

Avaliação experimental do aproveitamento de resíduo de granito em ladrilho hidráulico vibrado

Alessandra Savazzini dos Reis
Instituto Federal do Espírito Santo – Brasil
alessandrara@ifes.br

Diana Malfer Andrade
Instituto Federal do Espírito Santo – Brasil
arq.dianamalfer@gmail.com

ABSTRACT

Due to the model of industrial production in contemporary society, it is perceived that there is a need for the development and implementation of sustainable technologies. The ornamental rock sector in Brazil is part of this context, once it generates a large amount of waste throughout production process. The waste generated in the cut of the block and in the surface treatment of the plates, when it is dry, becomes a very fine powder that can contaminate the environment. Meanwhile, there is a growing demand for the use of hydraulic tactile floor tile to make sidewalks, accessible to all citizens. Thus, the research aims to verify the technical viability of the granite waste usage in the production of hydraulic vibrated tactile floor tile. Hydraulic tiles were molded with mortar of Portland cement and granite waste replacing the sand in the contents of 20%, 30%, 40% and 50% (mass); which were submitted to the dimensional analysis and to the determination of the flexural strength according to NBR 9457/2013 of ABNT/BR, besides the analysis of the water absorption. The results indicated the technical feasibility of using the granite waste in the composition of the hydraulic tile up to 50% meeting the values of the flexural strength.

Keywords: Waste; Granite waste; Hydraulic tactile floor tile; Vibrated hydraulic tile; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Diante do modelo de produção industrial empregado na sociedade contemporânea, percebe-se que há a necessidade do desenvolvimento e implantação de tecnologias sustentáveis. O setor de rochas ornamentais se insere nesse contexto, pois gera grande quantidade de resíduos ao longo das etapas do processo produtivo da indústria, desde a extração dos blocos realizada nas lavras até o beneficiamento do produto nas serrarias. As rochas ornamentais brasileiras são extraídas e beneficiadas para exportação e consumo interno, principalmente na construção civil. O país está entre os cinco maiores produtores mundiais de rochas ornamentais; a indústria exportou em 2017 2,36 milhões de toneladas de rocha, e o estado do Espírito Santo foi responsável por 76% do volume físico de rochas ornamentais exportadas no país, que equivale a 1,8 milhão de toneladas de rocha, correspondendo a 82% do faturamento das exportações (ABIROCHAS, 2018).

Contudo, as etapas do processo produtivo das rochas ornamentais geram alto volume de resíduos, que em 2014 chegou a 3,65 milhões de toneladas no Brasil (ABIROCHAS, 2015).

Considerando a importância do setor para o país, mas também o alto volume de resíduo gerado, essa pesquisa busca uma alternativa sustentável no aspecto ambiental com o aproveitamento do

resíduo do setor de rochas ornamentais como matéria prima na composição de materiais cimentícios usados na construção civil gerando, consequentemente, diminuição do volume de resíduo disposto em aterros, e atenuação de impactos ambientais. E também visa a utilização do ladrilho hidráulico para execução e/ou adaptação das calçadas aos padrões de acessibilidade exigidos pela norma NBR 9050/2015. Nesse sentido, o objetivo da pesquisa é realizar uma avaliação experimental do aproveitamento do resíduo de granito em ladrilho hidráulico piso tátil vibrado.

2. REVISÃO

2.1 Ladrilho hidráulico

De acordo com a Norma NBR 9457/2013, ladrilho hidráulico é uma placa cimentícia paralelepípedica de dupla camada, executada por prensagem, com a superfície exposta ao tráfego lisa ou em baixo-relevo. Ainda segundo a norma, os ladrilhos hidráulicos podem ser produzidos em diversas dimensões, respeitando-se o paralelismo entre as superfícies opostas. As peças produzidas devem ter nominalmente, comprimento máximo de 400 mm, largura mínima de 100 mm e espessura mínima de 18 mm. Já a argamassa para produção de ladrilho hidráulico deve ser constituída de cimento Portland, agregados e água, sendo permitido o uso de aditivos e pigmentos. O ladrilho hidráulico do tipo piso tátil é composto por relevos tronco-cônicos com 3 a 5 mm de altura detectáveis pelo contraste tátil (CARLETTO et al., 2016), que são destinados a constituir alerta ou linha guia, servindo de orientação, principalmente às pessoas com deficiência visual ou baixa atendendo ao especificado na NBR 9050/2015.

