecanismo da Diminuição das Cinzas de Carvões pelo Método de Aglomeração Oleosa.

Técnicos da Hitashi Zosen Corporation⁽¹²⁾ realizou um minucioso estudo de rebaixamento de cinzas no carvão de Candiota, região de Seival, em amostras enviadas pela CNMC. O estudo constou de: um detalhado estudo de caracterização petrográfica e mineralógica; estudos de liberação; estudos de aglomeração oleosa em várias faixas de granulometrias finas, usando vários tipos e quantidades de óleos; adição de surfatantes ao óleo etc; separação eletrostática; aglomeração oleosa reversa; e mais alguns métodos de concentração de finos e ultrafinos, sofisticados e não convencionais. Os resultados foram quase todos insatisfatórios, salvando apenas um dos métodos "Separação em duas Fases", que deu resultados mais aceitáveis, porém houve um grande aumento no gasto de

óleo. Recomendaram, porém, que deveriam ser realizados mais ensaios experimentais para confirmação, antes de colocar este método na indústria, além disso, ele envolve um grande gasto de energia e alta adição de óleo, entre outros.

O trabalho realizado pelo CETEM em testemunhos de sondagem da área de Hulha Negra⁽²⁸⁾, foi desenvolvido com amostras da camada Candiota e nas camadas superiores ao banco de Candiota, visando a obtenção de carvão com 35% de cinzas para a indústria cimenteira. A seguir podem ser vistos os resultados alcançados com os estudos realizados nestas duas amostras, quando foram britadas a 25 mm (1").

a) Camadas Superiores do Banco de Candiota (Recuperação de Carvão com 35% de Cinzas):

<u>Fração</u>	<u>Recup. Obtida (%)</u>
- 25 + 0,5 mm	33,0
- 0,5 + 0,074 mm	72,0
Flotação: - 0,5 mm	34,0
- 0,1 mm (-0,5 mm moído)	66,0

Obs.: Fração - 0,074 mm (- 200 malhas): 5,2% da amostra total com 70,5% de cinzas.

b) Camada Candiota (Recuperação de Carvão com 35% de Cinzas):

<u>Fração</u>	<u>Recup. Obtida em relação à fração (%)</u>
- 25 + 0,5 mm	45,0
- 0,5 + 0,074 mm	73,0
Flotação: - 0,5 mm	48,0
- 0,1 mm (-0,5 mm moído)	74,0

Obs.: Fração - 0,074 mm (- 200 malhas): 1,8% da amostra total com 62,2% de cinzas.

Um outro trabalho realizado pelo CETEM com o carvão da camada de Candiota⁽³²⁾, com os bancos superior e inferior, separadamente, objetivou a obtenção de carvão com 35% de cinzas. Confirmou-se, mais uma vez, a melhor lavabilidade do banco superior em relação ao inferior, e que é possível, pelo menos teoricamente, obtenção de carvão com 35% de cinzas com recuperações da ordem de 36,6% e 40,2% do ROM para as britagens a 25 e 12,5 mm (1" e 1/2"), respectivamente, considerando o material acima de 0,5 mm (28 malhas). Com relação ao beneficiamento da fração - 0,5 mm (28 malhas), ratificou-se uma baixa flotabilidade desse carvão, não sendo possível conseguir produto com 35% de cinzas apenas com a flotação "rougher", além do alto consumo de coletor (querosene) necessário, que foi da ordem de 90 kg/t. Portanto, o beneficiamento desses finos, se for feito, deverá sê-lo por método gravíticos o que propiciará uma recuperação adicional da ordem de 5% e 10% para o banco superior, nas britagens e 1" e 1/2", respectivamente. Para o banco inferior esses valores caem para 3,8% e 7%, para as mesmas condições.

Outro trabalho realizado no CETEM, por Guerra e colaboradores⁽²³⁾, em amostra de carvão da região de Seival/RS, visou também a obtenção de produto para o mercado cimenteiro. Este trabalho foi realizado com amostras coletadas nos bancos superior e inferior da camada de Candiota, na mina da CNMC. Para atender ao mercado cimenteiro os produtos deveriam ter teores de cinzas de 35% ou 47%. Este último teor de cinzas foi considerado também aceitável pela cimenteira, uma vez que estas cinzas tem propriedades similares às argilas utilizadas pelas indústrias cimenteiras na fabricação do cimento. O teor de enxofre não deve ultrapassar a 2,5%. No caso do carvão de Candiota este teor de enxofre não chega a ser problema, pois ele é facilmente rebaixado por métodos gravíticos de separação. Os estudos de lavabilidade foram realizados a diferentes graus de britagem para a camada superior, ou seja: 100 mm; 50 mm; e 12,5 mm. Para a camada inferior, a britagem foi apenas a 50 mm. Este trabalho mostrou que os finos entre 0,6 e 0,074 mm, das camadas superior e inferior, se blendados na proporção 1:1, apresentam um rendimento médio ponderado em massa de 4,6%, e o teor de cinzas inferior ao requerido pela cimenteira (35,3%). Se este resultado for reprodutivo, esses finos poderão ser blendados com o material grosseiro beneficiado. Os estudos de lavabilidade comprovaram os estudos anteriores da possibilidade de obtenção de produto com 35% de cinzas e de um produto misto com 53% de cinzas. No caso da obtenção de produto com 47% de cinzas, a previsão a partir das curvas de Mayer, é de que não se obtem este produto misto. Outra confirmação dos estudos anteriores é que o grau de cominuição mais adequado foi de 12,5 mm. Os rendimentos em massa para carvão com 35% de cinzas também foram similares aos resultados dos estudos anteriores, permanecendo na faixa de 30 a 40% de rendimento teórico, variando de acordo com o grau de britagem aplicado.

Foi realizado no CETEM⁽³⁶⁾, estudos dos parâmetros básicos, considerados influentes no beneficiamento do carvão de Candiota, devido às características

tecnológicas peculiares deste carvão. O estudo foi realizado em amostra do banco inferior da Camada Candiota, fornecida pela Cia. Nacional de Mineração Candiota - CNMC, os estudos constaram de:

- ensaios de cominuição;
- ensaios de lavabilidade;
- ensaios de degradabilidade;
- classificação em ciclones; e
- ensaios de aglomeração seletiva.

Com os ensaios de cominuição, objetivou-se avaliar a liberação da matéria carbonosa nas frações superiores a 1 mm. Os graus de britagem ensaiados foram a 76 mm (3"), 51 mm (2"), 25 mm (1") e 12,5 mm (1/2").

Para os diferentes graus de britagem aplicadas à amostra, constatou-se que mais de 90% da massa se distribui nas frações granulométricas acima de 0,074 mm (200 malhas), efetuando britagens cuidadosas, para evitar a produção excessiva de finos. Com relação à liberação da matéria carbonosa, verificou-se que os teores de cinzas das diversas frações granulométricas permaneceram praticamente constantes para as frações acima de 1 mm, evidenciando a degradação conjunta da matéria carbonosa e da matéria mineral, portanto sem liberação significativa da matéria carbonosa. Na fração 1 x 0,147 mm houve uma pequena redução do teor de cinzas. Na britagem a 12,5 mm, aumentou a participação do material carbonoso nas frações ultrafinas, evidenciado pelo menor teor de cinzas, quando comparado com as outras cominuições efetuadas.

Os resultados dos ensaios de lavabilidade podem ser vistos nas Figuras 12 e 13, onde são apresentadas as curvas de lavabilidade segundo Mayer (curvas M) para as frações 25,4 x 1,0 mm e 1 x 0,074 mm. Por estas curvas, verifica-se que a recuperação para obtenção de produto com 35% de cinzas é de 13,8%, para

fração 25,4 x 1,0 mm; e para a fração 1 x 0,147 mm, a recuperação nas mesmas condições anteriores, é de 11,0%, formando um total de 24,8% de recuperação total para um produto com 35% de cinzas. Os teores de enxofre baixaram de 3,33% para 1,92%, na fração 25,4 x 1 mm; e de 1,48% para 1,05 para a fração 1 x 0,074 mm, demonstrando que a pirita encontra-se, preferencialmente, nas partículas grosseiras.

Os ensaios de degradabilidade foram realizados em repouso e em movimento, a seco e a úmido somente no segundo caso. Os ensaios em repouso demonstraram que a matéria carbonosa e matéria mineral degradaram-se igualmente, pois o teor de cinzas das frações granulométricas não variou ao longo do tempo. Os ensaios em movimento mostraram que, tanto na degradabilidade a seco como a úmido, a matéria mineral e a matéria carbonosa degradam-se também igualmente.

De uma análise global dos resultados, constatou-se que a degradabilidade é mais acentuada na condição à seco. Este resultado surpreendeu.

Os ensaios de ciclonagem com os finos -0,074 mm (200 malhas) não foram satisfatórios, como era de se esperar, em função da degradabilidade do carvão.

Os ensaios de aglomeração seletiva foram realizados com as frações 0,074 x 0 mm e 1 mm x 0. Os resultados, em nenhum dos casos, foram satisfatórios. Estes resultados já eram esperados, pois, como já foi abordado anteriormente, trata-se de um carvão de baixo "rank", portanto de baixa hidrofobicidade e que a estas granulometrias não há ainda uma liberação satisfatória da matéria mineral em relação a matéria carbonosa.

