

MOAGEM DO MINÉRIO DE FERRO DE CARAJÁS PARA PRODUÇÃO DE PELOTAS (01)

Camilo Carlos Silva (02)
Fábio Expedito Duarte (03)
Marcos Goossens (04)
Ronaldo Moreira Horta (05)

RESUMO

Para adequar-se ao pelotamento, o minério de ferro deve ser moído dentro de uma faixa granulométrica estreita. A caracterização tecnológica do minério de Carajás revelou duas distribuições de tamanho de cristais distintos, uma de $20\mu\text{m}$ a $30\mu\text{m}$ e outra criptocristalina, com tamanhos submicrométricos a $10\mu\text{m}$. Na moagem, cada uma dessas fases tende a gerar uma distribuição granulométrica distinta, o que resultaria em uma faixa muito mais ampla que a desejada. Os primeiros estudos de laboratório confirmaram essa tendência, revelando que a classificação seria a fase crítica na moagem.

Os estudos em escala piloto compreenderam a utilização de diferentes F_{80} , de $80\mu\text{m}$ a $4500\mu\text{m}$. Foram testados moinhos de bolas convencionais, moinho de bolas vertical e prensa de rolos, além de diferentes circuitos de classificação.

Os resultados mostraram que o moinho de bolas convencional adapta-se a qualquer das alimentações, enquanto o moinho vertical adequa-se com vantagem ao F_{80} mais fino. A prensa de rolos que trabalha apenas em circuito aberto adequou-se apenas a casos especiais de alimentações já bastante finas.

Palavras Chave: Minério de Ferro, Pellet Feed, Moagem

(01) - Trabalho a ser apresentado no I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro:

Caracterização, Beneficiamento e Pelotização

(02) - Engenheiro de Minas - CVRD/SUTEC

(03) - Engenheiro Agrimensor - CVRD/SUTEC

(04) - Engenheiro de Minas - CVRD/SUMIC

(05) - Engenheiro de Minas - CVRD/SUTEC

1. INTRODUÇÃO

O pelotamento do minério de ferro exige uma adequação granulométrica prévia. Para cada minério é determinada qual a melhor granulometria, normalmente expressa em termos de porcentagem retida em 325 malhas ($45\mu\text{m}$) e em termos de superfície específica medida em equipamento Fisher ou Blaine.

No caso do minério de Carajás, foi estabelecido através de testes, que essa granulometria deveria ter um retido máximo em $45\mu\text{m} \cong 20\%$ e uma superfície específica máxima $\cong 2000 \text{ cm}^2/\text{g}$ (1). Desta maneira eram maximizadas as características de resistência mecânica da pelota queimada. A superfície específica além desse limite provoca trincas na pelota, além de dificultar sobremaneira a filtração, resultando em uma polpa retida com umidade excessiva.

Os estudos iniciais mostraram que, tanto nos testes de bancada quanto nos testes piloto, a superfície específica ultrapassava em muito esse limite, quando a especificação de retido em $45\mu\text{m}$ era atingida. Esse aumento de superfície era tanto maior quanto mais grosseira fosse a alimentação da moagem. Neste projeto pretendeu-se estudar a moagem do pellet feed natural e do próprio sinter feed, que constituía-se no maior problema.

A origem desse fato é a origem supergênica do minério. Seus principais componentes são a hematita criptocristalina, com cristais de tamanho menor que $10\mu\text{m}$, freqüentemente submicrométricos, constituindo cerca de 48% do total; hematita recristalizada e martita, com cristais de tamanho médio por volta de 20 a $30 \mu\text{m}$, constituindo cerca de 45% do total; goethita-limonita com cristais submicrométricos, cerca de 5% do total; além de pequenas quantidades de gibsita e quartzo(2).

Como o fenômeno de moagem infragranular freqüentemente ocorre mais facilmente que o intragranular, existe uma tendência de geração exagerada de finos pela separação dos grãos de hematita criptocristalina e goethita-limonita, sem que haja uma correspondente diminuição do "top-size" onde se concentram a hematita recristalizada e a martita, cujos grãos têm que ser quebrados.

2. METODOLOGIA

Os estudos foram divididos em várias fases, distantes no espaço e no tempo.