2.2 Resíduo de granito

O resíduo de granito representa cerca de 30% do volume do bloco quando cortado em chapas nos teares e/ou multifios (REIS e ALVAREZ, 2007; D'AGOSTIM; VIDAL; CASTRO, 2016). Em função de suas características e dos métodos de disposição final o resíduo pode ser responsável por diversos problemas principalmente ambientais (PREZOTTI et al., 2006; REIS e TRISTÃO, 2007; SOUZA et al., 2012).

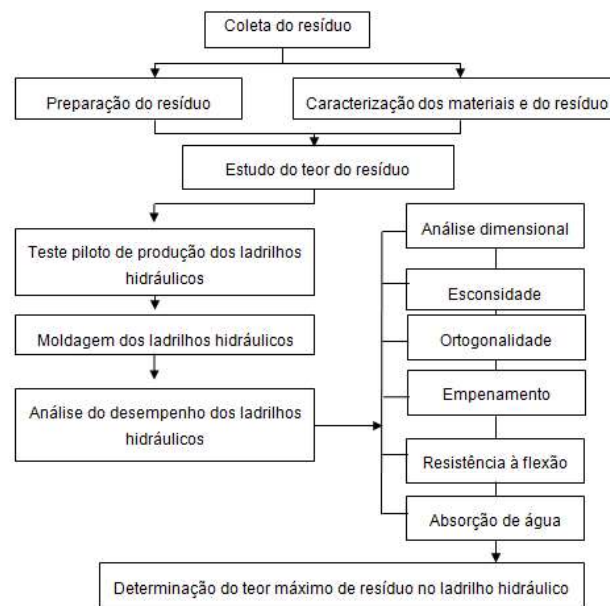
Na revisão dos estudos sobre o uso do resíduo em argamassas cimentícias no Brasil, Reis e Tristão (2007) confirmaram o efeito “fíler” promovido pelo resíduo, que contribui para melhorar a densidade das argamassas, modificar a consistência, aumentar a resistência à compressão e o módulo de deformação. Além das pesquisas do resíduo em matrizes cimentícias, tais como, em argamassas cimentícias para construção civil e argamassa expansiva para demolição; existem trabalhos em concretos, pisos intertravados, ladrilho hidráulico prensado e bloco de concreto para alvenaria (CALMON et al., 1997, MOURA et al. 2006; REIS E TRISTÃO, 2010; OLIVEIRA et al., 2011; APOLINARIO et al., 2013; ROQUE et al., 2014; ANDRADE, FERNANDES E NETO, 2016; LIMA, LIRA e NEVES, 2016). Os resultados mostram que o resíduo é um material fino, não apresenta efeito pozolânico e promove empacotamento físico dos grãos melhorando a compacidade do material, com isso, aumenta a resistência mecânica e diminui a absorção de água, corroborando com o resultado de Reis e Tristão (2007); além de possuir alto teor de sílica na composição (RODRIGUES et al., 2011). Os teores de resíduo de granito que promoveram melhoria das propriedades físicas e mecânicas

variaram de 15% a 28% (massa), geralmente em substituição ao agregado miúdo. Com isso, espera-se que o resíduo de granito melhore essas propriedades quando inserido na composição de produtos à base de cimento Portland.

3. METODOLOGIA

O fluxograma do programa experimental é apresentado na **Figura 1**.

Figura 1. Fluxograma do programa experimental

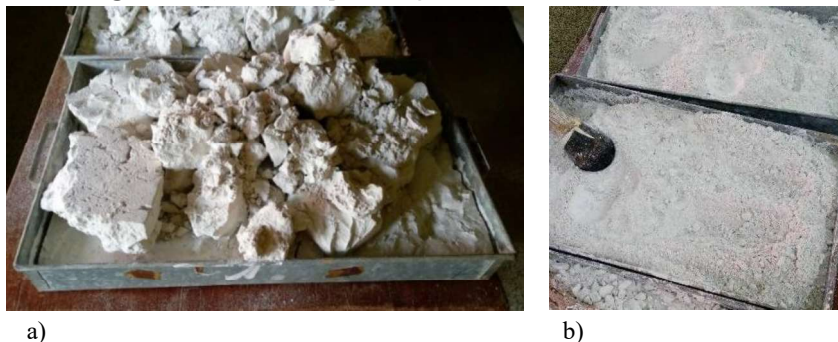


Fonte: Autoras, 2017.