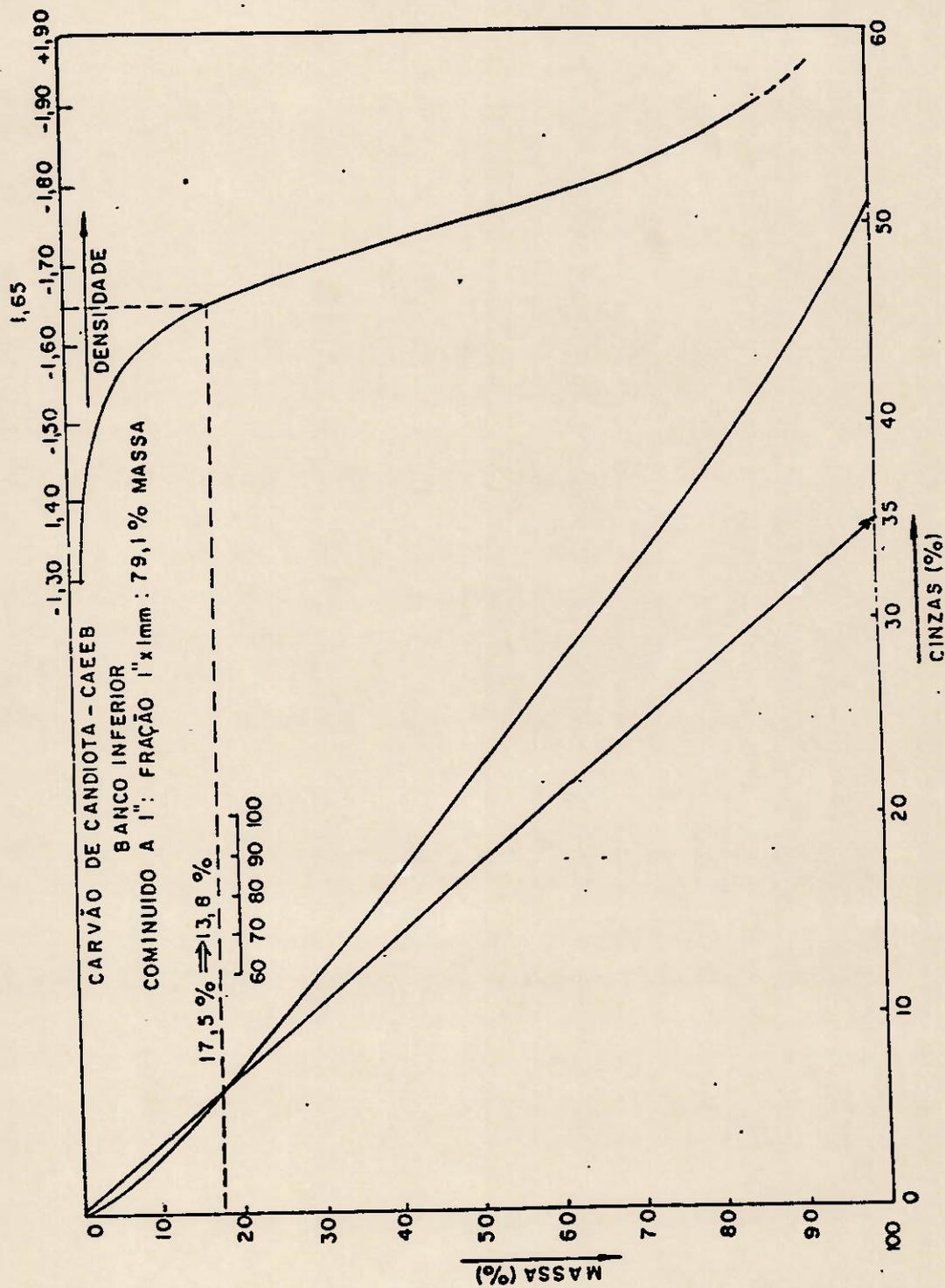


Fig. 12— CURVAS M PARA A FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA 1" x 1mm

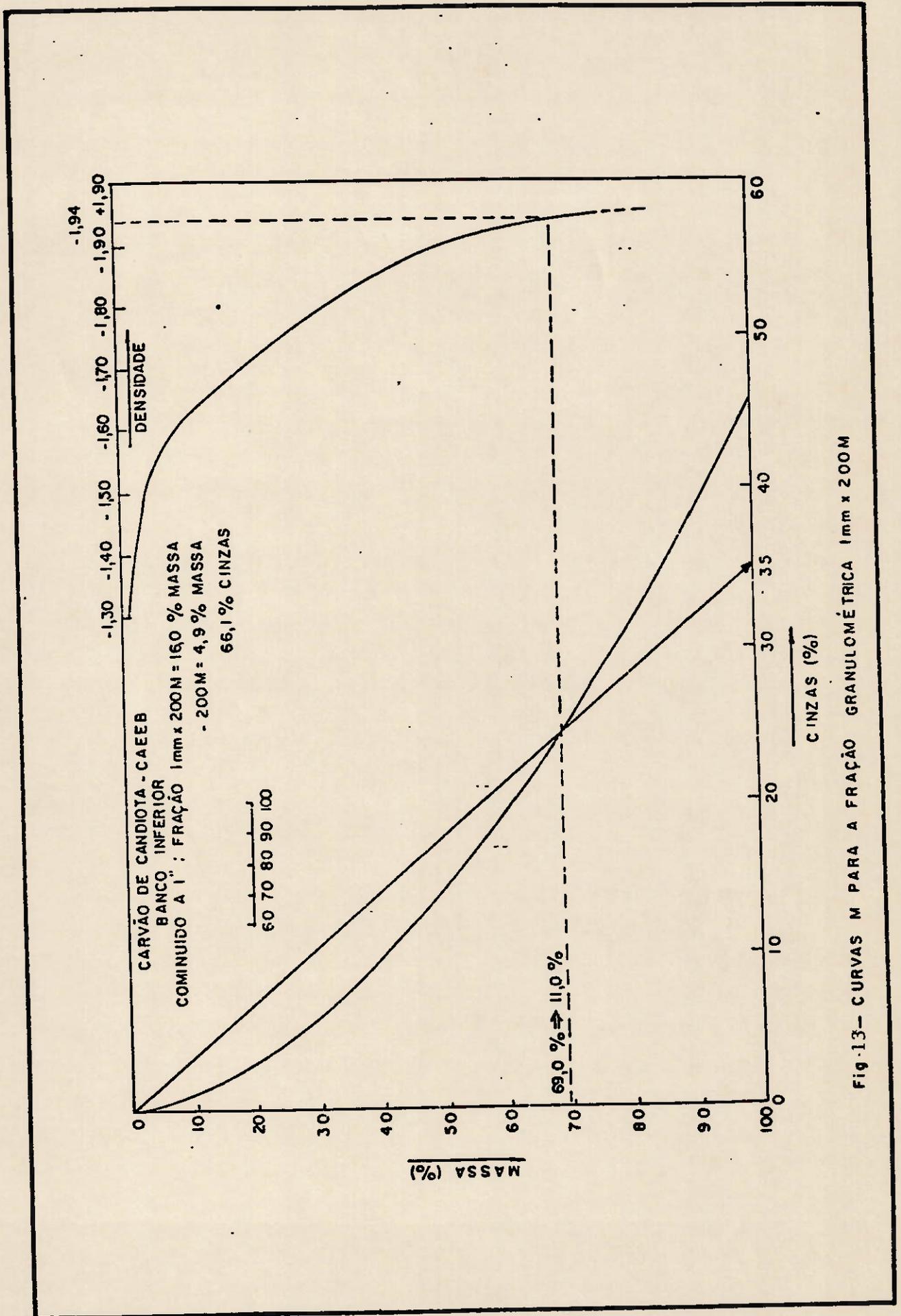


Fig. 13- CURVAS M PARA A FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA 1mm x 200M

9. ENSAIOS INDUSTRIAIS REALIZADOS COM O CARVÃO DE CANDIOTA(37,38,39,40)

Os ensaios de beneficiamento industrial realizados com o carvão de Candiota tiveram como objetivo avaliar o comportamento deste carvão, quando beneficiado a granulometrias grosseiras, usando métodos convencionais de beneficiamento, em escala contínua, à base de jígues e ciclones de meio denso, para a produção de uma fração nobre. Esta fração nobre devendo ser um produto com 35 a 42% de cinzas, correspondendo a valores de poder calorífico da ordem de 4.700 e 4.200 kcal/kg, respectivamente. A quase totalidade dos ensaios(37,38,39) foi conduzida pela CRM ou a CRM em conjunto com outras empresas interessadas em viabilizar o beneficiamento do carvão de Candiota. A maioria destes ensaios foi realizada nos lavadores da Mina do Leão I (jigue) e da Aços Finos Piratini (ciclones de meio denso).

Os resultados dos vários ensaios realizados no período de 1974 a 1988, mostraram os resultados descritos a seguir:

a) Ensaios em Ciclones de Meio Denso - britagem a 25,4 mm (1").

