

## CARACTERIZAÇÃO DE LAMAS DO CORTE DE GRANITOS COM VISTA AO USO EM OBRAS GEOTÉCNICAS

### CHARACTERIZATION OF GRANITE CUTTING SLUDGE FOR GEOTECHNICAL PURPOSES

Tatiane de Oliveira<sup>1</sup>, Rogério Pinto Ribeiro<sup>2</sup>, Trajano Franco Moreiras<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Geotecnia, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, SP, Brasil.  
E-mail: tatioliveira.civil@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Doutor em Geotecnia, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, SP, Brasil.  
E-mail: rogerioprx@sc.usp.br

<sup>3</sup>Doutor em Geotecnia, Universidade Estadual de Maringá, Câmpus Regional de Umuarama, PR, Brasil.  
E-mail: strajano@gmail.com.

#### RESUMO

A indústria de extração e beneficiamento de rochas gera um grande volume de resíduos, sendo que o que mais causa danos são as lamas, provenientes da serragem e polimento. Este trabalho envolve experimentos laboratoriais da lama de serragem de granitos produzida uma indústria do interior de São Paulo, tratando de sua classificação ambiental, caracterização geotécnica, química e mineralógica, análise de resistência do resíduo puro e com incrementos de cimento além da sua classificação pela metodologia MCT, visando a utilização desse resíduo em obras geotécnicas. Os resultados mostraram que o resíduo é classificado como não perigoso, sendo um silte de baixo índice de plasticidade com cerca de 58% de quartzo (SiO<sub>2</sub>). O resíduo puro possui resistência a compressão simples de 0,4 MPa e coesão de 54 KPa e ângulo de atrito de 35°. Com incremento de 2% de cimento a resistência a compressão simples atingiu 1,2 MPa e com 5% alcançou 2,4 MPa. A classificação MCT resultou em um NS' (Solo de comportamento não laterítico – siltes, siltes arenosos) de baixa permeabilidade. Aplicações em misturas de solo para pavimentos e camadas de impermeabilização são potenciais aplicações para o resíduo.

**Palavras-chave:** Blocos de granitos, lama abrasiva, ensaios geotécnicos, classificação MCT.

#### ABSTRACT

The industry of extraction and rock processing generates a large volume of waste, being the most pronounced harm caused by the sludge from cutting and polishing processes. This work deals with the characterization of the granites cutting sludge of a sawmill in the northeastern part of the state of São Paulo (Brazil), related to its environmental and geotechnical characterization, chemical and mineralogical aspects, analysis of resistance of pure material and with increments of cement in addition to their classification by the MCT Methodology, in order to use this residue in geotechnical purposes. The results showed that the residue is classified as not dangerous, showing a low plasticity index containing about 58% of quartz (SiO<sub>2</sub>). The pure residue has unconfined compression strength of 0.4 MPa, cohesion of 54 KPa and the friction angle of 35°. The unconfined compression strength reached 1.2 MPa with an increase of 2% of cement and 2.4 MPa with 5% of raising. The MCT classification resulted in a NS' (non lateritic behavior soil – silts, sandy silts) of low permeability. Potentially applications of the residue are soil mixtures for paving and waterproofing coatings.

**Keywords:** Granite sawing, abrasive sludge, geotechnical tests, MCT classification.

#### 1 – INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque na produção mundial de rochas ornamentais e de revestimento. A capacidade instalada de serragem de blocos e de polimento de chapas de aproximadamente 93 milhões de m<sup>2</sup>/ano, sendo considerado o maior e melhor produtor mundial de grandes chapas de granitos, quartzitos e outras rochas abrasivas. Conta com aproximadamente 10.000 empresas atuando na cadeia produtiva e 120.000 empregos diretos neste importante setor minero-industrial que movimentou mais de US\$ 5 bilhões em 2014. A atividade é concentrada principalmente em arranjos produtivos de mármore e granitos no estado do Espírito Santo. Em termos da distribuição do e consumo interno, estima-se que 45% do total seja devido ao Estado de São Paulo, chegando a 67% para a região sudeste brasileira (VIDAL; CASTRO;

FRASCÁ, 2014; CHIODI FILHO; CHIODI, 2014; ABIROCHAS, 2015a,b).