3.1 Caracterização dos materiais

Cerca de 300 kg de resíduo de granito foram coletados em pilha formada na saída do filtro prensa em empresa beneficiadora de rochas ornamentais situada no norte do estado do Espírito Santo. O resíduo foi seco em estufa a 105°C, destorroado e passado na peneira ABNT nº4 (**Figura 2**).

Figura 2. (a) Resíduo após secagem em estufa e (b) Resíduo destorroado.



Fonte: Autoras, 2017.

O resíduo de granito, cimento Portland CP V ARI e areia natural de rio usados na pesquisa foram caracterizados por meio dos ensaios normalizados apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Ensaios de caracterização dos materiais

Ensaio	Norma
Massa específica (cimento/resíduo)	NBR 16605/2017
Massa específica (areia)	NBR 9776/1987
Massa unitária no estado solto	NBR NM 45/2006
Granulometria	NBR NM 248/2003
Finura na peneira ABNT nº 200	NBR 11579/2012
Água da pasta de consistência normal	NBR 16606/2017
Tempos de início e fim de pega	NBR 16607/2017

Fonte: Autoras, 2017.

3.2 Moldagem do ladrilho hidráulico

O molde usado para o ladrilho hidráulico é do tipo piso tátil e feito em plástico com dimensões de 20 cm x 20 cm e espessura de 1,5 cm, possui alto relevo em forma de círculos ou “pastilhas” com 0,3 cm de espessura.

As dosagens para produção do ladrilho hidráulico tiveram como base a proporção de mistura estipulada em Reis e Tristão (2010) de 1,0:1,6:0,4 (cimento:areia:resíduo de rocha) em massa, que foi usada para confecção da camada inferior do ladrilho hidráulico prensado. A **Tabela 2** apresenta as dosagens testadas com o teor de resíduo variando de 0% a 50% em relação à massa de areia. Foi usado aditivo plastificante Cemix da marca Otto Baumgart na proporção de 0,2% da massa de cimento. A mistura foi feita com argamassadeira eletromecânica por 3 minutos. O preenchimento do molde foi feito com auxílio de vibração em mesa vibratória por 5 minutos. A cura iniciou ao ar por 12 h e após isso, os ladrilhos foram desformados e submetidos à cura por imersão em água durante 28 dias.

Tabela 2. Dosagens para produção do ladrilho hidráulico

Teor de resíduo (%)	Cimento	Areia	Resíduo	Água
0%	1	2	0	0,5
20%	1	1,6	0,4	0,6
30%	1	1,4	0,6	0,6
40%	1	1,2	0,8	0,6
50%	1	1	1	0,6

Fonte: Autoras, 2017.

A **Figura 3** apresenta alguns exemplares dos ladrilhos hidráulicos produzidos.

Figura 3. Ladrilhos produzidos.



Fonte: Autoras, 2017.

3.3 Análise do desempenho do ladrilho hidráulico

O desempenho foi avaliado por meio da análise das propriedades apresentadas na **Tabela 3**. Para as análises dimensional e geométrica foram usadas 9 peças para cada teor de resíduo.

Tabela 3. Propriedades do ladrilho hidráulico.

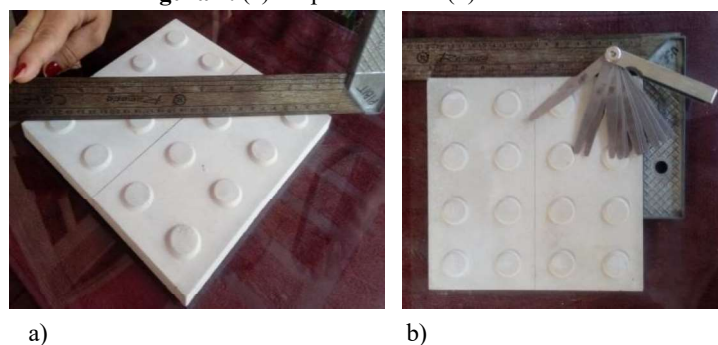
Propriedade	Norma do ensaio	Limite	Tolerância
Comprimento nominal	NBR 9457/2013	Máximo 400 mm	± 3 mm
Largura nominal		Mínimo 100 mm	± 3 mm
Espessura nominal		Mínimo 18 mm	± 1 mm
Empenamento		< 3 mm	-
Esconsidade		< 3 mm	-
Ortogonalidade		Desvio não ser perceptível a olho nu	
Resistência à flexão	NBR13818/1997 Anexo C	Valor individual $\geq 3,5$ MPa	
Absorção de água	NBR13818/1997 Anexo B	Não há limite especificado	

