



Coordenação de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas - CATE
Centro de Tecnologia Mineral - CETEM
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI

RESÍDUOS: TRATAMENTO E APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

Antonio Rodrigues de Campos
Eng. Metalúrgico, D.Sc.

Roberto Carlos C. Ribeiro
Pesquisador

Nuria F. Castro
Tecnologista

Hélio C. A. Azevedo
Geólogo, CBPM

Leonardo Cattabriga
Eng. de Segurança no trabalho. Técnico

Rio de Janeiro, junho de 2014

**CCL-0007-00-14 CAPÍTULO DO LIVRO TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS:
PESQUISA, LAVRA E BENEFICIAMENTO. Vidal, F.V.; Azevedo, H.C.A.; Castro, N. F. Rio de
Janeiro: CETEM/MCTI. ISBN: 987-85- 8261-005-3. p 433 - 492**

TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Pesquisa, Lavra e Beneficiamento

EDITORES

**Francisco W. H. Vidal,
Hélio C. A. Azevedo e
Nuria F. Castro**

CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

CETEM/MCTI
Rio de Janeiro/2014

TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: PESQUISA, LAVRA E BENEFICIAMENTO

Editores:

Francisco Wilson Hollanda Vidal - CETEM/MCTI
Nuria Fernández Castro - CETEM/MCTI
Helio Carvalho Antunes de Azevedo - CBPM

Autores:

Adriano Caranassios - CETEM/MCTI (*In Memoriam*)
Angêlica Batista Lima - CPRM/MME
Antônio Rodrigues de Campos - CETEM/MCTI
Carlos César Peiter - CETEM/MCTI
Carlos Rubens Araujo de Alencar - HEAD Participações
Cid Chiodi Filho - ABIROCHAS
Denise Kistemann Chiodi - KISTEMAN&CHIODI Assessoria e Projetos
Eunice Freitas Lima - CETEM/MCTI
Francisco Wilson Hollanda Vidal - CETEM/MCTI
Helio Carvalho Antunes de Azevedo - CBPM
Ilson Sandrini - Consultor
José Roberto Pinheiro - ALVORADA Mineração Comércio e Exportação Ltda.
Júlio Cesar Souza - UFPE
Leonardo Cattabriga - CETEM/MCTI
Leonardo Luiz Lyrio da Silveira - CETEM/MCTI
Luciana Marelli Mofati - CETEM/MCTI
Marcos Nunes Marques - UNIMINAS
Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá - MHB Serviços Geológicos Ltda.
Nuria Fernández Castro - CETEM/MCTI
Roberto Carlos da Conceição Ribeiro - CETEM/MCTI
Roberto Cerrini Villas-Bôas - CETEM/MCTI
Ronaldo Simões Lopes de Azambuja - CETEM/MCTI (*In Memoriam*)
Rosana Elisa Coppedê da Silva - CETEM/MCTI
Vanildo Almeida Mendes - CPRM/MME

Colaboradores:

Abiliane de Andrade Pazeto, Ana Cristina Franco Magalhães, Arquiteto Paulo Barral, Arquiteto Renato Paldés, Carolina Nascimento Oliveira, Davi Souza Vargas, Diego Amador Rodrigues, Douglas Bortolote Marcon, Eder Ferreira Framil, Eduardo Coelho, Eduardo Pagani, Gilson Ezequiel Ferreira, Hieres Vetorazzi, Hudson Duarte, Isabela Rigão, Jefferson Camargo, Julio César Guedes Correia, Marcelo Taylor de Lima, Marcione Ribeiro, Michelle Pereira Babisk, Ronaldo Frizzera Matos, Thiago Bolonini, Victor Ponciano.

Capa: Bruno Dias Ferreira, Roger Ferreira de Lima, Ananda Menali Menezes Rodrigues

Desenhos: Cassiane Santos Tofano, Nuria Castro

Revisão Português: Danielle da Conceição Ribeiro, Verônica Bareicha

Projeto gráfico/Editoração eletrônica: Vera Lúcia do Espírito Santo, Thiene Pereira Alves

Revisão: Carlos Rubens de Alencar

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es)

Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento/Eds. Francisco W. H.

Vidal, Hélio C. A. Azevedo, Nuria F. Castro - Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.

700p.: il.

1. Rochas ornamentais. II. Beneficiamento de minério. I. Centro de tecnologia Mineral.
II. Vidal, Francisco W. H. (Ed.). III. Azevedo, Hélio C. A. (Ed.). IV. Castro, Nuria F. (Ed.)

ISBN 987-85-8261-005-3

CDD 553

ESTE LIVRO FOI FINANCIADO POR

Secretaria de
Geologia, Mineração e
Transformação Mineral

Ministerio de
Minas e Energia

Agradecimentos

ANPO, Andreia Batista Teixeira, Antonio Augusto Pereira Souza (Fuji Granitos), Associação Ambiental Monte Líbano, Alvorada Mineração, Bruno Zanet, Cetemag, Comil Cotaxé Mineração, Decolores Mármore e Granitos, Emanuel Castro (Revista Rochas), Elzvir Guerra (SGM/MME), Enir Sebastião Mendes (SGM/MME), Fernando Vidal, Flamart Acabamentos do Brasil Ltda., Flávia Karina Rangel de Godoi, Flávio José Silva, Fundisa, IEMA, Granfaccin Granitos, Granitos Collodetti, Granitos Zucchi, Ivar Costa, Luiz Zampirolli, Marbrasa Mármore e Granitos, Mauro Varejão, Mineração Corcovado, Mineração Guidoni, Mineração Pagani, Mineração Santa Clara, Mineração Vale das Rochas, Nilza Hagai, Olívia Tirello (Centrorochas), Pedra Mosaico Português Cesar, Pedra Rio, Pemagran, Phillipe Fernandes de Almeida, Prefeitura Municipal de Cachoeiro de Itapemirim, Regina Martins, Rossittis Brasil S.A., Sindirochas, Tracomal Mineração, Volpi equipamentos.

Dedicatória “*in memoriam*”

Nossa eterna gratidão e reconhecimento aos colegas que não chegaram a ver esta obra concluída, mas que em muito contribuíram com a sua elaboração e com o legado nela impresso:

Gildo Sá Cavalcanti de Albuquerque

Adriano Caranassios

Ronaldo Simões Lopes de Azambuja

Sumário

Agradecimentos	
Dedicatória	
Apresentação	
Prefácio	
Prólogo	
Sumário	
Capítulo 1: Introdução	15
Capítulo 2: Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas	43
Capítulo 3: Pesquisa de rochas ornamentais	99
Capítulo 4: Lavra de rochas ornamentais	153
Capítulo 5: Aspectos legais das rochas ornamentais	259
Capítulo 6: Plano de aproveitamento econômico de rochas ornamentais	285
Capítulo 7: Beneficiamento de rochas ornamentais	327
Capítulo 8: Saúde e segurança no trabalho	399
Capítulo 9: Resíduos - tratamento e aplicações industriais	433
Capítulo 10: O setor de rochas ornamentais no Brasil	493
Capítulo 11: A busca da sustentabilidade na produção e uso das rochas ornamentais	529
Anexo	567
Glossário e dicionário	587

ILO - INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (Genebra). United Nations World Day for Safety and Health at Work 2013: Health and safety at work: Facts and figures. Disponível em: <http://www.ilo.org/safework/events/meetings/WCMS_204594/lang--en/index.htm>. Acesso em: 28 abr. 2013.

MAENO; Maria; *et al.* Lesões por esforços repetitivos (LER), distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (Dort), dor relacionada ao trabalho. (on line) Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/protocolo_ler_dort.pdf. Brasília, 2006. Acesso em 26 de junho de 2013.

MOULIN, Maria das Graças Barbosa; De heróis e de mártires: visões de mundo e acidente de trabalho no setor de rochas ornamentais. In:____. Cadernos de Psicologia Social do Trabalho. Vitória:Universidade Federal do Espírito Santo, 2007, vol. 10, num. 01, p. 37-53.

NETO, Caetano Dallora. Análise das vibrações resultantes do desmonte de rocha em mineração de calcário e argilito posicionada junto à área urbana de Limeira (SP) e sua aplicação para a minimização de impactos ambientais. (on line). São Paulo: 2004. Disponível em: http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brc/33004137036P9/2004/dalloraneto_c_me_rcla.pdf. Acesso em 26 de junho de 2013.

PELLEGRINELLI, Cláudia Mara B.F. Programa Especial de Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Palestra proferida no Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 16 abril. 2013.

REGAZZI, Rogério Dias. Análise da vibração e referências normativas. (on line). Disponível em: <http://isegnet.porta80.com.br/siteedit/arquivos/3R%20CURSO%20Vibracao%20no%20Corpo%20Humano%20Analise.pdf>. Acesso em 26 de junho de 2013.

REIS, R. C., SOUSA, W. T. Métodos de lavra de rochas ornamentais.Ouro Preto, p. 207-209, set. 2003.

SINDIMÁRMORE - Sindicato dos Trabalhadores do Mármore e Granito do Espírito Santo. Disponível em: <http://www.sindimarmore.com.br/noticias>. Acesso em 07 de junho de 2013.

SUS - Sistema Único de Saúde. LER/DORT. (on line). Disponível: <http://www.saude-rioclaro.org.br/crst/cartilhas/Cartilha%20LER%20DORT%20Cerest%20-%20RC%202008.pdf>. Rio Claro: São Paulo, 2008. Acesso em 26 de junho de 2013.

TERÁN, J.E.C. Educação em Saúde: Silicose. 2010. 15 f. Curso de Especialização em Atenção Básica em Saúde da Família. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2010.

VENDRAME, Antônio Carlos. Vibrações ocupacionais. (on line). Disponível em: http://www.vendrame.com.br/novo/artigos/vibracoes_ocupacionais.pdf. Acesso em 26 de junho de 2013.

WAGNER, José Luis; *et al.* Cartilha sobre LER/DORT. (on line). Disponível em: http://www.sintfub.org.br/arquivos/publicacoes/SINTFUB_-_Cartilha_LER-DORT.pdf. Acesso em 26 de junho de 2013.

Capítulo 9

Resíduos: tratamento e aplicações industriais

Antônio Rodrigues de Campos, Eng. Metalúrgico, DSc., CETEM/MCTI
Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Eng. Químico, DSc., CETEM/MCTI
Nuria Fernández Castro, Enga. de Minas, MSc. CETEM/MCTI
Helio Carvalho A. de Azevedo, Geólogo, Companhia Baiana de Pesquisas Minerárias – CBPM
Leonardo Cattabriga, Eng. de Petróleo e Gás, Eng. de Segurança no Trabalho. CETEM/MCTI

1. Introdução

A mineração é um dos setores industriais que maior quantidade de resíduos gera. Na Europa, em 2008, 27,8% de todos os resíduos gerados foram provenientes da indústria mineral, o que representou mais de 700 milhões de toneladas (Mt) de resíduos naquele ano. A maior parte desses resíduos (quase 600 Mt em 2008, que correspondem a quase 1,5 toneladas *per capita*) é constituída de solo e rochas, sendo considerados pela legislação europeia como não perigosos e, em alguns casos, como inertes, mas, certamente, representam um problema para o qual diversas soluções já estão sendo aplicadas e outras estudadas.

Dentro do setor de mineração, a produção de rochas ornamentais, devido a suas baixas taxas de aproveitamento, é uma grande contribuidora para a geração desse tipo de resíduos sólidos. Segundo os levantamentos do Núcleo Regional do Espírito Santo, do CETEM, em 2003, estimava-se que foram geradas 109 Mt de resíduos da produção de rochas ornamentais no mundo, considerando uma produção ROM nas pedreiras de 78 Mt e uma taxa de aproveitamento total (extração e beneficiamento) de 28,8% (PAPANTONOPOULOS *et al.*, 2007). Utilizando-se a mesma lógica, em 2011, com uma produção mundial de quase 120 Mt, a quantidade de resíduos gerada pela indústria de rochas ornamentais pode ter sido de 170 Mt.

Já no Brasil, onde consideramos uma taxa de aproveitamento média até a produção de chapas de, aproximadamente, 17%, pode se estimar que foram geradas algo mais de 22 Mt de resíduos em 2012. A maior parte, cerca de 20 Mt, é constituída por resíduos grossos gerados nas próprias pedreiras (blocos não aproveitados por estarem fora de padrão, fragmentos de rocha, rocha alterada do capeamento etc). Mesmo não representando um grave problema ambiental, geram um forte impacto visual (Fig. 1) e representam um desperdício de recurso natural, já que podem ser utilizados para outros fins, como subproduto, motivo pelo qual são, às vezes, denominados de “estoques remanescentes”.



Figura 1 - Resíduos em pedreiras de rocha ornamental. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

No processamento dos blocos nas serrarias, o resíduo gerado é de 40% do volume do bloco processado, sendo 26% de resíduo muito fino misturado com os insumos da serragem e 14% de resíduo grosso, na forma de casqueiro (restos do aparelhamento dos blocos). Estima-se, então, que no beneficiamento sejam geradas em torno de 1,5 Mt dos resíduos finos (pó de rocha) e quase 1 Mt de resíduos grossos (casqueiros e aparas) anualmente no país. (Fig. 2)

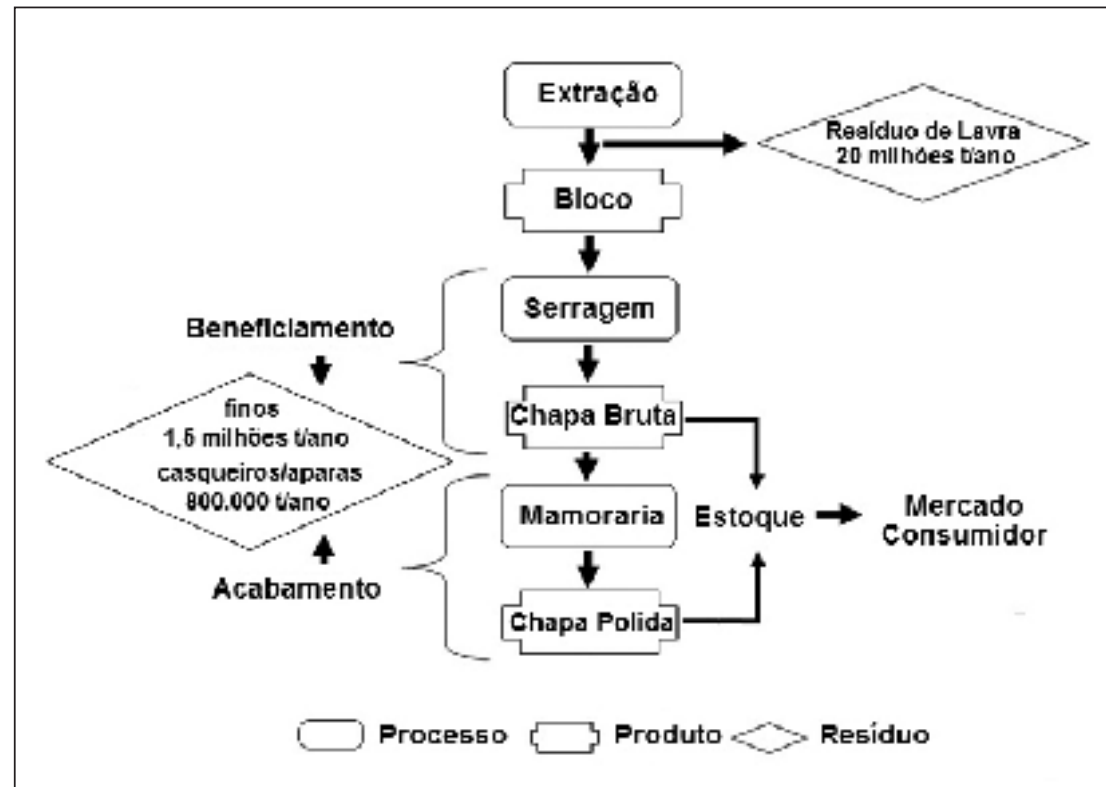


Figura 2 - Resíduos da produção de rochas ornamentais. Elaboração dos autores.

Minimizar impactos ambientais, como a minimização da produção de resíduos, e maximizar o uso dos recursos naturais não renováveis são diretrizes das sociedades modernas, já engajadas na busca do desenvolvimento sustentável. Por isso, em todos os países e, particularmente, no Brasil tanto a legislação ambiental, quanto a Política Nacional de Resíduos Sólidos, requerem que sejam buscadas soluções técnicas para o aproveitamento desses resíduos.

Na Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estes passam a ser definidos como todos os materiais resultantes de atividades humanas em sociedade cuja destinação final não seja seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, exigindo, portanto, soluções técnicas e o gerenciamento para a sua destinação final ambientalmente adequada. Os rejeitos, por sua vez, são todos os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (a exemplo dos aterros).

Diversas alternativas para a utilização dos resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais vêm sendo estudadas. Além do aproveitamento dos estoques remanescentes, de forma direta, nas pedreiras, na forma de artesanato ou elementos de construção civil, muitos estudos buscam encontrar a viabilidade técnica e econômica de transformar os resíduos finos da serragem em insumos para setores industriais como a indústria cerâmica, a agricultura, o setor de polímeros, indústria cimenteira e de argamassa para construção civil e a própria indústria de rochas ornamentais e de revestimento (uso em mosaicos e listelos, entre outros).

O presente capítulo aborda exclusivamente os resíduos derivados da rocha (finos ou grossos) por serem os mais importantes em termos quantitativos dentre todos os resíduos (fragmentos de rocha, pó de rocha, lama, restos de aço, plásticos, graxas, papelão, óleos, resinas... etc.) gerados na produção de rochas ornamentais e de revestimento. Trata das técnicas passíveis de serem aplicadas no tratamento desses resíduos, dos setores de aplicação e dos estudos desenvolvidos pelo Centro de Tecnologia Mineral, voltados para seu aproveitamento, de modo a projetar futuros usos e sua valorização.

2. Resíduos da cadeia produtiva

Os resíduos gerados na lavra e beneficiamento de rochas ornamentais representam perdas de matéria-prima que são da ordem de 83%. Para produzir 330 m² de chapas (média obtida de um bloco de 10 m³), são extraídos, em média, 30 m³ de rocha do maciço. Desses, 20 m³ ficam na pedreira na forma de resíduos. A maioria deles são grossos, normalmente blocos fora de padrão, irregulares e com defeitos, pedaços de blocos, lascas de rochas e casqueiros do aparelhamento dos blocos que se constituem em estoques remanescentes, pois podem ter utilização direta na produção de chapas ou ladrilhos de menor valor ou de outras peças estruturais ou decorativas (Fig. 3).



Figura 3 - Estoques de blocos e pedaços. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Algumas dessas perdas são inevitáveis, pois estão ligadas à natureza (qualidade) das rochas ou às próprias características do jazimento e ao processo de corte. No entanto, podem ser diminuídas melhorando o conhecimento do depósito e o planejamento da lavra e, principalmente, com a valorização dos resíduos gerados transformando-os em subprodutos. Embora a prática de aproveitamento dos resíduos grossos não esteja muito difundida nas empresas, já há diversos exemplos de utilização, como pode se ver na figura 4, onde blocos fora de padrão são utilizados na construção de pontes. Na região de Santo Antônio de Pádua, no noroeste do estado do Rio de Janeiro, as aparas dos gnaisses ali produzidos são transformadas em areia artificial e em finos que se juntam aos resíduos finos das serrarias, na produção de argamassa.



Figura 4 - Ponte construída com blocos residuais em Jerônimo Monteiro. Foto: Mario César Cunha Fialho (Prefeitura Municipal de Jerônimo Monteiro), 2011.

Na transformação do bloco (volume médio 10 m^3) em chapas, na serraria, perdem-se ainda $1,5 \text{ m}^3$ nos casqueiros e aparas e $2,6 \text{ m}^3$ em finos do corte. Ou seja, dos 30 m^3 de rocha extraídos do maciço, em média, apenas seis são efetivamente transformados em chapas.

Nas serrarias são gerados resíduos que variam muito em termos de granulometria: grossos ($>2 \text{ mm}$) dos casqueiros e aparas, finos ($2-0,075 \text{ mm}$) e ultrafinos ($<0,075 \text{ mm}$) do corte e polimento das chapas. Esses resíduos, ainda, são de composição mineralógica diversa, dependendo dos tipos de rochas beneficiadas.

Os resíduos finos e ultrafinos são gerados como efluentes, em forma de lama, já que o processo de beneficiamento é realizado a úmido, motivo pelo qual as unidades de beneficiamento de rochas ornamentais contam com sistemas de separação sólido-líquido, recirculando entre 70 e 95% da água utilizada no processo.