A geração de resíduos é inerente a qualquer processo de produção ou transformação de materiais. Na indústria da pedra, por exemplo, são produzidos diferentes tipos de resíduos desde a extração no maciço rochoso até as operações finais para produção de placas nas dimensões comerciais, representando perdas de matéria-prima da ordem de 83% (CAMPOS *et al.*, 2014). No processo produtivo são produzidos vários tipos de resíduos como casqueiros, aparas, lâminas e granalhas de aço desgastadas, sacos de cimento e de cal, restos de pastilhas abrasivas e, principalmente, as lamas resultantes do corte dos blocos e do polimento das placas que são responsáveis por impactos ambientais.

As lamas provenientes do corte de blocos para obtenção de placas nos teares convencionais contêm 67%

água, 30% de pó de rocha, 2% de restos limalha de aço e 1% de lâmina e 1% de cal em massa, sendo produzidas em grandes quantidades. Estima-se que sejam gerados 2,2 toneladas de lama por cada metro cúbico de rocha serrada (CAMPOS *et al.*, 2014). Um destino desse resíduo pode ser o pátio da empresa, onde ocupam vastas áreas e são dispostas em bacias geralmente sem qualquer tipo de impermeabilização podendo contaminar o solo e água subterrânea. Outra solução são os aterros, sendo esta mais onerosa porque a empresa tem que arcar com o transporte e a taxa de acondicionamento dos resíduos.

Na Figura 1 é mostrado um típico local de armazenamento desse resíduo. Nessa empresa, a mesma em que foi coletada a amostra utilizada no trabalho, há a estocagem nessa bacia por um tempo determinado para que haja uma secagem inicial do material. Quando encontra-se com a umidade mais baixa, um caminhão recolhe esse material e leva para um local de disposição de resíduos sólidos municipais.

Figura 1 – Bacia de decantação dos resíduos gerados do corte de blocos de granito



Visto os problemas ambientais e custos gerados pelos resíduos, o aproveitamento desse material tem sido objeto de estudos que já mostraram viabilidade para diferentes aplicações práticas como, por exemplo, cerâmica e vidro (BABISK, 2009; HOJAMBERDIEV; EMINOV; XU, 2011; AGUIAR *et al.*, 2014), argamassa (CALMON *et al.*, 1988a; MÁLMOL *et al.*, 2010; OLIVEIRA; VINCO; TRISTÃO, 2014), blocos de alvenaria e telhados/tijolos ecológicos (CALMON *et al.*, 1998b; MOURA; LEITE, 2011; CARVALHO *et al.*, 2014), cimento e concreto (GONÇALVES, MOURA, DAL MOULIN, 2002; MIRANDA, 2007; BACARJI *et al.*, 2013), pavimentação, estabilização de taludes e terraplanagem (KABIR; TAHA, 2004; DINO *et al.* 2013; DIAS *et al.*, 2014).

No Estado do Espírito Santo, onde se concentra a maior parte das indústrias de extração e de beneficiamento de rochas ornamentais e de revestimentos e são produzidas enormes quantidades de resíduos, várias providências vêm sendo tomadas pela Associação Ambiental Monte Líbano (AAMOL). Nesta associação participam também órgãos governamentais, tendo por objetivo pesquisar e dar finalidade aos resíduos produzidos pela indústria da pedra. Estudos conduzidos pela AAMOL (SILVA, 2011; FREIRE; CASTRO; VIDAL, 2013) mostram que é possível a utilização destes resíduos e contribuir para

atenuar os impactos ambientais, sendo de extrema importância o conhecimento de suas propriedades e dos desempenhos técnico e ambiental para posterior inserção em processos e produtos.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo a caracterização dos resíduos de serragem de blocos de rochas ornamentais (RSRO) produzidos em uma empresa beneficiadora de pequeno porte do interior paulista, visando sua utilização em obras geotécnicas. Incluiu a determinação da resistência à compressão simples na umidade ótima e máxima massa específica seca, da resistência ao cisalhamento e ensaios específicos para classificação do RSRO segundo a metodologia Miniatura Compactada Tropical (MCT).

