

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE PEDREIRAS

J. S. Baptista¹, M. M. Leite²

RESUMO:

Os recursos naturais de origem geológica são, por definição, escassos e não renováveis. Não é possível refazer um jazigo depois de o desmontar. É por isso fundamental a maximização do seu aproveitamento tendo em consideração as características geológicas e técnicas específicas de cada jazida e sua localização. Neste artigo faz-se uma apresentação do modo de abordagem desta problemática, não apontando para soluções universais mas antes procurando sistematizar um modo próprio de abordagem. Como referência, um caso estudado é apresentado.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento, armazenamento e controlo da estabilidade química e geomecânica dos resíduos produzidos pelas indústrias extractivas, constitui um dos principais conjuntos de problemas com que estas se debatem. As dificuldades encontradas reflectem-se fundamentalmente a dois níveis:

- O Económico
 - Pela necessidade de encontrar e adequar um espaço para a deposição dos resíduos.
 - Pela exigência de os carregar e transportar até esse local.
- O Ambiental
 - Pelos requisitos de controlo da estabilidade química e geomecânica.
 - Pelas dificuldades de integração geomorfológica e paisagística.
 - Pelos impactes na flora, na fauna e na ocupação humana.

Actualmente, a necessidade cada vez mais premente da redução dos custos operatórios, a par com as crescentes preocupações ambientais por parte das populações, autoridades e das próprias empresas, conduz à necessidade de minimizar a produção de resíduos. Em consequência, encontrar soluções que conduzam à diminuição da sua produção ou valorização, tornou-se um objectivo estratégico da maior importância.

Infelizmente não existem soluções universais para a resolução deste problema. Resíduos da mesma natureza podem ter os mais diversos destinos de acordo com o local onde se encontram e as oportunidades de mercado que se lhes abrem. Por exemplo, os finos de britagem, podem ter um destino mais nobre como a lavagem e classificação para a produção de várias areias ou servir como simples material de enchimento em valas e aterros. Essas oportunidades ou janelas de mercado são muitas vezes limitadas no tempo e na área geográfica de influência, exigindo por isso uma actuação rápida e consequente para que se tornem viáveis.

¹ Prof Aux. FEUP-Departamento de Minas

² Prof Cat. FEUP-Departamento de Minas

2. METODOLOGIA PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

2.1. Ponto de vista prévio

O incremento dos processos de aproveitamento e reciclagem dos resíduos da actividade extractiva é, antes de mais, resultado de uma mudança de atitude da sociedade face à necessidade de garantir condições para um desenvolvimento económico e social sustentado.

Essa mudança de atitude assenta essencialmente na tomada de consciência de que a exploração dos recursos naturais em geral e mais concretamente das matérias-primas minerais é um vector decisivo para o desenvolvimento, tanto mais que esses recursos são escassos e, de modo geral, não renováveis.

Os problemas de natureza ambiental gerados pela acumulação de resíduos da actividade extractiva, embora represente a face visível do impacto negativo e esteja também a contribuir para a construção dessa nova atitude, é apenas uma das componentes do processo. O impacto social a longo prazo das medidas de política industrial no domínio da reciclagem, tem reflexos muito superiores na racionalização e na poupança das reservas de matérias-primas minerais do que ao nível da diminuição da poluição.

Nesta perspectiva, os recursos minerais naturais são cada vez mais reservas estratégicas que funcionam como factores comparativos entre economias.

2.2. Resíduos como matérias-primas secundárias

No contexto do presente artigo designaremos por resíduos todo o tipo de materiais sólidos granulares que resultaram, ou resultam, da actividade industrial extractiva, em minas e em pedreiras, que se encontram armazenados em escombreliras ou em barragens.

Mercê da composição mineralógica do minério originalmente explorado e de onde foram extraídos pelo processo mineralúrgico alguns minerais úteis, os estéreis rejeitados devem ser encarados como sistemas particulados, ou população de **partículas**, cujas **propriedades** globais resultam do conjunto de minerais que o constituem.

Nesta concepção, um sistema particulado é uma massa de grãos que se encontra dividida normalmente num enorme número de partículas e em condições de ser tratado por um qualquer processo de beneficiação que seja adequado para alterar os valores dessas propriedades (fragmentações, classificações, separações).

Os termos população e sistema têm um significado especial: população exprime a incontornável variabilidade dos atributos individuais das partículas que a integram, isto é, o carácter estatístico dessas propriedades, enquanto que sistema sublinha a interactividade que caracteriza o comportamento das partículas nos processos de tratamento.