A recuperação, em massa, da fração nobre com 35% de cinza, foi em torno de 23%, beneficiando a camada superior. Para uma fração nobre com 39% de cinzas a recuperação foi em torno de 26%, beneficiando "run of mine", britado a 25,4 mm (1").

Com relação à recuperação da fração termoelétrica, obtida como um produto misto neste beneficiamento, esta foi de 32 a 46%, para um produto contendo, em média, 53% de cinzas, no caso do produto nobre ser de 35% de cinzas. E no caso da obtenção do produto nobre com 39% de cinzas, o produto misto obtido teve um rendimento mássico de 44%, com teor em cinza de 56% (muito alto). O rebaixamento do enxofre foi de 2,3% para menos de 1%.

b) Ensaio no jigue Baum da Mina do Leão I

b.1 - britagem a 50 mm - fração 50 x 3 mm

A recuperação em massa, beneficiando a camada superior, foi em torno de 21% para uma fração nobre com 35,0%. A fração termoelétrica para este caso, teve um rendimento de 58% para um produto de 51% de cinzas. O rebaixamento do teor de enxofre também foi bom; baixou para menos de 1%, no produto nobre.

O beneficiamento da camada inferior deu os seguintes resultados: Recuperação de 17%, na obtenção de um produto nobre com 38% de cinzas. O teor de enxofre nesta fração foi de 0,8%. A fração termoelétrica para este caso, teve uma recuperação de 78%, para um produto com 53% de cinzas.

b.2 - britagem a 25 mm - fração: 25 x 3 mm

A recuperação foi de 14,5% de produto nobre, com 35% de cinzas. A fração termoelétrica teve um rendimento de 81% para um produto com 53% de cinzas.

Os resultados destes ensaios propiciaram a obtenção das informações necessárias, segundo a CRM, à confirmação da aplicabilidade dos métodos empregados (convencionais) na obtenção do produto nobre.

Um outro ensaio industrial foi realizado em um jigue do lavador da mina do Capané⁽⁴⁰⁾, pertencente à Carbonífera Palermo, utilizando amostra de carvão de Candiota, fornecida pela CNMC (Cia. Nacional de Mineração Candiota).

Devido às precariedades das instalações e conseqüentemente pelas dificuldades encontradas na realização do ensaio, os resultados não foram bons e pouco conclusivos. O que salvou deste ensaio, foi mostrar que, mesmo nas condições citadas, a redução do teor de enxofre foi fácil através do descarte da pirita.

10. IMPORTÂNCIA DO BENEFICIAMENTO E INDICAÇÃO DE ROTAS PARA O MESMO.

Atualmente, como já foi mencionado, pode se considerar que todo o carvão de Candiota é, simplesmente, cominuído e queimado como carvão termoelétrico, sem sofrer nenhum processo de beneficiamento. Concentrados com 35% de cinzas possuem preço três vezes maior que o carvão termoelétrico. *Os estudos de lavabilidade mostram que é possível recuperar cerca de 30% do ROM com carvão de 35% de cinzas, que poderiam ser recuperados em uma usina de beneficiamento e que, no entanto, são vendidos como carvão para uso termoelétrico.*

Com a produção esperada para a próxima década de 30 milhões de toneladas/ano, poderiam ser produzidos 9 milhões de toneladas/ano de carvão com 35% de cinzas, que poderiam suprir o mercado cimenteiro, bem como outros segmentos da indústria brasileira.

Um outro fator que deve ser considerado é o que se refere ao problema ambiental. O carvão ROM atualmente utilizado no complexo termoelétrico de Candiota tem em torno de 1,2% de enxofre. Os projetos de expansão das termoelétricas, certamente agravarão os problemas de poluição na região, como, por exemplo, o das chuvas ácidas. No caso da instalação de uma usina de beneficiamento, o produto (misto) a ser queimado nas termoelétricas conterà, no máximo, a metade do teor de enxofre do carvão ROM.

Estudos realizados pela CNMC, em 1989, mostraram que é possível a utilização de carvão de Candiota com 35-47% de cinzas na indústria cimenteira. Caso esta afirmação seja ratificada e aceita por todas as indústrias cimenteiras do país, o beneficiamento do carvão de Candiota torna-se mais viável, técnica e economicamente.

Sobre as rotas de beneficiamento mais indicadas para o carvão de Candiota, levando em conta suas características tecnológicas, serão consideradas as seguintes:

Rota 1 - Beneficiamento em Dynawhirpool - DWP (Anexo 3)

O beneficiamento em DWP tem a vantagem de minimizar a degradação granulométrica do carvão; característica muito importante, levando em conta a friabilidade do carvão de Candiota. Este beneficiamento deve ser feito em dois estágios, onde o 2º estágio processa o carvão pré-lavado no primeiro DWP. Estes estágios de DWP poderão ser substituídos pelo tratamento em um mesmo equipamento; que é o Tri-flo. O Tri-flo nada mais é, na prática, do que o acoplamento de dois DWP(s). Em termos operacionais, o Tri-flo parece ser o mais indicado.

Usando Tri-flo ou DWP em dois estágios, três produtos serão obtidos:

- carvão lavado, para as cimenteiras e outros;
- misto, para as termoelétricas; e
- rejeito final.

Rota 2 - Beneficiamento em jiges especiais (Anexo 4)

Estes jiges têm uma pulsação mais uniforme e melhor distribuída em toda a câmara do jigue, propiciando, assim, um melhor desempenho do equipamento, na obtenção dos produtos que se quer obter. Exemplos desses jiges são: o Batac, de fabricação da Humboldt Wedag, na Alemanha; e jigue de fabricação de MAN-G.H.H, também na Alemanha. Nestes jiges podem ser obtidos 3 ou mais produtos.

Rota 3 - Beneficiamento em mesas pneumáticas "Berry" (Anexo 5).

Estas mesas, cuja patente é francesa, têm mais aparência de um jigue do que de uma mesa tradicional de concentração.

O beneficiamento do carvão de Candiota nestas mesas pneumáticas teria as seguintes vantagens:

- de ser a seco, portanto próprio para a região de Candiota que não dispõe de muita água;
- o beneficiamento não necessitaria das etapas de desaguamento (espessamento e filtragem) dos produtos grosseiros, que normalmente são onerosas;
- outra vantagem muito importante desse beneficiamento a seco, é que o carvão de Candiota sendo bastante degradável, produz uma quantidade considerável de finos, que não necessitaria de etapas de desaguamento, que são onerosas, mais problemáticas e mais poluentes;
- a alimentação pode ser grosseira, em torno de 30 mm;
- a grande desvantagem do uso dessas mesas está na sua baixa capacidade de tratamento, que é de 80 t/h por unidade. Porém o problema pode ser solucionado com o uso de duas unidades em paralelo.

No sul da Alemanha, na região do Saarland, perto da cidade de Saarbruecken, existe um instalação de beneficiamento a seco utilizando essas mesas, que está funcionando muito bem, produzindo carvão com 40% de cinzas para uso em termoelétricas. A opção por este tipo de beneficiamento, foi devido a problemas ambientais na região. Outros processos convencionais de beneficiamento certamente não seriam aprovados pela população local.

11. CONCLUSÃO

- Por ser a jazida de Candiota, a maior reserva de carvão brasileira, o carvão extraído desta jazida deve ser beneficiado com a finalidade de obtenção de produtos mais nobres para aplicações nas indústrias cimenteira e outras, além de ser usado apenas em termoelétricas, como é atualmente.
- Os estudos de lavabilidade mostraram que é possível a obtenção de produtos com 35% e 47% de cinzas, que atendam as especificações das indústrias cimenteiras, com recuperações em massa (teóricas) em torno de 30% para o 1º caso. No caso da obtenção do produto com 35% de cinzas, há ainda a produção de uma fração mista com teor de cinzas em torno de 53% que pode continuar sendo fornecida às termoelétricas, com a vantagem em relação ao "run of mine" atualmente utilizado, de ter teor de enxofre bem mais baixo (< 1,0%). Os ensaios industriais realizados mostraram a viabilidade técnica deste beneficiamento com o carvão de Candiota. No caso da obtenção da fração com 47% de cinzas, não se obtém recuperação adicional de fração mista, porém a recuperação teórica deste produto é da ordem de 80%.
- A britagem a 12,5 mm (1/2") foi a que deu melhores resultados, de um modo geral, em termos de recuperação em massa, aliado a teores de cinza e enxofre compatíveis; e foi também a que apresentou menor produção relativa de finos .
- As camadas superior e inferior do carvão de Candiota apresentam características de lavabilidade diferentes, sendo que a camada superior tem características de lavabilidade bem melhores que a camada inferior. Devido a isso, no caso do beneficiamento para obtenção de uma fração

- nobre, este beneficiamento deve ser feito com a camada superior, devido as suas melhores características de lavabilidade.
- A distribuição do enxofre é diferente nas camadas superior e inferior. Na camada superior ele se localiza mais na base da camada.
 - O carvão de Candiota é bastante friável. Por isso qualquer projeto de usina de beneficiamento para beneficiá-lo não pode deixar de lado este fato, pois é um carvão que degrada muito facilmente durante o processo de separação e manuseio e também na estocagem, principalmente se esta for por um tempo mais prolongado. A sua degradação granulométrica durante os ensaios de beneficiamento foi estimada em 15%. A camada superior sendo mais friável que a inferior.
 - A distribuição das cinzas nas diferentes frações granulométricas é mais ou menos uniforme, sendo menor na faixa de $-0,6 + 0,075$ mm, e bem mais elevada na fração abaixo de 0,075 mm.
 - Devido às características tecnológicas do carvão de Candiota, o equipamento mais indicado para o seu beneficiamento parece ser mesmo o DWP ou o TRI-FLO, pelas características de funcionamento destes equipamentos. O TRI-FLO talvez seja o mais indicado pela possibilidade que este equipamento tem de fornecer um produto misto. Dois DWP(s) acoplados em série, também atenderiam a este requisito, porém a instalação tornar-se-ia mais complicada.
 - Outros equipamentos devem ser testados, como o beneficiamento a seco em mesas Berry e no jigge Batac, ou similar.
 - O problema maior do carvão de Candiota é a infraestrutura de transporte, pois este inviabilizará a colocação do produto, para cimenteiras

localizadas mais distantes do local de produção, se continuar na situação em que se encontra atualmente.

