



CRITÉRIOS A SEREM ADOTADOS NA ADEQUAÇÃO DE ÁREAS PARA DEPÓSITOS DE LAMA DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM (ES/BRASIL)

DOI: 10.19177/rgsa.v6e32017181-200

Regina Célia Espinosa Modolo¹
Horlandezan Belirdes Nippes Bragança²
Mirian Loureiro Fialho³, Elenize Ferreira Maciel¹¹

RESUMO

Paralelamente ao crescimento da produção e exportação, cresce também a geração de resíduos provenientes dos processos de corte e polimento de rochas ornamentais. Com isso, gera-se a dificuldade da destinação adequada dos resíduos e os impactos ambientais decorridos pela sua disposição final. Este estudo foi realizado no município de Cachoeiro de Itapemirim – Estado do Espírito Santo, Brasil, e tem por objetivo caracterizar o resíduo de lama abrasiva, identificar e diagnosticar áreas aptas para a implantação de depósitos de resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais desta região. O estudo consistiu em duas etapas. Na primeira etapa procedeu-se à caracterização do resíduo de lama granítica, proveniente de uma empresa local. Para a caracterização do resíduo foram coletadas oito amostras, sendo quatro delas, do setor de corte e quatro do setor de polimento. As análises de lixiviação e solubilização destes resíduos foram realizadas de acordo com as Normas Brasileiras 10.005 e 10.006 de 2004. A segunda etapa consistiu em identificar as áreas com adequabilidade para receber estes resíduos, utilizando-se a metodologia de superposição de mapas para a definição de locais adequados para a implantação dos depósitos. Desta forma foram identificadas e mapeadas através de diagnóstico e georreferenciamento, nove áreas aptas a serem usadas como depósitos de resíduo não perigoso de lama proveniente de processos de beneficiamento de rochas ornamentais com características graníticas. Com os resultados deste estudo, torna-se possível a correta disposição final deste resíduo e desta forma, mitigar os impactos negativos ao meio ambiente.

Palavras chave: Resíduo de rochas ornamentais; áreas para depósito de resíduos; lama granítica.

¹ Engenheira Agrônoma/Universidade Federal do Espírito Santo (2003), Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos pela Universidade de Aveiro (2006) e Doutora/Universidade de Aveiro, Portugal (2014) Professora na UNISINOS. E-mail: reginaem@unisinós.br

² Professora aposentada do departamento de Botânica do CCAE-Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: horlandezan@hotmail.com

³ Doutora em Engenharia de Produção, Gestão da Sustentabilidade, Bióloga. Professora do Instituto Federal de Santa Catarina- IFSC. E-mail: mirianloureiro@gmail.com

¹¹ Mestre em Engenharia Civil pela UNISINOS. Doutoranda pela UFRGS. E-mail: elenizefm@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O município de Cachoeiro de Itapemirim no estado do Espírito Santo destaca-se no Brasil por possuir o maior parque de beneficiamento de rochas ornamentais do país, produzindo cerca de 158.400 toneladas de rochas ornamentais beneficiadas somente em 2014. No ano de 2015 o país exportou cerca de 2,32 milhões de toneladas de rochas ornamentais (ABIROCHAS, 2016).

Paralelamente ao crescimento da produção e exportação das rochas ornamentais, cresce também a geração de resíduos provenientes dos processos como o corte e o polimento destas rochas. Sendo estas formadas predominantemente por calcita (CaCO_3), feldspato e quartzo (SiO_2) (ACCHAR et al., 2006). Destas etapas do beneficiamento são gerados cerca de 20 a 30% de resíduos denominados lamas, que ocasionam impactos ambientais em função da destinação inadequada por ocasião de sua disposição final (BACARJI et al., 2013).

A lama gerada no processo de beneficiamento das rochas ornamentais é abrasiva, é considerada um resíduo sólido que passa pelo processo de decantação, em tanques especiais, após as operações de corte e polimento das rochas, sendo composta basicamente de pó-de-rocha, água, granalha de aço ou ferro, cal hidratada e componentes abrasivos (ULIANA et al., 2015). Este resíduo tem sido descartado no meio ambiente, provocando impactos negativos, por causar desfiguração da paisagem, assorear córregos e rios, poluir solos e águas. Além disso, quando a rocha seca, propicia poluição atmosférica com particulados.

A Secretaria de Meio Ambiente do município de Cachoeiro de Itapemirim chegou a estimar uma geração de cerca de 50.000 toneladas/mês de lama abrasiva gerada durante o processo de corte e polimento de rochas ornamentais pelas empresas do município. Segundo Manhães e Holanda (2008) o resíduo sólido do setor de rochas ornamentais é classificado como não perigoso, Classe II A - não inerte pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a), sendo que no Brasil, a geração de resíduos sólidos industriais não perigosos, é de aproximadamente 94.000.000 toneladas/ano (IPEA, 2012).

Contudo, um dos problemas encontrados pelo setor de rochas ornamentais do município é a destinação adequada da lama abrasiva para depósitos regularizados e localizados em áreas aptas. Diante das dificuldades para implementar tecnologias para a redução da geração destas lamas, a destinação final mais viável, tem sido a proposta de implantação de depósitos para resíduos não perigosos.