Inicialmente foram desenvolvidos estudos de moagem em bancada, quando foi bem caracterizado o problema. Foi feita a determinação do índice de Bond (WI) e levantada a curva granulométrica do minério moído. Foi também determinada a curva de moagem do minério com classificação simultânea, peneirando o material a cada minuto de moagem.

Depois da fase de laboratório, foram iniciados os testes piloto em moinho Denver 16"x32" em circuito fechado com micropeneira. Esse circuito não apresentou bons resultados devido à falta de capacidade e de eficiência da micropeneira. O fato repetiu-se quando foi utilizada uma peneira circular, sendo os resultados dessa fase bastante desanimadores.

Com a orientação do Prof. José Luís Beraldo(3), partiu-se para a moagem no circuito piloto da Superintendência de Pelotização (SUPEL), com moinho de maior porte (1,3m x 2,5m). Cientificados da importância da classificação modificou-se o circuito para receber um hidrociclone CBC de 100mm de diâmetro, modelo AKW - KRB 2311 III-N que seria responsável pela classificação. Não foi possível nesses testes utilizar circuito com pré-classificação, devido a características de projeto da planta. Foram testados tanto o pellet feed quanto o sinter feed. Uma vez que o sinter feed moído excedeu em muito a superfície específica desejada, foi necessária uma deslamagem feita através de hidrociclone de $\phi = 40$ mm.

Posteriormente foram feitos testes de moagem do sinter feed em dois estágios, sendo o primeiro em circuito aberto, devido à dificuldade de montagem de uma classificação nesse estágio. Foi igualmente impossível montar a deslamagem após essa etapa, o que levou um produto com superfície específica ainda maior que em um único estágio.

Com a finalidade de testar o moinho vertical "Vertimill", foi enviada amostra de pellet feed natural para a planta piloto da Svedala, em York, Pensilvannia. O circuito utilizado é mostrado na Figura 1 e constava além do moinho e do equipamento de manuseio, de uma peneira Derrick de alta frequência, responsável pelo fechamento do circuito. Para efeito comparativo, foram feitos testes com o moinho de bolas da mesma planta.

Finalmente foram feitos testes com Prensa de Rolos na KHD Humboldt Wedag, na Alemanha. Em uma bateria inicial de testes foram ensaiados o pellet feed natural e o sinter feed, e em virtude dos resultados iniciais, foi enviada uma segunda amostra de pellet feed natural, mais fina que a primeira, que apresentou melhores resultados.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O fluxograma e o balanço de massas, além das curvas granulométricas dos produtos e as curvas de partição dos melhores testes da planta piloto da SUPEL são mostrados nas Figuras 2 a 7.

Os dados referentes aos melhores testes da planta piloto da Svedala (4) são mostrados na Tabela 1.

Os resultados obtidos com Prensa de Rolos são mostrados na Figura 8(5,6). Essas curvas devem ser tomadas com alguma cautela, pois foram obtidas com o analisador "Cilas", que tem tendência a apresentar resultados mais grosseiros, com a calibração utilizada(6).

A superfície específica de alguns produtos mostrados na Figura 8 não foi determinada, porém pode ser estimada pela equação: $SE=1877+106.2 \cdot P_9$, onde P_9 é a porcentagem passante em $9\mu\text{m}$ (3).

A Tabela 2 resume os dados obtidos em prensa de rolos com uma amostra mais fina de pellet feed.(6).

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta o comparativo energético para os três tipos de moinhos, consideradas as melhores condições obtidas nos testes para cada um deles, alimentados por pellet feed natural.

Devem ser destacados nessa tabela os seguintes fatos:

Para a construção dessas tabelas, foram consideradas algumas premissas, sem as quais os resultados não seriam coerentes:

- O fator EF_3 de Rowland (diâmetro do moinho) foi considerado como 1 em todos os casos de moagem de pellet feed. A moagem do material fino faz-se basicamente por atrição, sem influência dos regimes de cascata ou catarata. Dessa maneira não existiria uma influência do diâmetro do moinho.

- Nos cálculos do moinho vertical não foi utilizado nenhum dos fatores EF, pois os mesmos não se aplicam a esse tipo de moinho. Foi utilizado apenas o fator de "scale-up" recomendado pelo fabricante. No caso particular deste moinho o fator com maior importância seria o EF_7 (relação de redução). A utilização deste fator provoca uma grande diferença no consumo energético comparativo entre o moinho de bolas e o convencional, quando se considera um F_{80} menor que o utilizado nos testes levando a que se considere na decisão final, uma nova série de testes, caso o F_{80} do pellet feed diminua em relação ao testado.