- Uma outra solução para o carvão de Candiota seria talvez misturá-lo com carvões importados de melhores qualidades, pois assim, ele poderia alcançar mercados mais distantes, e certamente seria competitivo em termos de preço, devido ao carvão de Candiota, ser um carvão de baixo custo de extração.
- O projeto de uma usina de beneficiamento para o carvão de Candiota deve atentar para diferentes características de lavabilidade das camadas superior e inferior, e à diferente distribuição do enxofre nelas.
- O beneficiamento do carvão de Candiota mostrou que é possível um bom rebaixamento do teor de enxofre, mesmo usando equipamentos convencionais de separação gravítica de relativamente baixo custo (Jigue Baum).
- Devido a quantidade de finos produzidos nas etapas de cominuição e manuseio, o circuito de finos torna-se indispensável, e se este beneficiamento for a úmido, este circuito deve ser à base de ciclones autógenos, seguidos de etapas de separação sólido/líquido, para recirculação de água no circuito. A recuperação da fração fina (-0,5 + 0,074) mm, para obtenção de um produto com 35% de cinzas, varia na faixa de 4,5 a 6,0%, através de processos gravíticos de separação.
- Uma alternativa mais simples e menos onerosa poderia constar de deslamagem dos finos e mistura destes com as frações grosseiras para uso em termoelétricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NAHUYS, J. Resultado obtido de aplicação dos princípios da petrografia moderna ao estudo dos carvões brasileiros. Porto Alegre: Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul, 1967. (Boletim n.40).
2. SAMPAIO, C. H., VILELA, A.C.F., MILTZAREK. Carvão industrial no Brasil: situação atual e perspectivas futuras. Revista da Escola de Minas de Ouro Preto, v.42, n.4, p. 293-296, out/dez. 1994.
3. BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Brasília: DNPM/MME, 1994.
4. SUMARIO MINERAL. Brasília: DNPM/MME, 1993. v. 13.
5. RAMOS, J. R. de A. Nota Preliminar sobre o carvão metalúrgico descoberto pela CPRM. Palestra proferida na SEMOP, Ouro Preto-MG, nov. 1980.
- 6 CAMPOS, A. R. de. "High ash content coal: the brazilian case". In: SEMINÁRIO AACHEN (RWTH)/CETEM, Aachen, 1994.
7. CHAVES, A.P. Estado da arte do beneficiamento do carvão no Brasil. In: CONGRESSO ITALO BRASILEIRO EM ENGENHARIA MINERA, Cagliari - Itália, 1992, Anais.
8. NAHUYS, J., CÂMARA, M.R. de S. Carvão de Candiota suas: características químicas e petrográficas. Porto Alegre: Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul, 1972. (Boletim n.59).
9. SAMPAIO, C.H., JABLONSKI, A., PETER, C.O. Beneficiamento dos finos de carvão de candiota por hidrociclonagem. Acta Geológica Leopoldênsia, São Leopoldo, v.13, n. 31, 1990.
10. SCHNEIDER, A. W. Contribuição ao estudo dos principais recursos minerais do Rio Grande do Sul. Revista da CRM - Cia Riograndense de Mineração, 1978.
11. SAMPAIO, C.H. Caracterização para o beneficiamento do carvão de candiota. Dissertação Mestrado em Engenharia Metalúrgica - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983.
12. HITASHI ZOSEN CORPORATION. - Report of Experiments on De-Ashing of Brazil Coal - O.A Method Application Test Results. Japan: (s.h.), (s.d.) (Plus Report File, 30).
13. ALBUQUERQUE, G.A.S.C., PARANHOS NETO, A.P.S., BRINCKMANN, F.A., et al. Indústria carbonífera: conveniência e viabilidade de sua recuperação. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1993. (RP,23/93).
14. REVISTA BRASIL MINERAL, São Paulo, v.11, n. 123, nov. 1994. (Alves, F., Aos 25 anos, a CRM tem novos planos, p. 19 - 22).

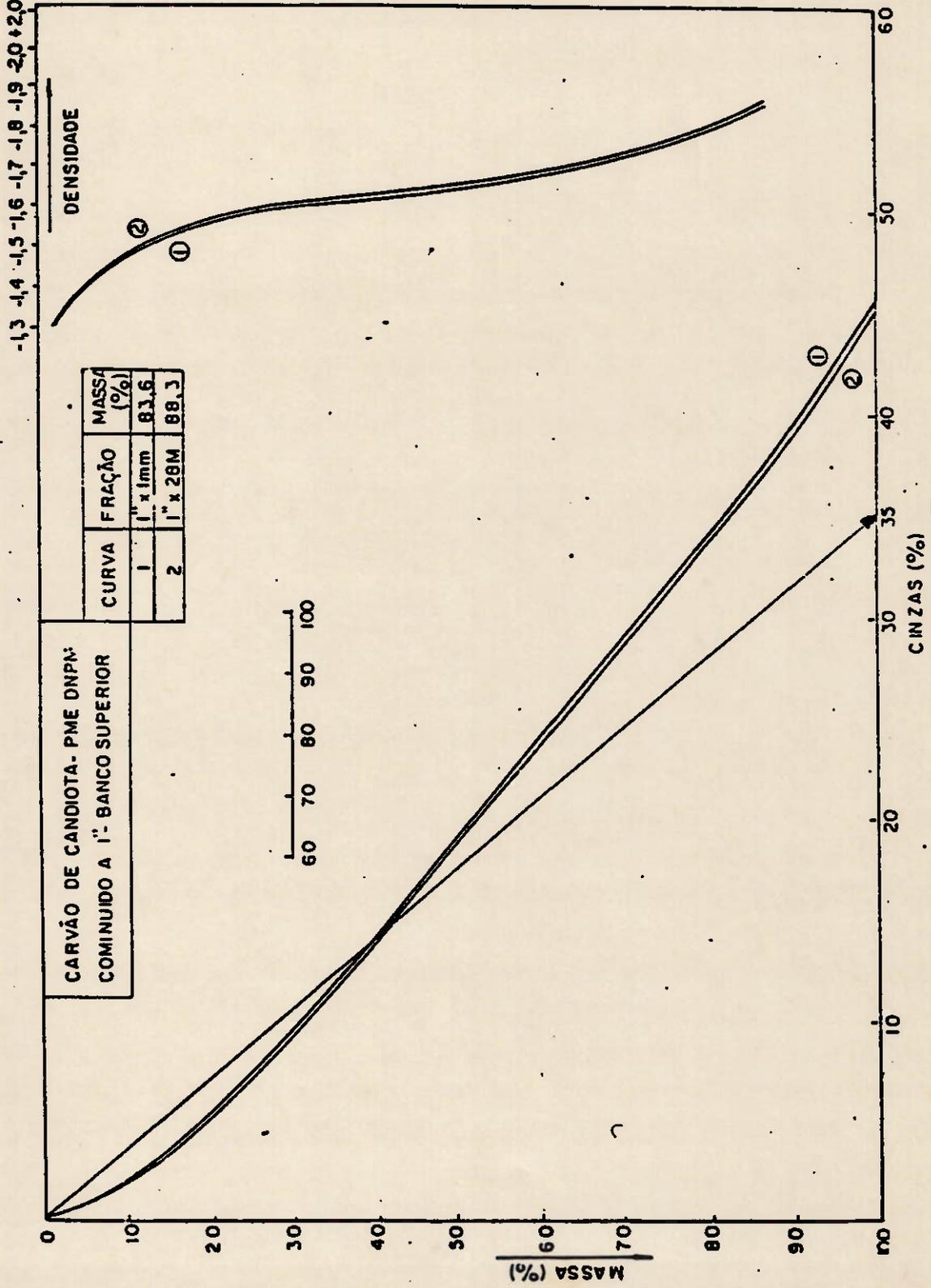
15. SOUZA, J.C., SAMPAIO, C.H., KLIEMANN NETO, F.J. Estudo de viabilidade econômica preliminar de alternativas para o beneficiamento do carvão de Candiota - Brasil, Porto Alegre: PPGEMM/UFRGS, 1992.
16. SAMPAIO, C.H., JABLONSKI, A., AMARAL, H.V.F. Perspectivas de beneficiamento do carvão de Candiota, Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, v. 44, n. 1, 1991.
17. CAMPOS, A.R. de, et al. Compatibilização entre a expansão da oferta e demanda de carvão mineral, a política nacional do meio ambiente e a legislação ambiental brasileira. In: Protocolo do carvão, relatório da subcomissão de tecnologias. Rio de Janeiro: SNIEC, 1992.
18. CARRISSO, R.C.C., SEVERIN, P., CAMPOS, A.R. de. Testes de lavabilidade e degradabilidade dos carvões do Leão e de Candiota. Rio de Janeiro: CETEM, mar. 1982. (RT, 21/82).
19. POSSA, M.V., SEVERIN, P. Estudos de caracterização e beneficiamento do carvão de Seival (Candiota). Rio de Janeiro: CETEM, abr. 1982. (RT, 18/82).
20. BERGMANN, C.P. Beneficiamento de finos de carvão por aglomeração Oleosa. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1982.
21. CHAVES, A.P. Estrutura e comportamento dos carvões. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo - USP/EPUSP, 1972.
22. PORPHÍRIO, N. H. Petrografia dos carvões brasileiros. Rio de Janeiro: Seminário no CETEM. . jun. 1981.
23. POSSA, M.V., COUTINHO, L. E., CAMPOS, A.R. de. Estudos de caracterização do carvão de Candiota: camadas superior e inferior. Rio de Janeiro: CETEM, 1984. (RP, 25/84).
24. NAHUYS J. Classificação de carvões. Revista Engenharia. n. 433.
25. CHAVES, A.P. Apostila do Curso beneficiamento de carvões. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, [s.d.]. (PMI, 892).
26. JABLONSKI, A., SAMPAIO, C.H., PEREIRA NETO, J. Oxidação de carvões estocados em pilhas: caso de Candiota. Acta Geológica Leopoldênsia, São Leopoldo, v.14, n.34, 1991.
27. CHAVES, A.P., POSSA, M.V. Beneficiamento do carvão de candiota em dynawhirlpool. In: ENCONTRO DO HEMISFÉRIO SUL, Rio de Janeiro, dez. 1982. Anais. p.9-15.
28. POSSA, M.V. Investigações com finos de carvão de Candiota em jigge especial realizadas na Universidade Técnica de Aachen, República Federal da Alemanha. Rio de Janeiro: CETEM, mar. 1983. (RI, 30/83).