Algumas alternativas para minimizar os impactos causados pelo resíduo de rochas ornamentais já foram implantadas no setor, como por exemplo a sedimentação em tanques apropriados. Esta técnica permite não só reduzir o volume de resíduo, como também purificar (devido a remoção via decantação de sólidos suspensos) e promover o reaproveitamento da água, podendo esta ser utilizada no processo. Outras soluções para resolver o problema já foram apresentadas por vários pesquisadores (AREL, 2016; COSME et al., 2016; SARDINHA et al., 2016; SADEK et al., 2016; RODRIGUES et al., 2015; CHINELATTO et al., 2015; ULIANA et al., 2015; ALIABDO et al. 2014; SOUZA et al., 2013; SOUZA et al., 2010; MÁRMOL et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2009; ACCHAR et al., 2006; SEGADÃES et al. 2005), como por exemplo, incorporar o resíduo no processo produtivo da indústria de cerâmica, pelo fato de apresentar óxidos como K_2O , NaO e CaO , que promovem a formação de fase líquida, auxiliando na sinterização e densificação destes materiais (ACCHAR et al., 2006; SEGADÃES et al., 2005). Também se apresentam interessantes para aplicação em cimentos, pois apresentam propriedades pozolânica, ou até mesmo serem usados como *filler* (ULIANA et al., 2015; BACARJI et al., 2013). Alguns estudos também revelaram seu potencial como pigmento em argamassas após tratamento térmico (MÁRMOL et al., 2010).

No entanto, apesar de haver pesquisas em relação as diversas opções para utilização deste resíduo como matéria-prima alternativa na fabricação de materiais do setor da construção civil ainda existem alguns fatores, como a presença de Ferro (pode fazer com que ocorra expansões ou deformações dos produtos) assim como, reação álcali-agregado, fazem com que a sua capacidade de escoamento seja reduzida, ou seja, o resíduo não seja utilizado em sua totalidade.

Outro aspecto relevante do ponto de vista socioambiental está relacionado ao uso da terra, isso devido à escassez de áreas apropriadas para utilização como

depósito de resíduos. A localização dos depósitos de resíduos é um componente essencial do processo de gestão de resíduos, instalações inadequadas podem levar a danos ambientais, conflitos sociais, políticos e ineficiência econômica (GENELETTI, 2010; KIKUCHI E GERARDO, 2009; SUMATHI et al., 2008; LEÃO et al., 2004; LLURDÉS et al. 2003).

O processo para a identificação dos depósitos de resíduos pode ser dividido em algumas etapas principais, como a identificação de locais potenciais através de uma vistoria preliminar, avaliação dos aspectos e impactos ambientais, impactos sociais e viabilidade econômica e técnica (CHANG et al., 2008).

Em função da grande quantidade de lama abrasiva gerada pelo setor no município de Cachoeiro de Itapemirim, uma das alternativas para o resíduo gerado seria a sua destinação para depósitos apropriados. Cabe ressaltar que, para a implantação destes depósitos, primeiramente deve-se conhecer as características do resíduo, para que se possa garantir o seu confinamento em áreas com adequabilidade, orientando-se pelas NBR 10.004 (ABNT, 2004a) e NBR 13.896 (ABNT, 1997) e assim serem alocados em segurança.

Dentro deste contexto, esta pesquisa tem como principais objetivos caracterizar o resíduo denominado lama abrasiva proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais e diagnosticar áreas com aptidão para a implantação de depósitos no município de Cachoeiro de Itapemirim.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi definida como de caráter qualitativo e classificada como um estudo de caso combinado com pesquisa exploratória. O estudo foi conduzido no município de Cachoeiro de Itapemirim em duas etapas. A primeira etapa consistiu na coleta e caracterização do resíduo do processo de beneficiamento de rochas ornamentais. A amostragem foi efetuada na Empresa MARBRASA - Mármore e

Granitos LTDA, localizada no Parque Industrial Melvin Jones S/N, bairro Aeroporto, Cachoeiro de Itapemirim – ES, em setembro de 2006.

. A segunda etapa consistiu em identificar através de diagnóstico e georreferenciamento as áreas com adequabilidade para a disposição das lamas do setor de rochas ornamentais com segurança.

2.1 Caracterização do resíduo proveniente do setor de rochas ornamentais

Para a caracterização do resíduo foram coletadas oito amostras, seguindo os procedimentos da NBR 10.007 (ABNT, 2004d). A amostragem foi efetuada em uma empresa localizada no Parque Industrial de Cachoeiro de Itapemirim no Espírito Santo. Esta empresa foi selecionada pelo fato da mesma atender aos seguintes critérios:

- i.* Beneficiar mármore e granitos extraídos de jazidas próprias, todas localizadas no Espírito Santo;
- ii.* Possuir a maior capacidade produtiva instalada no município (50.000 m² de chapas/mês);
- iii.* Operar o sistema de serraria e polimento com reuso da água;
- iv.* Destinar a lama abrasiva para depósitos temporários; e
- v.* Possuírem os depósitos temporários localizados no pátio da empresa, dos quais a lama granítica é removida periodicamente.