A reciclagem enquanto tecnologia de tratamento de um resíduo com vista à recuperação de elementos ou materiais úteis neles contidos, ou simplesmente obtenção de uma outra matéria-prima de propriedades controladas, isto é, de menor variabilidade, exige como requisitos prévios:

- uma correcta e exaustiva caracterização das propriedades do resíduo (mineralógica, química e tecnológica);
- um rigoroso conhecimento das propriedades pretendidas para os produtos finais a obter e dos respectivos intervalos de variação e, bem assim, a sua valorização económica em função dessas mesmas propriedades;
- definição da capacidade de tratamento desejada

Só com base nestes pressupostos se poderá projectar qualquer diagrama de processo e efectuar as indispensáveis análises custo/benefício.

Numa perspectiva muito elementar de caracterização genérica de resíduos sólidos da actividade extractiva, podem enumerar-se alguns pontos fundamentais a reter:

- **homogeneidade** – de um modo geral, quando se compara um minério tal-qual (in situ) com um resíduo depositado em escombreira, este último apresenta, em geral, um grau mais elevado de homogeneidade. Esta é tanto maior quanto melhor tenha sido a tecnologia anteriormente instalada;
- **conteúdo em elementos úteis** – qualquer resíduo mineiro está naturalmente empobrecido nos elementos que justificaram a exploração anterior, mas poderá evidenciar enriquecimento em outros;
- **calibre** – em geral os estéreis de mina e de pedreiras foram já sujeitos a operações de fragmentação, sendo de esperar encontrar distribuições granulométricas em gamas de calibres finos. Nesta perspectiva será também de esperar maiores estados de libertação das fases mineralógicas aí presentes.
- **distribuições diferenciais de propriedades ao longo da escala granulométrica** – como a composição mineralógica é determinante no comportamento dos sistemas particulados face aos processos de tratamento, é sempre aconselhável investigar se os materiais em escombreira evidenciam qualquer tendência para a ocorrência de concentrações de determinado tipo de minerais em gamas granulométricas estreitas. Em particular deve ser dada atenção especial à ocorrência de fragmentações diferenciais que aproveitam o diferente comportamento mecânico dos minerais e das suas texturas.

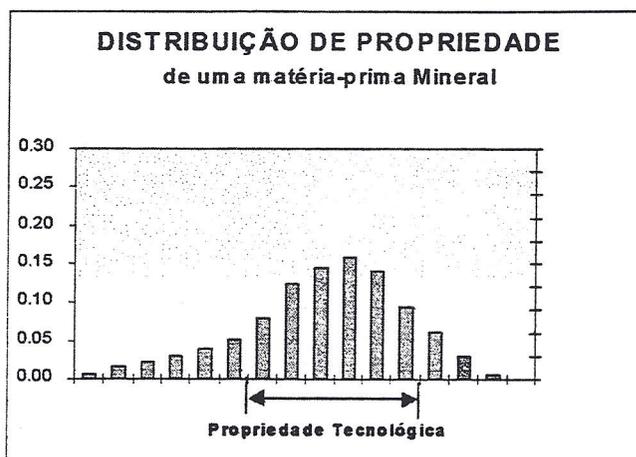


Fig. 1

Bases tecnológica para a concepção de um diagrama de processamento para beneficiação

O conhecimento mútuo do resíduo e dos atributos desejados para os produtos finais permitem a realização de um escalonamento das possibilidades de beneficiação tendo em conta o conhecimento dos Princípios de Funcionamento e Aplicabilidade dos vários processos

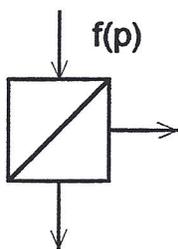


Fig. 2

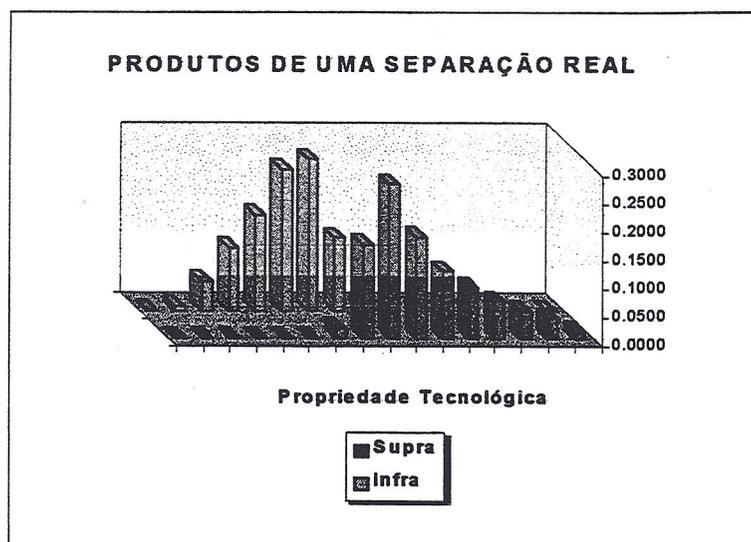


Fig. 3

unitários da tecnologia do tratamento (incluindo a própria viabilidade técnica e disponibilidade de equipamentos).