## 2 – MATERIAL DE ESTUDO

O resíduo utilizado foi uma mistura da lama proveniente de três tipos de rochas: 100 kg do sienito “Marrom Caldas”, 50 kg do granito “Marrom São Paulo” e 200 kg do gnaiss “Branco Piracema”. Esse material foi coletado diretamente do poço de expurgo do tear para evitar a contaminação com outros resíduos, como a lama do polimento. As amostras foram secadas em estufa a 60 °C e posteriormente destorroadas. Em seguida foram homogeneizadas com o auxílio de uma betoneira, lançadas em uma lona para serem misturadas com o auxílio de uma enxada e finalmente ensacada e identificada (Figura 2).

Figura 2 – Homogeneização do material em uma lona plástica com o auxílio de pá. Modificado de OLIVEIRA (2015)

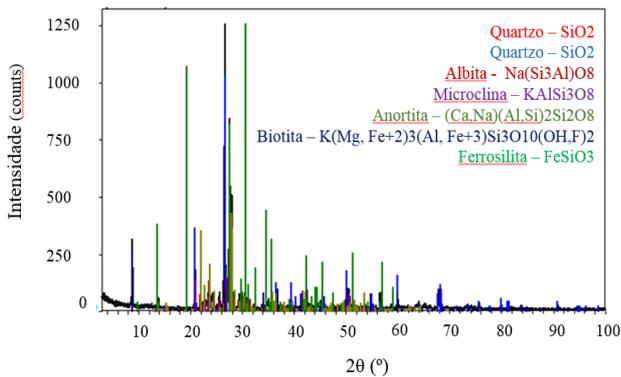


Dados prévios (OLIVEIRA; RIBEIRO, 2015) indicaram os seguintes parâmetros geotécnicos: granulometria com 65% silte, 20% areia e 18% argila, massa específica dos sólidos de 2,823 g/cm<sup>3</sup>, limite de liquidez de 29%, limite de plasticidade de 24% e o de contração 21%, sendo o índice de plasticidade 5%. Ensaios de compactação forneceram massa específica seca máxima de 1,545 g/cm<sup>3</sup> com umidade ótima de 25,6% na energia normal e 1,625 g/cm<sup>3</sup> e 22% na energia intermediária. Quanto às diretrizes das normas ABNT NBR 10004:2004, ABNT NBR 10005:2004 e ABNT NBR 10006:2004, o resíduo foi classificado como não perigoso e inerte. , visto que nos ensaios de lixiviação e de solubilização nenhum dos componentes avaliados foram constatados em

quantidade acima do limite máximo estipulado nas respectivas normas.

Resultados de análise química mostram predominância de SiO<sub>2</sub> (58%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (12,5%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11,3%), K<sub>2</sub>O (5,25%) e CaO (4,96%). Além disso, o material apresenta compostos químicos na forma tipicamente cristalina (Figura 3). Verifica-se que é composto por quartzo, albita, microclina, anortita, biotita e ferrosilita, além da inexistência de argilominerais, o que confere com a baixa expansão e contração do resíduo. Esses resultados condizem com a mineralogia dos gnaisses, granitos e sienitos, que são formados basicamente por feldspatos, quartzo e minerais máficos (mica e piroxênio).

Figura 3 – Difratograma de raios X do RSRO



3 – METODOLOGIA

Atendendo as diretrizes normativas de ensaios para solos da ABNT NBR 12770:1992 e para solo-cimento da ABNT NBR 12253:2012, o material destinado ao ensaio de Resistência à Compressão Simples foi preparado com a umidade ótima que forneceu a máxima massa específica seca no ensaio de Proctor na energia normal. O acréscimo de água para se chegar à umidade desejada foi feita no momento da moldagem de cada corpo-de-prova para que os períodos de cura fossem representativos. Foram moldados 6 corpos de prova para cada período de cura, sendo três para ruptura sem imersão e três rompidos com imersão prévia de 4 horas em água destilada. Os períodos de cura variaram de 0, 7, 14 e 28 dias em câmara úmida para os corpos de prova de resíduo puro, os quais foram embalados em papel filme e dispostos dentro de uma caixa de isopor para evitar a perda de umidade. Já nos com 2% e 5% de cimento CPII os períodos de cura foram de 7, 14 e 28 dias nas mesmas condições que os de resíduo puro.

De acordo com os procedimentos da norma ASTM D 3080:2011, os ensaios de cisalhamento direto foram realizados com o RSRO puro em três tensões normais 50, 100 e 200 kPa, sendo que os critérios para controle do teor de umidade e do grau de compactação foram os mesmos utilizados para os corpos de prova de compressão simples.