Fonte: NBR 9457, 2013.

3.3.1 Análise dimensional e geométrica do ladrilho hidráulico

O comprimento, largura e espessura foram medidos com auxílio de paquímetro digital. Seguindo a NBR 9457/2013, foram analisados 9 ladrilhos para cada teor de resíduo (0%, 20%, 30%, 40% e 50%), totalizando 45 peças. Para o lote amostral ser aceito nenhuma das peças pode ser rejeitada. A análise geométrica se dá por meio da avaliação de esconsidade, empenamento e ortogonalidade (**Figura 4**).

Figura 4. (a) Empenamento e (b) Esconsidade.



Fonte: Autoras, 2017.

3.3.2 Análise da resistência à flexão do ladrilho hidráulico

Para o lote amostral ser aceito nenhuma das 6 peças usadas para o teste pode ser rejeitada. O ensaio de resistência à flexão nos ladrilhos hidráulicos foi executado de acordo com a NBR13818/1997 – Anexo C, em prensa universal EMIC DL 30000 (**Figura 5**).

Figura 5. Teste de resistência à flexão.



Fonte: Autoras, 2017.

3.3.2 Análise da absorção de água do ladrilho hidráulico

O objetivo da análise da absorção de água foi verificar a relação existente com a resistência à flexão. O ensaio de determinação da absorção de água foi realizado segundo a NBR 13818/1997 – Anexo B em 6 peças. A análise de absorção de água não consta como requisito de desempenho na NBR 9457/2013, sendo assim, não há uma especificação de valor limite de Norma para a absorção de água no ladrilho hidráulico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados da caracterização dos materiais

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos na caracterização dos materiais. Pode ser observado quanto ao resíduo que o valor de sua massa específica é bem próximo de $2,77\text{g/cm}^3$ e $2,63\text{g/cm}^3$ valores encontrados em Reis (2008) e Oliveira et al.(2011), respectivamente. A finura do resíduo de 0,48% demonstra ser um material muito fino, que segundo Reis (2008) pode colmatar vazios na mistura dos produtos cimentícios. Os resultados do cimento CP V ARI são compatíveis com os padrões estabelecidos pelo fabricante (LIZ, 2018) e a areia, de média granulometria e bem graduada, se mostra adequada para uso no ladrilho.

Tabela 4. Resultados da caracterização dos materiais

Ensaio	Resíduo	Cimento	Areia
Massa específica (g/cm^3)	2,66	2,96	2,64
Massa unitária no estado solto (Kg/dm^3)	1,15	-	1,57
Granulometria	muito fino	-	bem graduada
Finura na peneira ABNT nº 200 (%)	0,48	2,2	-
Água da pasta de consistência normal	-	31%	-
Tempo de início de pega	-	02h35min	-
Tempo de fim de pega	-	03h35min	-

Fonte: Autoras, 2017.

4.2 Resultados da análise dimensional e geométrica do ladrilho hidráulico

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos na avaliação dimensional do ladrilho hidráulico piso tátil, para comprimento, largura e espessura dos ladrilhos, e os limites prescritos na NBR 9457/2013.

De acordo com os valores encontrados, os ladrilhos hidráulicos produzidos atendem as exigências da norma NBR 9457/2013 para ladrilhos de 200 mm x 200 mm não tendo excedido a tolerância estabelecida nas dimensões avaliadas, confirmando ser adequada a forma utilizada na pesquisa.