Se a esta base de conhecimentos forem adicionados os termos quantitativos relativos à envolvente económica (mercado, investimentos, custos e proveitos), o problema do Projecto de um diagrama de processamento pode ser equacionado como um problema de optimização que terá sempre uma função objectivo a maximizar.

Embora esta optimização seja uma operação de natureza complexa, haja em vista o grande número de variáveis em jogo, poderemos desde já considerar que ela inclui duas variantes:

- uma optimização estrutural — que envolve a decisão sobre as grandes opções ao nível da estrutura do diagrama (fragmentações, classificações, concentrações);
- uma optimização paramétrica — que conduz à escolha das regulações que maximizam um determinado objectivo tecnológico.

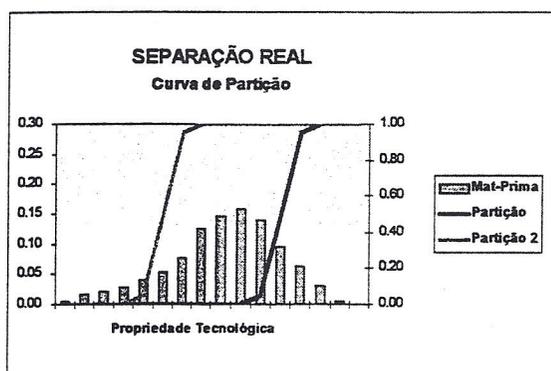


Fig. 4

O escalonamento destas possibilidades de beneficiação apoia-se em um conjunto muito simples de regras de encadeamento de operações que actuam como pilares para o lançamento de um esquema de diagrama de tratamento. Seja $f(p)$ a distribuição da propriedade p de um dado lote de partículas, então $f(p).dp.$ será a fracção de material de propriedade compreendida em $]p-dp/2, p+dp/2[$ contida nesse lote.

Num lote de um determinado resíduo a função $f(p)$ terá uma grande variância — elevada dispersão em torno do valor médio. Na maioria dos casos essa distribuição não se ajusta às necessidades do mercado, evidenciando a existência considerável de material não conforme com as especificações desejadas — acima e abaixo, respectivamente, dos máximos e mínimos admissíveis.

Perante uma tal situação, os únicos caminhos possíveis são

- a incorporação de aditivos correctores
- a implementação de um **processo industrial de beneficiação**, de que se destacam duas operações fundamentais: as **separações** e as **fragmentações**.

Uma separação de beneficiação pode ser descrita como um processo em que o fluxo de material que entra no separador é dividido em dois (Fig. 2 e Fig. 3), um designado por S - Supra Propriedade para onde se dirigem as partículas cujos atributos são superiores a um dado valor da Propriedade de Corte e outro designado por I - Infra Propriedade que reúne as restantes partículas que possuem esse atributo em menor intensidade.

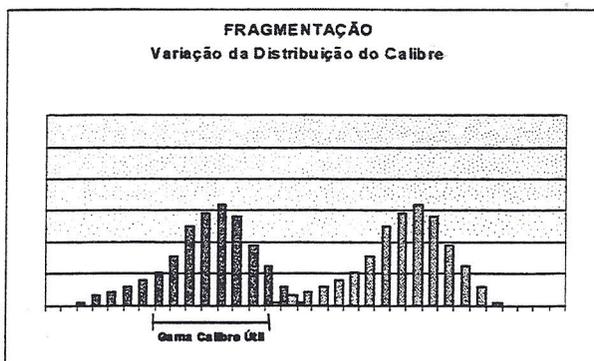


Fig. 5

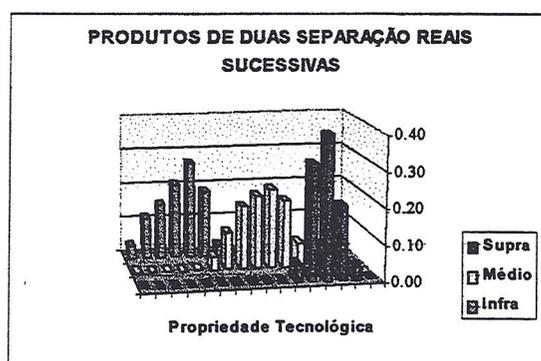


Fig. 6

Colocado o problema nesta forma, sucede que uma operação de separação é a única forma eficaz de promover o controlo efectivo dos atributos do produto final.

A aplicação sucessiva de separações com diferentes valores para a Propriedade de Corte sobre o material tal-qual vai permitir obter lotes com distribuições da propriedade tecnológica de muito menor variância — tanto menor quanto mais próximos forem os valores da propriedade de corte usados e a eficiência do corte for mais perfeita (Fig. 4).

Por outro lado, é sabido que só uma operação de fragmentação é capaz de gerar a separabilidade potencial de um determinado sistema particulado, quer fabricando uma distribuição granulométrica mais adequada, quer viabilizando a libertação que possibilite a separação física das várias fases sólidas em presença.