A maior parte da lama é proveniente dos teares convencionais, constituída por 67% de água, 30% de pó de rocha, 2% de granalha, 1% de resíduos de lâmina de aço e 1% de cal, em peso. Estima-se que sejam geradas 2,2 toneladas de lama por cada metro cúbico de rocha serrado. No entanto, como as indústrias não costumam separar os resíduos por processo (serragem e polimento), misturando todos eles, a lama final pode conter, ainda, outros produtos químicos, provenientes das etapas de polimento e resinagem das chapas, no beneficiamento secundário. No polimento são gerados em torno de $3,5 \text{ kg}$ de lama por metro quadrado de chapa (ou 100 kg/m^3 de bloco). Da mesma forma, o resíduo do corte dos blocos em teares diamantados também é misturado aos dos convencionais, embora seja constituído praticamente só de pó de rocha e água.

A explosão da produção de rochas ornamentais, na década de 1990, com o consequente aumento de unidades de beneficiamento, especialmente no estado do Espírito Santo, revelou o problema ambiental do despejo direto dos efluentes das serrarias nos cursos d'água próximos. Consideradas como potenciais poluidoras, o Instituto Estadual de Meio Ambiente, regulamentou o licenciamento ambiental das serrarias por meio da Instrução Normativa IN 19/2005, dando especial ênfase ao tratamento desses efluentes, com recirculação da água e disposição dos sólidos, não perigosos, mas não inertes, em aterros.

Diversos estudos classificaram os resíduos como não inertes. Em um mais recente, Buzzi (2008) analisou 70 amostras de lama de empresas de beneficiamento de rochas ornamentais, classificando 77% delas como, Resíduo Classe II A – Não Inerte, segundo a NBR 10.004, devido a teores de Al, Ba, Cd, Pb, Cl-, Cr, fenol, Fe, F-, Hg, Ag, Na e SO_4 . Em análises recentes realizadas pelo CETEM também atestaram conteúdo em alumínio e fenóis totais fora dos limites estabelecidos pela legislação em algumas das amostras classificadas.

Com a IN19/2005, as empresas começaram então a instalar sistemas de tratamento de efluentes, principalmente de separação sólido-líquido, e recircular a água no processo. Porém, devido à grande quantidade de lama gerada, muitas não dispunham de áreas suficientes para essa disposição o que impedia que obtivessem ou renovassem a licença de operação para sua atividade, motivo pelo qual tiveram que destinar áreas de terreno fora das suas indústrias para a construção dos aterros de lama, muitas vezes em associação com outras empresas. Isso acabou abrindo as portas para a construção de vários aterros licenciados de deposição da lama (GODOI, 2009). Um exemplo disso é o aterro da Associação Ambiental Monte Líbano (Fig. 5), em Cachoeiro de Itapemirim, onde cerca de 60 empresas depositaram, em 2012, 137.552 toneladas de finos (lama seca) e 27.737 toneladas de lama líquida. A lama líquida ou resíduos finos com alto teor de umidade é tratada em tanque de decantação e filtro prensa, para eliminar a água e depositar a lama já seca nas células do aterro. A água separada é retornada à empresa geradora da lama líquida. Já, na região norte do Espírito Santo, os produtores contam com a Central de Tratamento de Resíduos de Nova Venécia, com mais de 20 associados. Atualmente, no Estado do Espírito Santo, o principal destino dado para a lama abrasiva são os aterros industriais de terceiros e, hoje, o estado conta com 43 aterros licenciados (FRAMIL, 2013).

O licenciamento desses aterros é regulamentado pela Instrução Normativa – IN 12/2007, que estabelece que “o volume de resíduos a ser disposto deverá garantir uma vida útil mínima de seis anos ao aterro e que os resíduos só poderão ser depositados com taxa de umidade igual ou inferior a 30%, classificados previamente ao seu recebimento e monitorados segundo a norma NBR 10.004 ou outra que seja adotada pelo órgão gestor”.

Seguindo a tendência mundial de utilização de tecnologias mais limpas, espera-se, em um futuro próximo, que o problema dos resíduos finos do beneficiamento seja minimizado pela rápida expansão da tecnologia dos teares de fios diamantados (multifio). Seus resíduos, constituídos

somente de pó de rocha e água, têm maiores possibilidades de utilização por não conterem elementos metálicos nem químicos derivados do processo de beneficiamento. Diversas empresas já instalaram teares multifio nas pedreiras e estocam seu resíduo para utilização industrial, considerando-o matéria-prima. Diminui-se, assim, a geração de resíduos nas unidades de beneficiamento, além dos custos de transporte.



Figura 5 - Célula de deposição de finos de beneficiamento, do aterro da Associação Ambiental Monte Líbano, em Cachoeiro de Itapemirim (ES). Foto: AAMOL, 2013.

Apesar da variabilidade de sua composição, muitos trabalhos de pesquisa, ao redor do mundo, demonstraram a viabilidade técnica de sua utilização industrial. De fato, os resíduos grossos podem ser utilizados na construção civil, em obras de entroncamentos, pavimentação, meio fio, mosaico e muitos outros elementos ou peças estruturais e decorativas. Se cominuídos, os resíduos podem ser utilizados na produção de brita, areia artificial, argamassa, pavimentos e outros. Os finos podem ser beneficiados e utilizados, por exemplo, nas indústrias de cerâmica, de borracha, de plásticos, tintas, argamassas, manilhas, mourões, pré-moldados, indústria de cimento, agricultura etc., além das outras utilizações acima mencionadas para os grossos. Os contaminantes metálicos (ferro) podem ser direcionados para a metalurgia. Todas estas aplicações vão depender, principalmente, dos diferentes tipos de rochas que deram origem a esses resíduos, conferindo aos mesmos suas composições mineralógicas e suas características físicas e químicas.

Apesar da existência das várias possibilidades de aplicação industrial dos resíduos de rochas ornamentais, a utilização dos mesmos ainda é incipiente, se comparado com o passivo ambiental existente e com a quantidade que é produzida, no dia a dia das empresas.

Alguns projetos recentemente desenvolvidos no CETEM, referentes ao aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais, têm mostrado que é possível transformar rejeitos, que antes poluíam

o meio ambiente, em resíduos aproveitáveis, ou subprodutos de aplicação industrial, dando retorno econômico aos investimentos realizados e atenuando impactos ambientais, com geração de empregos e renda para as comunidades vizinhas. São os casos da fábrica de argamassas implantada em Santo Antonio de Pádua – RJ, que aproveita os resíduos (finos de serragem de rocha e aparas) gerados nas serrarias de rochas ornamentais da região e a usina piloto implantada em Várzea – PB, para o aproveitamento de resíduos de quartzito da região, também na fabricação de argamassas e outros produtos. Esses trabalhos são apresentados no final do capítulo. Outros órgãos de pesquisa ou empresas têm conseguido resultados similares, como a AAMOL que acaba de apresentar o projeto de instalação de uma fábrica de argamassa para a utilização dos finos de seu aterro.

3. Tratamento dos resíduos

As técnicas a serem aplicadas no tratamento dos resíduos de rochas ornamentais vão depender da forma como esses resíduos se apresentam: se na forma de resíduos sólidos secos (grossos e finos) ou na forma de efluente (lama). Seu aproveitamento pode ser feito de forma direta (sem nenhum tratamento) ou precisará passar por algum tratamento, visando melhorar suas qualidades para a aplicação industrial que se deseja. Esse tratamento é realizado por meio de operações unitárias normalmente utilizadas no beneficiamento de minérios como britagem, moagem, peneiramento, classificação e concentração.

Quando o resíduo estiver na forma de efluente, o tratamento inicia-se com a realização de operações de desaguamento (separação sólido-líquido) resultando em material sólido seco e água que pode ser recirculada, como se detalha no item 4, deste capítulo.

3.1. Cominuição ou fragmentação

Por meio da cominuição, os resíduos grossos, como matacões de rochas, pedaços de blocos, blocos fora de padrão, casqueiros e aparas de serrarias etc., podem ser transformados em bens vendáveis como britas, areia artificial e material fino para diversas aplicações industriais.

A cominuição é realizada em equipamentos denominados britadores e moinhos. Entre os britadores, podem ser citados os britadores de mandíbulas, giratórios, cônicos de redução, britadores de impacto, britadores de rolos, de eixo vertical (tipo Barmac). Entre os moinhos podem ser citados os moinhos de bolas e de martelos.

Dos equipamentos acima citados, os mais utilizados para cominuição de resíduos de rocha são: britadores de mandíbulas, moinho de martelos e moinho de bolas. Os britadores cônicos e de eixo vertical (Barmac) são apropriados para produção de areia artificial, principalmente o último, apesar de ainda ser pouco utilizado. O moinho de martelos e o moinho de bolas são utilizados para a produção de finos (pó) para diferentes setores da indústria (construção civil, cerâmica, tintas e outros).

Britadores de mandíbulas

O britador de mandíbulas é muito utilizado no primeiro estágio de redução de tamanho (britagem primária), para fragmentos de maiores dimensões. Existem dois tipos principais de britadores de mandíbulas, que são os britadores de um eixo (tipo universal) e de dois eixos, tipo Blake (Fig. 6).

Em ambos os tipos, uma das mandíbulas é móvel e a outra é fixa. A mandíbula móvel realiza um movimento excêntrico esmagando o material alimentado contra a outra, que permanece fixa.

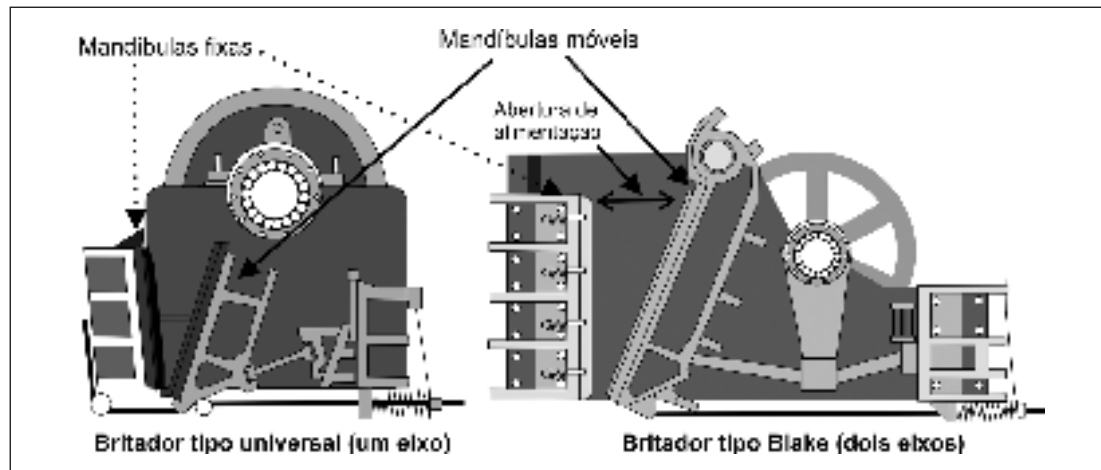


Figura 6 - Britadores de mandíbulas. Modificado de METSO, 2013.

Esse tipo de britador é especificado pelas dimensões da sua boca de alimentação. Exemplo: britador 4" x 6" (largura de 4 polegadas e comprimento de 6). A abertura da boca do britador deve ser, pelo menos, 20% maior que o tamanho da granulometria de alimentação, para evitar congestionamentos de material.

Moinho de martelos

Este tipo de moinho é utilizado na indústria para cominuição fina de resíduos destinados à produção de argamassa, pré-moldados, brita fina e outros, de utilização na indústria da construção civil.

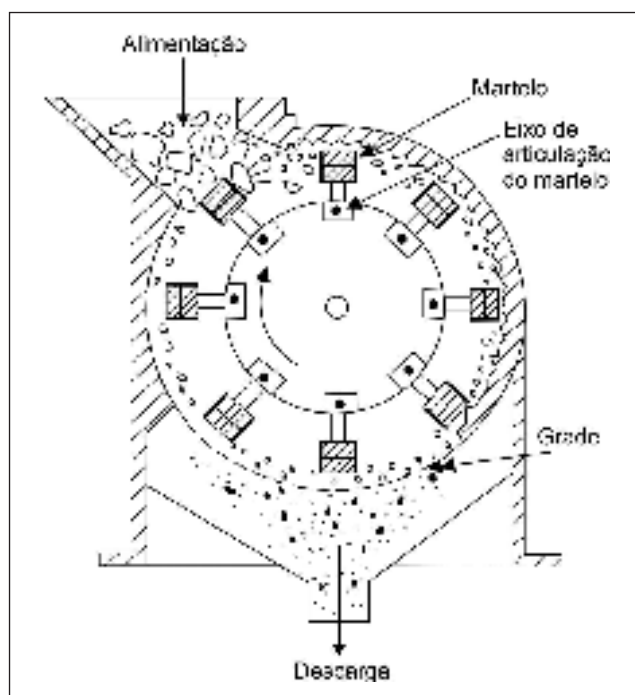


Figura 7 - Moinho de martelos. Extraído de Luz, 2010.

O moinho de martelos consiste de um eixo girando em alta rotação, no qual ficam presos, de forma articulada, os martelos ou blocos. A figura 7 mostra o esquema de funcionamento do moinho de martelos. O material é alimentado pela parte superior, sofre o impacto dos martelos e é projetado contra a superfície interna da câmara. O material vai sendo fragmentado até passar pela tela inferior (grade) que vai bitolar o tamanho de descarga.

O moinho de martelos normalmente trabalha em conjunto com peneiras e classificador pneumático (ciclone), para classificação dos produtos da moagem.

3.2. Peneiramento

O peneiramento tem como principal objetivo o desdobramento de um material granular em duas ou mais frações de tamanhos distintos. No peneiramento, a separação das partículas é feita exclusivamente segundo o tamanho das partículas, mediante o uso de uma peneira. A fração granulométrica mais grossa, de tamanho superior à abertura da peneira (malha), é denominada de retido ou *oversize*. A fração mais fina que passou pela malha da peneira é denominada passante ou *undersize* (Fig. 8).

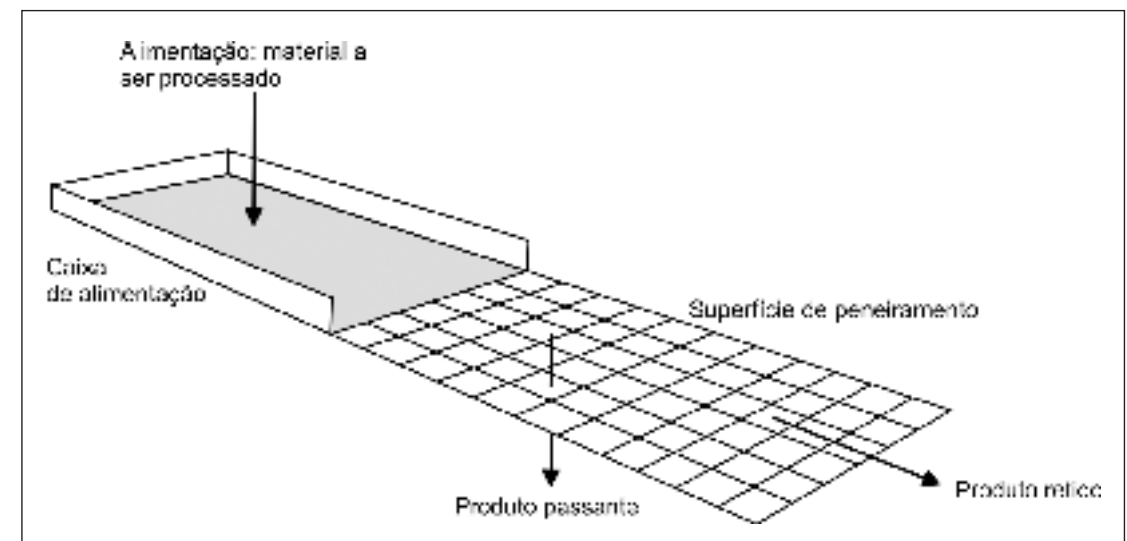


Figura 8 - Esquema de peneiramento. Modificado de METSO, 2005.

Os principais fatores que influenciam na eficiência de um peneiramento são: tipo de superfície de peneiramento; umidade do material; forma da partícula; espessura da camada de material sobre a superfície; e ângulo de incidência da partícula na tela da peneira.

Os equipamentos industriais de peneiramento dividem-se, basicamente, em duas categorias:

- Estacionários ou Fixos: grelha fixa, peneiras tipo DSM.
- Móveis: grelha móvel, peneira rotativa (trommel) e peneira vibratória.

Nos equipamentos estacionários ou fixos, a única força atuante no peneiramento é a da gravidade e, por isso, essas peneiras têm sempre a superfície de peneiramento inclinada. Neste capítulo, serão descritas: a grelha fixa, a grelha móvel, a peneira rotativa e a peneira vibratória.

Grelha fixa

É um equipamento em que a superfície de peneiramento é formada, normalmente, por um conjunto de barras dispostas paralelamente, e inclinadas 35° a 45° na direção do fluxo (Fig. 9).

É um equipamento robusto utilizado em circuitos de britagem. É colocado antes da alimentação do britador primário, visando reter peças metálicas ou de rochas, com dimensões maiores que a boca do britador, que poderiam causar obstrução do mesmo.

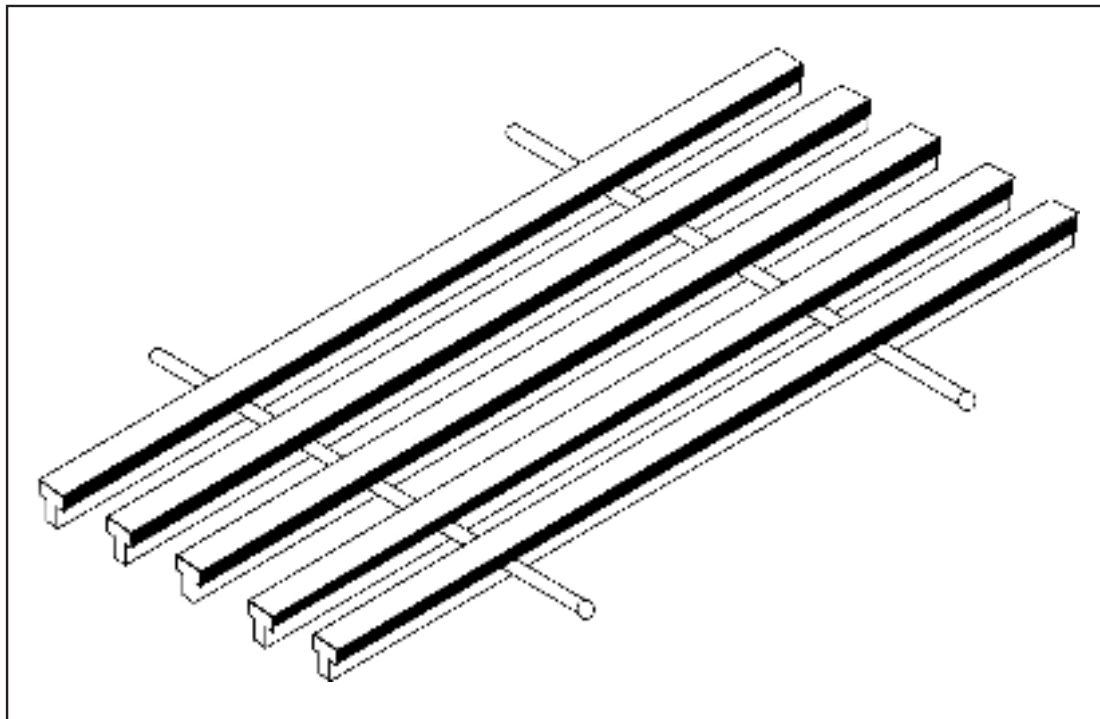


Figura 9 - Grelha fixa. Modificado de Luz, 2010.

Grelha móvel

Este tipo de grelha é semelhante à grelha fixa, porém a superfície de peneiramento está sujeita a vibração, aumentando sua eficiência em relação àquela.

Peneira rotativa (Trommel)

A superfície deste tipo de peneira, também conhecida como trommel, é cilíndrica ou ligeiramente cônica e movimenta-se por rotação em torno de seu eixo longitudinal. A superfície é feita de chapa perfurada ou de tela.

O eixo da peneira tem uma inclinação que varia de 4° a 10°, dependendo tipo de material a ser peneirado. A velocidade de rotação da peneira varia entre 35 e 40% da velocidade crítica, que é a velocidade mínima para a qual a força centrífuga mantém as partículas coladas na superfície cilíndrica.

O equipamento pode ser constituído de uma peneira ou duas em série, ou concêntricas, como mostra a figura 10.