29. PROJETO de Pré-viabilidade de Exploração e Beneficiamento do Carvão de Hulha Negra (Candiota). Rio de Janeiro: PROMON, jun. 1981.
30. RELATÓRIO Resumido das Conclusões do Estudo sobre Carvões Brasileiros. São Paulo: Paulo Abib Engenharia, set. 1977.
31. PROJETO Conceitual de Exploração e Beneficiamento do Carvão de Hulha Negra (Candiota). Rio de Janeiro: PROMON, nov. 1982.
32. ALMEIDA, S.L.M de, PINHÃO, C.M.A. Estudos de caracterização do carvão de Hulha Negra realizados em testemunhos de sondagem. Rio de Janeiro: CETEM, 1981. (RT, 28/81).
33. POSSA, M.V. Estudo tecnológico do aproveitamento integral e racional do carvão de Candiota. Rio de Janeiro: CETEM, 1981.
34. POSSA, M.V. Projeto estudo com carvão da jazida de Candiota. Rio de Janeiro: CETEM, dez. 1983. (RP, 23/84).
35. GUERRA, E. A.. Caracterização do carvão da Mina de Seival/RS para utilização da indústria cimenteira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO, Porto Alegre,-RS, Dez. 1989. Anais.
36. POSSA, M.V. , COUTINHO, L. E., CAMPOS, A.R. de Definição de parâmetros para o beneficiamento do carvão de Candiota, Rio de Janeiro: CETEM, jan. 1995.
37. DUARTE, C. F. Lavabilidade do carvão da Mina de Candiota em escala industrial com o emprego de processos gravimétricos - jigue e meio denso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO, Porto Alegre, RS, Dez. 1989. Anais.
38. LEUSIN, J.C. Teste de lavabilidade do carvão de candiota no "JIG" da Mina do Leão I. Porto Alegre: Cia. Riograndense de Mineração, (s.d.)
39. ARAUJO, S. F. de, MAYER, W., DUARTE, C. F. Testes de beneficiamento em escala industrial com o carvão da Mina de Candiota: banco superior, nos lavadores de aços finos Piratini (Meio Denso) e da Mina do Leão I (Jigue). Mar. 1987.
40. ANDREIS, G. J. Beneficiamento do carvão de candiota produzido pela Cia Nacional de Mineração Candiota, no lavador da Mina Capané, da Carbonífera Palermo. Relatório de Acompanhamento. Jan. 1987.

ANEXO 1

CARVÃO DE CANDIOTA - PME DNPA:
COMINUIDO A 1º - BANCO SUPERIOR

CURVA	FRAÇÃO	MASSA (%)
1	1" x 1mm	83,6
2	1" x 28M	88,3

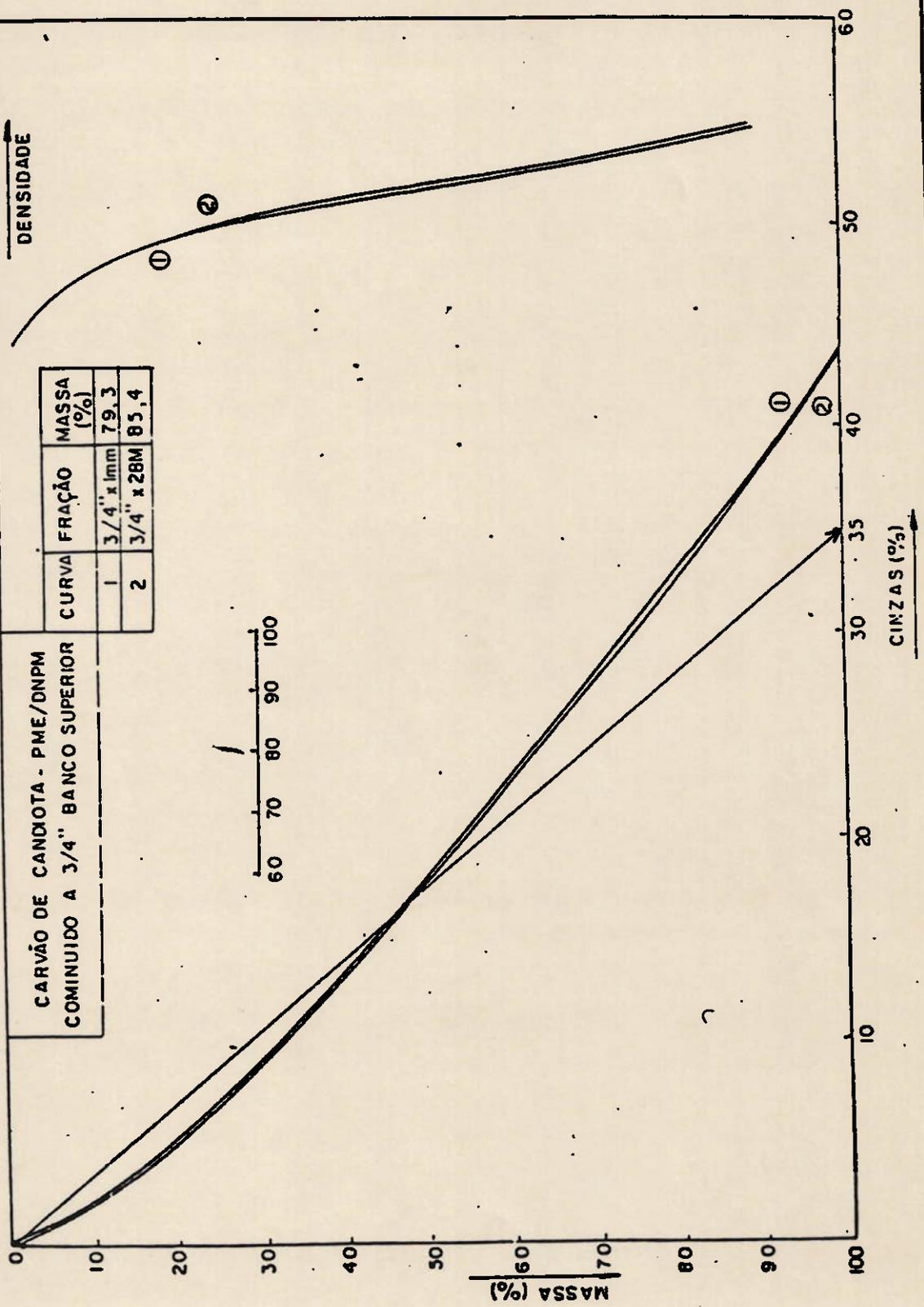


-1,3 -1,4 -1,5 -1,6 -1,7 -1,8 -1,9 -2,0-2,0

DENSIDADE

CURVA	FRAÇÃO	MASSA (%)
1	3/4" x 1mm	79,3
2	3/4" x 28M	85,4

CARVÃO DE CANDIOTA - PME/DNPM
COMINUIDO A 3/4" BANCO SUPERIOR



CINZAS (%)