Com efeito, a fragmentação, também designada por cominuição, é uma operação que transforma a distribuição de calibre do produto inicial numa distribuição marcada por uma média inferior.

Neste sentido é a única operação física do processo que promove a modificação das propriedades individuais das partículas que compõem o sistema, modificação essa que se reflecte na alteração da distribuição do próprio sistema. Uma importante consequência dessa modificação é a geração da libertação das fases mineralógicas em presença, isto é, a possibilidade de fazer corresponder a cada partícula uma única espécie mineral.

2.3. A importância das Classificações Selectivas

A maior parte dos resíduos da actividade extractiva são misturas de minerais silicatados em que o mineral quartzo ocorre em maior ou menor abundância a par de feldspatos, sulfuretos, micas e outros minerais muito menos abundantes.

Mercê das diferentes propriedades mecânicas desses minerais constituintes, nomeadamente quando em comparação com o quartzo, é muito frequente haver ocorrência de concentrações preferenciais em classes granulométricas bem definidas, situação que permite muito frequentemente que uma simples operação de classificação pelo calibre seja muito bem sucedida na promoção de importantes enriquecimentos.

O exemplo mais divulgado da aplicação destas técnicas é a recuperação de areias em resíduos da produção de britas, com eliminação eficaz das micas, caulino e outros minerais argilosos através de crivagens e/ou hidrociclonagens.

No mesmo tipo de produtos, em outras circunstâncias, é possível promover um significativo enriquecimento do teor em feldspato relativamente ao quartzo e a eliminação simultânea das micas e dos minerais de argila em determinado lote intermédio que passa a ter aplicabilidade na indústria cerâmica.

Os equipamentos normalmente utilizados nestas operações de beneficiação são Crivos, Hidroclassificadores Mecânicos, Hidrociclones e Decantadores-Espessadores.

3. ESTUDO DE CASO - RECUPERAÇÃO DE UMA ESCOMBREIRA DE FINOS

Apresenta-se aqui a recuperação de uma escombreira com elevado teor de finos, mas com uma distribuição granulométrica que inclui calibres superiores a 500 μ m. O seu elevado volume justifica a sua recuperação. As partículas que a compõem tem como origem principal os

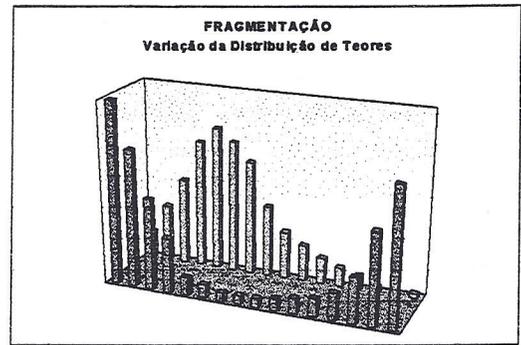


Fig. 7

finos de britagem da camada superficial, ligeiramente alterada, de um maciço granítico. Para além destes materiais, eram aí despejados todos os resíduos inertes da pedreira. Esta situação estava a colocar questões de espaço, estabilidade de taludes, desaproveitamento de uma importante zona do jazigo e perda de uma percentagem significativa da produção.

Esta pedreira tinha já em funcionamento uma unidade de lavagem de areias para granito não alterado a qual, no entanto, devido à sua inserção na linha de produção existente e dimensionamento, não tinha possibilidade de tratar o material proveniente da escombreira.

Com a solução global encontrada pretendeu-se aproveitar uma janela de mercado, aberta pela crescente carência de areias na região. Esse fenómeno é provocado pelas dificuldades colocadas à tradicional exploração em rios e dunas por óbvios motivos ambientais.

Os objectivos então definidos centravam-se nos seguintes quatro aspectos:

- Aproveitar e valorizar a escombreira, composta fundamentalmente por finos da exploração e da britagem.
- Libertar a zona ocupada com vista a permitir, no futuro, um melhor aproveitamento do maciço em exploração.
- Minimizar o volume de resíduos depositados e valorizar os produzidos continuamente pela instalação de britagem a partir da camada superficial de alteração do jazigo.
- Produzir areias lavadas de boa qualidade a partir desses resíduos.

Na metodologia seguida procurou-se um conjunto de procedimentos que garantisse decisões seguras e fundamentadas de modo a minimizar os riscos de investimento:

- 1º Caracterização qualitativa da escombreira.
- 2º Colheita e análise de uma primeira amostra para apreciação preliminar.
- 3º Em caso de resultados positivos, colheita sistemática de amostras ao longo da escombreira para determinar o seu perfil granulométrico.
- 4º Análise granulométrica das amostras antes e após lavagem.
- 5º Ensaios de lavagem e classificação semi-industrial.
- 6º Em caso de resultados positivos, cálculo do volume da escombreira.
- 7º Desenvolvimento de diagramas de tratamento alternativos.
- 8º Estimativa dos custos operatórios.
- 9º Estimativa do investimento.
- 10º Análise de viabilidade.
- 11º Em caso de resultados positivos, estudo de implantação.