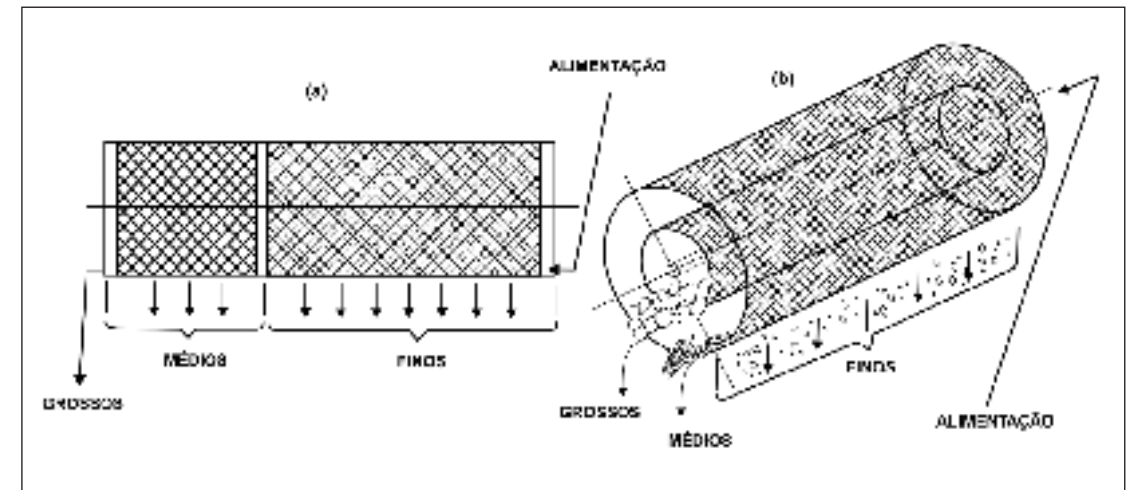


Figura 10 - Sistemas de colocação de telas em peneiras rotativas, em série (a) e concêntricas (b). Modificado de Luz, 2010.

A peneira rotativa é muito utilizada em pequenas empresas, no peneiramento de resíduos, lavagem de cascalhos e areias, e em minerações de ouro, diamante e cassiterita (CORREIA, 2010). Atualmente este tipo de peneira tem sido substituído por peneiras vibratórias, que têm maior capacidade e eficiência. Por outro lado, a peneira tipo trommel é de fácil construção.

Peneiras vibratórias

São os equipamentos de peneiramento mais conhecidos e de uso mais frequente em mineração. São largamente empregadas nas operações de britagem, seja na graduação de um produto final ou na preparação de minério para as próximas etapas de tratamento ou processo. Mediante mecanismos de acionamento, imprime-se na superfície de peneiramento movimento circular, elíptico ou linear. As peneiras vibratórias podem ser inclinadas, horizontais, de alta e baixa frequência e alta e baixa amplitude de vibração. A inclinação nas peneiras varia entre 15° e 35°. As superfícies de peneiramento (decks) podem ser constituídas de barras paralelas, chapa perfurada ou fios trançados (tela metálica), sendo este último tipo o mais utilizado. Recentemente, telas de material sintético (poliuretano) também têm sido utilizadas.

As peneiras vibratórias podem possuir uma ou mais superfícies de peneiramento (decks). São utilizadas para peneiramento de grossos e finos, sendo mais utilizadas para peneiramento de grossos, em circuitos de britagem, como mencionado. A figura 11 mostra uma peneira vibratória inclinada, constituída de três superfícies de peneiramento, que fornece quatro produtos granulométricos.

Na figura 11, podem ser vistas as superfícies de peneiramento e as molas que conduzem a vibração provocada, por um eixo excêntrico ou came, às superfícies de peneiramento. As peneiras vibratórias podem funcionar tanto a seco como a úmido. A carcaça é feita de aço e as peneiras podem ser de tela metálica ou de um plástico especial, onde os furos podem ser circulares, malha quadrada ou retangular (CHAVES; PERES, 1999).

Nos circuitos de britagem, a peneira é colocada logo após o britador, com a função de classificar granulometricamente o produto que sai do mesmo. O material que não passa na peneira (retido) retorna ao britador, constituindo a chamada carga circulante.

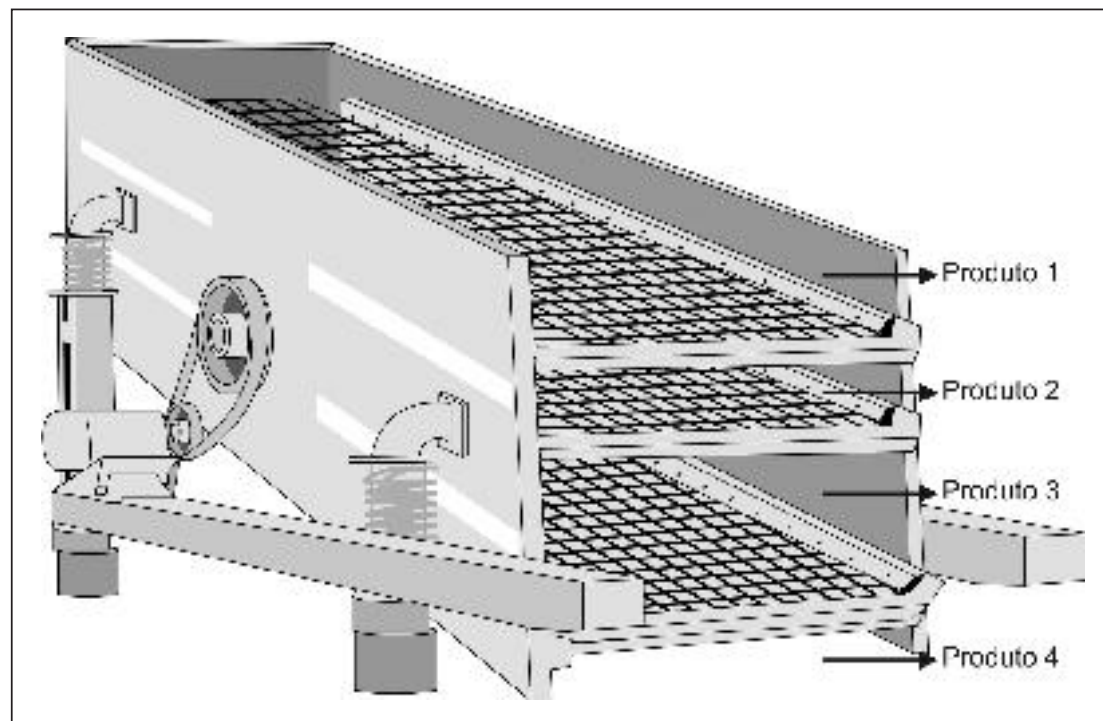


Figura 11 - Esquema de peneira vibratória. CETEM/MCTI, 2013.

3.3. Classificação

A classificação é a separação de partículas, por tamanho, realizada em meio fluido. É muito utilizada para classificar material de granulometria fina. Diversos tipos de força atuam nos vários métodos de classificação. A gravidade (peso da partícula) age, principalmente, no caso da classificação por sedimentação. Na classificação em ciclones a força centrífuga é mais importante. Os equipamentos de classificação são denominados classificadores.

Dois tipos de classificadores que poderão ser utilizados no tratamento de resíduos finos e serão abordados neste capítulo são os ciclones e os classificadores espirais (Akins).

Ciclones

Os ciclones são equipamentos muito utilizados para classificação de sólidos finos que se encontram em suspensão em um fluido. Os ciclones funcionam a seco e a úmido. Os ciclones a seco são utilizados em circuitos fechados de moagem a seco, na produção de material fino e ultrafino (pó). O material de granulometria mais fina sai na parte superior do equipamento, e o material de granulometria mais grossa sai na parte inferior do mesmo. Os ciclones que funcionam a úmido são chamados hidrociclones e são os mais utilizados na indústria mineral.

Hidrociclones

A Figura 12 mostra um hidrociclone e as principais partes que o compõem. Ele possui três orifícios: o da entrada da alimentação (injetor) e dois para as saídas dos produtos, o *vortex finder* e o *apex* (CORREIA, 2010).

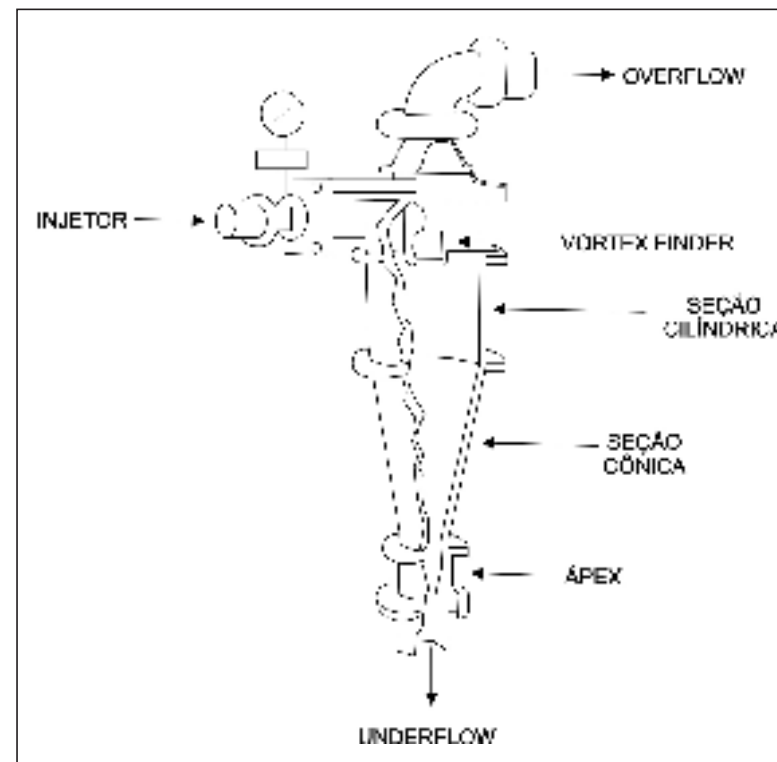


Figura 12 - Hidrociclone e as partes que o compõem. Modificado de Luz, 2010.

Os hidrociclones são constituídos, basicamente, de duas partes: uma cilíndrica e uma cônica. O ângulo da parte cônica varia de 10° a 20°. A alimentação entra no hidrociclone de forma tangencial e sob pressão. Essa forma de alimentação provoca um movimento helicoidal descendente (*vórtex* externo). Nesse movimento, as partículas mais grossas, pela ação da força centrífuga, são projetadas em direção à parede interna do mesmo e são conduzidas ao fundo do equipamento (*apex*) por onde são descarregadas (*underflow*). Por sua vez, esse movimento descendente da polpa, provoca outro movimento helicoidal ascendente interno (*vórtex* interno), que carrega as partículas finas que estão na região central do equipamento e são descarregadas pelo orifício *vortex finder* (*overflow*), realizando, assim, a classificação.

Na indústria de rochas ornamentais o hidrociclone é utilizado na classificação da mistura abrasiva circulante nos teares durante a serragem dos blocos, realizando a separação da granalha ativa (mais grossa), que sai no *underflow* e retorna aos teares, daquela que será descartada no *overflow* por não ter mais poder de corte (Fig. 13).

O tamanho crítico de descarte da granalha é, tradicionalmente, 0,4 mm, mas pode chegar até 0,2 mm no caso de utilização de granalhas finas.

Quando o tamanho crítico é alcançado, a granalha inativa é retirada do circuito na mistura contendo também pó de rocha, água, e cal (ou bentonita), que sai pelo orifício *vortex finder* do ciclone (*overflow*), no processo conhecido como “expurgo” na indústria.

Essa lama descarregada dos teares, estimada pela AAMOL em 2,2 toneladas por m³ serrado, constitui a maior parte da “lama abrasiva”, principal resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais. O hidrociclone também é conhecido na indústria como “recuperador de granalha”, “separador de granalha” ou, simplesmente, “ciclone”.

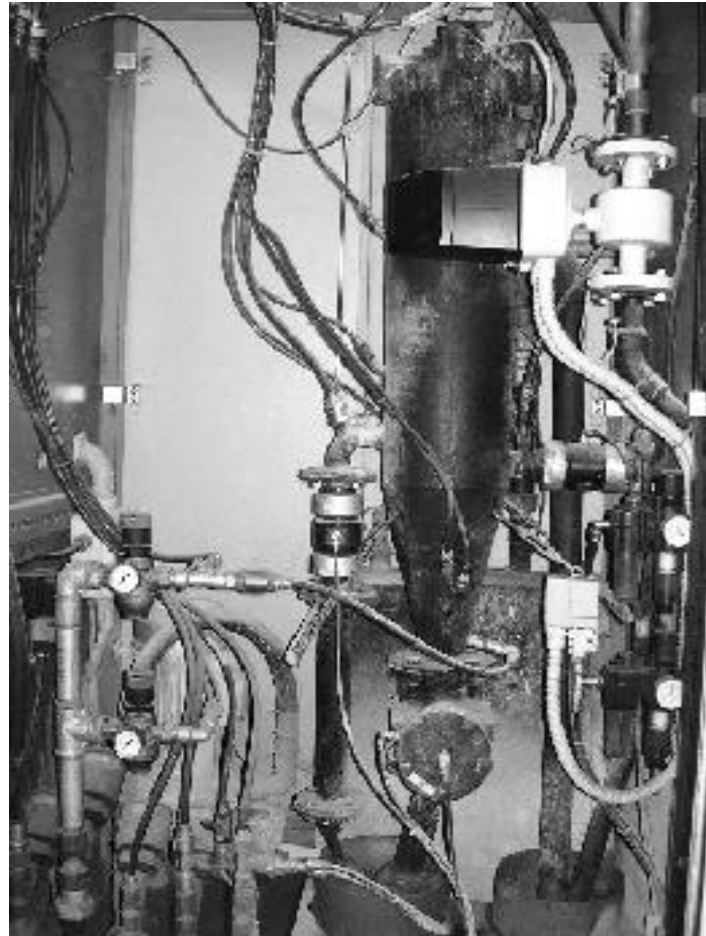


Figura 13 - Hidrociclone de tear convencional.
Foto: CETEM/MCTI, 2003.

São vários os fatores que influenciam na classificação de finos em hidrociclones. Entre estes, podem ser mencionados aqueles referentes à natureza do material sólido, que são o tamanho relativo das partículas e seus pesos específicos (densidade), e outros referentes às dimensões e formato do equipamento. Para cortes finos utilizam-se hidrociclones de menor diâmetro, e para cortes mais grossos utilizam-se diâmetros maiores. Entende-se por corte a granulometria de classificação. Dependendo dos ajustes das suas variáveis operacionais, os hidrociclones podem ser utilizados, também, em operações de espessamento e deslamagem de polpas, em circuitos de flotação.

Classificador espiral

Os classificadores espirais (Fig. 14) são constituídos, basicamente, de uma calha semicircular, dentro da qual se encontra um eixo envolvido por hélices (fita helicoidal). Na parte baixa da inclinação da espiral se encontra a bacia de decantação. É nesta bacia que a classificação se realiza. Quando em operação, as hélices, acopladas ao eixo, giram lentamente, mantendo as partículas da polpa em suspensão na bacia de decantação. A polpa é alimentada na bacia de decantação do classificador (parte inferior). As partículas grossas da polpa alimentada sedimentam no fundo da bacia de decantação, e são transportadas pelas hélices (fita helicoidal) para a parte superior da calha de onde são descarregadas (*underflow*).

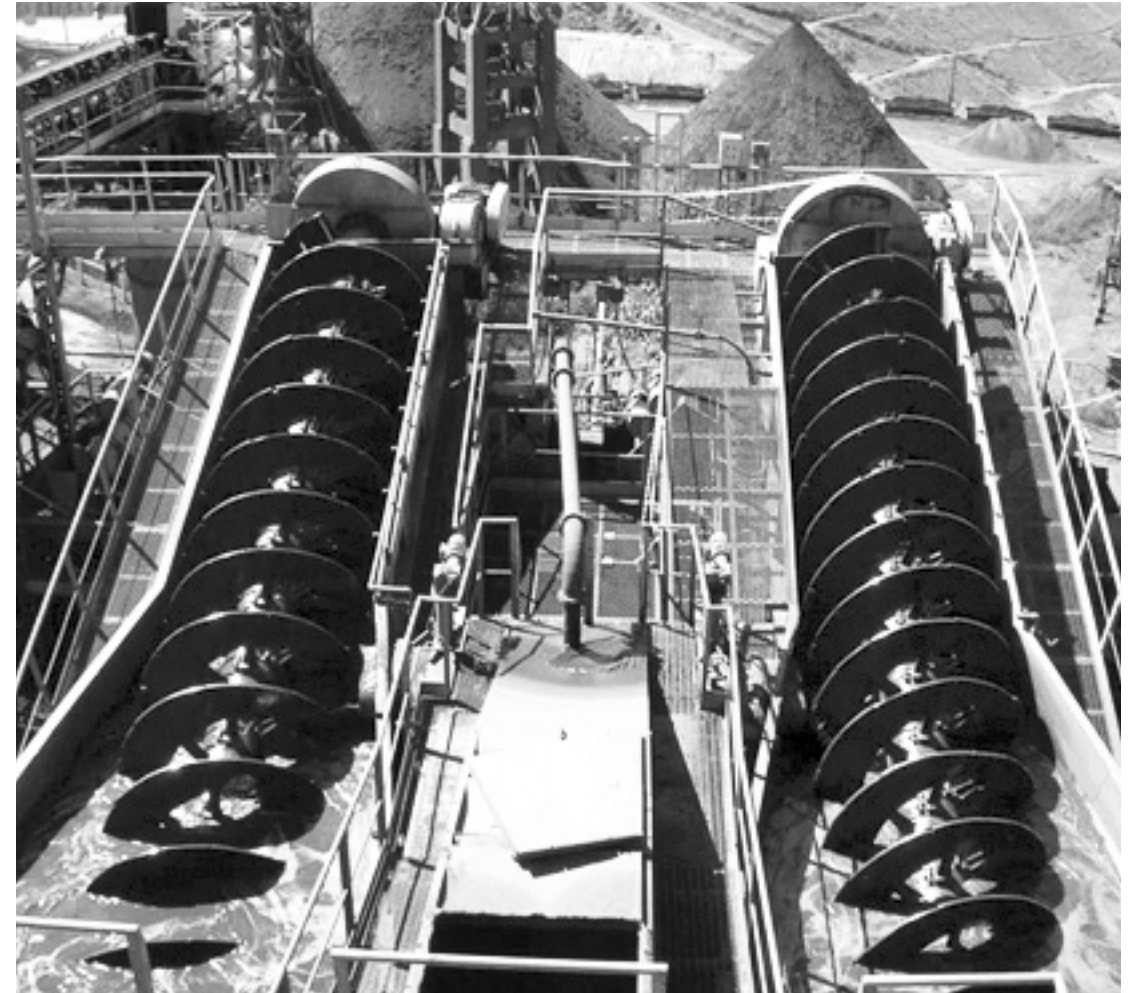


Figura 14 - Classificador de espiral. Extraído de Macdarma, 2013.

As partículas finas, de granulometria desejada, saem por transbordamento, por uma soleira localizada na parte frontal da bacia de decantação (*overflow*). As variáveis operacionais de um classificador são: altura da soleira da bacia de sedimentação; diluição da polpa na bacia de sedimentação; velocidade de revolvimento ou de arraste da hélice; e inclinação da calha.

Com as regulagens das variáveis operacionais do classificador pode-se obter a classificação granulométrica desejada.

Esses classificadores trabalham na faixa granulométrica entre as peneiras de 20 a 200 malhas por polegada quadrada, da série Tyler (costuma-se abreviar e dizer de 20 a 200 malhas) que correspondem a 0,833 e 0,074 mm, respectivamente. Comercialmente, são caracterizados pelo diâmetro das hélices.

Por ter uma mecânica mais simples e pelo seu menor preço, este tipo de classificador tem mais aceitação no mercado que outros classificadores similares, como o classificador de arraste. São os mais utilizados em usinas de pequena capacidade. Em instalações de grande porte usam-se mais os hidrociclones, devido a maior capacidade e a versatilidade destes.

O classificador espiral pode ser usado na lavagem de areias ou em pedreiras de brita, para tratar o *underflow* de hidrociclone, visando a lavagem desse *underflow*.