Tabela 5. Resultados da análise dimensional

Resíduo (%)	Média da largura/comprimento (mm)	Média da espessura (mm)
Limites Norma	200 ± 3	18 ± 1
0%	201,39	17,99
20%	201,27	17,10
30%	201,11	17,83
40%	201,18	18,06
50%	201,20	18,10

Fonte: Autoras, 2017.

Os ensaios de empenamento e escondidade apresentaram valores máximos de 0,30 mm de folga, e no ensaio de ortogonalidade, os ladrilhos não demonstraram imperfeições visíveis a olho nu, sendo assim, atenderam aos limites da NBR 9457/2013.

4.3 Resultados da análise do desempenho do ladrilho hidráulico

A **Tabela 6** apresenta a média dos resultados obtidos no ensaio de resistência à flexão e de absorção de água. Todos os ladrilhos produzidos apresentaram valores de resistência à flexão acima do limite especificado de 3,5 MPa da norma NBR 9457/2013.

Observa-se que os ladrilhos com 20% e 30% de resíduo apresentam resistência maior que a do ladrilho de referência (0%); já os teores de 40% e 50% demonstram queda na resistência, que é acompanhada do aumento da absorção de água.

Tabela 6. Resultados da resistência à flexão e absorção de água

Resíduo(%)	Média da resistência à flexão (MPa)	Média da absorção de água (%)
Limite Norma	≥ 3,5	-
0%	6,05	11,01
20%	6,36	14,61
30%	6,14	16,08
40%	5,16	19,23
50%	4,82	21,29

Fonte: Autoras, 2017.

Pode-se ver que o teor de resíduo de 20% resulta em melhor desempenho da resistência à flexão e menor valor de absorção de água no ladrilho hidráulico comparado aos valores encontrados nos outros teores de resíduo. A partir do teor de 20% de resíduo a resistência à flexão apresenta uma queda gradativa e a absorção de água aumenta, mostrando a relação inversa entre essas propriedades e indicando um provável excesso de finos na mistura que não contribui mais para a melhoria do

empacotamento físico dos grãos por meio do preenchimento dos poros intersticiais, que resultaria em aumento da compacidade.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Através dos ensaios realizados para caracterizar os materiais utilizados na produção dos ladrilhos hidráulicos, constatou-se que o cimento Portland CP V ARI e a areia estão em conformidade com as normas, e que o resíduo de granito apresenta massa específica próxima da rocha de origem e granulometria fina.

O estudo do teor de resíduo a ser incorporado no ladrilho hidráulico realizado com 20%, 30%, 40% e 50% (massa) de resíduo substituindo a areia baseado nos referenciais da NBR 9457/2013 confirmou o efeito filler que o resíduo possui, resultando na diminuição dos vazios e da absorção de água, o que ocorreu até o teor de 20% de resíduo, promovendo aumento da resistência mecânica das peças em relação aos ladrilhos sem resíduo. Sendo que, todos os ladrilhos hidráulicos analisados atenderam ao valor limite mínimo de 3,5 MPa de resistência à flexão da norma.

A pesquisa confirmou a viabilidade técnica da utilização do resíduo de granito em ladrilho hidráulico vibrado, uma vez que atendeu aos requisitos exigíveis pela norma NBR 9457/2013.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, T. S.; FERNANDES, F.F.; NETO, J. C. M.. Estudo da produção do bloco de concreto para a vedação contendo substituição parcial da areia por resíduo gerado no corte de granito e mármore (RCGM). In: 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 15-18 mai. 2016. Águas de Lindoia-SP. **Anais...** Águas de Lindoia-SP: ABCERAM, 2016. p. 2132-2143.

APOLINÁRIO, E. C. A.; SANTOS, G. R.S.; RIBEIRO, D. V. Efeitos da adição do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades das argamassas de cimento Portland e industrializada no estado aplicado. In: IX Fórum Ambiental da Alta Paulista. v. 9, n. 1, 2013. Periódico eletrônico. **Aplicação de Novas Tecnologias Sustentáveis**. São Paulo, 2013. p. 123-140

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Brasil). **NBR 9050**: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 9457**: ladrilhos hidráulicos para pavimentação – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 9776**: agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 11579**: cimento Portland – determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (número 200). Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 13818**: placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 16605**: cimento Portland e outros materiais em pó – determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16606**: cimento Portland – determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16607**: cimento Portland – determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR NM 45**: agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 248**: agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balanco das exportações, importações, produção e consumo interno brasileiro de rochas ornamentais em 2014**. Informe 01/2015. São Paulo: ABIROCHAS, 2015. Disponível em:

<http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/3397/Informe_01_2015.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2018.