3.1. Caracterização do produto a tratar

caracterização qualitativa da escombreira

A escombreira abrigava materiais de diferentes origens, com destaque para os seguintes por ordem de importância:

- ✓ Finos de britagem da camada de cobertura da pedreira.
- ✓ Infra do crivo de *terras*.

Numa análise sumária dos resíduos foi possível observar que estes eram compostos fundamentalmente por partículas finas (<5 mm). Apresentavam ainda uma coloração variada ao longo da sua superfície, dando a entender a existência de uma composição mineralógica heterogénea, justificada pelas diferentes origens dos produtos aí depositados. Nesta matriz observavam-se, disseminados ao longo de toda a superfície, quantidades apreciáveis de blocos de vários tamanhos com calibres até ao do rachão (350 mm). Viam-se ainda alguns blocos de maior dimensão, cujos calibres chegavam a ultrapassar os 500 mm.

A ocorrência de partículas de calibre superior a 5 mm, embora em quantidades comercialmente não aproveitáveis, condicionaram fortemente o desenho do diagrama de

recuperação. Tornava-se necessário a sua separação prévia para que o tratamento dos finos se fizesse em boas condições.

amostragem, ensaios e análises granulométricas

Após a avaliação qualitativa atrás descrita foi colhida uma amostra para avaliação prévia das potencialidades de aproveitamento da escombreira antes de avançar com um trabalho sistemático. Obtida uma avaliação francamente positiva com esta primeira amostra, foi decidido avançar para uma amostragem mais extensa, na qual foram colhidas mais cinco amostras ao longo da escombreira. Com estas procurou abranger-se os vários tipos de material depositado. Na operação de amostragem foram deliberadamente rejeitados os calibres graúdos pelas seguintes razões:

- Apresentavam ocorrência dispersa e irregular.
- Não eram significativos do ponto de vista dos objectivos do trabalho.
- Constituíam um problema simples do ponto de vista da sua separação.
- Obrigariam à colheita de amostras de grandes dimensões para que fossem representativas.

As cinco amostras colhidas foram quartejadas tendo uma porção ligeiramente superior a 1 kg sido utilizada para ensaios em bancada. O material remanescente de cada uma das cinco amostras foi misturado e homogeneizado para a realização de um ensaios em regime semi-industrial.

As amostras de ≈ 1 kg foram analisadas granulometricamente antes e após lavagem sobre peneiro de 200#.

Conforme se pode ver como exemplo na Fig. 8 e na Fig. 9, as várias amostras apresentam perdas por lavagem fundamentalmente para calibres inferiores a 3 mm, com excepção de amostra 3. Essas perdas foram resultado de dois factores:

- Dissolução de grãos constituídos por aglomerados de argilas.
- Remoção dos finos aderentes à superfície dos grãos de granito.

Mesmo para calibres graúdos a lavagem é indispensável. A película de finos aderentes à superfície dos grãos obriga a que essa operação seja executada para garantir a qualidade dos produtos finais.

Com a amostra destinada aos ensaios semi-industriais devidamente homogeneizada foram efectuadas as seguintes tentativas de tratamento:

- Classificação em peneiro via seca para testar a colmatação das redes - verificou-se que estas colmatavam imediatamente para

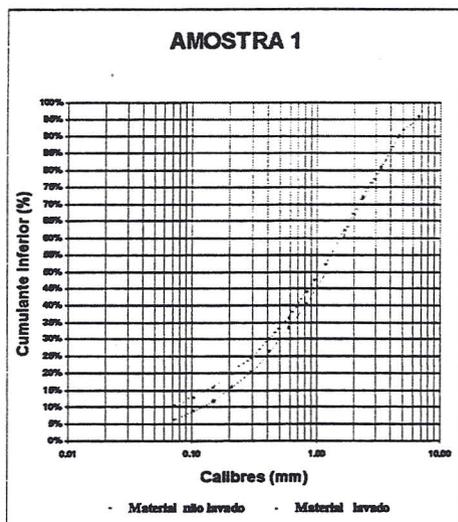


Fig. 8

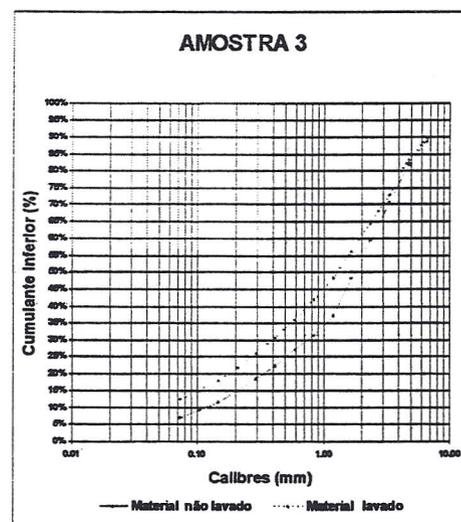


Fig. 9

malhas de luz inferior a 2 mm. Assim, esta hipótese foi rejeitada. Este processo, para além dos problemas de colmatção, conduziria à perda de mais de 50% do material que se pretendia aproveitar (Fig. 10) por este se encontrar abaixo do referido calibre.