3.4. Concentração

A concentração é a separação dos minerais com base nas diferenças entre suas propriedades físicas e físico-químicas. Entre estas propriedades as mais utilizadas na separação dos minerais são: densidade (separação gravítica, que realiza a separação dos minerais pelas diferenças de densidades); propriedades magnéticas (separação magnética, que realiza a separação dos minerais pelas diferenças das suas propriedades magnéticas); propriedades elétricas (separação eletrostática); química de superfície (flotação) etc. Dentre esses diferentes tipos de concentração de minerais, neste capítulo serão considerados alguns métodos de concentração gravítica (espirais concentradoras e mesas oscilatórias), separação magnética e flotação, que são mais passíveis de serem utilizados no tratamento de diferentes tipos de resíduos da indústria de rochas ornamentais.

Espirais concentradoras

A espiral concentradora consiste de uma calha helicoidal, de seção transversal semicircular, desenvolvida helicoidalmente em torno de um eixo (tubo central) vertical. Entre as espirais concentradoras, a mais tradicional é a espiral de Humphreys (Fig. 15).

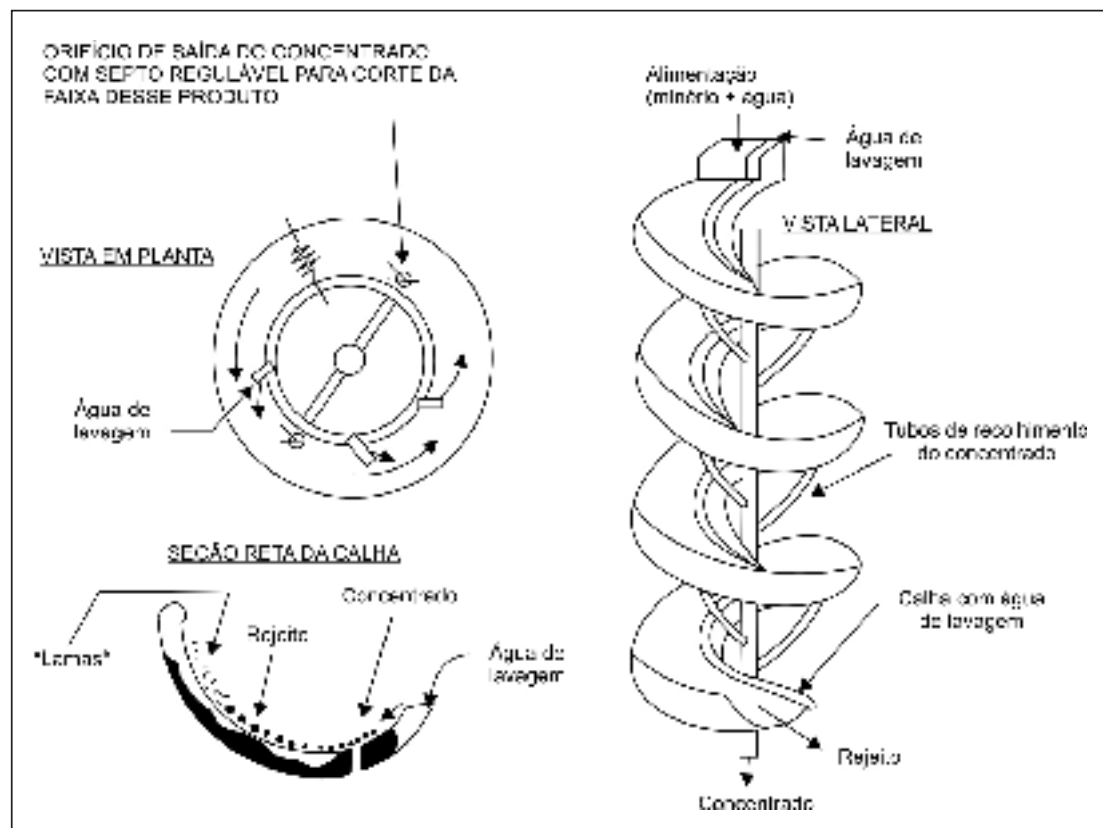


Figura 15 - Espiral Concentradora tipo Humphreys. Extraído de Luz, 2010.

A parte da direita da figura mostra o perfil da espiral, o ponto de alimentação da polpa no equipamento e da água de lavagem; os tubos de recolhimento dos minerais pesados (concentrado); o tubo coletor central que recebe os minerais pesados que saem pelos orifícios existentes no fundo da calha; a calha da água de lavagem e as saídas dos produtos: concentrado e rejeito. A parte da esquerda mostra a espiral vista em planta e a seção reta da calha, com a distribuição dos produtos, por tamanho e densidade, na mesma (concentrado, rejeito e lamas); a água de lavagem e as aberturas reguláveis existentes no fundo da calha por onde saem os minerais pesados e entram no tubo coletor central (eixo central).

A espiral concentradora é um equipamento de concentração gravítica, em que a propriedade diferenciadora utilizada na separação dos minerais é a densidade. Portanto, nesse equipamento, os minerais vão ser separados principalmente pelas diferenças de suas densidades.

Existem outros tipos de espirais com características diferentes (largura e passo da espiral, perfil da calha e forma de remoção do concentrado), que são comercializadas conforme o fabricante e o fim a que se destinam, porém o mecanismo de separação é similar.

A alimentação da polpa é feita na parte superior. Na descida da polpa pela calha, as partículas menos densas e mais grossas e a lama são deslocadas para a parte periférica da calha, pela ação da força centrífuga, e saem na extremidade inferior da calha. As partículas mais densas, resistindo melhor à ação da força centrífuga, se deslocam na parte mais interna da calha, e vão sendo coletadas por meio de aberturas reguláveis, localizadas no fundo da calha. Estas aberturas são ligadas por tubos de borracha ao tubo central, que coleta, portanto, os minerais mais densos. Em alguns tipos de espiral concentradora, a separação dos produtos (leves e pesados) pode ser feita também por cortadores localizados no fim do canal da calha, como é o caso da espiral Mark 7 (LINS, 2010).



Figura 16 - Bateria de espirais (esquerda) e detalhe da calha (direita). Fotos: CETEM/MCTI, 2013.

Uma característica comum na operação das espirais é a introdução de água de lavagem após cada abertura de remoção do material pesado, com a finalidade de manter a diluição da polpa e limpar as partículas de minerais pesados dos minerais leves finos.

A granulometria normal de alimentação da espiral de Humphreys está na faixa de 14 a 150 malhas (1,17 a 0,1 mm), podendo-se estender a granulometrias mais grossas, em alguns casos, como

carvões. A espiral Mark 7 foi projetada para operar, com eficiência, na faixa granulométrica de 14 a 325 malhas (1,17 a 0,44 mm). A capacidade de uma espiral é em torno de 2 t/h, semelhante à da mesa oscilatória, porém a espiral ocupa muito menos espaço que a mesa. Na indústria, trabalha-se, normalmente, com vários conjuntos (baterias) de espirais, como mostra a figura 16.

Mesa oscilatória ou vibratória

A mesa oscilatória, também chamada mesa vibratória, é um equipamento de concentração gravítica. As mesas vibratórias funcionam a seco e a úmido. As mais comuns e mais utilizadas são as que trabalham a úmido.

A mesa oscilatória a úmido consiste de uma superfície de madeira, revestida com material de alto coeficiente de fricção (borracha ou plástico). A sua forma é geralmente trapezoidal e é levemente inclinada, no sentido transversal. A superfície (*deck*) é constituída, de uma parte lisa e de outra contendo ressaltos (*ripas*, *rifles*) colocados paralelamente ao eixo longitudinal da mesa, formando pequenos sulcos entre os rifles. A forma de disposição dos rifles na superfície da mesa caracteriza diferentes tipos de mesa. Os rifles dispostos paralelamente à base da mesa é uma característica da mesa *Wilfley*. Na mesa *Deister Overstrom Diagonal Deck* ou simplesmente mesa *Deister*, os rifles não são paralelos à borda inferior da mesa. A figura 17 mostra uma mesa oscilatória em operação.



Figura 17 - Mesa oscilatória. Foto: CETEM/MCTI, 2013.

No escoamento de partículas na lâmina d'água despejada sobre a mesa as partículas são represadas nas paredes dos rifles; as mais pesadas embaixo e as mais leves acima. As partículas leves conseguem transpor esses rifles e acabam saindo, transversalmente, na borda inferior da mesa, enquanto as partículas pesadas caminham entre os rifles, no sentido longitudinal da mesa, até saírem, quase todas, na borda lateral da mesa.

A superfície da mesa tem inclinação regulável, constituindo-se em uma das variáveis operacionais. Esta inclinação varia de 2° a 5°. Outras variáveis operacionais são: taxa de alimentação, % de sólidos na alimentação e vazão da água de lavagem. A granulometria de alimentação é na faixa de 6 a 325 malhas (3,36 a 0,044 mm), dependendo do tipo de minério. Em relação à granulometria de alimentação, existem as mesas para finos (lamas) e para materiais mais grossos. Neste último caso, as alturas dos rifles são maiores, como no caso de carvões.

Separação magnética

Esse tipo de separação pode ser utilizada no beneficiamento de resíduos de rochas ornamentais para a remoção da granalha fina existente na lama abrasiva que é descartada dos teares, diminuindo o teor de ferro da mesma para as aplicações industriais. Pode ser utilizada também na remoção da mica biotita, na flotação de feldspato contido em resíduos de granito. A propriedade diferenciadora em uma separação magnética de minerais é a susceptibilidade magnética desses minerais: muito suscetíveis (ferromagnéticos), pouco suscetíveis (paramagnéticos) e nada suscetíveis (diamagnéticos). Quanto mais próxima for essa susceptibilidade, mais difícil será a separação dos minerais; assim, para separar minerais paramagnéticos de diamagnéticos, por exemplo, será necessário um campo magnético mais intenso.

Um campo magnético pode ser formado, simplesmente, pelo enrolamento de espiras bem próximas e paralelas em volta de um indutor (núcleo de ferro), no qual é passado uma corrente elétrica. Este conjunto, espiras e indutor, representa um eletroímã, em que o campo magnético formado é semelhante ao de um ímã permanente. A separação eletromagnética ganhou grande importância no tratamento de minérios, devido a Wetherill que imaginou um eletroímã com polos talhados em forma de cunha ou bisel (separador de correias cruzadas). Dessa forma, conseguiu-se obter campos magnéticos de mais alta intensidade pela convergência das linhas de força em direção à ponta do bisel. Isto possibilitou condições para separação de vários minerais que antes não era possível.

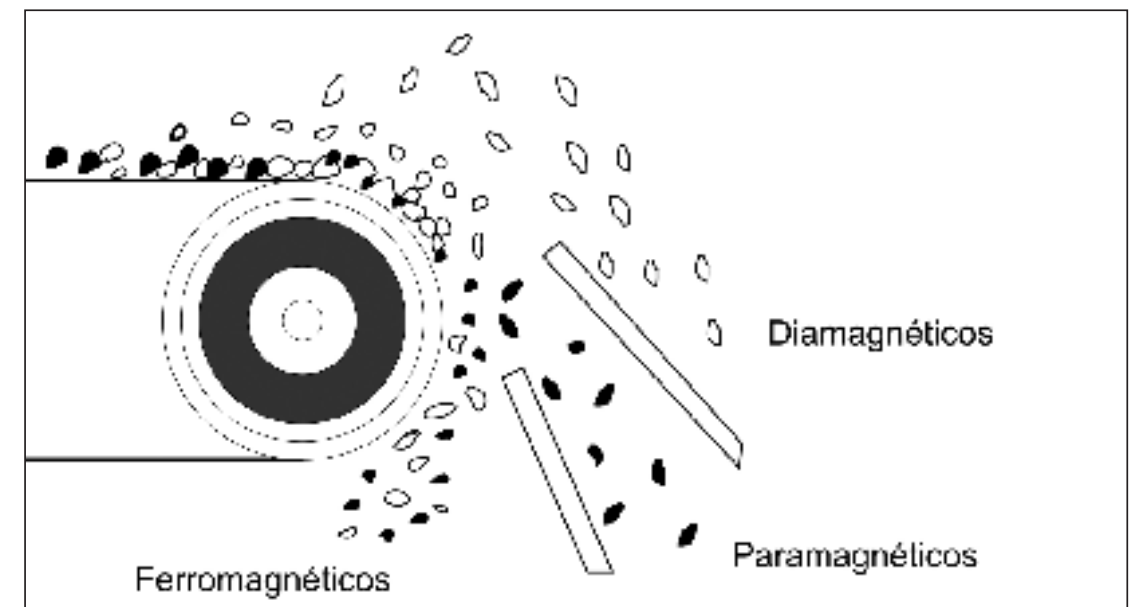


Figura 18 - Trajetórias de minerais ferromagnéticos; paramagnéticos e diamagnéticos, ao passarem por uma polia magnética. Elaborado pelo CETEM/MCTI, 2013.

O esquema da figura 18 mostra, de uma maneira simplificada, como seriam as trajetórias de minerais magnéticos, fracamente magnéticos e diamagnéticos, ao passarem por uma polia magnetizada.

Os separadores magnéticos podem ser classificados em:

- Separadores via seca ou via úmida.
- Separadores de baixa e alta intensidade.
- Separadores de rolos induzidos, de tambor, de correias cruzadas etc., em relação às características mecânicas do equipamento.

A separação a seco, em geral, é mais utilizada para granulometrias mais grossas; e o método a úmido, para granulometrias mais finas. O que inibe um pouco uma maior aplicação desta técnica é o seu custo, que onera o projeto, em alguns casos.

A separação magnética tem dois grandes campos de aplicação na área mineral: na remoção de grandes peças de ferro ou sucatas fortemente magnéticas, agindo, neste caso, como sistema de proteção aos equipamentos de britagem e outros; e na concentração e purificação de vários sistemas minerais, inclusive no tratamento ou purificação de resíduos de rochas ornamentais.

Flotação

A flotação é um método de concentração de finos de minerais, via úmida, que explora as diferenças de características superficiais dos diversos minerais. A granulometria de atuação da flotação é, normalmente, abaixo de 28 malhas (0,59 mm). O processo de flotação consiste, basicamente, em retirar minerais aderidos a bolhas de ar de uma polpa. A figura 19 mostra a interação das três fases coexistentes, ilustrando a adesão de uma bolha de ar a uma superfície mineral, no seio do líquido, bem como a interface formada entre a bolha de ar e a superfície mineral. A tensão superficial líquido gás (γ_{LG}) e tensão superficial sólido/líquido (γ_{SL}) formam um ângulo, que é chamado ângulo de contato. Por meio da medida deste ângulo pode-se avaliar a flotabilidade de um determinado mineral. À medida que esse ângulo aumenta, a interface entre a bolha e superfície do mineral aumenta, aumentando, assim, a adesão partícula/bolha e, conseqüentemente a flotabilidade do mineral. Ao contrário, se esse ângulo diminui, diminui a interface ar/sólido; e se chegar até zero, praticamente não haverá interface entre a bolha de ar e a superfície do mineral, a flotabilidade do mineral é nula, e o mineral não flota.

Minerais hidrofóbicos aderem às bolhas de ar e flutam com maior facilidade que os minerais hidrofílicos e, por isso, utilizam-se diversos reagentes no processo para modificar as propriedades dos minerais que se pretendem separar; já que a maioria deles são naturalmente hidrofílicos. A polpa (água, minerais e reagentes) é mantida em agitação constante de forma a criar bolhas de ar que flotarão os minerais hidrofóbicos.

Os principais reagentes utilizados na flotação atuam de forma seletiva, e podem ser classificados como: coletor, depressor, espumante, regulador de pH, ativador e dispersante. O coletor é adicionado na polpa, visando aumentar a flotabilidade do mineral que se quer flotar; o depressor age no sentido inverso, ou seja, diminuindo a possibilidade de determinados minerais flatarem; o espumante tem como principal finalidade aumentar a estabilidade da bolha, para que ela não arrebente e consiga transportar o mineral que foi aderido a ela, até a superfície da polpa; o regulador de pH é adicionado para que a polpa atinja o nível de pH desejado, que é uma variável importante na separação de minerais; o dispersante é para dispersar as partículas; e o ativador é adicionado quando se quer inverter as características de superfície do mineral.

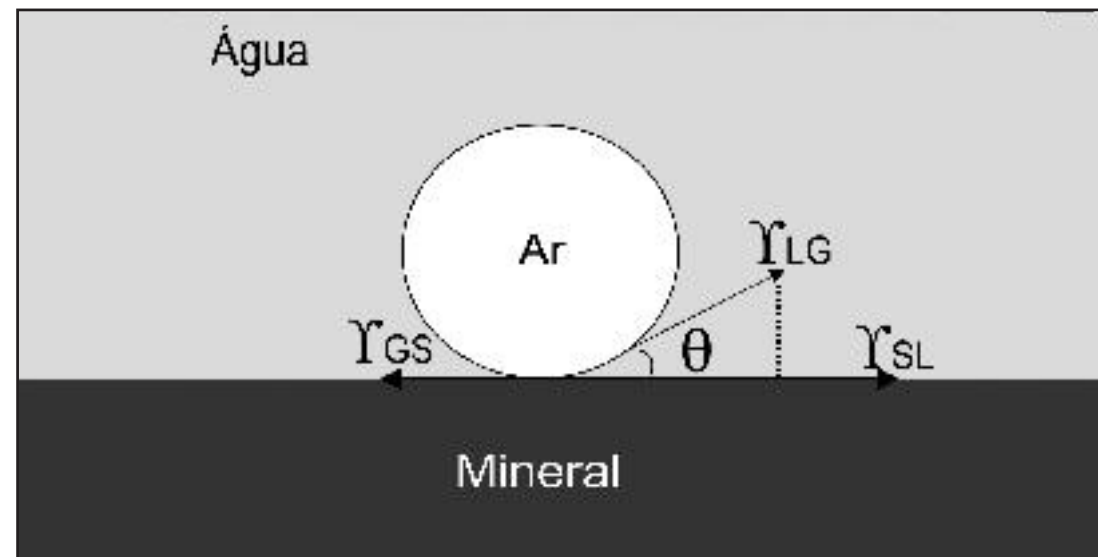


Figura 19 - Ilustração do ângulo de contato formado por uma bolha de ar em uma superfície mineral, no seio de uma massa líquida. Extraído de Baltar, 2008.

A operação de flotação é executada em duas etapas: condicionamento e flotação. O condicionamento promove os contatos dos reagentes com os minerais e precisa de um tempo de duração, que é chamado tempo de condicionamento. A flotação efetua a separação dos minerais.

A flotação é utilizada para recuperar feldspato de finos de granito e pegmatito, por exemplo. Essa forma de recuperar feldspato em finos de granito ou pegmatito é comum na Itália.

As rotas de processo podem ser separação magnética e flotação ou flotação em dois estágios. No primeiro caso, na etapa de separação magnética retira-se a mica biotita, e na etapa de flotação (feldspato + quartzo), flota-se o feldspato e deprime-se o quartzo. No segundo caso (flotação em dois estágios), no primeiro estágio da flotação, flota-se a mica biotita; e no segundo estágio (feldspato + quartzo), flota-se o feldspato e deprime-se o quartzo (CAMPOS, 1998).

4. Desaguamento de finos gerados na forma de efluentes

Os efluentes são constituídos, basicamente, de finos de rochas e água, e são gerados, normalmente, nas serrarias. Dependendo do tipo de corte realizado nas serrarias, esses efluentes podem conter, além de partículas finas de rochas (pó de rocha), também partículas finas de ferro ou aço, provenientes da granalha usada no corte da rocha, nos teares.

O desaguamento consiste de uma separação sólido/líquido, ou seja, separação entre o material sólido fino e a água. Os processos de separação sólido/líquido devem atender, neste caso, a dois princípios básicos: a obtenção de um sólido desaguado (baixo teor de umidade) e a produção de um líquido clarificado (água). A grande vantagem desta separação é que a água pode ser reaproveitada e circulada na própria instalação, e os resíduos sólidos desaguados estão prontos para um estudo de um aproveitamento industrial ou serem estocados de maneira adequada.

A separação sólido/líquido é feita, normalmente, por etapas, quais sejam: espessamento, filtração e secagem.

4.1. Espessamento

O espessamento é uma operação de separação sólido/líquido, baseada no fenômeno de sedimentação. A sedimentação de partículas sólidas em um meio fluido depende, entre outros fatores, da densidade e tamanho dessas partículas. Com a sedimentação das partículas sólidas, estas se separam de grande parte da água (sobrenadante). Caracteriza-se por ser um processo de baixo custo e grande simplicidade operacional.

A operação de espessamento pode ser realizada em espessadores, tanques de decantação, leitos secantes, ciclones, peneiras etc. Neste capítulo serão abordados espessadores, tanques de decantação e leitos de secagem.

Espessadores

São equipamentos que realizam, normalmente, o primeiro estágio de desaguamento. Nestes equipamentos conseguem-se produtos, em média, com 50% de água.