No caso do sinter feed, concluiu-se que o circuito mais viável dos pontos-de-vista energético, ambiental e econômico seria a moagem em duplo estágio, com um estágio de deslamagem intermediário. Num primeiro estágio, junto à mina, o material seria moído até uma granulometria próxima ao do pellet feed natural, sendo deslamado através de um circuito duplo de hidrociclones, mostrado na Figura 9.

O circuito de moagem final, a ser localizado junto à pelletização, seria comum aos dois produtos, sendo constituído, por moinhos de bolas verticais ou horizontais, em circuito com pré-classificação.

Esse circuito foi modelado no JKSimmet, com ótimos resultados, estando programado para ser testado no seguimento do projeto, em planta especialmente desenhada para isso, na SUTEC.

A prensa de rolos seria reservada a um pellet feed natural com "top-size" próximo ao requerido, servindo basicamente para o aumento da superfície específica, que esse produto, fruto de múltiplos estágios de deslamagem, não possui naturalmente.

Embora não hajam dados para uma comparação precisa do efeito da porcentagem de sólidos na moagem na geração de superfície específica (modificação do tempo de residência no moinho), notou-se que a mesma não teve efeito preponderante. Desta maneira não seria recomendável aumentar o custo de bolas e energia diminuindo a densidade de polpa na alimentação do moinho.

A melhor explicação encontrada para a diferença de consumo energético entre os testes feitos em moinhos tubulares de bolas na SUPEL e na Svedala foi a diferença do tamanho das bolas (9mm na Svedala contra 30 mm na SUPEL), além de uma maior eficiência presumida para a peneira de alta frequência em relação ao hidrociclone CBC.

Outro fato digno de nota nesses testes foi a maior eficiência energética com a utilização de “slugs”, corpos moedores semelhantes aos “cylpebs” já utilizados no Brasil. Entretanto tenderam a gerar uma superfície específica ligeiramente maior que as bolas.

A utilização de simulador de processos nos trabalhos revelou-se bastante útil, sendo capaz de prever com exatidão a granulometria resultante do processo, a partir do ajuste feito nos dados experimentais, tanto para o moinho quanto para os hidrociclones e peneiras. Entretanto a simulação não adequou-se ao dimensionamento dos moinhos, que deve continuar sendo feita pelo método de Bond, devidamente ajustado. A previsão fornecida pelo simulador freqüentemente superestimava em muito a produção do moinho, havendo inclusive ponto de descontinuidade na curva de calibração do tamanho de bolas.

REFERÊNCIAS

- (1) Botelho, Marcus e Souza Neto, A. Napoleão: Pelotização do Minério de Carajás: Influência da Distribuição Granulométrica na Qualidade da Pelota - Relatório de Progresso nº 2 - CVRD/SUTEC - Setembro 1994.
- (2) Harmendani, M. Beatriz e Garcia, Luis R. A.: Caracterização Mineralógica e Textural dos Tipos Litológicos da Mina de N4 - E - Carajás - CVRD/SUTEC - Junho/1995.
- (3) Beraldo, José Luiz - Estudo de Moagem de Pellet Feed - Beraldo Consultoria - Novembro/1994.
- (4) Pena, Fred; Hively, E.E e Jolly, J.S.: Test Plant Report - Iron Ore Carajás Pellet Plant - Svedala Industries - Junho/1995.
- (5) Bender, Hans e Oberheuser, Gerd - Size Reduction Tests With a KHD Roller Press RP 80-12 - KHD Humboldt Wedag AG. - Outubro 1994
- (6) Battersby, Mike e Sprenger, Heiner: Test Report on Roller Press Grinding of Fine Iron Ore Concentrates for CVRD/SUMIC Carajas Brazil - KHD Humboldt Wedag AG.-Abril/1996.