- Lavagem sobre peneiro – verificou-se que este tipo de tratamento não promovia nem uma correcta limpeza das argilas nem uma desagregação eficaz dos aglomerados de partículas naturalmente formados e consolidados pelos longos anos de permanência na escombreira.
- Lavagem em parafuso sem-fim – com este equipamento verificou-se uma boa limpeza e desagregação dos grãos, com a produção de uma areia limpa e com boa qualidade atendendo à origem do produto.

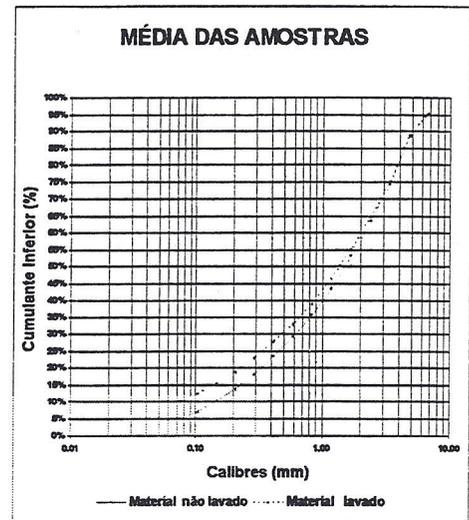


Fig. 10

viabilidade do empreendimento

A avaliação do volume da escombreira foi efectuada tendo por base dois levantamentos topográficos, um anterior ao início da deposição de resíduos no local e outro com a situação actual. Com o volume calculado e o conhecimento da percentagem relativa de cada lote foi possível retirar as seguintes conclusões relativas ao tratamento destes resíduos:

- 1º Baixo volume de lamas (10%). Este valor é inferior ao esperado e tem dois significados: baixos custos de tratamento (nomeadamente em floculante, bombagem e prensagem) e redução para 1/10 do volume dos resíduos actualmente existentes. Acresce ainda a possibilidade de utilizar estas lamas, depois de secas, para outros fins actualmente em estudo.
- 2º Aproveitamento de perto de 80% dos resíduos como areias e gravilhas com boa aceitação no mercado.
- 3º Reaproveitamento dos grãos (>5 mm ≈10%) por britagem, juntamente com a capa superficial.

A existência de um valor relativamente elevado de lamas levou a que se fizesse um estudo específico relativamente ao seu tratamento. Este centrou-se na utilização e consumo de floculante. Os resultados obtidos foram bastante positivos, tendo-se verificado que os custos relativamente a esta operação se situavam abaixo de 0.2 Euro/t

análise de custos antes de impostos

Com o objectivo de fornecer elementos para uma análise sobre a viabilidade económica do projecto, foi efectuada um cálculo, antes de impostos, dos custos e proveitos previsíveis. Para esta análise foram utilizados os seguintes elementos:

- Custos de investimento.
- Custos de tratamento.
- Custos de carga e transporte.
- Custos de conservação.

A determinação destes custos foi efectuada com base numa consulta ao mercado sobre os equipamentos pretendidos e no histórico dos custos operatórios da própria empresa. Não foram, no entanto considerados os seguintes tipos de custos:

- Custos de estrutura atribuíveis à operação de lavagem, mão de obra e supervisão, por não ser necessário um aumento de pessoal relativamente ao existente.
- Custos de infra estruturação do local de implantação da nova instalação.

Para a escolha da capacidade da instalação analisaram-se várias alternativas, tendo-se também em atenção a produção actual de materiais do mesmo tipo. Isto significou a necessidade de dimensionar a instalação para absorver esta produção e, ao mesmo tempo, esgotar a escombreira num tempo razoável.