Quanto à classificação do RSRO para fins rodoviários, envolveu uma série de ensaios previstos na metodologia MCT (NOGAMI; VILLIBOR, 2009) e descritos sumariamente a seguir:

- Compactação miniproctor: Solos que passam

integralmente na peneira #10 ou 10% retida; fornece a curva de compactação: parâmetros: Umidade ótima e massa específica aparente seca máxima;

- Mini-CBR e Expansão: Mesmo procedimento para o CBR tradicional; parâmetro: Capacidade de suporte e comportamento mecânico do solo;
- Contração: Mede a contração axial, sem imersão, por secagem lenta ao ar;
- Permeabilidade: Corpos de prova saturados submetidos a carga variável e com sobrecarga; parâmetro: Coeficiente de permeabilidade; ensaios realizados com RSRO puro e RSRO com 2% e 5% de cimento CPII;
- Compactação Mini-MCV: Corpos de prova moldados com diferentes teores de umidade, sendo submetidos a um número crescente de golpes, com soquete e altura de queda padrão, até não haver acréscimo em sua densidade. Constrói curva de deformabilidade e de compactação; Obtenção dos coeficientes “c” e “d” para a classificação MCT;
- Perda de massa por imersão: Após moldagem no Mini-MCV, são extraídos 10mm dos corpos de prova e estes são imersos em água: A massa despreendida é pesada e calcula-se o coeficiente “Pi”, utilizado na Classificação MCT;
- Classificação geotécnica MCT: Coeficiente c correlaciona-se aproximadamente com a granulometria; com “Pi” e “d” obtém-se o índice de laterização “e”. Com os valores de “c” e “e” traça-se o gráfico da Classificação MCT.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios de ruptura à compressão simples são mostrados nas Tabela 1 e Figura 4. Os corpos-de-prova de resíduo puro submetidos a imersão desintegraram-se em poucos minutos, portanto o ensaio não foi realizado para essa condição. Já para os ensaios com cimento, não foi utilizado o tempo de cura de 0 dias, pois a intenção de acrescentar cimento era avaliar o ganho de resistência com o período de cura.

Tabela 1– Dados dos ensaios de Resistência à Compressão Simples (RCS)

Resíduo	Cura (dias)	Ruptura	RCS (MPa)			
			MIN	MAX	M	CV
Puro	0		0,348	0,353	0,348	1,6
	7	SI	0,399	0,399	0,399	0,0
	14		0,377	0,372	0,374	0,9
	28		0,334	0,375	0,354	8,1
2% CPII	7	SI	0,967	1,001	0,984	2,5
		CI	0,698	0,730	0,714	3,2
	14	SI	1,070	1,094	1,082	1,6
		CI	0,734	0,781	0,757	4,3
	28	SI	1,141	1,206	1,174	3,9
		CI	0,860	0,886	0,873	2,1
5% CPII	7	SI	1,770	1,770	1,770	0,0
		CI	1,274	1,411	1,343	7,2
	14	SI	1,783	1,819	1,801	1,4
		CI	1,278	1,533	1,406	12,8
	28	SI	2,280	2,308	2,294	0,86
		CI	1,574	1,721	1,648	6,31

Legenda: SI sem imersão, CI com imersão, MIN valor mínimo, MAX valor máximo, M média, CV coeficiente de variação (%).

Os ensaios de Cisalhamento Direto foram realizados com três tensões normais. O gráfico das tensões alcançadas em função do deslocamento é apresentado na Figura 5.

A partir dos pontos de ruptura mostrados na Figura 5 foi montada a envoltória de resistência para o RSRO (Figura 6). Com base na equação da reta tem-se uma coesão de 54 kPa e o ângulo de atrito de aproximadamente 35°.