Em uma operação de espessamento, a polpa é alimentada em um dos compartimentos do espessador, em um nível um pouco abaixo da superfície do mesmo. As partículas sólidas vão se sedimentando no fundo do equipamento, de onde são removidas, ainda com certa fração do líquido. O resto da água ou solução, quase isenta de partículas sólidas, sai, por transbordamento (*overflow*) em canaletas, na parte superior do equipamento (água para recirculação).

Dentre os diferentes tipos de espessadores, os mais conhecidos são o espessador contínuo convencional, o espessador de lamelas e o espessador ou decantador vertical. O espessador contínuo convencional e o de lamelas são muito utilizados nas instalações de tratamento de minérios, e o espessador ou decantador vertical tem sido mais utilizado no desaguamento de lama gerada nos teares das serrarias de rochas ornamentais.

Decantador vertical

Este tipo de decantador tem forma cilíndrico-cônica, assemelhando-se a um grande ciclone, como mostra a figura 20, e são de grande tamanho (altura).

O decantador vertical recebe o efluente (lama abrasiva) gerado na serraria ou serrarias, na parte cilíndrica superior. Com a sedimentação das partículas sólidas, indo para o fundo da parte cônica do equipamento, a água vai sendo clarificada e sai, por transbordo, em canaleta interna, no topo da parte cilíndrica do espessador.

Os sólidos sedimentados no fundo da parte cônica do decantador (*underflow*) são retirados, periodicamente. E a água clarificada, que transborda (*overflow*), é conduzida a um reservatório de água, que retorna ao processo de beneficiamento (recirculação).

Nas instalações de tratamento de resíduos, os sólidos espessados nesses decantadores são conduzidos a um filtro prensa (será descrito adiante), para a segunda etapa de desaguamento.

Este tipo de decantador é o mais utilizado em instalações de tratamento de resíduos no estado do Espírito Santo, por necessitar de menos espaço que outros tipos e apresentar maior eficiência. A recirculação de água com este sistema pode chegar a 95%.

Para acelerar o processo de sedimentação dos sólidos no decantador, são utilizados reagentes, como sulfato de alumínio e óxido de cálcio (coagulantes) ou polímeros orgânicos (floculantes), os quais promovem a aglomeração das partículas finas, aumentando o seu peso e, conseqüentemente, a taxa de sedimentação dos sólidos. (FRANÇA & MASSARANI, 2010).

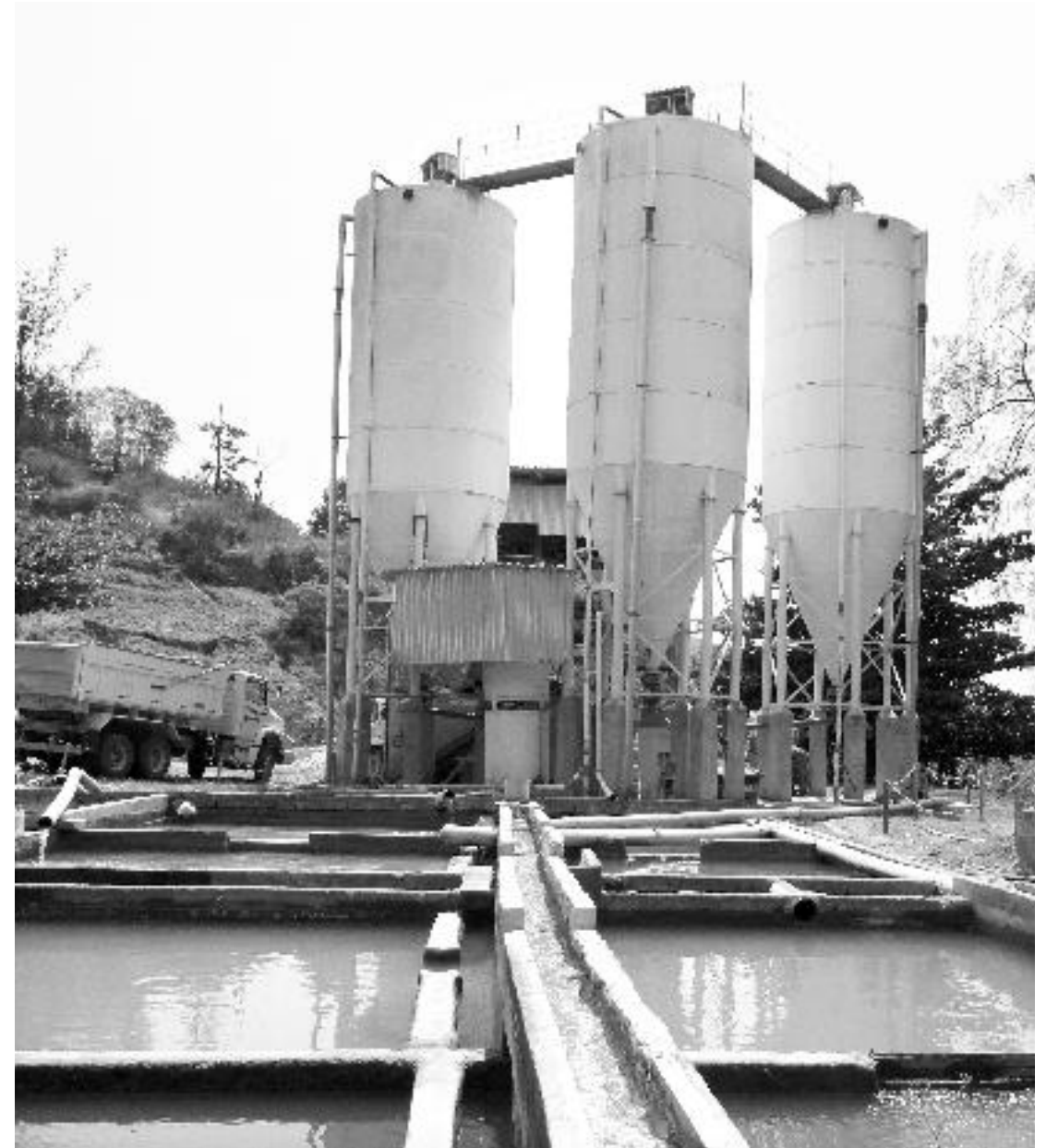


Figura 20 - Decantadores verticais. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Espessador de lamelas

Este tipo de espessador caracteriza-se por ocupar pouco espaço e ter alta capacidade de espessamento, devido ao mesmo ser constituído por uma série de placas inclinadas paralelas (lamelas), sobrepostas, formando, assim, várias bases para a sedimentação das partículas.

É bastante usado na indústria mineral, mas não ainda no desaguamento de lamas de beneficiamento de rochas.

Espessador contínuo convencional

Este tipo de espessador consiste de um tanque cilíndrico, cujo fundo interno é um cone invertido e raso. Nesse cone, são montados braços raspadores que conduzem o material sedimentado para a parte central do fundo do equipamento (vértice do cone) para a descarga contínua do mesmo. Possui grande área de sedimentação. É o espessador mais utilizado na indústria mineral e não no tratamento de efluentes de beneficiamento de rochas ornamentais, precisamente, pela grande área que ocupa.

Tanques de decantação

Os tanques de decantação são muito utilizados para o desaguamento de efluente (lama) gerado em serrarias de rochas ornamentais de pequeno e médio porte. São muito utilizados nas micro e pequenas empresas, por serem de fácil construção e apresentarem custos relativamente baixos para a sua instalação e operação.

A figura 21 mostra uma unidade de decantação constituída de três tanques, instalada em uma Serraria, em Santo Antonio de Pádua – RJ.



Figura 21 - Unidade de decantação constituída de três tanques. Foto: CETEM/MCTI, 2002.

Estes tanques funcionam como vasos comunicantes, onde o efluente passa de um tanque para outro por meio de orifícios localizados nas partes superiores das paredes internas que os separam. A passagem do efluente de um tanque para outro é feita forma tal que aumente o percurso do efluente nesses tanques, para prolongar o tempo de sedimentação. Dessa forma, o efluente vai passando de um tanque para outro, sempre com menos percentagem de sólidos, até que no último compartimento a água já esteja bastante clarificada, e pronta para ser reusada nas serrarias.

O material sólido sedimentado no fundo dos tanques é retirado periodicamente e posto para secar.

Leitos de secagem

Esses leitos de secagem estão sendo muito utilizados no estado do Espírito Santo para o desaguamento de efluentes de serrarias de rochas ornamentais. Existem diferentes tipos desses leitos de secagem na região, porém o mecanismo de desaguamento é semelhante, diferenciando-se nos

detalhes. A figura 22 mostra um desses tipos de sistema de secagem, constituído de três tanques, instalado na empresa Carvalho Mármore e Granitos, em Cachoeiro de Itapemirim – ES.

Esses leitos de secagem são tanques de formato retangular, com fundos inclinados, para facilitar o escoamento da água, como mostra o primeiro tanque (vazio) da esquerda da figura 22. Eles são construídos um ao lado do outro, à base de alvenaria, e funcionam em paralelo. A figura 22 mostra, um sistema de leito de secagem constituído de três tanques, em estágios diferentes de operação: o primeiro, da direita, já está cheio de lama abrasiva da serraria, com a secagem em andamento; o do meio sendo carregado; e o último da esquerda está vazio e sendo preparado para nova carga de resíduos.



Figura 22 - Leitos de secagem. Foto: CETEM/MCTI, 2009.

Como mostra a figura, esses tanques são construídos dentro de valas cavadas no próprio terreno da serraria. Ao longo do comprimento desses tanques, na linha central e no fundo dos mesmos, são construídas várias torres cilíndricas filtrantes, constituídas com tubo de PVC perfurado, envolvido com um meio filtrante. A água contida na lama atravessa o meio filtrante e cai dentro do tubo de PVC, localizado no interior da mesma. Outra tubulação que passa pelas bases dessas torres recebe a água coletada pelas mesmas, e a conduz a uma caixa d'água. Desta, a água é bombeada para reuso na serraria.

O material sólido desaguado que permanece nos leitos (tanques) é retirado, quando termina o ciclo de desaguamento. Em seguida, este material é posto para secar.

Trata-se de um sistema de desaguamento de baixo custo e funciona muito bem, principalmente em termos de recuperação da água, podendo ser utilizado por micro e pequenas empresas.

Este sistema foi idealizado e desenvolvido pelo Sr. Antonio Carlos Carvalho, proprietário da empresa Carvalho Mármore e Granitos e substitui os estágios de espessamento e filtragem.

4.2. Filtragem

A filtragem pode ser definida como a operação de separação sólido/líquido, em que o líquido (filtrado) se separa dos sólidos pela passagem do mesmo através de um meio filtrante poroso. O meio filtrante que faz a separação dos sólidos e da água é constituído de algum tipo de tecido resistente (lona) ou material cerâmico. Os fabricantes dos filtros já fornecem ou indicam os meios filtrantes adequados aos seus equipamentos.

A filtragem industrial é realizada em equipamentos denominados filtros. Entre os vários tipos de filtros industriais existentes, podem ser mencionados os filtros tipo prensa; os filtros a vácuo, de tambor e de discos, filtro de correia, filtro plano (material mais grosso) etc. Desses vários tipos de filtros existentes, o que está sendo mais utilizado na filtragem de resíduos de rochas ornamentais é o filtro prensa.

Filtro prensa

Este consiste de um conjunto alternado de quadros ocos, no qual o material sólido (torta) é retido e adensado durante a operação de filtragem, e placas maciças que possuem superfícies com sulcos ou furos, que permitem a drenagem do filtrado. O meio filtrante geralmente um tecido (lona), recobre ambas as faces das placas (Fig. 23). O conjunto de placas e quadros apoia-se, verticalmente, sobre um par de suportes paralelos, fixos na estrutura do filtro.

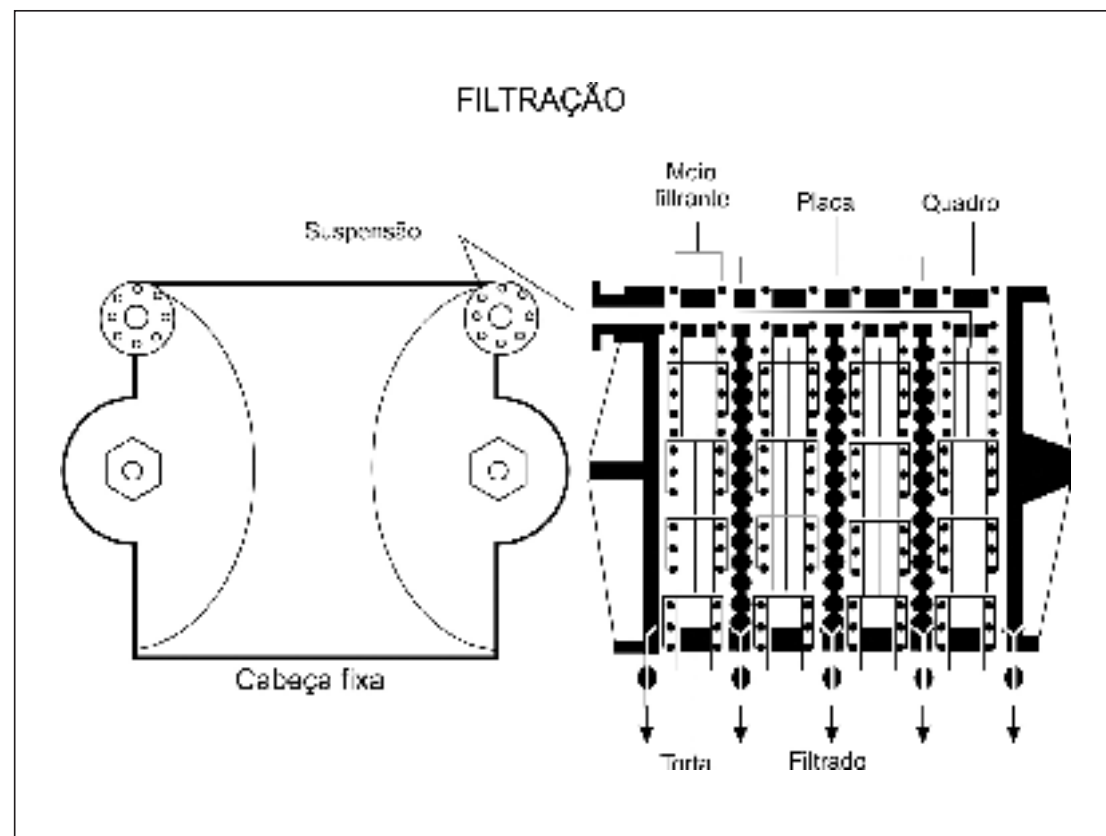


Figura 23 - Esquema de funcionamento e peças que compõem o filtro prensa. Extraído de ITEP, 1980.

Para proceder à operação de filtragem, as placas e quadros são comprimidos até o ponto de se evitar vazamento entre eles. O material sólido retido pelo meio filtrante é chamado de torta, e o líquido que atravessa o meio filtrante é chamado filtrado.

A forma mais comum de descarga do filtrado é a drenagem do mesmo pelas placas, e sua saída por meio de torneiras individuais localizadas em cada placa, que descarregam o filtrado em uma canaleta ou tubulação que passa por todo o comprimento do filtro.

A descarga da torta é feita abrindo o filtro, ou seja, separando as placas e quadros. A torta cai por gravidade, às vezes necessitando de uma raspagem final do meio filtrante (tecido), por meio de espátulas.

A entrada da polpa no filtro é feita por pressão, por meio de bombas ou pressão hidrostática (altura) e, dependendo do modelo, pode ser na parte inferior ao conjunto de placas e quadros ou pelo eixo central do equipamento. O filtro prensa é o modelo mais simples dos filtros de pressão e de grande utilização industrial. Esse tipo de filtro funciona por batelada. A figura 23 mostra o esquema de funcionamento do filtro prensa, as peças que o compõem (quadro, placa, meio filtrante), as descargas da torta (material sólido desaguado) e filtrado (água) (BORGES, 1995).

A figura 24 mostra um filtro prensa em operação, com o conjunto de quadros e placas, envolvidos pelo meio filtrante e os tubos de descarga do filtrado que sai pelas canaletas.

Com a utilização correta desse tipo de filtro, pode-se conseguir um resíduo sólido (torta) com menos de 30% de umidade, valor limite para o depósito dos resíduos em aterros.



Figura 24 - Filtro prensa. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Secagem

A secagem pode ser considerada como último estágio de desaguamento. Pode ser definida como a operação de remoção da água, por vaporização. Ela é utilizada para a retirada de água ainda existente nos sólidos, normalmente, após as etapas de espessamento e filtragem.

Dependendo do teor de umidade no produto que se quer obter com a operação de secagem, ela pode ser realizada de diferentes formas, tais como: ao ar livre, em recinto coberto, em estufas, em fornos cilíndricos rotativos ou em equipamentos mais sofisticados, tipo *flash dryer*. A secagem, normalmente, é uma operação cara, embora novas soluções de baixo custo já estejam funcionando para secagem de lodos de esgoto e secagem de grãos, por exemplo, o que leva a crer que os produtores de rochas ornamentais também poderão se beneficiar dessa tecnologia para reduzir seus custos de transporte e armazenagem de lamas.

As secagens de resíduos sólidos de rochas ornamentais estão sendo realizadas ao ar livre, em pilhas, ou em pátios construídos ao ar livre. Estes, normalmente, possuem uma ligeira inclinação, canais de drenagem da água construídos na parte mais baixa do pátio e poços de recebimento da água drenada.

5. Utilização de resíduos

Nesse setor serão apresentadas alternativas para a aplicação dos resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais que estão sendo estudadas em diversas partes do mundo. Se o objetivo é considerar o resíduo de rocha ornamental como um “minério”, de interesse industrial e econômico, deve-se ter em mente a composição química média observada nesses resíduos (Tabela 1), para se ter noção das concentrações médias e elementos de interesse, que influenciarão na alternativa de utilização industrial.

Na Tabela 2 apresentam-se os principais setores industriais que podem consumir estes resíduos, como a indústria cerâmica, a agricultura, o setor de polímeros, a pavimentação asfáltica, as indústrias de vidro, cosméticos, papel e argamassa.

Tabela 1 - Composição química média 100% de resíduos de rochas ornamentais.

Tipos de resíduos	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Exclusivo do corte de granitos com granalha	5	2	62	12	7	4	3
Exclusivo do corte de mármore	50	15	5	1	1	0,2	0,1
Mistura de granitos e mármore	21	4	36	9	5	4	2
Exclusivo do corte de calcários	50	5	5	0,5	0,2	0,2	0,2
Exclusivo do corte de quartzitos	0,6	--	80	9	1	--	--
Exclusivo do corte de ardósias	2	3	57	6	7	4	2

Elaboração dos autores.

Tabela 2 - Setores de aplicação dos resíduos e características necessárias.

Setor Industrial	Tipos de resíduos	Função do resíduo	Características necessárias	Operações unitárias necessárias
Cerâmica	Principalmente os que apresentam altos teores de feldspatos	• Fundente: Diminuição da temperatura de vitrificação e queima da cerâmica	<ul style="list-style-type: none"> Granulometria < 0,149 mm Baixo teor de ferro 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
		• Permite maior controle da contração linear		
Agricultura	Carbonáticos	• Diminui a porosidade	<ul style="list-style-type: none"> Elevada área superficial PN1 > 67% PRNT2 > 45% CaO + MgO > 38% Teor de Magnésio > 10% Teor de alumínio < 1% 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
		• Correção de pH do solo – calagem		
Polímeros	Silicáticos	• Eliminação do efeito do alumínio e manganês	<ul style="list-style-type: none"> Elevada área superficial Teor de alumínio < 1% Elevados teores de póssio 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
		• Suprir nutrientes do solo		
Cosmética	Carbonáticos	• Suprir nutrientes do solo – rochagem	<ul style="list-style-type: none"> Granulometria < 0,149 mm Baixa dureza. Teor de sílica < 1%. Teor de ferro < 5%. 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
		• Carga		
Cosmética	Carbonáticos	• Melhorar as propriedades mecânicas, térmicas e termomecânicas	<ul style="list-style-type: none"> Granulometria < 0,149 mm Teor de óxido de ferro < 0,2% Teor de sílica < 0,5% 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
		• Diminuir custos		
Cosmética	Carbonáticos	• Aumentar o reforço	<ul style="list-style-type: none"> Granulometria < 0,149 mm Teor de óxido de ferro < 0,2% Teor de sílica < 0,5% 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
		• Carga		

Tabela 2 (cont.) - Setores de aplicação dos resíduos e características necessárias.