Nesta análise da viabilidade técnico-económica foram consideradas três alternativas com uma amortização do investimento em três anos e um tempo de esgotamento da escombreira respectivamente em 3, 5 e 10 anos. As conclusões que se retiraram foram as seguintes:

- Esgotamento da escombreira em 3 anos:
 - a capacidade instalada ronda o quádruplo da actual produção de materiais do mesmo tipo em condições normais.
 - a rentabilidade do empreendimento é excelente se todo o material produzido for vendido ao valores actuais de mercado;
 - Existe a possibilidade de ter capacidade de produção excedentária de alguns materiais.
 - risco muito baixo de ultrapassar a janela de mercado.
- Esgotamento da escombreira em 5 anos:
 - a capacidade instalada ronda o quádruplo da actual produção de materiais do mesmo tipo em condições normais.
 - a rentabilidade do empreendimento é boa.
 - Tempo de esgotamento da escombreira aceitável
 - risco baixo de ultrapassar a janela de mercado
- Esgotamento da escombreira em 10 anos:
 - a capacidade instalada ronda o quádruplo da actual produção de materiais do mesmo tipo em condições normais.
 - a rentabilidade do empreendimento é apenas marginal.
 - tempo de esgotamento demasiado longo, dificultando a recuperação do local.
 - risco elevado de ultrapassar a janela de mercado para o tipo de material a produzir (areia e gravilha de média qualidade).

Face aos resultados obtidos nesta análise a opção recaiu sobre a segunda hipótese, pelo esgotamento da escombreira num período de 5 anos.

Quadro 1	ano	
	S/t	Total
Receitas		
Lamas (t/ano)		
Areia fina (t/ano)		
Areia Média (t/ano)		
Gravilha (t/ano)		
Outros (t/ano)		
Total Receitas		
Custos Fixos		
Amortizações		
Mão de Obra		
...		
Total Parcial (Fixos)		
Custos Variáveis		
Combustíveis		
Lubrificantes		
Energia		
Floculante		
Conservação		
...		
Total Parcial (Variáveis)		
TOTAL CUSTOS		
Benefício antes impostos		
Tx juro		
Investimento		
Rendimento		
Produção total anual		

3.2. Tratamento

De acordo com a observação do comportamento do material da escombreira, os ensaios realizados e a experiência no tratamento deste tipo de produtos, foi elaborado um diagrama para a resolução dos problemas identificados. Este é apresentado na Fig.??? com um balanço de massa baseado num valor de 100 u.m.³ para a alimentação da fase sólida proveniente das várias origens⁴, sendo o balanço de massa efectuado com base nesse valor.

Dentro do rectângulo pontilhado encontra-se o conjunto dos equipamentos centrais de lavagem. Os restantes equipamentos, em particular o crivo que precede este conjunto, destinase a assegurar que apenas os finos são submetidos ao processo de lavagem.