Na Tabela 1 são apresentados os pontos de amostragem e respectivos ensaios realizados na primeira etapa do estudo.

Tabela 1. Ensaios para a caracterização do resíduo de rochas ornamentais no Laboratório AGROLAB - Análises e Controle de Qualidade

Amostra	Processo	Ponto de coleta	Ensaio
1	Polimento	Tanque de decantação – efluente inicial	Análise físico-química dos efluentes
2		Tanque de decantação – efluente intermediário	
3		Tanque de decantação – efluente final	
4		Depósito temporário	Lixiviação e Solubilização
5	Corte	Bacia de decantação – efluente inicial das máquinas 7 e 8	Análise físico-química dos efluentes
6		Bacia de decantação – efluente inicial das máquinas 3 e 4	
7		Bacia de decantação – efluente inicial das	

	máquinas 1 e 2	
8	Depósito temporário	Solubilização e lixiviação
Fonte: Autores (2016)		

A metodologia usada na caracterização físico-químicas das amostras apresenta-se descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* e as análises de lixiviação e solubilização das lamas foram realizadas de acordo com a NBR 10.005 (ABNT, 2004b) e 10.006 (ABNT, 2004c), respectivamente, cuja a classificação é estabelecida pelos critérios descritos na NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

2.2 Identificação das áreas para depósitos de lamas do setor de rochas ornamentais

A fase de identificação de áreas aptas para depósito de lamas foi realizada na Secretaria de Meio Ambiente de Cachoeiro de Itapemirim. Foi utilizado o mapa de áreas com adequabilidade. Um mapa do município contendo as localidades foi superposto ao primeiro obtendo-se assim, as localizações das áreas identificadas como aptas para o estabelecimento de depósitos de lamas.

As áreas foram vistoriadas e a avaliação seguiu os critérios estabelecidos pela NBR 13.896 (ABNT, 1997). O trabalho de campo permitiu identificar nove áreas com adequabilidade. As áreas identificadas foram georreferenciadas e diagnosticadas. Para a elaboração dos mapas de localização das áreas foi utilizado o software ArcGIS desenvolvido pela empresa ESRI (*Environmental Systems Research Institute*).

Os critérios estabelecidos para implantação de depósitos de lamas do setor de rochas ornamentais foram elaborados tendo em conta:

- i.* Os resultados de caracterização do resíduo;
- ii.* As características dos solos ocorrentes nas áreas com aptidão;
- iii.* O comportamento ou interação entre resíduo com os solos ocorrentes;
- iv.* Os procedimentos para a abertura das células dos depósitos;
- v.* Os procedimentos para a remoção da lama granítica dos depósitos temporários nas empresas; e

vi. Os procedimentos para a disposição do resíduo nas células do selecionadas.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização do resíduo proveniente do setor de rochas ornamentais

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos das análises físico-químicas das amostras coletadas no setor de corte e polimento das rochas de mármore e granito.

Tabela 2. Resultados das análises físico-químicas das amostras de efluentes do setor de corte e polimento das rochas ornamentais

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 5	Amostra 6	Amostra 7	Limites
pH	10,38	10,32	10,27	10,64	12,69	12,56	5 a 9*
DQO	19,26	16,05	25,68	802,40	2407,20	2246,72	n.e.
Cloretos (mg/L)	512,00	423,25	464,21	614,40	1365,33	684,67	250,00**
Sólidos suspensos totais (mg/L)	5544,00	1296,00	34,00	59900,00	34440,00	410500,00	n.e.
Sólidos totais (mg/L)	6354,00	1356,00	1,34	68870,00	40400,00	516700,00	1000,00**
Fenol (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.e.
Dureza total (mg/ L)	904,50	442,20	482,40	3618,00	6834,00	17,68	500,00**
Ferro total (mg/L)	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,30**
Temperatura (°C)	28,10	27,70	27,40	25,10	26,10	26,50	<40,00*

Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011*

Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990**

n.e.: não especificado

Fonte: Autores (2016)

Primeiramente se comparou os resultados obtidos com os dados preconizados na Resolução nº 430/2011 do Conama, que estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d'água se obedecer às condições recomendadas na referida resolução e na Portaria 36 (BRASIL, 1990) do Ministério da Saúde.

Os efluentes industriais provenientes do processo de polimento do setor de rochas ornamentais (Tabela 2) não atenderam a referida resolução e a Portaria nos seguintes parâmetros: pH, cloretos e sólidos totais. Em relação a dureza total, ficaram dentro dos limites as amostras 2 e 3. O pH não apresentou variação significativa (presenta-se entre 10.27 e 10.38). No entanto, a resolução estabelece que o pH deve

ser entre 5.0 e 9.0, ou seja, inferior aos valores encontrados. Os cloretos e a dureza conferida à água residuária (efluente), são provenientes dos abrasivos utilizados no processo de polimento. Os sólidos totais representam o particulado de rochas e restos de outros insumos utilizados no processo de beneficiamento.