Figura 4 – Resultados dos ensaios de Resistência à Compressão Simples

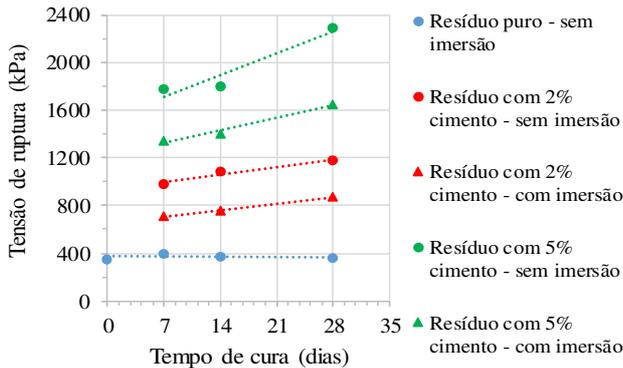
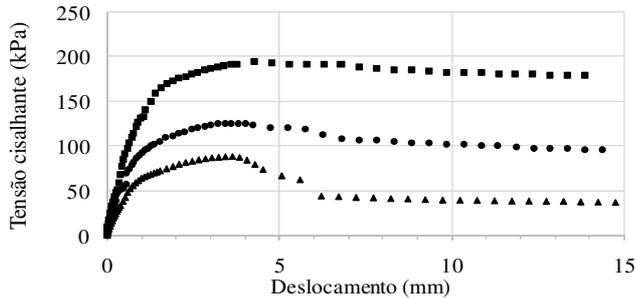
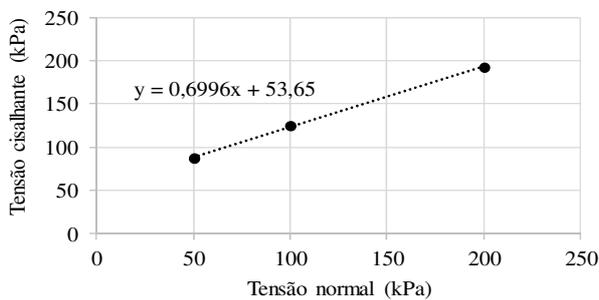


Figura 5 – Diagrama tensão (kPa) x deslocamento (mm) no ensaio de Cisalhamento Direto



- ▲ Tensão normal = 50 kPa
- Tensão normal = 100 kPa
- Tensão normal = 200 kPa

Figura 6 – Envoltória de ruptura



Os resultados dos ensaios de Mini-Proctor, Mini CBR, Retração e Expansão são mostrados na Tabela 2.

Os ensaios de permeabilidade foram realizados com três tipos de corpos-de-prova (RSRO puro, RSRO com adição de 2% de cimento e RSRO com adição de 5% de cimento), conforme apresentado na Tabela 3.

Quanto aos ensaios de Compactação Mini-MCV e

Perda de Massa por Imersão, forneceram parâmetros ( $c'=0,8\text{mm}$ ;  $d'=8\text{kg/m}^3$ ;  $P_i=287\%$  e  $e'=1,75$ ) para se chegar a classificação do resíduo no sistema MCT, que resultou em NS' - Solo de comportamento não laterítico - Siltes, siltes arenosos (Figura 7).

Em linhas gerais, a análise granulométrica mostrou que o material é muito fino, cerca de 80% é constituído por silte e argila.

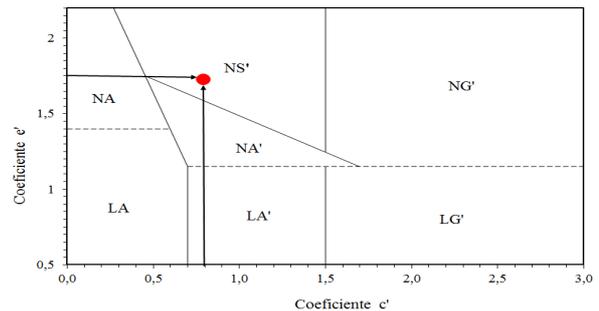
Tabela 2 – Resultados dos ensaios de Mini-Proctor, Mini CBR, Retração e Expansão

Ensaio	Resultado
Mini-Proctor (Energia intermediária)	Umidade ótima: 21,5% $\rho_d$ max: 1,645g/cm <sup>3</sup>
Mini-CBR	Imediato: 30% Imerso: 27%
Perda de Suporte	10%
Retração	0,2%
Expansão	1,3%

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de permeabilidade

Ensaio	K (cm/s)
RSRO puro	$4,60 \times 10^{-6}$
RSRO + 2% cimento	$1,13 \times 10^{-5}$
RSRO + 5% cimento	$1,29 \times 10^{-4}$