MASSA (%)

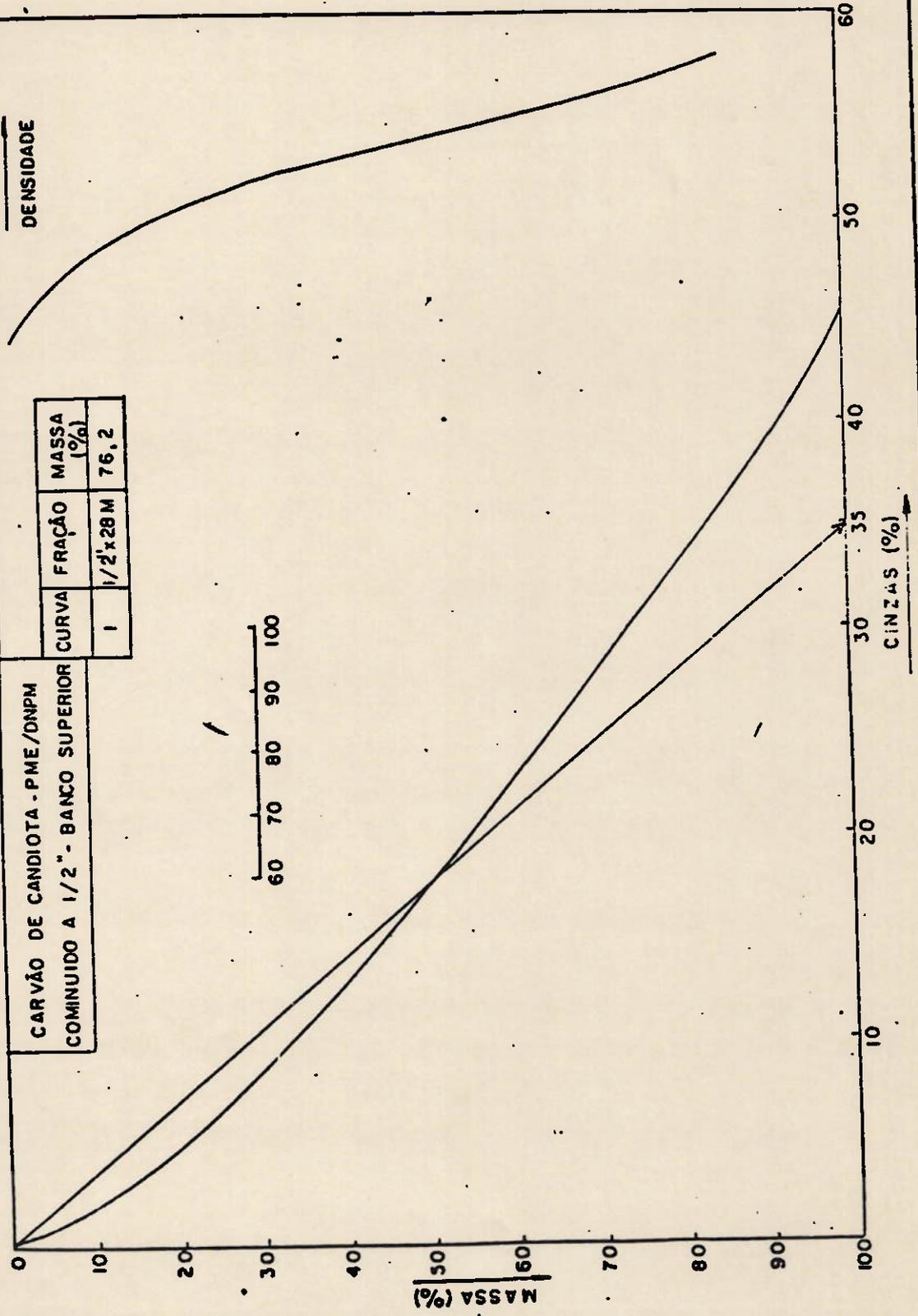
-1,3 -1,4 -1,5 -1,6 -1,7 -1,8 -1,9 -2,0,20

DENSIDADE

CURVA		FRAÇÃO		MASSA (%)	
1		1/2'x28M		76,2	

CARVÃO DE CANDIOTA - PME/DNPM
COMINUIDO A 1/2" - BANCO SUPERIOR

60 70 80 90 100



CINZAS (%)

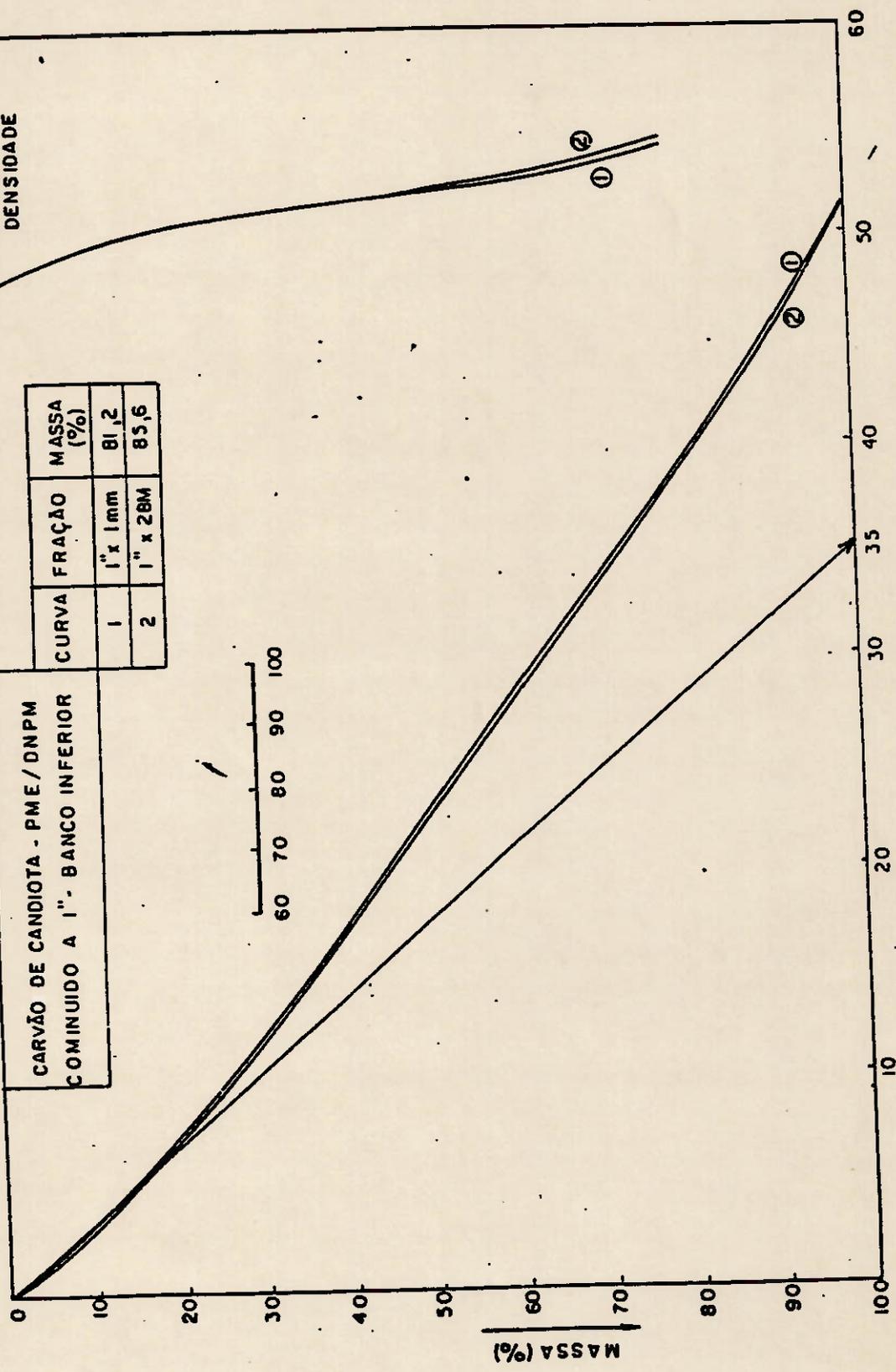
MASSA (%)