Os efluentes industriais provenientes do processo de corte do setor de rochas ornamentais, (Tabela 2), apresentaram valores superiores ao que é permitido pela Resolução nº 430/2011 do Conama e na Portaria 36 (BRASIL, 1990) do Ministério da Saúde para todos os parâmetros analisados, com exceção apenas do ferro total. Os elevados valores de sólidos totais, cloretos e dureza devem-se ao manejo do corte e a alta dureza do material. Este fato se deve ao uso de agentes de natureza abrasiva (mistura de água, granalha de aço e cal). Estes agentes são utilizados para evitar as oxidações e otimizar o corte, assim como para diminuir o atrito do aço dos teares com o bloco.

Os efluentes industriais provenientes do processo de corte dos blocos não atendem aos padrões para lançamento em corpo hídrico e nem ao padrão de potabilidade. Cabe ressaltar que os efluentes de ambos os processos entram no ciclo de reuso da água, quando descartados, constituem a lama abrasiva, normalmente armazenada em depósitos temporários no pátio da empresa.

Nas Tabela 3 e Tabela 4 são apresentados os resultados do teste de lixiviação (NBR 10.005) e solubilização (NBR 10.006), empregados nas amostras dos depósitos temporários do processo de polimento e corte.

Tabela 3. Extrato lixiviado do processo de polimento e corte das chapas de rochas ornamentais

Parâmetros	Amostra 4	Amostra 8	Limites
Chumbo (mg/kg)	<0,01	<0,01	1,00
Mercúrio (mg/L)	<0,001	<0,001	0,10
Cádmio (mg/L)	<0,001	<0,001	0,50
Arsênio (mg/L)	<0,01	<0,01	1,00
Cromo total (mg/L)	<0,02	<0,02	5,00
Fluoretos (mg/L)	0,81	0,80	150,00
pH	6,94	5,63	n.e.
n.e.: não especificado			

Fonte: Autores (2016)

Tabela 4. Extrato solubilizado do processo de polimento e corte das chapas de mármore e granitos

Parâmetros	Amostra 4	Amostra 8	Limites
Alumínio (mg/L)	<0,01	0,43	0,20
Cromo total (mg/L)	<0,02	<0,02	0,05
Chumbo (mg/kg)	<0,01	<0,01	0,01
Ferro (mg/L)	<0,01	0,04	0,30
Manganês (mg/L)	<0,05	<0,05	0,10
Mercúrio (mg/L)	<0,001	<0,001	0,001
Cádmio (mg/L)	<0,001	<0,001	0,005
Cloretos (mg/L)	195,24	35,50	250,00
Fluoretos (mg/L)	0,69	0,92	1,50
Sulfatos (mg/L)	10,06	4,48	250,00
Arsênio (mg/L)	<0,01	<0,01	0,01
Fenol (mg/L)	<0,01	<0,01	0,01
pH	8,58	9,98	n.e.
n.e.: não especificado			

Fonte: Autores (2016)

Os resultados apresentados pela amostra 4 (Tabela 3 e Tabela 4), tanto para o extrato lixiviado quanto para o extrato solubilizado, encontram-se abaixo do limite máximo permitido no extrato. Desta forma, o resíduo do depósito temporário proveniente do processo de polimento foi caracterizado como não perigoso - Classe II B – inerte.

Independentemente da classificação, o resíduo do tanque temporário (amostra 4), segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997), deverá ser destinado a aterros de resíduos não perigosos, seguindo os critérios de implantação de aterros estabelecidos pela norma, mesmo se tratando de resíduo inerte.

Já os resultados dos testes de solubilização e lixiviação do resíduo proveniente do processo de corte, armazenado no depósito temporário (Tabela 3 e Tabela 4). Os resultados demonstram que a amostra representa um resíduo não perigoso, mas devido a solubilização de alumínio (Al), o resíduo é classificado como classe II A – não inerte de acordo com NBR 10.004 (ABNT, 2004a). Possivelmente o teor de Al no extrato solubilizado pode estar relacionado a origem da rocha matriz, ou seja, rocha granítica, que geralmente são rochas com elevados teores de Al_2O_3 (MOREIRA et al., 2003).

3.2 Áreas com adequabilidade para depósitos de lamas do setor de beneficiamento de rochas ornamentais

Na Tabela 5, é apresentada a localização das áreas aptas para depósitos de lama granítica propostas neste estudo.

Estas áreas definidas como sendo aptas para serem utilizadas como depósitos de lama granítica (Tabela 5), foram caracterizadas como de topografia ondulada, pouco acentuada, calhas de drenagem natural sem qualquer indício de proximidade do lençol freático; solos de textura argilosa, não susceptíveis a processos erosivos, ausência de remanescentes florestais, presença de poucas árvores isoladas, vegetação predominante – gramíneas, ausência de corpos hídricos nas proximidades, facilidade de acesso por estradas de terra, rede de energia elétrica nas proximidades, situação fundiária regularizada e proximidade dos centros geradores destas lamas.