Figura 7 – Classificação MCT do RSRO



Quando comparada as faixas granulométricas para base estabilizada granulometricamente (DNIT, 2010), nota-se que devido ao alto teor de finos a curva do resíduo não se encaixa em nenhuma delas, que permite no máximo 72% de material passante na peneira #40, e o RSRO possui 96%. Para ser utilizado com essa finalidade seria recomendável misturar esse material com um mais grosso para se enquadrar em uma classe do DNIT. A porcentagem da fração argila, 18%, não é constituído por argilominerais logo o índice de plasticidade encontrado foi bem baixo. A massa específica dos sólidos é alta devido a presença do óxido de ferro, 11,30%, que possui massa específica de 5,24 g/cm<sup>3</sup>.

Checando-se a literatura disponível, geralmente o RSRO é classificado como Classe II – Não perigoso, variando entre A – Não inerte e B – Inerte, dependendo da mineralogia das rochas e do desgaste das lâminas e granalhas de aço, que aumentam a concentração de óxidos de ferro no resíduo quando rochas mais duras são serradas. Esse padrão é válido apenas para as lamelas de serragem, pois se no polimento forem usadas resinas tanto para reforço quanto no melhor acabamento das placas, o resíduo

poderá conter produtos tóxicos como fenóis, Cd, Pb, entre outros.

A análise química dos óxidos está de acordo com a mineralógica e mostra a inexistência de argilominerais no material. Visando-se utilizar o resíduo como um solo consultou-se a ABNT NBR 12253:2002, que fornece diretrizes referentes ao solo cimento, estipulando que a tensão de ruptura deve ser igual ou superior a 2,1 MPa aos sete dias de cura com imersão em água por 4 horas. Os teores de 2 e 5% de cimento alcançaram, respectivamente, os valores de 0,7 MPa e 1,3 MPa, muito abaixo do necessário. Uma alternativa seria aumentar esses teores até a resistência mínima, porém deve-se considerar o aumento do custo.

A camada de base de um aterro sanitário deve ter permeabilidade em torno de  $10^{-7}$  cm/s, possuir porcentagem passante na peneira nº 200 superior a 30% e limite de liquidez maior que 30%, com índice de plasticidade superior a 15% (CETESB, 2005). Segundo a ABNT NBR 13896:1997 os aterros de resíduos não perigosos devem possuir subsolo com coeficiente de condutividade hidráulica inferior a  $10^{-5}$  cm/s, podendo ser inferior a  $10^{-4}$  dependendo do tipo de resíduo e das demais condições hidrogeológicas do aterro. Já a ABNT NBR 10157:1987 estipula que a permeabilidade para aterros de resíduos perigosos deve ser menor que  $5 \times 10^{-5}$  cm/s. Apesar do resíduo possuir limite de liquidez praticamente adequado (29%), seu índice de plasticidade é bem inferior ao necessário (5%), além da permeabilidade ser maior. Sendo assim tem-se que o resíduo possui potencial para ser utilizado em aterros de resíduos sólidos, destacando-se aqui a necessidade de experimentos mais específicos para tal finalidade.

Na Tabela 4 são mostrados parâmetros típicos de um solo NS' a partir de ensaios realizados na umidade ótima da energia de compactação normal, sendo que no trabalho foi utilizada a energia intermediária.

Tabela 4 – Propriedades típicas de solos de compotamento não laterítico do grupo “NS’ siltosos”(modificado de DNER, 1996)

Granulometrias típicas e minerais		Siltos (k, m)		
		Siltos arenosos		
		Siltos argilosos		
Capacidade de Suporte	Mini-CBR sem imersão (%)	MA	> 30	Média a alta
		A	12 - 30	
	Perda de suporte com imersão (%)	M	4 - 12	Alta
		B	< 4	
Expansão (%)	A	> 70	Alta	
	M	40 - 70		
	B	< 40		
Contração (%)	A	> 3	Média	
	M	0,5 - 3		
	B	< 0,5		
Permeabilidade log k (cm/s)	A	> $10^{-3}$	Média a alta	
	M	$10^{-3}$ a $10^{-6}$		
	B	< $10^{-6}$		
Plasticidade	IP (%)	LL (%)	Média a alta	
		A		> 30
	M	7 - 30		30 - 70
	B	< 7		< 30