Setor Industrial	Tipos de resíduos	Função do resíduo	Características necessárias	Operações unitárias necessárias
Pavimentação Asfáltica	Silicáticos	<ul style="list-style-type: none"> Agregado Mineral (brita) Estabilidade do pavimento. Aumentar a dureza e a resistência à tração 	<ul style="list-style-type: none"> Forma cúbica e não achatada e alongadas Composição granulométrica não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$. Abrasão Los Angeles $> 40\%$ Elevados teores de sílica Elevados teores de feldspatos. Aplicação de 95%, em massa, no pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento
	Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> Agregado Mineral (brita) Subleito de pavimentos de baixo tráfego 	<ul style="list-style-type: none"> Massa específica - 2,7 g/cm³ Absorção de água - 0,15% Abrasão Los Angeles $> 17\%$ Resistência à tração $> 4,5$ MPa 	
Vidro	Silicáticos	<ul style="list-style-type: none"> SiO₂ - formador da rede vítrea. Al₂O₃ - formador de rede. Fe₂O₃ - colorante na formulação 	<ul style="list-style-type: none"> Na₂O entre 12 e 17% CaO entre 8 e 12% Massa específica - 2,5 g/cm³ 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
	Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> CaO e MgO - óxidos modificadores de rede. Rompem estrutura vítrea, reduzem viscosidade e ponto de fusão do vidro 	<ul style="list-style-type: none"> Teor de óxido de cálcio $> 30\%$ Teor de óxido de alumínio $< 0,4\%$ Teor de óxido de ferro $< 0,2\%$ 	

Tabela 2 (cont.) - Setores de aplicação dos resíduos e características necessárias.

Setor Industrial	Tipos de resíduos	Função do resíduo	Características necessárias	Operações unitárias necessárias
Concreto e Argamassa	Silicáticos e Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> Carga Aumentar a resistência à compressão e abrasão do concreto Aumentar a resistência à cloretos e sulfatos 	<ul style="list-style-type: none"> Forma arredondada de partículas Perda ao fogo $> 40\%$ Teor de ferro $< 0,7\%$ Teor de alumínio $< 2\%$ 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
	Silicáticos e Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> Agregados 	<p>Granulometrias:</p> <ul style="list-style-type: none"> Agregado graúdo: 100,0 a 4,8mm Agregado miúdo: 4,8 a 0,075mm Areia grossa: 2,0 a 1,2mm Areia média: 1,2 a 0,42mm Areia fina: 0,42 a 0,075mm Pedregulho - material natural inerte, de forma arredondada, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e mínima igual ou superior a 2,0 mm Pedrisco - material proveniente da britagem de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 4,8 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm Pó de pedra - material proveniente da britagem de pedra, de dimensão nominal máx. inferior a 0,075 mm Ladrilhos de Rocha 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento
Construção Civil	Silicáticos e Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> Ladrilhos de Rocha 	<ul style="list-style-type: none"> Ladrilhos fora do padrão, nos tamanhos 30 x 30 cm e 40 x 40 cm de espessuras variando de 5 a 10 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Corte de blocos fora de padrão em talha-blocos

(1) PN - capacidade potencial total de bases neutralizantes contidas em corretivos de acidez, expresso em equivalente de carbonato de cálcio puro (%E CaCO₃).

(2) PRNT - Poder Relativo de Neutralização - PRNT (%) = $(PN \times RE) / 100$, onde RE é a reatividade das partículas. Valor que expressa o percentual (%) do corretivo que reage no solo no prazo de 12 a 36 meses.

(3) A liberação do potássio presente em resíduos de rochas, para o solo é extremamente lenta, necessitando-se sua associação com outros processos, como por exemplo, a compostagem, para viabilizar o processo.

5.1. Artesanatos / artefatos minerais

O artesanato/artefato mineral (Fig. 25) vem, nas quatro últimas décadas, tendo uma expansão e desenvolvimento sem igual no Brasil. De simples exportador de matéria-prima, principalmente ágata, e do tradicional artesanato de ágata, este no Rio Grande do Sul, evoluiu-se para outros tipos de produtos como estatuetas, mosaicos, peças decorativas, bijuterias, notadamente em Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia importantes centros produtores e comerciantes no país.



Figura 25 - Estatueta em pedra-sabão (acima à direita), CETEM/MCTI (2013); cavalo do projeto Prisma na Bahia (acima à esquerda) e peixes de granito Azul Macaúbas (abaixo). Fotos: CBPM, 2004.

Na região Nordeste do Brasil e especialmente na Bahia, essa atividade está sendo implantada e desenvolvida com apoio governamental, com muito sucesso, podendo ser intensificada e priorizada como política pública de inclusão social, (geração de emprego e renda) e para o desenvolvimento de micro e pequenas empresas, mediante os Arranjos Produtivos Locais – APL.

A criação de peças artísticas a partir dos resíduos das pedreiras de rochas ornamentais e de revestimento dos mais diversos tipos de rochas, com variedades cromáticas e texturais entre granitos, mármore, quartzitos, ardósias, conglomerados, basaltos, serpentinitos, pedra-sabão, entre outras, constitui-se uma atividade criativa do artesão. Assim é possível a transformação de um pedaço de pedra de uma substância mineral, em estado bruto, em peças de formas polidas, que juntas ou não, a outros materiais (metais, madeiras, plásticos etc.) vão compor objetos de adorno pessoal (colares, camafeus, anéis, pulseiras etc.), objetos utilitários (castiçais, cinzeiros, porta-lápis, copos, pratos, porta-relógio, cabos de utensílios etc.), objetos decorativos (estatuetas) e mosaicos minerais (mesas, quadros, painéis etc.).

Os mosaicos, jogos de xadrez, pássaros, estatuetas, cinzeiros, pirâmides, porta-joias, jarros, colares, brincos, pulseiras, em suma, uma gama de peças é, hoje em dia, preparada com substâncias minerais diferentes, muitas delas provenientes de pequenos depósitos sem expressão quantitativa e sem possibilidade de exploração mineral, similarmente aos rejeitos de pedreiras, mas que, para esta e por esta atividade, ganham valorização, possibilitando que as populações carentes e sem qualificação das áreas interioranas do país, tirem dele sua subsistência (Fig. 26).



Figura 26 - Artesanato em pedra-sabão, realizado de forma manual. Fotos: CETEM/MCTI, 2005.

Nada impede que este tipo de atividade de artesanato seja intensificado, fugindo um pouco daquela ideia do artesanato rudimentar, como é o caso do artesanato cerâmico ou de madeira.

Na verdade, o artesanato mineral apresenta uma gama extraordinária de opções para desenvolvimento nos campos de joalheria, ornamentação e de objetos utilitários, podendo ser fabricado com máquinas e equipamentos mais sofisticados, constituindo-se em linhas de produção, ou seja, indústria de artefatos minerais (Fig. 27).

Seus produtos, nos estágios mais simples, incorporam e ressaltam a beleza material das matérias minerais com suas nuances de cor, brilho e formas geométricas e, em estágios mais avançados, a nobreza e valorização de minerais e metais preciosos ou composições artísticas. Nesta linha, destacam-se quatro grandes nichos de artesanato e artefato mineral:

- Decorativo – aquele que se dedica à preparação de peças de adorno, tais como: colares, brincos, anéis, pulseiras etc.
- Utilitário – aquele que se dedica à preparação de objetos tais como: cinzeiros, jarros, porta-retratos, taças, porta-cartões etc.
- Mosaicos – aquele que fabrica tampas de mesa, mosaicos, ladrilhos, em suma, as peças decorativas.
- Estatuetas – aquele que prepara estatuetas de animais, esculturas, figuras etc., em peças inteiriças ou em montagens de diversos materiais.



Figura 27 - Equipamentos e operações de artesanato mineral utilitário. Fotos: CBPM, 2004.

O primeiro tipo (decorativo) é de rápido aprendizado e tem grande alcance social atingindo um grande contingente de mão de obra, principalmente feminina, na fase de montagem das peças de adorno, uma vez disponível os insumos minerais e os outros componentes materiais.

O segundo mais especializado, embora absorva um bom contingente de mão de obra é mais apropriado a variedades industriais, pois objetiva a produção em série, mais econômica e rentável, de objetos de uso prático, feitos de substâncias minerais (Fig. 28).

O terceiro, embora seja mais apropriado a uma unidade de produção em série pode ser implantado com mais abrangência de ocupação de mão de obra, caso se adote o esquema de pequenas unidades de produção de chapas e montagem de mosaicos apoiados por centrais de acabamento.



Figura 28 - Objetos utilitários preparados com resíduos de rochas ornamentais. Fotos: CBPM, 2004.

O quarto e último tipo é bem significativo em termos de absorção de mão de obra, uma vez que, a cada artesão formado ou a grupos de artesãos seja possibilitada a montagem de pequenas unidades de produção comunitárias que absorverão mão de obra auxiliar.

Todos esses tipos de aplicação têm, portanto, grande abrangência social por sua potencialidade de gerar empregos que não requerem muita qualificação.

Alternativas de aproveitamento de resíduos grossos ou, melhor dizendo, "estoques remanescentes" de jazidas ou explorações de mármore, granitos, quartzitos e outras rochas de revestimento, com cunho e foco social, nos aspectos de ocupação e geração de renda para comunidades carentes foram experimentadas com sucesso em diversos lugares.

Destaca-se, aqui, o Programa Prisma, Programa de Inclusão Social na Mineração, no interior da Bahia. O programa, implantado pela Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração, do Governo do Bahia e coordenado pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral – CBPM, projetos comunitários para a geração de trabalho e renda a partir do aproveitamento dos recursos minerais existentes no território dos municípios baianos.

Esses projetos traduziram-se em ações de formação e treinamento de artesãos para a produção de artesanato mineral (objetos, estatuetas, mosaicos e adornos), com instalação de unidades comunitárias, de tamanho e nível de produção de objetos dependente da quantidade de equipamentos específicos aos processos, instalados na unidade e com treinamento rápido, de 2 a 4 meses, e restrito à operação, em condições de segurança, dos equipamentos, e aos processamentos e preparação da pedra, para a implantação da forma do objeto, segundo o design e projeto estabelecido.



Figura 29 - Pequeno produtor do projeto Paralelepípedos na Bahia. Foto: CBPM, 2003.

De igual forma criaram-se unidades de produção de paralelepípedos e outros artefatos para urbanização e calçamento de logradouros públicos, miniunidades de produção de brita, de produção de lajotas rústicas (de arenitos, calcários e quartzitos laminados) e outros tipos de beneficiamento e de aproveitamento de rochas e minerais (Fig. 29) no projeto Paralelepípedos, dentro também do programa Prisma. Envolvendo mais de um milhão de artesãos treinados e mais de uma centena de unidades, implantadas em diferentes municípios do estado da Bahia, instalou núcleos de aprendizado, onde os artesãos são treinados, em cinco meses, por um mestre canteiro aprendendo a preparar seus ferramentais e a produzir paralelepípedos, meios-fios, lajotas e outros artefatos para calçamento e urbanização (Fig. 30).



Figura 30 - Unidade de treinamento do projeto Paralelepípedos, na Bahia. Fotos: CBPM, 2003.

Um núcleo de formação de mão de obra funciona, em média, com 15 aprendizes que individualmente, atingem a produção de um milhão de unidades, nos últimos meses do treinamento, e que se transformam em multiplicadores após o treinamento, constituindo uma equipe de produção (um artesão e 2 auxiliares) e permitindo assim que a localidade onde a atividade foi instalada se transforme em um centro produtor para outras localidades e para os municípios circunvizinhos.

A finalidade dessas ações, devido à escala da atividade implementada, não é de eliminar os rejeitos das pedreiras de rochas, ou como dizem os portugueses “as escombrelas” das pedreiras de rochas ornamentais, que representam, em média, de 70 a 90% do volume extraído na jazida, mas sim, criar possibilidades de interação social das empresas produtoras e beneficiadoras de rochas, com as populações no entorno das jazidas e unidades de processamento, contribuindo assim, para minimizar os problemas sociais e ambientais. Inerentes às atividades de exploração e de beneficiamento.

Alternativas tradicionais de aproveitamento econômico e em razoável nível de produção, existem nos centros produtores de rochas espalhados pelo mundo e vão desde a britagem das rochas para diferentes usos à utilização urbanística e paisagística dos “resíduos”, processados ou naturais, até a construção de casas e a utilização de componentes pétreos naturais em feições arquitetônicas inovadoras, como será visto a seguir.

5.2. Aproveitamento dos resíduos na arquitetura urbana

São vários os produtos alternativos que podem ser feitos com os resíduos rochosos. Dentre eles, podemos destacar: *anticato*, *seixos* e *cubetti* ou *petit pavé*.

Pedra portuguesa, “Petit pavé” ou “Cubetti”

As peças pavé caracterizam-se por ter espessura (altura) sensivelmente inferior à largura e comprimento. Elas podem ter comprimento/largura de 5 a 20 cm e espessura de 2,5 a 10 cm. O recorte natural é feito com prensas ou artesanalmente por talhadeiras.

O principal uso da pedra pavé são pavimentos externos, que têm grande efeito paisagístico pela possibilidade de combinação de cores e formação de mosaicos (Fig. 31).

A pedra pavé ou mosaico português é um produto comercial tradicional, que os portugueses difundiram em suas colônias, algumas das quais são identificadas com esse tipo de calçada, como o Rio de Janeiro, por exemplo. (Fig. 32).



Figura 31 - Petit pavé ou mosaico português. Fotos: Pedra Mosaico Português Cesar, 2013.



Figura 32 - Calçada de Copacabana e elaboração manual da pedra portuguesa. Fotos: CETEM/MCTI, 2013, 2003.

As técnicas para sua elaboração também não são novas, com prensas ou processo artesanal de talhadeira e martelo. O que se coloca como novidade é o desenvolvimento de uma tecnologia própria de obtenção de pedra pavê, com prensas mecânicas nacionais (Fig. 33).

Essa tecnologia representa uma alternativa mais produtiva que a do processo artesanal, e mais barata que a de aquisição de máquinas importadas, tornando economicamente viável a elaboração de pedra pavê em regiões produtoras, sendo especialmente importante como ferramenta de inclusão e desenvolvimento social.

As prensas mecânicas utilizadas antes eram de segunda mão e oriundas de outros segmentos de atividade industrial, sobretudo da indústria do couro.



Figura 33 - Prensa "quebra-pedras", da marca Volpi. Foto: Volpi, 2013.

Hoje, há prensas nacionais, específicas para cortar rochas e aproveitar resíduos, em diversos tamanhos, desde os *petit pavés* e peças de até 5 cm de espessura, até maiores, como a da figura 30, denominada pelo fabricante, Volpi Equipamentos, de "máquina quebra-pedras". Essas máquinas têm de 30 a 50 toneladas de força, produtividade de 15 a 20 cortes por minuto (4 a 6 t/dia), e servem para peças de até 20 cm ou mais de espessura e cortes de até 32 cm de comprimento (VOLPI. 2013).

Painéis decorativos

Além de calçadas, os resíduos de rochas “vestem” muito bem fachadas internas e externas. Uma das aplicações possíveis é a utilização de painéis decorativos, seja fazendo desenhos com a parte plana de pedaços de rochas (Fig. 34) ou mantendo-se o lado reto para trás e deixando a superfície irregular para frente, tirando partido da irregularidade, diferença de texturas, dada à utilização de materiais diferentes, e do jogo de sombras, como faz o Arquiteto Renato Paldés, de Cachoeiro de Itapemirim (Fig. 35).



Figura 34 - Mural de Maurice Degen. Casa de Nilza Hangai, Ilhéus - BA. Foto: CETEM/MCTI, 2013.

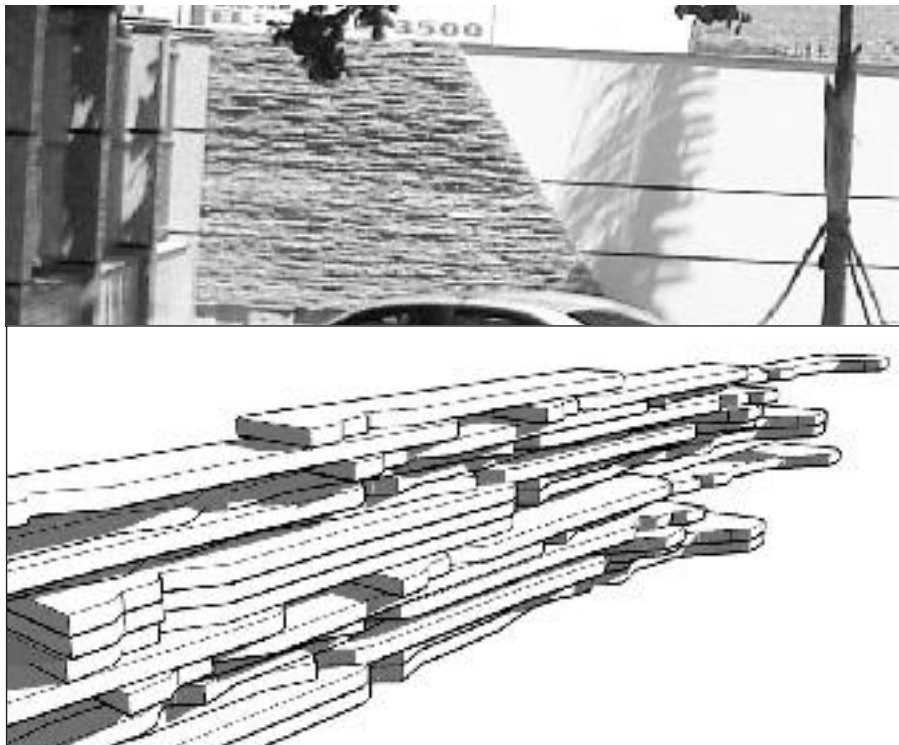


Figura 35 - Tiras aplicadas – face serrada para dentro – assentes com argamassa formando painel decorativo. Foto: Arq. Renato Paldés, 2011.

O arquiteto ainda mostra outras utilizações das tiras, aplicando a face irregular delas para dentro, conseguindo assim um efeito uniforme e, em algumas situações serviram como forma para o concreto das colunas, enchendo-se as mesmas por etapas (Figuras 36 e 37).



Figura 36 - Colunas em Tiras aplicadas e assentes com face serrada para dentro. Fotos: Arq. Renato Paldés, 2011.

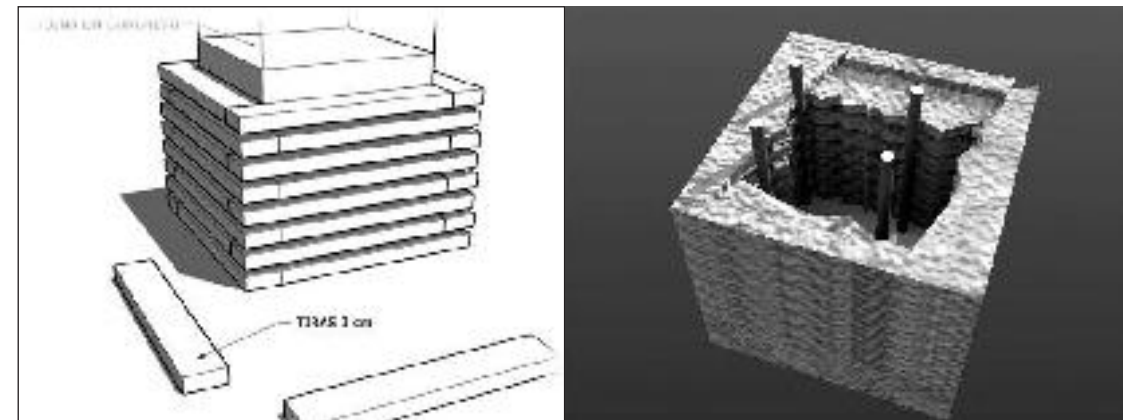


Figura 37 - Colunas em Tiras aplicadas. Assentes com face serrada para dentro – preenchidas, em etapas, com concreto. Desenhos: Arq. Renato Paldés, 2011.

Nessa linha, até os cacos de marmoraria, resíduos normalmente considerados sem possibilidade de uso, por serem muito variados, se aplicados de forma paginada e ordenada, possibilitam uma imensa gama de texturas e podem também contribuir com a estética do local aplicado (Figura 38).