1,3 - 1,4 - 1,5 - 1,6 - 1,7 - 1,8 - 1,9 - 2,0 - 2,0

DENSIDADE

CARVÃO DE CANDIOTA - PME / DNPM
COMINUIDO A 1" - BANCO INFERIOR

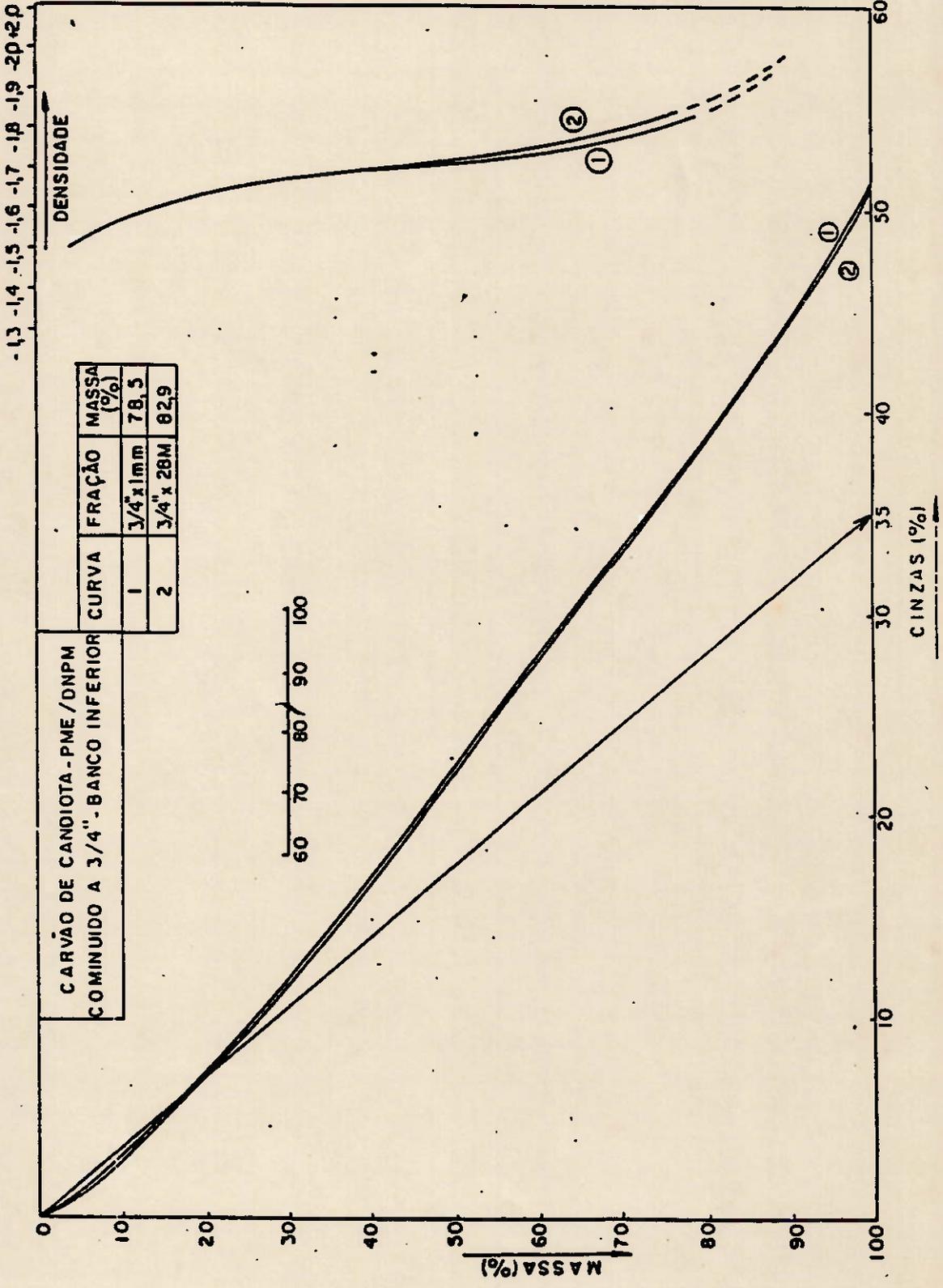
CURVA	FRAÇÃO	MASSA (%)
1	1" x 1mm	81,2
2	1" x 28M	85,6



CUIZAS (%)

CARVÃO DE CANDIOTA - PME / DNPM
 COMINUIDO A 3/4" - BANCO INFERIOR

CURVA	FRAÇÃO	MASSA (%)
1	3/4" x 1mm	78,5
2	3/4" x 28M	82,9



DENSIDADE

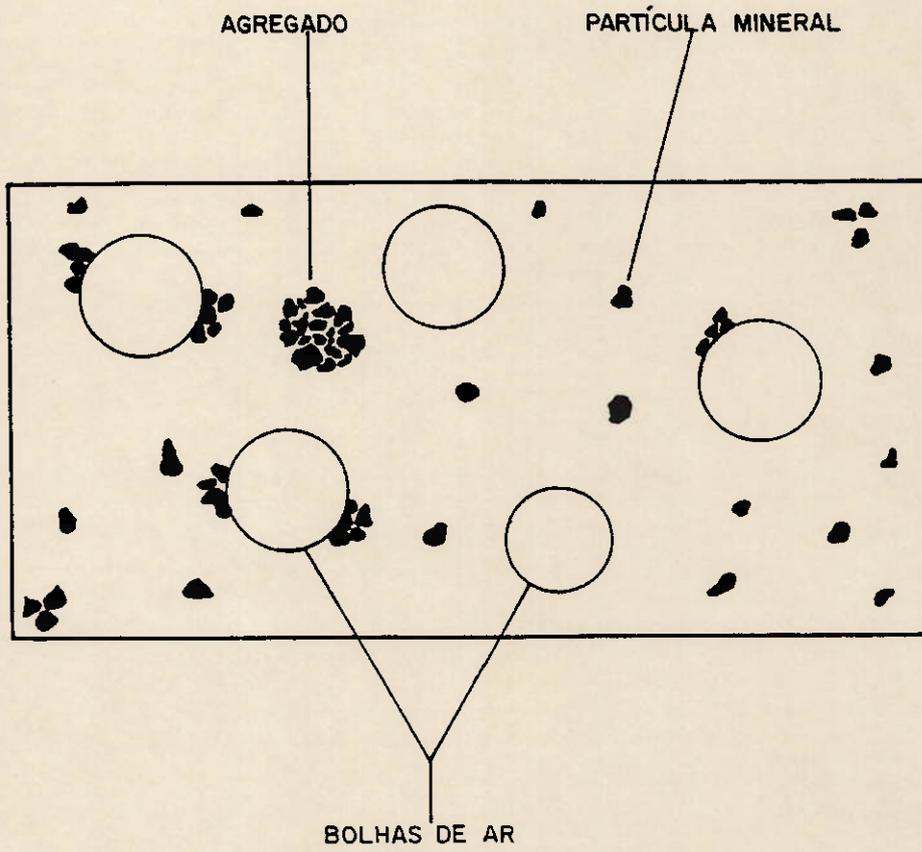
-1.3 -1.4 -1.5 -1.6 -1.7 -1.8 -1.9 -2.0

60 70 80 90 100

MASSA (%)

CINZAS (%)

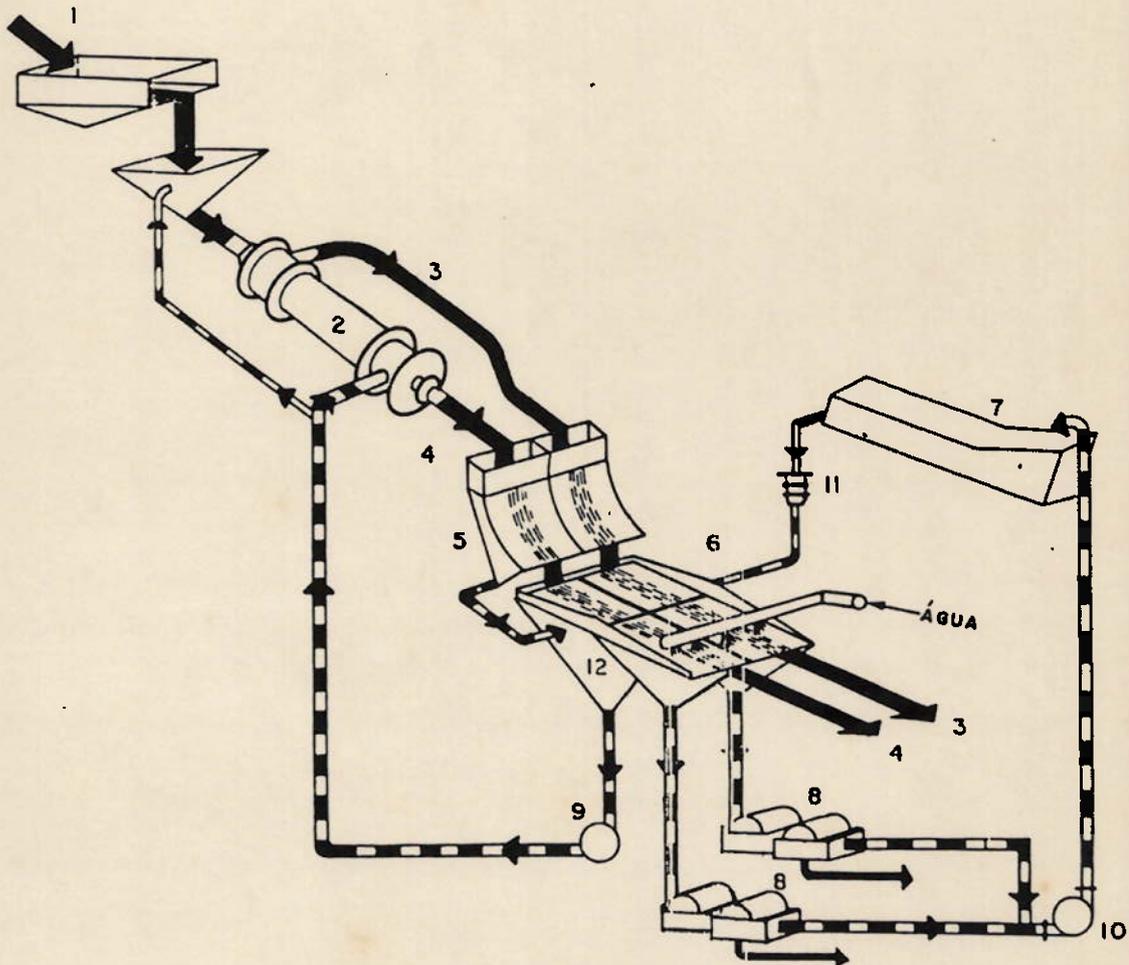
ANEXO 2



MECANISMO DA FLOTAÇÃO AGLOMERANTE

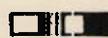
ANEXO 3

- CIRCUITO TÍPICO DE SEPARAÇÃO POR DENSIDADE NO DYNA WHIRLPOOL PROCESS (D.W.P)