Legenda: k caulinita; M mica; MA muito alto; A alto; M médio; B baixo

O objetivo foi correlacionar os dados desta tabela com os obtidos do RSRO utilizado na pesquisa. Por se tratar de um material “artificial”, não existe argilomineral no RSRO. O CBR encontrado foi de 30, o que o classifica na interface alto/muito alto e a perda de suporte quando imerso foi de 10%, considerada baixa. Os valores de expansão e retração (1,3% e 0,2%, respectivamente) são considerados médios a baixos, sendo que a condutividade hidráulica do RSRO puro ( $4,6 \times 10^{-6}$  cm/s) considerada média e a plasticidade baixa

A inexistência de argilominerais provavelmente foi a responsável por essa diferença entre o que seria esperado para um solo com a mesma classificação. A adição de argila no resíduo melhoraria algumas propriedades como plasticidade, porém aumentaria a quantidade de finos. Ou seja, a relação ideal de misturas deste tipo de resíduo com solos presentes na região onde é produzido deve ser devidamente analisada a fim de se encontrar o melhor traço para testes envolvendo pavimentos de baixo custo ou outras finalidades geotécnicas, mencionando-se alguns exemplos promissores deste tipo de estudo (LUZ *et al.*, 2006, BATALIONE; RIBEIRO, 2010, JOAQUIM *et al.*, 2014, GRILO, 2016).

## CONCLUSÕES

As caracterizações ambiental, químico-mineralógica e geotécnica do RSRO indicaram características desejáveis e outras nem tanto visando a aplicabilidade desse material. Algumas propriedades mostraram-se potenciais a certas aplicações, tais como em misturas de solo para pavimentos e em camadas de impermeabilização de certos tipos de aterros.

Com o objetivo de melhor definir alternativas viáveis para utilização deste resíduo industrial, são recomendáveis investigações mais detalhadas do RSRO e misturas relacionadas a cada uma das finalidades acima propostas, além de outras possibilidades geotécnicas para inserção de produtos com este material na construção civil. É também necessário avaliar onde são os centros de produção do RSRO e a demanda de bens naturais nessa região, aliando necessidade com disponibilidade de materiais, com vistas ao desenvolvimento mais sustentável da região.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes pelo auxílio financeiro e aos técnicos dos Laboratórios de Mecânica dos Solos, Geossintéticos, Estradas e Hidráulica e Saneamento da EESC/USP no suporte à execução dos ensaios.

## REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Brazil is a highlight in the international dimension Stone market. *In*: Abirochas. ABINEWS 1(1), p. 6-10, 2015a.
- \_\_\_\_\_. Balance of exports, imports, production and brazilian domestic consumption of dimension stones in 2014. *In*: Abirochas. ABINEWS 1(2), p. 22-30, 2015b.