_____. **Balanco das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2017. Informe 01/2018**. Brasília, DF: ABIROCHAS, 2018. Disponível em: <http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/03/Informe-01-2018-Balanco-2017.pdf>. Acesso em 08 ago. 2018.

CALMON, J.L.; TRISTÃO F.A.; LORDELLO, F.S.S.; DA SILVA, S.A.C.; MATTOS, F.V. Aproveitamento do resíduo do corte de granito para produção de argamassas de assentamento. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, **Anais...** Salvador, BA: ANTAC, 1997, p. 64-75.

CARLETTO, A.C.; CAMBIAGHI, S.; FANTINI, O. R.; BENINE, R. J.; LORDELLO, G. M. **Cartilha da calçada cidadã**: conserve a sua calçada. O respeito ao outro começa na porta da sua casa. Brasil, 2016. 39 p.

D'AGOSTIM, L.; VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F. Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de concreto. In: XXIV JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-CETEM, 2016, p. 166-170, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2016. 5 p.

LIMA, W.B.C.; LIRA, H.L.; NEVES, G.A. Incorporação de resíduo lama do processo de beneficiamento de granito na argamassa expansiva de demolição. **Revista eletrônica de Materiais e Processos**, v.11, n.2, p.89-95, 2016.

LIZ CIMENTOS. 2018. **Ensaio de cimento**. Disponível em: <<http://www.cimentosliz.com.br/cimento/ensaioCimento>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

MOURA, W. A.; LIMA, M. B. L.; NOGUEIRA DA GAMA, J. L. C.; MORATTI, M.; SANTOS SOUZA, F. L. Produção de pisos intertravados com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. 23 a 25 ago. 2006, p. 4227-4236, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: ENTAC, 2006.

OLIVEIRA, D. M.; OLIVEIRA, T. N.; BEZERRA, A. C.; GOMES, V. de J.; PEIXOTO, R. A. F. Utilização de resíduo de granito como substituição ao cimento Portland em matrizes cimentícias. In: 53º Congresso Brasileiro do Concreto, novembro/2011, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC: IBRACON, 2011, 13 p.



PREZOTTI, J. C. S., et al. Identificação e Gerenciamento dos Resíduos Gerados em Empresas de Beneficiamento de Rochas Ornamentais, XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Uruguai, **Anais...** 2006.

REIS, A. S.; TRISTÃO, F. A. Análise de argamassas com resíduo de corte de rochas ornamentais. In: II Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 2007, Lisboa. **Anais...** Portugal: APFAC, 2007.

REIS, A.S.; TRISTÃO, F. A. Tactile-floor tile hydraulic with addition residue improvement dimension stones. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. **Ibracon Structures and Materials Journal**. v. 3, n. 4, p. 390-419, 2010. 12 p.

REIS, A. S.; ALVAREZ, C. E.. A sustentabilidade e o resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais. In: IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis – ELECS, p. 511-520. 12-14 nov. 2007. Campo Grande. **Anais...** Mato Grosso do Sul: ANTAC, 2007. 10 p.

REIS, A. S.. **Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil**. 2008. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2008.

RODRIGUES, G.F.; ALVES, J.O.; TENORIO, J.A.S.; ESPINOSA, D.C.R. Estudo de resíduos de rochas ornamentais para a produção de materiais vítreos. **Revista Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**: São Paulo, v.8, n.3, p. 203-207, jul-set. 2011.

ROQUE, A. B.; CAMPOS, R. N.; SANTOS, H.; MOURA, W. Utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais como agregado miúdo, em concreto. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 12 a 14 nov. 2014, p. 2583-2591, Maceió. **Anais...** Alagoas: ENTAC, 2014.

SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F.. Estudo Comparativo da Utilização de Teares Multilâmina e Multifio no Beneficiamento de Granitos Comerciais. In: XX – Jornada de Iniciação Científica, 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM, 2012. 4 p.