- 1 - ALIMENTAÇÃO
- 2 - D.W.P
- 3 - AFUNDADO
- 4 - FLUTUADO
- 5 - PENEIRAS D.S.M
- 6 - PENEIRAS PARA LAVAGEM
- 7 - DENSIFICADOR
- 8 - SEPARADOR MAGNÉTICO
- 9 - BOMBA DE MEIO DENSO
- 10 - BOMBA DE MEIO DENSO DILUIDO
- 11 - BOBINA DESMAGNETIZADORA
- 12 - TANQUE DE MEIO DENSO

LEGENDA

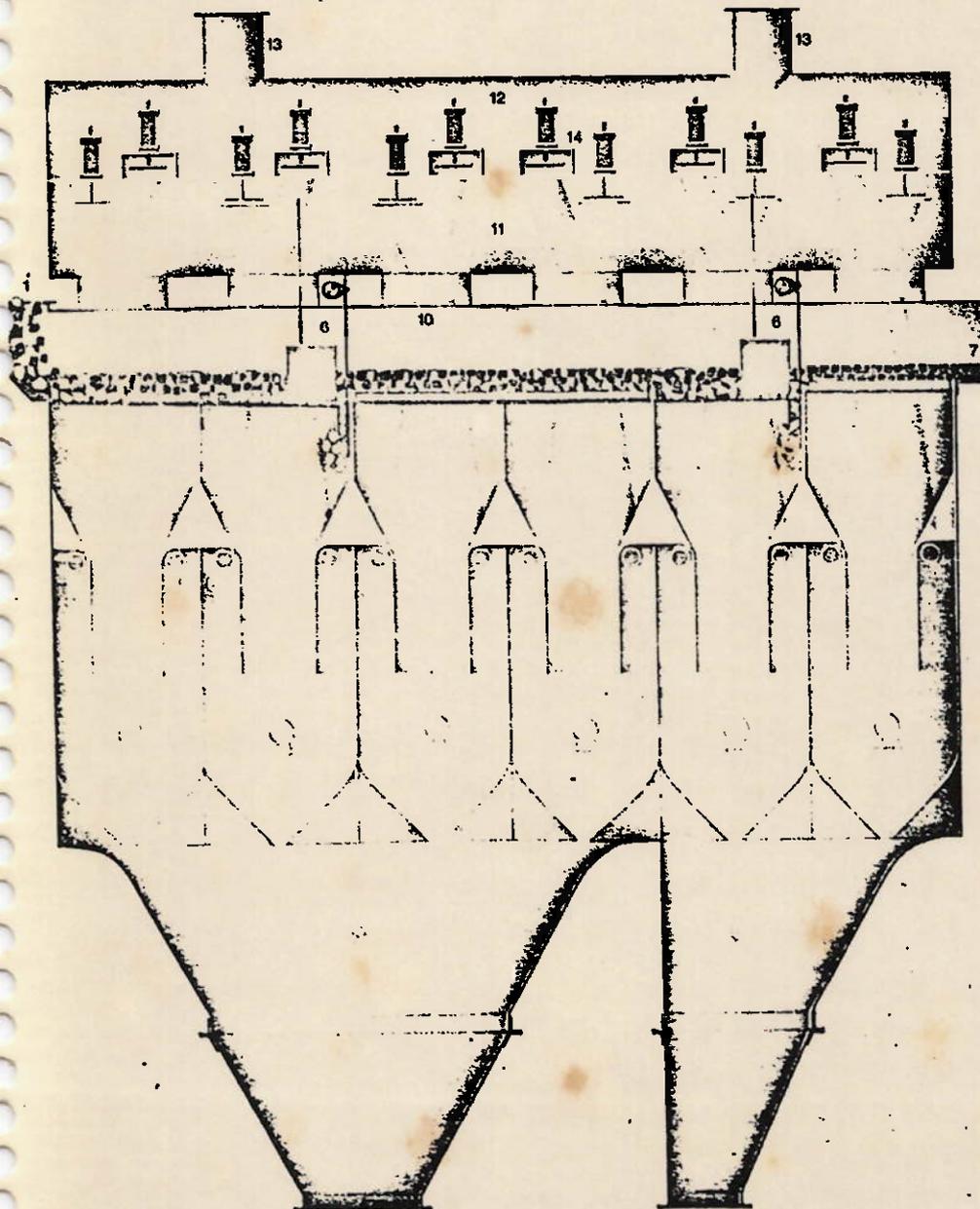
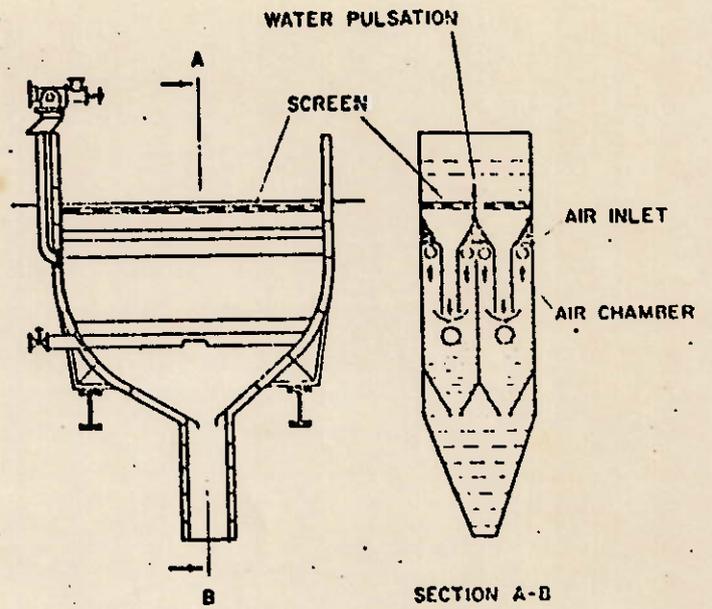
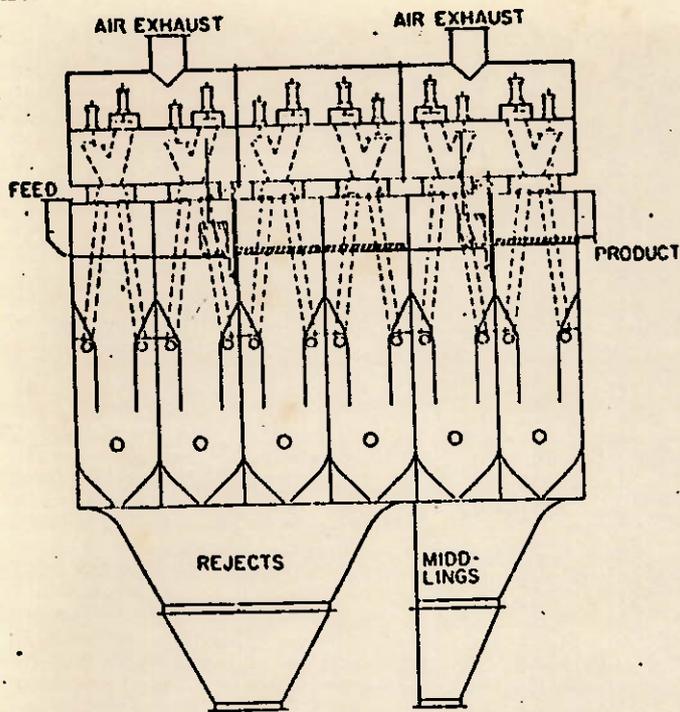


CIRCUITO DE MEIO DENSO



CIRCUITO DE MNÉRIO

ANEXO 4



1. Inlet
2. Refuse discharge
3. Refuse collecting hopper
4. Middling product discharge
5. Middling product collecting hopper
6. Discharge devices
7. Coal outlet
8. Air chambers
9. Back water
10. Air distributing pipes
11. Air distribution chamber
12. Exhaust air collecting chamber
13. Exhaust air pipes
14. Valve control

ANEXO 5