Tabela 5. Localização das áreas aptas para depósitos de lama granítica

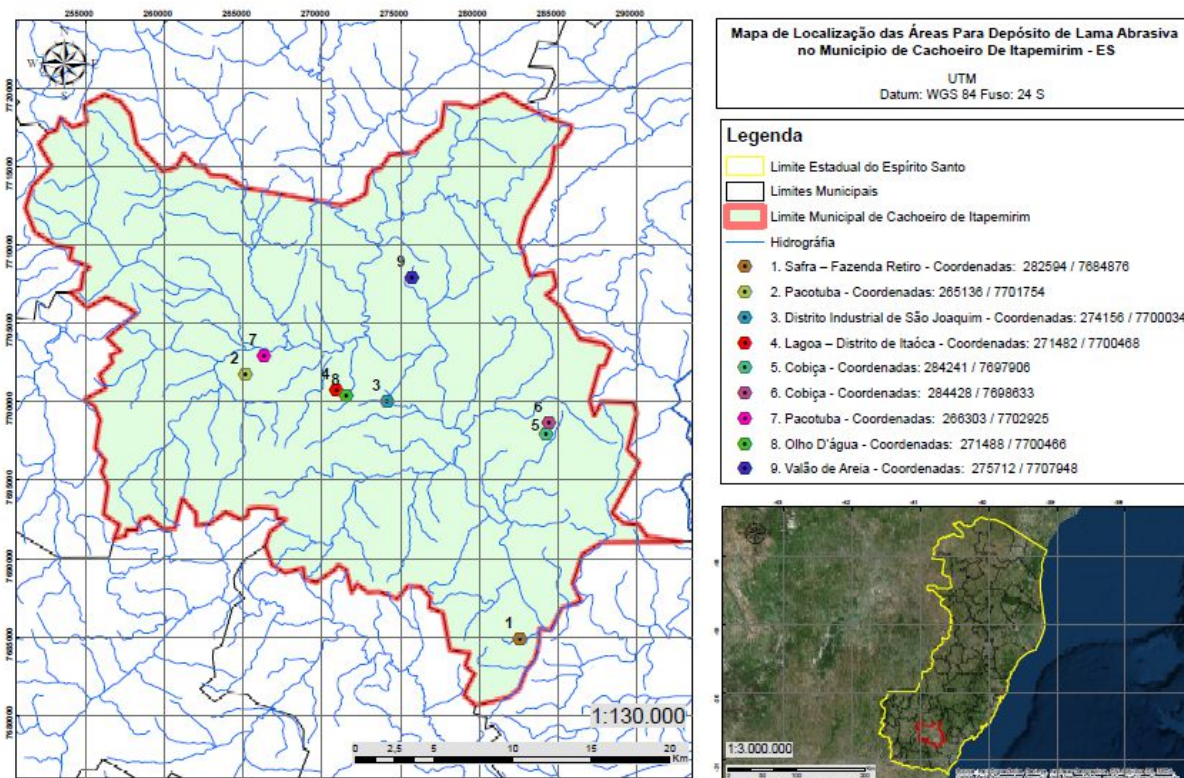
Área	Localização	Coordenadas UTM	Área aproximada (ha)
1	Safra – Fazenda Retiro	0282594 / 7684876	10
2	Pacotuba	265136 / 7701754	10
3	Distrito Industrial de São Joaquim	274156 / 7700034	12
4	Lagoa – Distrito de Itaóca	271482 / 7700468	8
5	Cobiça	284241 / 7697906	3
6	Cobiça	284428 / 7698633	3
7	Pacotuba	266303 / 7702925	1,5
8	Olho D'água	271488 / 7700466	3
9	Valão de areia	275712 / 7707948	5

Fonte: Autores (2016)