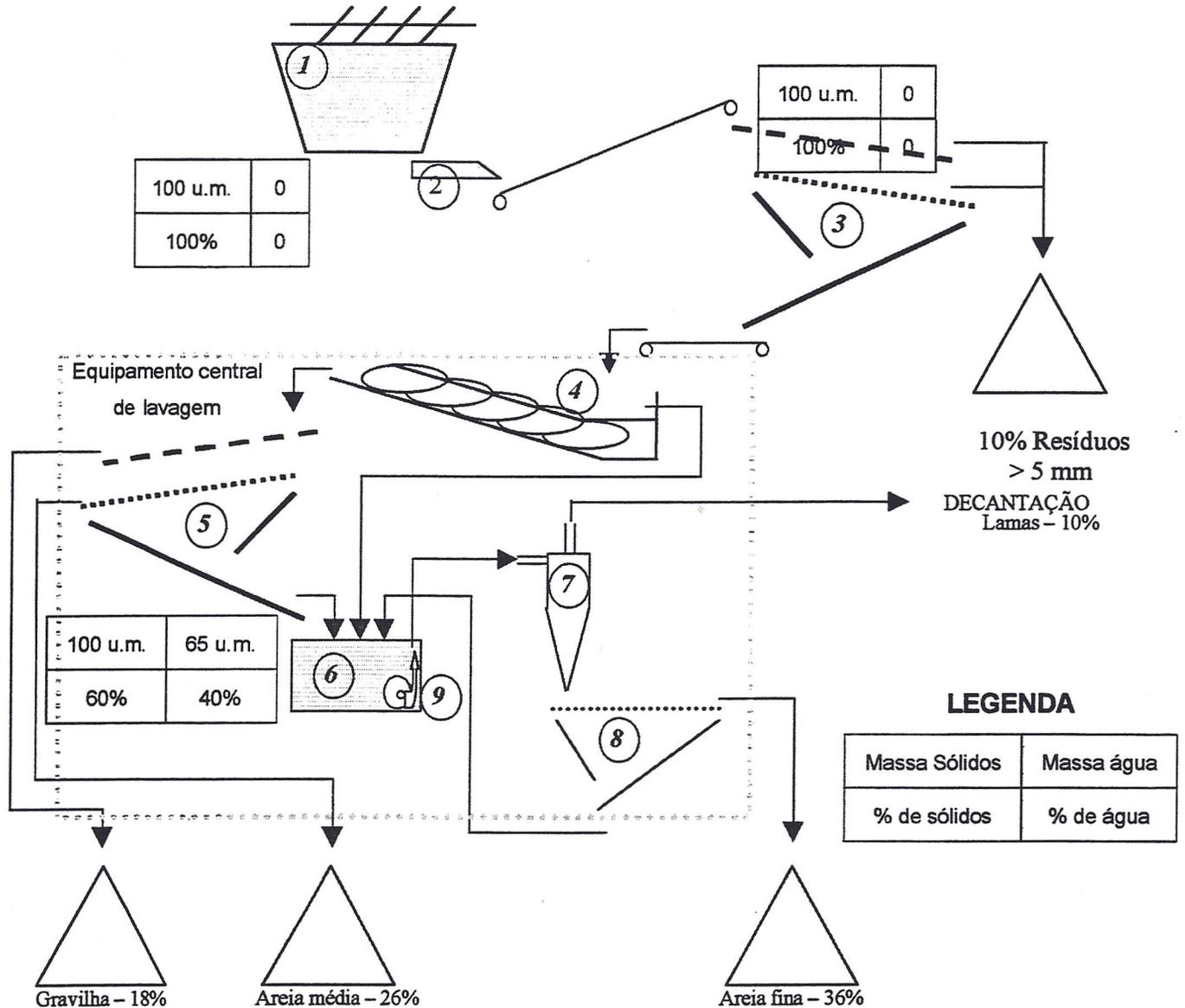


Fig. 11 - Pictograma do lay-out indicado para a instalação de lavagem

u.m. - unidades de massa

³ u.m. - Unidades de massa.

⁴ Escombreira, terras do primário e finos da britagem.

Equipamentos utilizados e sua função no processo:

1. **Torva com grade à cabeça.** A grade colocada à cabeça da torva tem dois objectivos:
 - 1º Impedir a entrada de blocos de dimensões superiores às admitidas pelos equipamentos instalados⁵.
 - 2º Promover o destorroamento do escombro facilitando, deste modo, o seu tratamento.
2. **Alimentador.** Para regularização do caudal.
3. **Crivo-1.** Via seca, com o objectivo de retirar do circuito as partículas de calibre superior a 5 mm que não ficaram na escombreira nem ficaram retidas na grade da torva.
4. **Lavador.** imprime uma componente de atrito para facilitar a remoção da argila aderente à superfície dos grãos de granito assim como a desagregação dos que apresentarem um maior grau de meteorização.
5. **Crivo-2.** Classificação via húmida. Na alimentação de água deste crivo não é utilizada água reciclada para evitar o entupimento dos bicos de dispersão⁶.
6. **Tanque.** Para regularização da alimentação do ciclone
7. **Ciclone.** Para recuperação das areias provenientes do infra do crivo-2 e do overflow do Lavador.
8. **Crivo de enxugo.** Para drenagem da água que surge com as areias provenientes do underflow do ciclone.
9. **Bombas.** São necessárias bombas para as seguintes funções:
 - 1º **Bomba de água limpa** para alimentação do crivo-2.
 - 2º **Bomba de lamas** para alimentação do ciclone.
 - 3º **Bomba de lamas** para elevar o *overflow* do ciclone para o **tanque de decantação**.
 - 4º **Bomba para água tratada** – para alimentação do lavador.

Bibliografia

- **Baptista, J. S., Leite, M. M., 1990** **Optimização da Produção de Inertes em Pedreiras.** Trabalho em cooperação, no prelo da revista GEONOVAS da Associação Portuguesa da Geólogos. Nº Especial 2, pp167-181,
- **Leite, Mário M., 1988, Size, Grade and Liberation: a stochastic approach to the fundamental problem of mineral processing.** Trabalho em colaboração. Proceedins of the XVI International Mineral Processing Congress, Stockholm, pp 1823 - 1834, Elsevier, Amsterdam.
- **Leite, M. M., Baptista, J. S., Silva, J. R. 1989, Produção Artificial de Areia.** Trabalho de colaboração apresentado às Segundas Jornadas do Ambiente, da Câmara Municipal de Viana do Castelo, 1989.
- **Leite, Mário M., 1991, Modelagem de Operações Unitárias em Tratamento de Matérias Primas.** Curso de pos-graduação realizado na FEUP ao abrigo do programa AFAIRS-COMETT II. Maio de.
- **Leite, Mário M., 1996 Beneficiation of a Feldspar Ore for application in the Ceramic Industry,** em colaboração, comunicação à International Conference "Minerals & Materials '96", South Africa. Tomo I, pp 168-176, dos proceedings publicados por South African Institute of Mining and Metallurgy.

⁵ Dada a existência disseminada pela escombreira de blocos de dimensões que por vezes ultrapassam os 500 mm e que estes blocos nem sempre são de fácil separação na operação de carga dos Dumpers, uma grade à entrada da torva assegura que estes blocos não entram no circuito, evitando-se deste modo eventuais danos.

⁶ Este crivo tem apenas a função de classificação. A sua introdução após o lavador tem como objectivo uma boa definição granulométrica dos produtos tratados.