CARAJAS' IRON ORE GRINDING FOR PELLETS PRODUCTION

ABSTRACTS

To fit pelletizing, iron ore must be grinded in a narrow size distribution. The Carajás' iron ore characterization showed two different crystal size distributions. One from 20 μm to 30 μm and another cryptocrystalline, from submicrometric sizes to 10 μm . In the grinding process, each of these phases show bias, generating a distinct size distribution, what would result in a whole distribution wider than desired. The earlier laboratory studies confirmed this tendency, revealing that classification would be the critical path for grinding. The pilot plant studies included different F_{80} , from 80 μm to 4500 μm . They have been tested different conventional ball mills, vertical ball mill and roller press, with different classification circuits. The results showed that the conventional ball mill fits all feeds, while the vertical mill fits with advantage the finers F_{80} . The roller press, which works only in open circuit, is suitable only to special feeds, already fines enough.

Key-words: Iron Ore, Pellet Feed, Grinding.

Tabelas

Tabela 1: Síntese dos Resultados Obtidos na Svedala.

Moinho	Vertimil VTM-20	Vertimil VTM-20	Tubular 19"x35"3/4"	Tubular 19"x35" 3/4"
Tipo de Corpo Moedor	bolas	slugs	bolas	slugs
Diâmetro (polegadas)	3/4	3/4	3/4	3/4
Taxa de Alimentação (lb/h)	840	840	360	360
Abertura da Peneira (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15
Consumo (HP/st)	12.4	9.9	10.1	10.2
% > 45 µm	21.2	19.8	19.8	16.4
Superfície Específica (cm ² /g)	1950	2024	3017	2453

Tabela 2: Síntese dos Resultados da Prensa de Rolos (Pellet Feed Fino)

Teste	A	B	C	D
Pressão	5.5	2.8	5.5	2.3
Umidade Amostra	7.8	7.8	9.5	11.2
Produtividade (ts/hm ³) (*)	158	167	152	138
% > 45 µm	19.5	25.5	19.9	21.8
Superfície Específica (cm ² /g)	2490	1840	2440	2490

(*) t/h por m (comprimento), m (largura), m/s (velocidade dos rolos)

Tabela 3: Comparativo de Resultados

Planta / Moinho	SUPEL bolas	SUPEL bolas	Vertimill VTM 20 c/bolas	Vertimill VTM 20 c/ slugs	Svedala tubular c/bolas	Svedala tubular c/slugs
Consumo energético (kW)	18.8	9.6	10.1	8.1	8.2	8.3
P80 (µm)	43	40	40	46	44	42
F80 (µm)	4700	79	99	99	99	99
EF1	1	1	1	1	1	1
EF2	1	1	1	1	1	1
EF3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
F0	3925	3925	3925	3925	3925	3925
EF4	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
EF5	1.08	1.10	1.10	1.07	1.08	1.09
EF6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
EF7	1.00	1.21	1.12	1.16	1.14	1.13
EF8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
EFi	1.10	1.33	1.23	1.24	1.23	1.23
Fator de Scale Up			1.2	1.2		
Wiop (kWh/t)	12.4	15.9	14.3	13.8	13.3	12.6
WI Laboratório (kWh/t)	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Eficiência de Moagem (%)	98,4	76,7	85,3	88,4	91,7	96,8