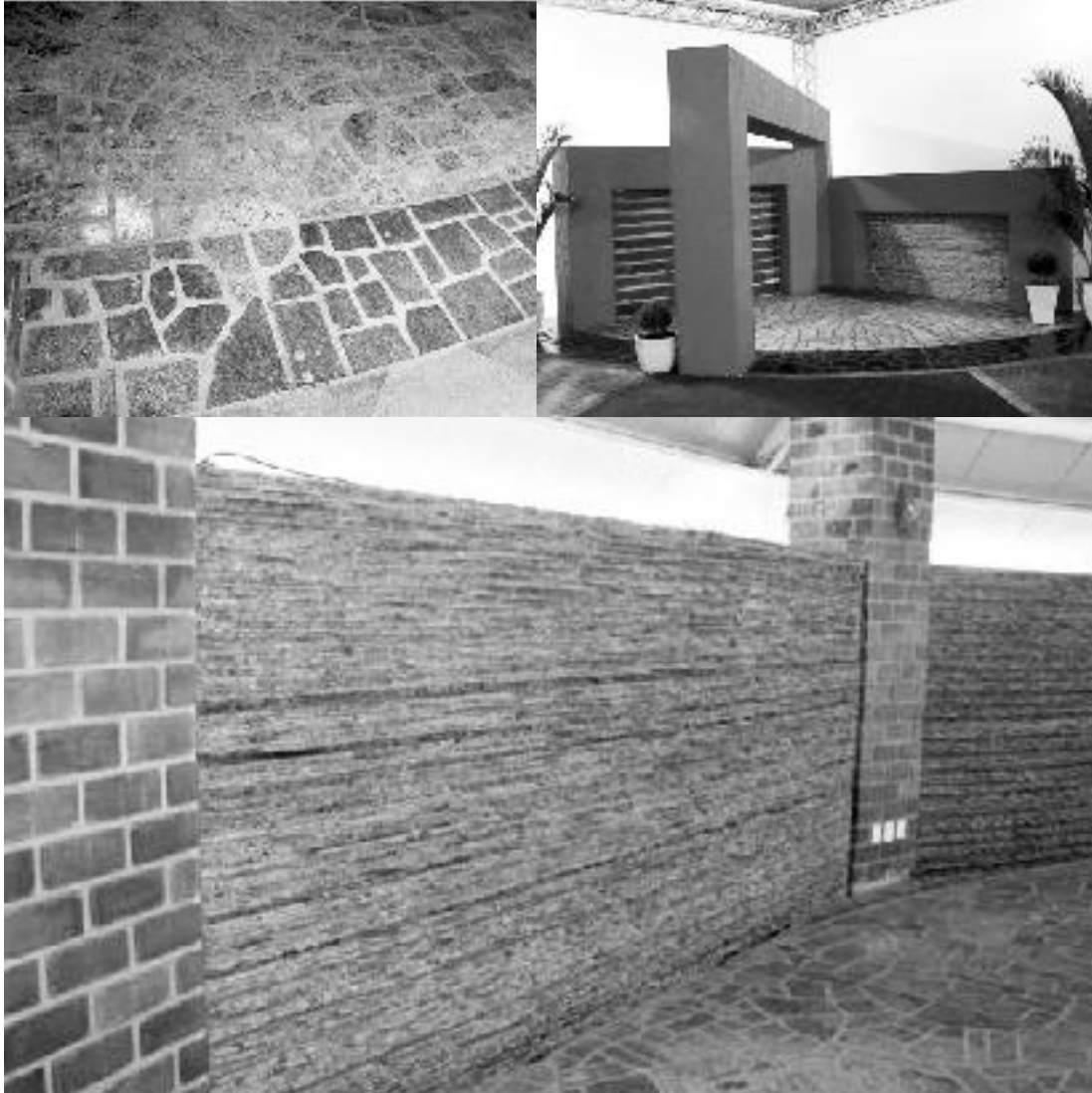


Figura 38 - Pisos de cacos de granito, paginado, com painel em tiras e casqueiro. Foto: Paldés, 2011.

Mosaicos/Listelos

Com equipamentos adequados, também é possível transformar os resíduos em produtos de alto valor de mercado, como mosaicos e listelos. Máquinas especiais de corte já foram desenvolvidas e fabricadas no país em diversos lugares, mas destacamos aqui os casos das refilatrizes desenvolvidas para os APLs de Calcário do Cariri e de Quartzitos de Várzea. No último caso, a produção de mosaicos no APL, que se iniciou com o intuito de aproveitar os resíduos e valorizar os produtos, passou a ser a operação principal (Fig. 39).



Figura 39 - Fabricação de mosaicos no APL de Quartzitos da Paraíba. Fotos: CETEM/MCTI, 2011.



Figura 40 - Equipamento de seixos e revestimento de anticato. Fotos: CETEM/MCTI, 2006.

“Anticatos” e seixos rolados

O acabamento “*anticato*” e os seixos são obtidos em máquinas com tambores rotativos (ou betoneiras adaptadas) e especificamente destinados para o arredondamento das laterais (Fig. 40).

Assim, pequenos produtores, com equipamentos de baixo custo, conseguem obter produtos valorizados para uso em jardins e áreas externas, pois permitem variadas combinações cromáticas e de tamanhos para obter belos efeitos (Fig. 41).



Figura 41 - Seixos rolados produzidos com resíduos de rochas ornamentais. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Foram destacadas aqui, apenas algumas utilizações dos resíduos grossos, que apresentam interesse social e baixo custo, mas a pedra tem inúmeros usos em elementos de construção e urbanismo: bancos, fontes, elementos para varandas, soleiras, paralelepípedos, meio-fios, rodapés...etc., aplicações essas que contam até com profissionais especializados, os canteiros e suas escolas de cantaria. Embora sejam mais frequentes na Europa, no Brasil já começam surgir escolas, como a de Ouro Preto, cidade onde grandes mestres portugueses já tinham suas escolas de canteiros no período colonial, trabalhando, principalmente, em pedra-sabão, material decorativo mais utilizado na época.

A seguir, apresentam-se quatro casos de aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais nos quais o CETEM trabalhou nos últimos anos e que tiveram ou têm uma importância especial para os locais onde foram desenvolvidos, os Arranjos Produtivos Locais, APLs, constituídos de muitas pequenas empresas ou produtores individuais, sem estrutura para desenvolver tecnologia, mas geradores de emprego e renda em regiões desfavorecidas, motivo pelo qual são apoiados por programas de governo.

No mundo empresarial ainda não há uma utilização importante dos resíduos. É comum que as empresas “doem” seus finos para a indústria cerâmica ou de cimento, assim como os grossos para as prefeituras para uso na estabilização de estradas de terra, principalmente. No entanto, a AAMOL está dando início à construção da sua fábrica de argamassa, ARGAMOL, que pretende produzir em torno de 8.000 t/mês de argamassa com até 30% de lama abrasiva *in natura* (com granalha) de seus associados, em Cachoeiro de Itapemirim, ES.

Há diversos casos também de empresários que dão suporte a pequenos empreendedores que aproveitam os casqueiros e aparas na produção de pedras decorativas, sempre de forma manual, e algumas empresas estão começando a produzir elementos de construção civil, principalmente “tijolos ecológicos”, visando o aproveitamento de seus resíduos. No entanto, observa-se que o assunto ainda é tratado mais como um problema a eliminar do que uma oportunidade de diversificar.

6. Projetos realizados pelo Cetem para o aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais

6.1. Gnaisses de Santo Antônio de Pádua – RJ

A região de Santo Antônio de Pádua fica localizada no noroeste do estado do Rio de Janeiro e é, hoje, o principal polo de produção de rochas ornamentais do Estado, concentrando ao redor de 150 empresas de extração e beneficiamento. Trata-se de rochas gnáissicas que são, simplesmente, desdobradas em “lajinhas e lajotas” não polidas, apresentando um aspecto rústico e muito utilizadas em revestimentos de pisos, muros e fachadas. O processo consiste, basicamente, no deslocamento manual, aproveitando os planos de foliação da rocha, e o corte final em serras de disco diamantado, refrigeradas a água.

A produção começou nos anos 70 do século XX e continuou a se desenvolver na informalidade até os anos 1990, quando os impactos ambientais gerados pelas 250 empresas existentes na época não podiam ser ignorados. O principal era a disposição desordenada dos resíduos grossos e o lançamento dos finos de corte em rios e córregos da região, ocasionando seu assoreamento e a contaminação da água, inutilizando-a para o consumo animal e a agricultura (Fig. 42).



Figura 42 - Descarte inadequado dos resíduos, antigamente em Sto. Antônio de Pádua. Fotos: CETEM/MCTI, 2001.

Devido à importância social desta atividade na região, começou um trabalho multi-institucional, sob orientação do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro – DRM, buscando a formalização e legalização da produção de rochas. O CETEM entrou como parceiro na busca de soluções tecnológicas para diminuir os impactos ambientais e implantar melhorias produtivas, coordenando um projeto que teve duas etapas.

A primeira etapa objetivou o tratamento dos efluentes gerados pelas serrarias, mediante a técnica de separação água/sólido, com a recuperação dos sólidos finos e recirculação da água no processo de serragem das rochas, solucionando assim, o problema ambiental do lançamento desses efluentes nos cursos d'água da região. O CETEM realizou o estudo de sedimentação, após caracterizar e quantificar os efluentes gerados e desenvolveu um protótipo em acrílico, para teste e demonstração do funcionamento de uma unidade de tratamento de efluentes (Fig. 43). Com isto foi realizado o projeto básico de engenharia para instalação de tanques de decantação nas serrarias e, após a demonstração, em uma empresa, da eficiência da Unidade de Tratamento desenvolvida, esta foi replicada nas outras serrarias.



Figura 43 - Protótipo de tanque de decantação desenvolvido para as serrarias de Santo Antônio de Pádua. Foto: CETEM/MCTI, 2001.

Conseguiu-se recircular 95% da água utilizada no corte e separar o pó da rocha (720 t/mês) que começou a ser estocado nas serrarias. Muitas dessas serrarias não dispunham de espaço suficiente para a estocagem dos finos, o que levou os parceiros do projeto à busca de aplicações industriais para o aproveitamento desses resíduos, dando início a uma segunda etapa.

Um estudo inicial do CETEM e do Instituto Nacional de Tecnologia – INT, indicou as seguintes possíveis aplicações, para os finos: argamassas, produtos cerâmicos e borracha. Estudos mais

aprofundados realizados na Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF obtiveram resultados muito favoráveis para sua incorporação em argamassa e produtos cerâmicos (tijolos e telhas). Por questões logísticas e econômicas, foram realizados testes industriais e um estudo de viabilidade técnica e econômica do aproveitamento dos resíduos de rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua na fabricação de argamassas, que resultaram muito positivos e despertaram o interesse de uma empresa. Concluído o estudo, e com base na Lei de Inovação, foram realizadas negociações de transferência de tecnologia entre CETEM, INT e SINDGNAISSES com a empresa ARGAMIL, do Grupo Mil. Essas negociações foram bem-sucedidas, e resultaram na instalação de uma fábrica de argamassa localizada no polo industrial de Santo Antônio de Pádua-RJ, que produz 450 t/dia do produto. Atualmente, não há depósitos de resíduos finos na região, sendo todos direcionados para a fábrica de argamassas. Este trabalho rendeu os prêmios FINEP de Inovação Tecnológica da Região Sudeste e Menção Honrosa no prêmio nacional, na categoria Inovação Social, em 2005 e o Prêmio Furnas Ouro Azul, em 2006, sendo exemplo para outros projetos do CETEM e de outras empresas ou instituições. Um exemplo é o da AAMOL em Cachoeiro de Itapemirim, que já anunciou a instalação de uma fábrica de argamassa para utilização da lama abrasiva de seus associados.

Em Pádua, hoje, as aparas também são totalmente aproveitadas na confecção de produtos de tamanhos diferentes ou produtos sem trabalhar para a construção de muros e também são britadas e moídas para a produção de brita e areia artificial e finos para argamassa.

6.2. Quartzitos de Várzea do Seridó –PB

No município de Várzea, no Seridó Paraibano, são extraídos e beneficiados quartzitos para uso como rochas de revestimento, em forma rústica. O quartzito é uma rocha metamórfica composta de sílica (75%) e de outros minerais como silicatos, micas. O processamento é limitado, na cidade de Várzea, ao corte em serras de discos diamantados, refrigeradas a água, gerando um efluente constituído por partículas micrométricas da rocha, partículas metálicas de ferro, oriundas do desgaste do disco de corte e água. Os efluentes são tratados em pequenas unidades de separação sólido/líquido que permitem a recirculação da água e a remoção dos sólidos finos. No beneficiamento são também gerados resíduos grossos, constituídos das aparas provenientes do corte das rochas nas serrarias. Esses resíduos são produzidos em grande quantidade e são estocados em grandes pilhas localizadas nas serrarias, gerando impacto ambiental e danos à saúde dos trabalhadores, pelo pó emanado das pilhas pela ação dos ventos. No entanto, a estocagem torna-se o principal gargalo desse setor, sendo necessário um estudo para criação de uma rota tecnológica de aplicação desses resíduos, que em geral, apresentam granulometria inferior a 27,8 micrômetros quando saem das serrarias.

Em parceria com a empresa TECQUÍMICA, localizada em Várzea-PB, foi implantada uma usina-piloto para fabricação de argamassa e tijolos estruturais, a partir dos resíduos de quartzitos gerados pelas serrarias. A figura 44 apresenta o fluxograma do processo dessa usina piloto, que é constituído, basicamente, das seguintes etapas: cominuição das aparas das serrarias em moinho de martelos; classificação granulométrica do produto da cominuição, em peneira rotativa (trommel); misturadores; e sistema de ensacamento das argamassas produzidas nos misturadores. Nos misturadores são preparados tipos de argamassa, utilizando a fração mais fina do peneiramento no trommel (< 35 malhas) e os aditivos selecionados para cada tipo de argamassa. Os resíduos mais grossos produzidos pelo trommel (> 10 e > 35 malhas) são utilizados para a fabricação de pré-moldados.

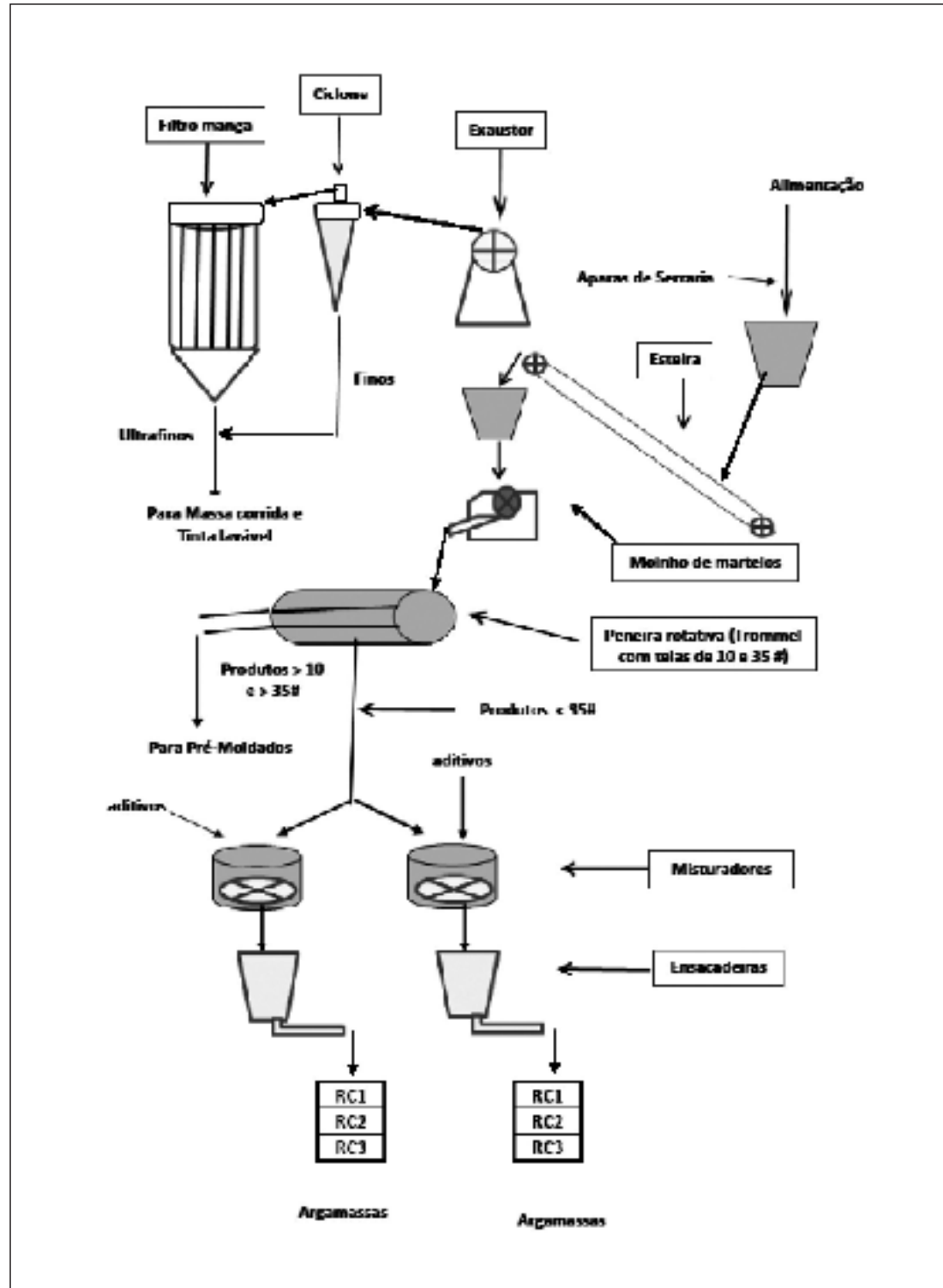


Figura 44 - Fluxograma da usina piloto de argamassa instalada em Várzea – PB. Elaboração: Carlos A. Melo, CETEM/MCTI, 2012.

Ao fluxograma do processo foi acoplado um sistema de coleta de pó, composto de exaustor, ciclone e filtro de manga. Este sistema de coleta de pó evita emissão de poeira proveniente da usina, protegendo os trabalhadores e a comunidade adjacente à mesma. Além de evitar a emissão de pó da usina para o meio ambiente, esse sistema de coleta de pó permitirá, ainda, a recuperação de produtos finos e ultrafinos produzidos pelo ciclone e pelo filtro de manga, respectivamente, que podem ser utilizados para a fabricação de outros subprodutos, tais como: massa corrida e tinta lavável.

A Figura 45 mostra quatro vistas parciais da montagem da usina piloto. Acima à esquerda mostram-se as etapas de cominuição e classificação granulométrica, com a saída da fração mais fina para a produção da argamassa; à direita o ciclone, em primeiro plano, e o filtro de manga, mais ao fundo. Na parte inferior, da esquerda para a direita, a primeira mostra os misturadores (2); e a segunda mostra o ensacamento da argamassa produzida.



Figura 45 - Vistas parciais da usina piloto em Várzea-PB. Fotos: CETEM/MCTI, 2011.

Para a montagem dessa usina piloto, vários equipamentos foram fabricados, no âmbito do projeto (moinhos de martelos, peneiras rotativas, misturadores, ciclones e filtros de manga e outros). A usina piloto de argamassa, instalada na área das empresas de beneficiamento, tem uma capacidade atual de produzir até 3 t/dia de argamassa. A primeira meta é aumentar a produção para 7 t/dia e poderia ainda expandi-la até 15 t/dia de argamassa, aproveitando assim maior quantidade de aparas oriundas das serrarias de quartzitos da região.

6.3. Mármore Bege Bahia - BA

A região árida de Ourolândia, na Bahia, foi impulsionada pelo setor de rochas ornamentais e evoluiu muito nos últimos 10 anos. A região, onde um aglomerado de pequenos produtores produzia rudimentarmente o travertino conhecido comercialmente como “Mármore Bege Bahia”, passou por uma transformação tecnológica com a introdução do fio diamantado nas pedreiras e os teares diamantados no beneficiamento que, se bem tem melhorado os produtos e aumentado a produtividade também geram maiores quantidades de resíduos. A instalação da indústria de beneficiamento próxima às pedreiras viabilizou na extração, uma melhor seleção da matéria-prima, reduzindo dos custos de logística em aproximadamente 25% possibilitando agregar valor aos materiais, e o fim da atuação de mero exportador de matéria prima para outros Estados.

Entre 2001 e 2002 foram instalados os dois primeiros teares diamantados, dando início ao “Polo Produtivo do Mármore Bege Bahia”. Atualmente, o parque industrial conta com aproximadamente 11 empresas, onde estão instalados 14 teares diamantados nacionais e importados, politrizes e linha de ladrilhos. A produção mensal do polo de Ourolândia soma aproximadamente 100 mil metros quadrados de chapas, ladrilhos e revestimentos em geral.