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10157**: Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1987, 13 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12770**: Solo coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada. Rio de Janeiro, 1992, 4 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997, 12 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004, 71 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004, 16 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004, 3 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12253**: Solo cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento. Rio de Janeiro, 2012, 3 p.
- AGUIAR, M. C.; GADIOLI, M. C. B.; BABISK, M. P.; CANDIDO, V. S.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Characterization of a granite waste for clay ceramic addition. **Materials Science Forum**, 775-776, p. 699-704, 2014. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.775-776.699>.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3080**: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. West Conshohocken, PA, 2011, 6 p.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.032>.
- BABISK, M. P. **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais**. 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia, 2009.
- BATALIONE, G.; RIBEIRO, L. F. M. Análise da viabilidade de utilização de rejeitos da produção de agregados em pavimentos rodoviários. **In**: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 15, Gramado, RS, 2010.
- CALMON, J. L.; SOUZA, F. L. S.; SILVA, S. C.; MATTOS, F. V. Reciclagem de resíduos provenientes do corte de granito na produção de argamassas de assentamento. **Revista Engenharia, Ciência & Tecnologia**, 02, p. 1-7, 1988a.
- CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; SOUZA, F. L. S.; SILVA, S. C.; MATTOS, F. V. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de tijolos de solo-cimento. **Revista Engenharia, Ciência & Tecnologia**, 03, p. 1-10, 1998b.
- CAMPOS, A. R.; RIBEIRO, R. C. C.; CASTRO, N. F.; AZEVEDO, H. C. A.; CATTABRIGA, L. Resíduos: tratamento e aplicações industriais. **In**: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. (eds.). Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 431-492, 2014.
- CARVALHO, A.; XAVIER, G. C.; ALEXANDRE, J.; PEDROTI, L. G.; AZEVEDO, A. R. G.; VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. Environmental durability of soil-cement block incorporated with ornamental stone waste. **Material Science Forum**, 798-799, p. 548-553, 2014. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.798-799.548>.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Procedimentos para implantação de aterro sanitário em valas**, 2005.
- CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K. O setor de rochas ornamentais no Brasil. **In**: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. (eds.). Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 493-527, 2014.
- DIAS, N. A.; YIN, M. F.; COSTA, C. C. B.; JOAQUIM, D. O.; PIRES, P. J. M. Use of chemically stabilized soil-dimension stone waste in slope stabilization. **In**: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2014, Teresina. **Anais...**, 4 p., 2014.
- DINO, G. A.; CLEMENTE, P.; LASAGNA, M.; de LUCA, D. A. Residual sludge from dimension stones: characterization for their exploitation in civil and environmental applications. **Energy Procedia**, 40, p. 507-514, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.08.058>.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-CLA259**: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura. Rio de Janeiro, 1996, 6 p.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 141**: Pavimentos flexíveis – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010, 9 p.
- FREIRE, L. C.; CASTRO, N. F.; VIDAL, F. W. H. Aproveitamento dos resíduos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. **In**: III Jornada do Programa Capacitação Interna do Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro: CETEM, 2013.
- GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; DAL MOULIN, D. C. C. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto. **Ambiente Construído**, 2(1), p. 53-68, 2002.

- GRILO, S. M. S. **Estudo da viabilidade de uso do rejeito fino de quartzito para pavimentação**. 2016. 132 p. Dissertação (Mestrado), Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Passos, MG, 2016.
- HOJAMBERDIEV, M.; EMINOV, A.; XU, Y. Utilization of muscovite granite waste in the manufacture of ceramic tiles. **Ceramics International** 37: 871-876, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2010.10.032>.
- JOAQUIM, D. O.; COSTA, C. C. B.; YIN, M. F.; DIAS, N. A.; PIRES, P. M. P. The mixture application of soil, dimension stone waste and blast furnace slag in earthworks. **In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2014, Teresina. Anais...** Teresina, 4 p., 2014.
- KABIR, M. H.; TAHA, M. R. Assessment of physical properties of a granite residual soils as an isolation barrier. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 92c. 13 p., 2004.
- LUZ, M. P.; CASTRO, S. S.; REZENDE, L. R.; ARAÚJO SILVA, A. L. Análise da viabilidade técnica da utilização de rejeito de pedreira dosado ao solo como material de pavimentação. **In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 13, Curitiba, PR, 2006**.
- MÁLMOL, I.; BALLESTER, P.; CERRO, S.; MONROS, G.; MORALES, J.; SANCHÉZ, L. Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-based mortars. **Cement & Concrete Composites**, 32, p. 617-622, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.06.003>.
- MIRANDA, R.A.C. **Viabilidade técnica da aplicação de resíduo de beneficiamento de mármore e granito em tijolos de solo-cimento**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2007.
- MOURA, W. A.; LEITE, M. B. Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação. **REM – Revista Escola de Minas**, 64, p. 147-154, 2011.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos**. São Paulo: Arte & Ciência, 2009.
- OLIVEIRA, J. D.; VINCO, L. G. F.; TRISTÃO, F. A. Aplicabilidade de argamassas de revestimento com adição de resíduo do corte de rochas ornamentais. **In: CONTECC – Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Teresina, PI, 4 p., 2014**.
- OLIVEIRA, T. **Caracterização do resíduo de serragem de rochas ornamentais para aplicações geotécnicas**. 141f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- OLIVEIRA, T, RIBEIRO, R. P. Caracterização geotécnica de resíduo produzido na serragem de blocos de granitos. **In: VIII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental. Brasília, 7 p. 2015**.
- SILVA, A. A. A. Gestão de resíduos na indústria de rochas ornamentais, com enfoque para a lama abrasiva. **In: VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, 19 p., 2011**.
- VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F.; FRASCÁ, M. H. B. O setor de rochas ornamentais no Brasil. **In: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. (eds.). Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 15-42, 2014**.