Nas

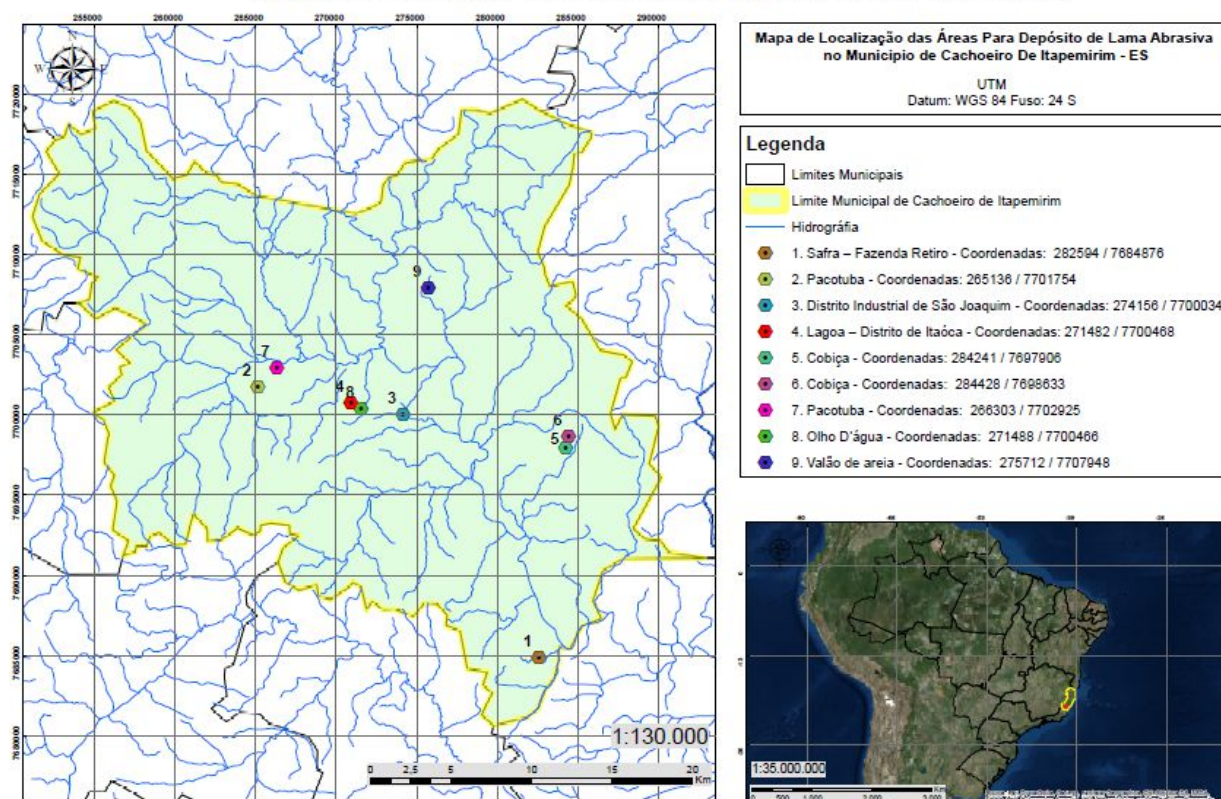
Figura 1 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são apresentados os mapas do município de Cachoeiro do Itapemirim com a localização das áreas aptas a serem utilizadas como depósito de lama granítica em relação ao mapa do Brasil e em relação ao Estado do Espírito Santo, respectivamente.

Figura 1. Mapa das áreas aptas para depósitos de lama granítica neste estudo em relação ao mapa do Brasil.



Fonte: Autores (2016).

Figura 2. Mapa das áreas aptas para depósitos de lama granítica neste estudo em relação ao mapa do Estado do Espírito Santo.



Fonte: Autores (2016).

A NBR 13.896 (ABNT, 1997) estabelece um distanciamento mínimo de 3m do lençol e um coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s. A localização das áreas apresentadas nos mapas permite observar que as áreas 2, 4, 8 e 6 são as que mais se apresentam distantes de corpos hídricos, de acordo com a hidrografia do local. De qualquer forma, a partir do diagnóstico foi possível observar que todas as áreas identificadas como aptas para depósitos não mostravam qualquer indício de proximidade com o lençol freático e proximidade com águas superficiais.

A partir da vistoria e mapeamento das áreas, sugere-se o regime de arrendamento, utilizando o sistema de consórcio de empresas, visto que, após o esgotamento da vida útil do depósito, a área receberá recobrimento, utilizando a própria camada orgânica, retirada do fundo das células, sendo passível de utilização para fins pecuários.

Toda a área utilizada para depósito, deverá ser isolada por meio de cerca e identificada com o nome do profissional responsável pela implantação do projeto e com o número de licença de instalação expedida pelo órgão ambiental licenciador. Deverão ser realizadas sondagens para identificar a altura do lençol freático e determinação do coeficiente de condutividade hidráulica (k) na ordem de 10^{-4} cm/s.

O resíduo de lama abrasiva, depositado nos tanques temporários apresenta-se inicialmente com aspecto semisólido. A desidratação ocorre por evaporação da água das camadas superficiais do tanque temporário, atingindo um teor de umidade variável de acordo com o manejo realizado. Preconiza-se para a remoção desta camada de resíduo da superfície, esta situação é definida para as empresas que não utilizam equipamento de prensa (filtro-prensa). Portanto, esta camada residual, com cerca de 30% de umidade, deverá ser removida por meio de retroescavadeira.

Este resíduo caracterizado como não perigoso, Classe II A ou II B, deverá ser transportado por empresas licenciadas do depósito temporário até o local estabelecido. Quanto ao projeto construtivo a ser executado na área apta para receber o resíduo e a operacionalidade do depósito, verifica-se que após o atendimento aos critérios pré-estabelecidos, preconiza-se desviar o escoamento das águas pluviais para fora do depósito, evitando-se a sua penetração no interior dos depósitos. Sugere-se também a abertura de poços de monitoramento para avaliar se está ocorrendo contaminação da água subterrânea. Estabelece-se a abertura de 2 poços, um à montante e o outro à jusante do depósito. O diâmetro dos poços deve ter no mínimo 10 cm, de modo a permitir a entrada do amostrador.

A abertura das células na área deve ser feita abrindo-se uma de cada vez e, levando o material retirado, denominado de camada orgânica, para um local de fácil acesso, de maneira a não dificultar a sua reposição no momento do fechamento da célula. A deposição do resíduo deverá ser feita na célula e a seguir, procede-se a sua compactação, proporcionando uma inclinação de 2 a 3%. A compactação é recomendada para aumentar a vida útil do depósito e a inclinação para evitar o acúmulo de águas pluviais sobre o mesmo.