A extração e beneficiamento dessa rocha, assim como ocorre com outras rochas ornamentais e de revestimento, gera uma quantidade significativa de resíduos grosseiros, oriundos de quebras das peças durante o corte, assim como resíduos finos, na forma de lama. Esses resíduos acabam sendo acumulados nas serrarias e pedreiras de onde são encaminhados para aterros próprios. No entanto, com o aumento da produção ao longo dos anos, a quantidade desses resíduos também tem aumentado, necessitando de soluções urgentes para seu uso. Por se tratar de material carbonático poderia parecer que a solução é simples, pois o carbonato de cálcio é a carga industrial mais utilizada, além de servir para uso direto na calagem para a agricultura, porém Ourolândia encontra-se longe de grandes centros de forma que usos menos valorizados são inviabilizados pelo alto custo do transporte. Por esse motivo, a solução passa pelo desenvolvimento de usos de maior valor agregado ou projetos para o desenvolvimento de uma indústria local, a exemplo das fábricas de argamassa aqui mencionadas. A figura 46 mostra os depósitos de resíduos do mármore Bege Bahia em Ourolândia.

No contexto de aplicação de resíduos, surgiu a indústria polimérica que consome uma grande quantidade de cargas minerais para materiais termoplásticos. As cargas são incorporadas aos plásticos visando melhorar as propriedades térmicas, mecânicas e termo-mecânicas, mudando a aparência superficial e as características de processamento e, em particular, reduzindo os custos da composição polimérica. O custo da carga e sua influência no preço final do compósito afeta fortemente a sua escolha. Para se estudar a viabilidade de se incorporar os resíduos do Bege Bahia a polímeros, amostras foram peneiradas até a obtenção de uma granulometria inferior a 0,037 mm. Após o peneiramento, os resíduos foram secos em estufa a 70°C, por 24 horas e em seguida, foram desagregados para o processamento de compósitos poliméricos com polipropileno.



Figura 46 - Depósitos de resíduos do Mármore Bege Bahia. Fotos: CETEM/MCTI, 2007.

O processamento dos compósitos foi realizado por meio da extrusora dupla-rosca modelo DCT 20, 20 mm, marca Teck Trill, com L/D=36, utilizando-se uma velocidade de 200 r.p.m., com zonas de temperaturas compreendidas entre 165°C e 230°C. Os teares de resíduo utilizados foram: 0, 5, 10, 20, 30, 40 e 50, em massa. Acoplada à extrusora, encontram-se uma mesa calibradora com sistema de refrigeração e uma calandra, para resfriar uniformemente a fita e puxar o material extrusado, respectivamente. Os materiais gerados foram avaliados segundo os valores de densidade, resistência mecânica e a intempéries.

A Figura 47 apresenta os perfis de fita obtidos no processamento dos compósitos por extrusão, onde se verificou que foi possível a realização do processamento com até 50%, em massa, de resíduo de calcário Bege Bahia.

Os resultados indicaram a possibilidade de incorporação de até 50%, em massa, de resíduo na matriz de polipropileno, obtendo-se um compósito de baixa densidade e elevadas resistências mecânica e de alterabilidade. Dessa forma, sugere-se a geração de mobiliário escolar e urbano com esses materiais, bem como a confecção de materiais onde a redução de peso é importante, como peças automotivas e de aviação, uma vez que a densidade desse material, em torno de 1,2 g.cm⁻³ é extremamente baixa.

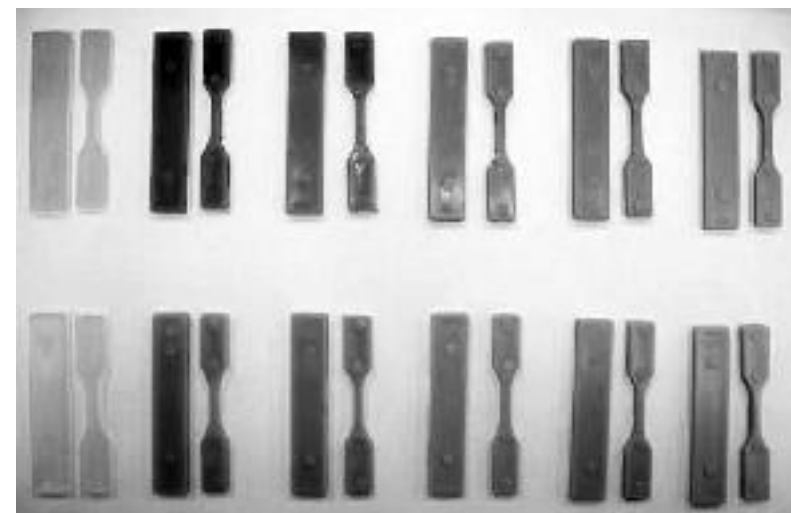


Figura 47 - Compósitos poliméricos obtidos com resíduos de Mármore Bege Bahia. Foto: CETEM/MCTI, 2008.

6.4. Pedra Cariri – CE

O calcário sedimentar, da bacia sedimentar do Araripe, comercializado como “Pedra Cariri” é explorado há mais de 40 anos para uso como rocha de revestimento, em lajotas naturais de diversos tamanhos, no Sul do Estado do Ceará, nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, nas encostas do flanco norte da Chapada do Araripe. A região tem uma grande vocação para a preservação ambiental e o turismo, destacando-se por seu patrimônio geomorfológico, florestal, geológico, paleontológico e arqueológico. A produção foi feita tradicionalmente de forma ilegal, predadora, sem mecanização e sem planejamento e em um ambiente de concorrência desleal entre os produtores, que levou à baixa qualidade dos produtos e à geração de importantes impactos ambientais. O principal deles foi a geração de uma enorme quantidade de resíduos; 2,4 milhões de toneladas, de acordo à quantificação realizada (PADILHA *et. al*, 2007). Esses resíduos foram dispostos de forma aleatória dentro e fora das áreas das pedreiras sendo seus principais impactos ambientais: o visual, o empobrecimento da vegetação, o assoreamento de córregos e riachos e a utilização de áreas reservadas à mata ciliar. A deposição desordenada desses materiais tem também um forte impacto no desenvolvimento das pedreiras, diminuindo a produtividade e chegando até a impedir o avanço das mesmas.

Os resíduos gerados na produção dessa rocha tinham seu emprego restrito a aterros e melhoria das estradas vicinais nos períodos chuvosos, sendo sua utilização mais nobre na composição de cimento de uma grande empresa da região, onde eram consumidas 10.000 t/mês. As Figuras 48 e 49 apresentam o impacto nos riachos e o estrangulamento das atividades, pelo acúmulo dos resíduos da Pedra Cariri.



Figura 48 - Córrego assoreado e margens ocupadas com resíduos. Foto: CETEM/MCTI, 2009.



Figura 49 - Resíduos acumulados em pedreira. Foto: CETEM/MCTI, 2004.

Para os resíduos sólidos acumulados ao longo do tempo, em torno de um milhão de m³, foi feita pelo CETEM, uma caracterização química, visando seu aproveitamento e os resultados médios são mostrados na tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios das análises químicas dos resíduos da Pedra Cariri.

Amostra Pedreira	P.F. (*)	Teor(%)										
		CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CuO	K ₂ O	SO ₃	SrO	MnO	P ₂ O ₅
Nova Olinda	42,5	53,9	0,78	1,16	0,270	0,81	0,027	0,041	0,046	0,069	0,19	0,045
Santana do Cariri	43,3	54,0	0,88	0,44	0,089	0,49	0,019	0,024	0,146	0,071	0,18	0,058

Devido ao alto conteúdo em carbonato de cálcio, os materiais de Nova Olinda e Santana do Cariri podem ser utilizados, a princípio, em muitos tipos de aplicações industriais. Mesmo para aquelas que requerem teores de MgO, SiO₂ e Al₂O₃ mais altos do que os apresentados nas amostras analisadas, o calcário do Cariri poderia ser utilizado quando blendado com outros compostos. Os resultados da caracterização realizada indicaram que sua utilização, em forma natural, em aplicações como corretivo de solos, ração animal, ou como carga industrial para a fabricação de borracha, cimento e siderurgia, seria viável.

Uma empresa localizada em Barbalha - CE utilizava, em 2009, na produção de cimento, em sua fábrica, exclusivamente, resíduos de Pedra Cariri, por convênio com o APL, consumindo cerca de 10.000 toneladas de resíduo por mês.

Nas operações de lavra e beneficiamento são gerados também resíduos finos, misturados à água de refrigeração dos discos diamantados de corte. No decorrer do projeto de Implementação do APL do Cariri, foi realizado no CETEM um estudo desses efluentes e dimensionados tanques de sedimentação, visando recirculação da água (CASTRO *et. al.*, 2007). O material fino resultante do processo de sedimentação foi caracterizado para verificar sua utilização industrial e após um processo de peneiramento, verificou-se que cerca de 90% do material apresentava tamanho de partícula igual ou inferior a 0,02 mm. Baseado nisso e na composição química média (Tabela 3) foi realizado um levantamento da indústria local e regional consumidora de calcário e realizados estudos para aplicação desse resíduo. Obtiveram-se os seguintes resultados positivos (VIDAL; CASTRO, 2008):

a) **Calcário agrícola:** os resíduos apresentam um teor de óxido de magnésio inferior ao necessário para essa aplicação. Porém, os testes realizados na EMBRAPA, demonstraram sua viabilidade quando mixados com outros compostos, sendo a melhor sugestão a mistura com magnesita e gipsita, por causa da abundância desta última na região (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados das análises químicas das diferentes composições do MIX.

Material ou MIX	% CaO	% MgO	requerimentos mercado
Resíduo da pedra Cariri	51,47	1,11	CaO + MgO >48%
60% Resíduo + 40% Magnesita <i>in Natura</i>	31,61	18,58	>10 % MgO
70% Resíduo + 30% Magnesita Calcínada	36,57	17,25	
50% Resíduo + 35% Magnesita + 15% Gesso Agrícola	30,69	16,49	100 % < 2 mm
50% Resíduo + 35% Magnesita Calcínada + 15% Gesso Agrícola	30,69	20,04	50 % < 0,30mm

b) **Ração animal:** os resultados para essa aplicação estão apresentados na Tabela 5 e mostram a viabilidade do uso desses resíduos, após moagem, no caso dos grossos, e diretamente no caso dos finos das serrarias.

Tabela 5 - Características físico-químicas dos resíduos grossos e finos da Pedra Cariri.

Substância / Propriedade	requerimentos	Grossos	Finos
CaO (mínimo)	36 %	53,9 %	53,4 %
MgO (máximo)	1,5 %	0,78 %	1,4 %
K ₂ O (máximo)	1 %	0,041 %	<0,01 %
F (máximo)	3 %	0,81 % (Fe ₂ O ₃)	0,60 % (Fe ₂ O ₃)
As (máximo)	4 ppm	--	--
Pb (máximo)	20 ppm	--	--
Umidade (máxima)	3 %	--	--
Tamanho das partículas	100% < 74 µm	--	80 % < 20 µm

- c) **Esmalte:** foram realizados testes para o uso do resíduo da Pedra Cariri na fabricação de esmalte para indústria eletrocerâmica. Os resultados foram positivos, obtendo-se um esmalte de boa qualidade, porém de cor bege opaco. Considerando que 16% da composição desse esmalte é carga de calcário, aconselha-se seguir esta linha de pesquisa com outros produtos cerâmicos em empresas da região.
- d) **Argamassa:** os estudos para uso do resíduo do calcário do Cariri na formulação de argamassa, conduzidos pela UFPE, concluíram que sua utilização em substituição de uma parte do cimento é viável. Silva (2008) verificou que o uso do calcário no lugar do cimento produz uma perda na resistência à compressão, porém, essa resistência não diminui a partir do sétimo dia de cura, o que não compromete seu uso na fabricação de argamassa.
- e) **EVA:** testes realizados em uma pequena fábrica de produtos de EVA, na qual 40% da carga é constituída de calcário, tiveram resultados promissores com a utilização desse resíduo, com exceção daqueles para os quais fosse exigida a cor branca.

7. Agradecimentos

Agradecemos a colaboração dos colegas do CETEM, Júlio Guedes, Francisco Hollanda e Rosana Coppedê, que muito nos ajudaram na organização e conteúdo deste capítulo. Agradecemos também a Flávia Karina Godói e Eder Ferreira Framil, do IEMA, ao Arquiteto Renato Paldés, a Associação Ambiental Monte Líbano – AAMOL e às empresas Volpi Equipamentos, Pedra Mosaico Português César e Carvalho Mármore e Granitos pela disponibilização de imagens e informações.

8. Bibliografia e referências

ALMEIDA, Salvador Luis Matos de; PONTES, Ivan Falcão. Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras e Finos de Serrarias de Rochas Ornamentais Brasileiras. Anais III Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais / Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, novembro/dezembro 2001, Salvador – Editado pelo CETEM/CBPM, Rio de Janeiro, 2002. p. 89-100.

BABISK, Michelle Pereira. Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais. 2009. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais), Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro – RJ. 2009.

BALTAR, Carlos Adolpho Magalhães. Flotação no Tratamento de Minérios. Recife. Departamento de Engenharia de Minas/UFPE. 2008.

BARRAL SILVA, M. T. *et al.* Reutilization of granite powder as an amendment and fertilizer for acid soils, *Chemosphere* 61. 2005. p. 993-1002.

BOCCACCINI, A. R. *et al.* Glass matrix composites from coal fly ash and waste glass, *Waste Manage* 17, 1. 1997. p. 39-45.

BUZZI, Daniella Cardoso; Estudo de classificação e quantificação das lamas geradas no processo de beneficiamento de rochas ornamentais. 2008. 365f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2008.

CAJATY, A. A. *et al.* Rochas Ornamentais do Ceará – Aproveitamento de Rejeitos da Pedreira Asa Branca em Santa Quitéria – CE. Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais/ II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, novembro/dezembro 2001, Salvador – Editado pelo CETEM/CBPM, Rio de Janeiro, 2002. p. 101-106.

CAMPOS, Antonio Rodrigues de; CASTRO, Nuria Fernández; VIDAL, Francisco Wilson Hollanda. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais. XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - ENTMMME. Anais...Ouro Preto – MG. Novembro 2007.

CAMPOS, Antonio Rodrigues de; CASTRO, Nuria Fernández; VIDAL, Francisco Wilson Hollanda. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental. VII Seminário Nacional de Rochas Ornamentais do Nordeste – VII SRONE. Anais...Fortaleza. Novembro 2009.

CARRETERO, M. I.; POZO, M. Clay and non-clay minerals in the pharmaceutical and cosmetic industries Part II. Active ingredients, Applied Clay Science, 2009.

CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antonio Eduardo Clark. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – Britagem, Peneiramento e Moagem. Vol. 3. 1a ed. 1. São Paulo. 1999.

CHIODI FILHO, Cid. Comercialização de Rochas Ornamentais no Brasil e no Exterior – Potencial, Avanços e Perspetivas do Setor. Segunda Feira de Minerais e Rochas. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 15 abril de 2009. in: http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/6665/Apresenta_Recife_2009.pdf. Acessado em 14/03/2010.

COSTA, C. N. Valorização de resíduos de pedreiras de mármore como agregados secundários para a construção Rochas de Qualidade, Ano XXXVII, Edição 183, Julho/Agosto 2005 ISSN 0102-4531, EMC Editores Associados, São Paulo, Brasil, 2005.

EUROSTAT – Statistics Explained. European Commission. Disponível em: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics_-_long-term_trends. Acesso em: 10/10/2012.

FERNANDES, H. R.; TORRES, P.; AGATTHPOULOS, S.; TULYAGANOV, D. AND FERREIRA, J. M. F. Utilization of solid wastes from granite cutting processing in porcelain industry, Al-Azhar Bulletin of Science, 2003. p. 33-43.

FRAMIL, Eder Ferreira. Relatório de aterros de lama do beneficiamento de rochas ornamentais. IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos: Vitória, 2013. Planilha de dados enviada por correio eletrônico em 14/03/2013.

GODOI, Flávia Karina Rangel. O desafio do Licenciamento para Micro e Pequenas Empresas. Palestra proferida na VI Seminário Nacional de APL de Base Mineral, Rio de Janeiro, 8 out/2009.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.meioambiente.es.gov.br/>>. Acesso em: 18 abril de 2013.

ITEP - Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco. Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, In Memoriam Prof. Paulo Abib Andery, . ITEP; Recife, 1980. 399p.

HOLANDA, J. N. F.; MANHÃES, J. P. V. T.; MOREIRA, J. M. S. Processing of red ceramic using ornamental rock powder waste, Journal of materials processing technology, 196. 2008. p. 89-93.

LIMA FILHO, V. X. *et al.* Estudo da viabilidade técnica da substituição dos pós cerâmicos convencionais por pó de granito na injeção de peças cerâmicas à baixa pressão. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Anais. Nov/2000, Natal/RN.

LUZ, Adão Benvido; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves. . Tratamento de Minérios - Quinta Edição. 5. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT, v. 1. 2010. 965p.

MACDARMA. Produtos. Disponível em: <http://www.macdarma.com.br/espinal.html>. Acesso em 10/04/2013.

MACHADO, Ramires Ventura; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição; ANDRADE, Felipe Vaz. Utilização de rejeitos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais, XVI Jornada de Iniciação Científica do Cetem, Rio de Janeiro – RJ. 2008.

MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, Helber C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p. 303-313, 2002, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

MORANI, Beatriz Martins; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição; CARANASSIOS, Adriano. Utilização do rejeito oriundo do corte de mármore como carga e recobrimento de papel. XVI Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro – RJ. 2008.

MOREIRA, J. M. S., FREIRE, M. N. E HOLANDA J. N. F, Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. Cerâmica vol.49 n.312 São Paulo Out-Dez/2003.

PALDÉS, Renato J. Ávila. Aproveitamento de Rejeitos de Rochas Ornamentais na Arquitetura e seu uso em Vias Públicas. Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais / VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Natal. 2008.

PEDRA MOSAICO PORTUGUÊS CESAR. Fotografias enviadas por correio eletrônico em maio de 2013. <http://www.pedramosaicoportuguescesar.com.br>. Último acesso: 26/08/2013.

PELINO, M., CANTALINI, C., VEGLIÓ, F. AND PLESCIA, P., Preparation of glasses obtained by recycling of goethite industrial wastes to produce glass-ceramics materials, J. Mat. Sc. 28, 1993. p. 2087-2094.

PONTES, Ivan Falcão; STELLIN Jr., Antonio. Utilização de finos de serrarias do Espírito Santo nas indústrias de construção civil. Anais Volume 2. XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa (XXI ENTMMME) realizado em Natal, RN - 20 a 24 de novembro de 2005. 607p.

PORTO, Adriana. Aula de Concurso para Professor Efetivo, na disciplina Tratamento de Minérios. Instituto Federal da Paraíba – IFPB. Novembro 2011.

PREZOTTI, J. C. S. *et al.* Identificação e gerenciamento dos resíduos gerados em empresas de beneficiamento de rochas ornamentais localizadas no município de nova Venécia/ES. XXX Congresso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, 26 a 30 de novembro de 2006, Anais...Punta del Este – Uruguai. 2006.

CBPM. Programa Prisma Apresentação Interna, mídia eletrônica. 2006.

ROMÃO, Maria Luísa, 1998, Elementos Estatísticos sobre a Indústria Extractiva em Portugal no ano de 1997. Bol.Minas, v. 36 n 1. Lisboa. 1999. p. 37-60.

SILVA, D. C.; VIDAL, F. W. H. Aproveitamento Econômico de Rejeitos de Lavra de Granitos nas Pedreiras: Rosa Iracema e Vermelho Filomena, do Livro Rochas Industriais: pesquisa geológica, exploração, beneficiamento e impactos ambientais. Fortaleza: Ed. Livro Técnico, 2003. p. 341-360.

SOUZA, Larissa Ribeiro de; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição; CARRISSO, Regina Coeli Caseres. Aplicação de rejeitos oriundos do corte de mármore como carga na indústria polimérica, XVI Jornada de Iniciação Científica do Cetem, Rio de Janeiro – RJ. 2008.

VAN STRAATEN, P., Agrogeology – The use of rocks for crops, University of Guelph, 2007. 440p.

VIDAL, Francisco Wilson Hollanda. Aproveitamento de Rejeitos de Rochas Ornamentais e de Revestimento. Anais IV Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, Fortaleza. Nov/2003. p. 221 - 229.

VOLPINI, E. Informações e fotografias da empresa Volpi Equipamentos enviadas por correio eletrônico em maio e agosto de 2013. www.volpiequipamentos.com.br. Último acesso em: 26/08/2013.

Capítulo 10

O setor de rochas ornamentais no Brasil