Figura 1: Fluxograma dos Testes em Vertimill

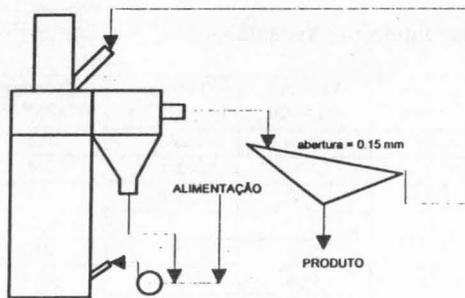


Figura 2: Fluxograma e Balanço de Massas da Moagem de Pellet Feed

CIRCUITO DA PLANTA-PILOTO DA SUPEL

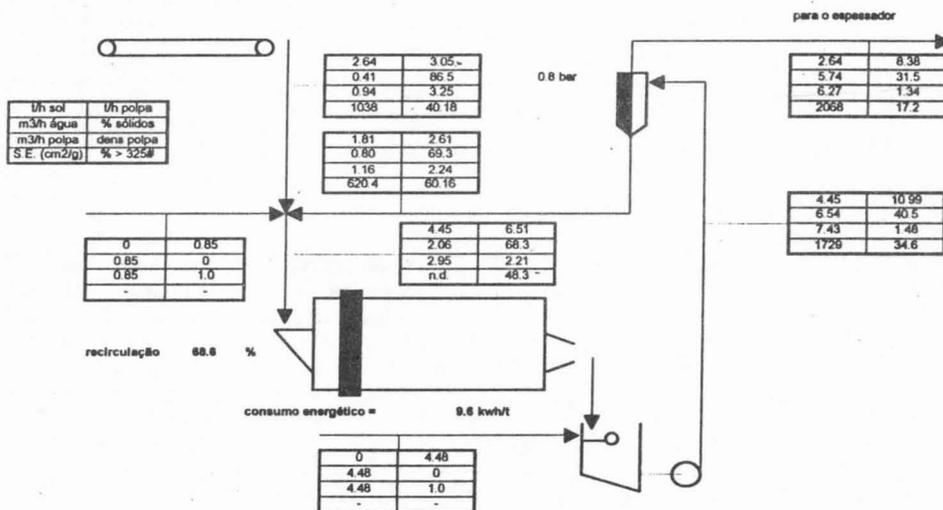


Figura 3: Fluxograma e Balanço de Massas da Moagem de Sinter Feed

CIRCUITO DA PLANTA-PILOTO DA SUPEL

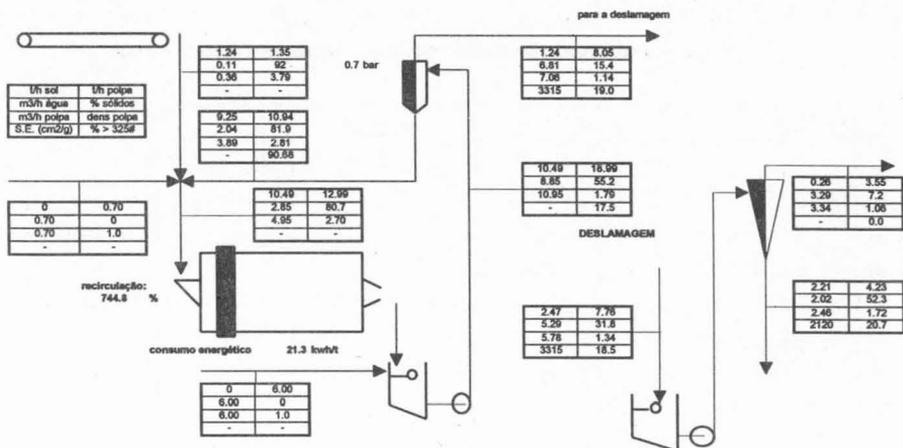


Figura 4: Curvas Granulométricas - Moagem Pellet Feed

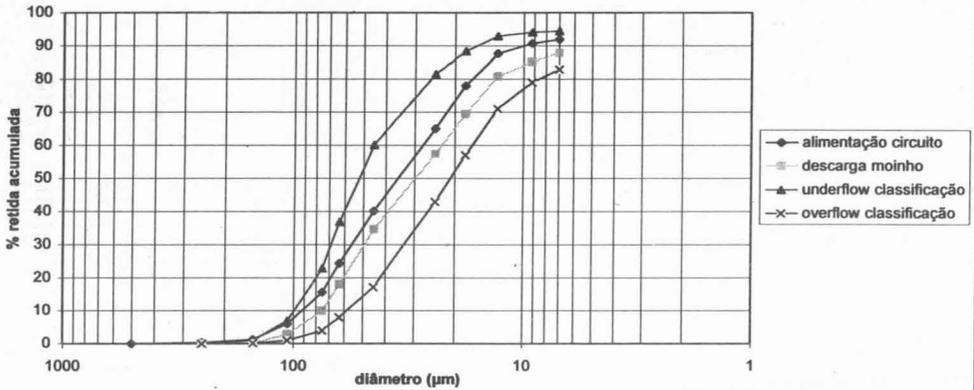