Cabe destacar que os critérios propostos neste estudo, têm por finalidade confinar as lamas do setor de rochas ornamentais em áreas com adequabilidade e georreferenciadas, o que permitirá o auxílio ao seu monitoramento e ao mesmo tempo minimizando os impactos ambientais decorrentes da destinação inadequada. O georreferenciamento das áreas e a sua inclusão no zoneamento ecológico econômico, embutido no Plano Diretor Municipal, reafirmam a preocupação com o conceito de sustentabilidade para com um recurso natural não renovável, neste caso, as rochas ornamentais. Sendo de interesse socioambiental e econômico que estes resíduos sejam dispostos adequadamente e que o município se comprometa a fiscalizar e a monitorar estas áreas para que ocorra o cumprimento efetivo e eficaz da legislação.

Esta proposição visa também atender o desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais, garantindo que os resíduos gerados, possam ser utilizados como componentes em outras cadeias produtivas, considerando que ao longo do tempo estimar-se-á uma redução de espaços destinados para aterros nas regiões urbanas, podendo isto impactar diretamente na gestão dos resíduos (LEÃO et al., 2004). Contudo, se faz necessário o incentivo a otimização do processo de produção das rochas ornamentais em termos de minimização da geração dos resíduos gerados, como por exemplo, o uso de equipamentos com filtros-prensa, e quando não, que estes resíduos inevitavelmente gerados, sejam destinados de forma adequada. Outra possibilidade que já foi apresentada neste trabalho e também precisa ser ainda mais estudada é o uso destes resíduos como coprodutos, como por exemplo, na substituição de matéria-prima convencional na fabricação de outros produtos. Um setor interessante e promissor neste sentido é o da construção civil.

4 CONCLUSÕES

Os resultados de caracterização dos resíduos provenientes do setor de rochas ornamentais demonstram que eles podem ser classificados como não perigosos, classe II A - não inertes e classe II B – inertes de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004a). O

resíduo do setor de rochas ornamentais, não apresentou metais pesados nos extratos de solubilização e lixiviação.

A partir do conhecimento das características químicas do resíduo proveniente do setor de rochas ornamentais e do conhecimento das áreas que atenderam os critérios de adequabilidade para receber esses resíduos, passa-se a estabelecer as condicionantes para a implantação dos depósitos, como o teor de umidade, a necessidade de compactação e o grau de inclinação do lote. Cabe aos empreendedores a responsabilidade de implantação dos depósitos, atendendo os princípios de responsabilidade pelo gerenciamento, tratamento e destinação dos resíduos gerados.

A atenção da sociedade tem sido despertada quanto à contaminação do meio ambiente pelo lançamento inadequado de resíduos. Contudo, este estudo permitiu a identificação de áreas adequadas à disposição e respectivos critérios para o gerenciamento de resíduos do setor das rochas ornamentais promovendo a minimização de impactos ambientais do setor e também favorecendo a busca da sustentabilidade na cadeia produtiva.

CRITERIA TO BE TAKEN IN ADEQUATION OF AREAS FOR ORNAMENTAL STONES SLUDGE DEPOSIT GENERATED IN CACHOEIRO OF ITAPEMIRIM (ES/BRAZIL)

ABSTRACT

Parallel to the growth of production and export, also increases the generation of waste from cutting and polishing of ornamental stones. It generates the difficulty of improper disposal of waste and environmental impacts elapsed for its final disposal. This leads to the difficulty of proper disposal of the residues and the environmental impacts resulting from its final disposal. This study was conducted in the city Itapemirim - Espírito Santo State, Brazil, and aims to characterize the abrasive sludge residue and verify suitable areas for the implementation of waste deposits from the ornamental stone process this municipality. The study had been developed in two steps. In the first stage it was

proceeded to the characterization of granitic sludge generated in a local company. Eight samples of sludge were collected and characterized; four of them, from the cutting sector and four from the polishing sector. The leaching and solubilization analyses of these sludges were carried out in accordance to the Brazilian Standards 10.005 and 10.006 (2004). The second step consisted in identifying the suitability of the areas to receive such sludge, using the map overlay methodology for defining appropriate locations for the placement of deposits. Thus, the areas were identified and mapped through diagnosis and georeferencing. Nine areas were considered suitable to be used as landfill for non-hazardous sludge generated from beneficiation processes of ornamental stones from granitic deposits. Based on the results of this study, it is possible to perform the correct disposal of this waste and thus mitigate the negative impacts to the environment.

Key Words: ornamental stones sludge; areas for sludge disposal; granitic sludge; characterization; diagnosis.

REFERÊNCIAS

ACCHAR, W.; VIEIRA, F.A.; HOTZA, D. Effect of marble and granite sludge in clay materials. **Materials Science and Engineering**, v. A 419, p. 306-309. 2006.