Figura 5: Curvas Granulométricas Moagem - Sinter Feed

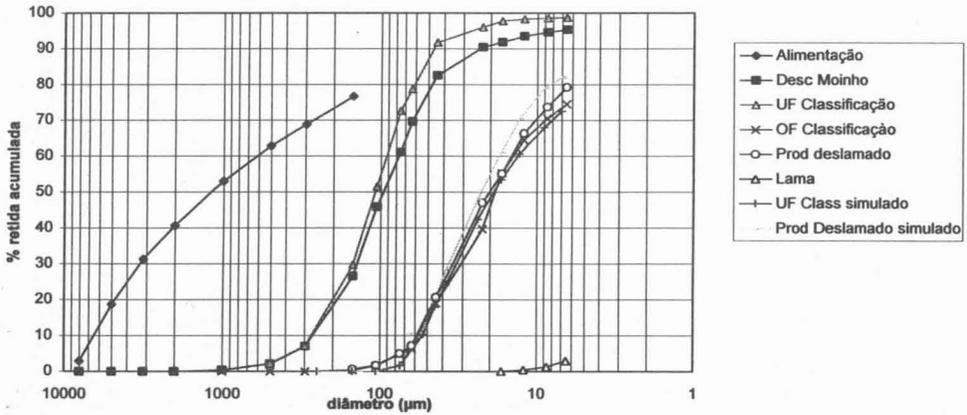


Figura 6: Curva de Partição no Hidrociclone - Pellet Feed

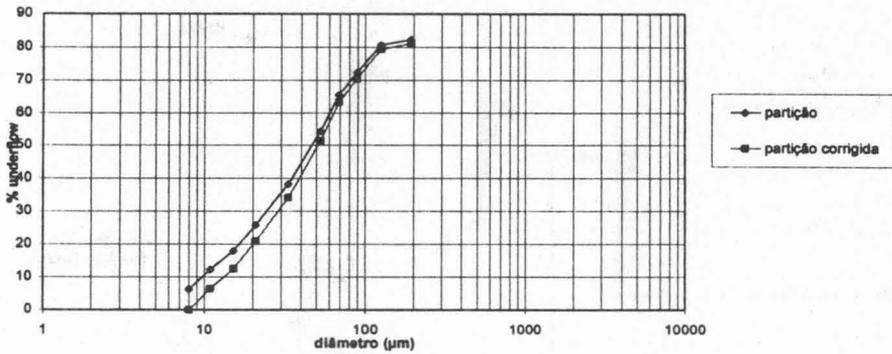


Figura 7: Curva de Partição no Hidrociclone - Sinter Feed

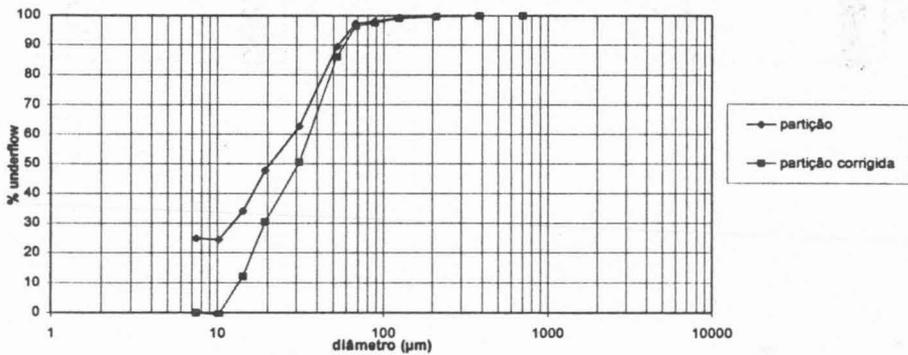


Figura 8: Curvas Granulométricas - Prensa de Rolos

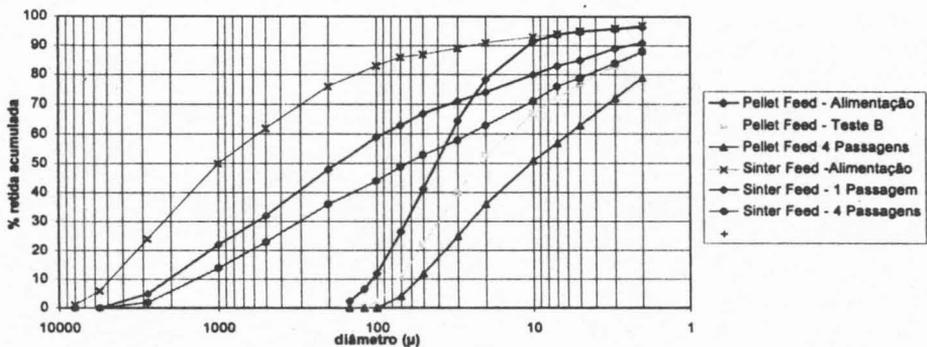


Figura 9: Fluxograma de Processo Para Sinter Feed