ALIABDO, A. A.; ELMOATY, A. E. M. A; AUDA, E. M. Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 28-41. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). **Estatísticas de Mercado**. Acesso em: 12 de setembro de 2016, disponível em: <http://www.abirochas.com.br/estatisticas.php>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.896**: aterros de resíduos não perigosos. Critério para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

AREL, H. S. Recyclability of waste marble in concrete production. **Journal of Cleaner Production**, v. 131, p. 179-188. 2016.

BACARJI, E.; TOLEDO FILHO, R.D.; KOENDERS, E.A.B.; FIGUEIREDO, E.P.; LOPES, J.L.M.P. Sustainability perspective of marble and granite residues as concrete fillers. **Construction and Building Materials**, v. 45, p. 1–10. 2013.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990**. Brasília. Acesso em 14 de setembro de 2016, disponível em: <http://u.saude.gov.br/images/pdf/2015/setembro/30/Portaria-n.%2036%20de%201990.pdf>

CAMPOS, A. A. Simulação matemática para avaliação de contaminação do solo por resíduos industriais. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Alegre, ES. 2006.

CHANG, N. B.; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN, J. B. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. **Journal of Environmental Management**, v. 87, p. 139-153. 2008.

CHINELATTO, A. S. A.; CHINELATTO, A. L.; FERREIRA, D. E. M.; GRALIK, G. Estudo da viabilidade do uso de resíduo de polimento de rochas ornamentais em porcelanas. **Revista Matéria**, v. 20, p. 1075-1086. 2015.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430** - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília – DF, 16 de maio de 2011. Acesso em 20 de setembro de 2016, disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>

COSME, R. L.; TEIXEIRA, J. E. S. L.; CALMON, J. L. Use of frequency sweep and MSCR tests to characterize asphalt mastics containing ornamental stone residues and LD steel slag. **Construction and Building Materials**, v. 122, p. 556-566. 2016.

GENELETTI, D. Combining stakeholder analysis and spatial multicriteria evaluation to select and rank inert landfill sites. **Waste Management**, v. 30, p. 328-337. 2010.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais – Relatório de Pesquisa**. Brasília, 2012. Acesso em 28 de outubro de 2016, disponível em: http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120927_relatorio_residuos_solidos_industriais.pdf

KIKUCHI, R.; GERARDO, R. More than a decade of conflict between hazardous waste management and public resistance: A case study of NIMBY syndrome in Souselas (Portugal). **Journal of Hazardous Materials**, v. 172, p. 1681-1685. 2009.

LEÃO, S.; BISHOP, I.; EVANS, D. Spatial-temporal model for demand and allocation of waste landfills in growing urban regions. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 28, p. 353-385. 2004.

LLURDÉS, J. C.; SAURI, D.; CERDAN, R. Ten years wasted: the failure of siting waste facilities in central Catalonia, Spain. **Land Use Policy**, v. 20, p. 335-342. 2003.

MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização e classificação de resíduo sólido “pó de rocha granítica” gerado na indústria de rochas ornamentais. **Química Nova**, v. 31, p. 1301-1304. 2008.

MÁRMOL, I.; BALLESTER, P.; CERRO, S.; MONROS, G.; MORALES, J.; SANCHEZ, L. Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-based mortars. **Cement & Concrete Composites**, v. 32, p. 617-622. 2010.

MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 49, p. 262-267. 2003.

OLIVEIRA, O. C.; BOBROVNITCHII, G. S.; OLIVEIRA, L. J.; PARANHOS, R. P. R.; AIGUEIRA, R. B.; FILGUEIRA, M. Epoxy-quartz based composites for use in polishing crowns of ornamental stones. **Materials Characterization**, v. 60, p. 869-874. 2009.

RODRIGUES, R.; BRITO, J.; SARDINHA, M. Mechanical properties of structural concrete containing very fine aggregates from marble cutting sludge. **Construction and Building Materials**, v. 77, p. 349-356. 2015.

SADEK, D. M.; EL-ATTAR, M. M.; ALI, H. A. Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 121, p. 19-32. 2016.

SARDINHA, M.; BRITO, J.; RODRIGUES, R. Durability properties of structural concrete containing very fine aggregates of marble sludge. **Construction and Building Materials**, v. 119, p. 45-52. 2016.

SEGADÃES, A. M.; CARVALHO, M. A.; ACCHAR, W. Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products. **Applied Clay Science**, v. 30, p. 42-52. 2005.

SOUZA, A. J.; PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de resíduo de rocha ornamental sobre as propriedades e microestrutura sinterizada de piso cerâmico. **Revista Matéria**, v. 18, p. 19-28. 2013.

SOUZA, A. J.; PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Processing of floor tiles bearing ornamental rock-cutting waste. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 210, p. 1898-1904. 2010.

SUMATHI, V.R.; NATESAN, U.; SARKAR, C. GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. **Waste Management**, v. 28, p. 2146-2160. 2008.

ULIANA, J.G.; CALMON, J. L.; VIEIRA, G. L.; TEIXEIRA, J. E. S. L.; E. Tratamento térmico da lama do beneficiamento de rochas ornamentais: aplicação como pozolana em matrizes cimentícias. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 8, p. 100-123. 2015.