

Aproveitamento do resíduo do beneficiamento de rocha ornamental em ladrilho hidráulico piso tátil

Cássio de Oliveira Ferreira
Universidade Vila Velha – Brasil
cassioliveiraferreira@gmail.com

Maria Aparecida Nogueira
Universidade Vila Velha – Brasil
cidanogueiracampos@gmail.com

Sarah Santos Barros
Universidade Vila Velha – Brasil
sarahsbarros96@gmail.com

ABSTRACT

The processing of ornamental rocks generates waste with high pollution index in its stages. In one of these stages, the cutting and polishing of laminated rocks, the processing mud is produced and, when recycled, it can be reused in other materials. Its reuse is more advantageous than its disposal. In this context, this article analyzed the exploitation of this waste in the dosing and manufacturing of hydraulic tiles, according to the regulation. In the proportions of 10, 20, 30 and 40 percent, the cement was replaced in the tile composition, and then, through laboratory tests, physical, mechanical and geometric aspects were analyzed. In this way, it was possible to notice that the manufacturing with the addition of this waste, in the percentage of 30%, was considered viable.

Keywords: benefit, waste, reuse, tile and manufacturing.

1. INTRODUÇÃO

O beneficiamento de rochas ornamentais refere-se ao desdobramento de materiais brutos, extraídos nas pedreiras geralmente em forma de blocos. Os blocos são beneficiados, sobretudo através da serragem (processo de corte) em chapas, por teares, para posterior acabamento e esquadrejamento até sua dimensão final.

Segundo Braga (2010), uma das principais preocupações é a grande quantidade de resíduos gerados. Cerca de 1/3 em peso seco ou 2/3 em peso úmido é transformado em resíduo, o que requer um gerenciamento sustentável. Outra preocupação é a contaminação que esses resíduos podem causar ao meio ambiente pela falta de um acondicionamento e um tratamento adequado.

Uma das soluções viáveis é o aproveitamento desse resíduo através da reciclagem da lama proveniente do beneficiamento das rochas (LBRO), pois este pode ser tóxico e contaminar lençóis freáticos.

Devido à grande produção de resíduo e ao recente crescimento da demanda das prefeituras, dos governos estaduais e federais, na utilização de ladrilhos hidráulicos, pisos táteis em calçadas acessíveis, este trabalho visa verificar se o aproveitamento do resíduo gerado pelo beneficiamento de rochas atende aos requisitos exigidos pela ABNT NBR 9457:2013, que especifica os requisitos para o ladrilho hidráulico para pavimentação. Como também, busca mostrar através dos resultados

laboratoriais se os ladrilhos estão aptos a serem utilizados na indústria da construção civil.

2. RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS

2.1 Rochas ornamentais

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, nos termos da norma 15012:2013 define rocha ornamental como: material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer uma função estética. Segundo Alencar (2013), a rocha para revestimento corresponde à rocha natural que, submetida a processos diversos de beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas, com formatos e tamanhos específicos, para atender a requisitos dimensionais exigidos para fins estruturais ou arquitetônicos em obras de construção civil.

Em termos comerciais as rochas ornamentais são classificadas como mármore e granitos. Com a denominação granito, são genericamente agrupadas as rochas silicáticas tais como: granitos, granodioritos, sienitos, gnaisses, metaconglomerados, migmatitos, monzonitos, xistos entre outros. Os mármore englobam as rochas carbonáticas, tanto sedimentares, quanto metamórficas. Existem outros tipos de rochas ornamentais muito importantes setorialmente tais como: quartzitos, metarenitos, serpentinitos e ardósias. (SARDOU FILHO, 2013)

2.2 Beneficiamento de rochas ornamentais

O beneficiamento das rochas ornamentais consiste em transformar blocos de sua forma bruta extraídos da lavra, em produtos finais ou semiacabados, e é dividido em primário e secundário (VIDAL, 2013). O beneficiamento primário, também conhecido como serragem ou desdobramento, constitui o corte dos blocos para a obtenção de chapas, tiras ou espessores, com dimensões bastante próximas daquelas que terão os produtos finais. O beneficiamento secundário ou acabamento final é a etapa do ciclo em que as peças tomam sua forma, dimensões e aparência definitivas, sendo subdividida em três processos pelos quais o produto ornamental passa: o levigamento, polimento e lustro. Os processos de levigamento, polimento e lustro são realizados por rebolos abrasivos, à base de carbureto de silício e diamante em diferentes granulometrias, sendo mais grossa para o levigamento, intermediária para o polimento e mais fina para o lustro final (SARDOU FILHO, 2013).

Além disso, o beneficiamento de rochas gera produtos como: ladrilhos e painéis para revestimento de pisos e paredes internas e externas, soleiras, rodapés, bancadas de pias e móveis, objetos de adorno e decoração, peças para túmulos e mausoléus, bancos de praças (ALENCAR, 2013).

2.3 Ladrilho hidráulico piso tátil

A ABCP (2010) refere-se ao ladrilho hidráulico piso tátil como uma placa de concreto de alta resistência ao desgaste que pode ser utilizada em paredes, pisos internos, pisos externos. Podendo este ser colorido, com textura lisa ou em relevo. O Piso tátil alia sua alta resistência ao desgaste, à sua característica antiderrapante, o que o torna indicado para calçadas, praças e locais públicos com tráfego intenso de pessoas.

O ladrilho hidráulico possui as seguintes características: facilidade de execução e manutenção, por ser um material pré-fabricado de fácil aplicação, sua superfície antiderrapante proporciona segurança ao pedestre mesmo quando o piso se encontra úmido, quando aplicado em cores claras

absorve menos calor o que proporciona conforto térmico. Além disso, é um material resistente ao desgaste e a abrasão o que aumenta sua vida útil (ABCP, 2010).

Para a fabricação do ladrilho hidráulico piso tátil são necessários os seguintes materiais: cimento Portland, agregados e água (ABNT NBR 9457:2013). Segundo a ABCP (2010) o processo de fabricação do ladrilho hidráulico piso tátil consiste primeiramente na: aplicação do desmoldante nas formas que podem ser metálicas ou plásticas, para facilitar a retirada dos ladrilhos das formas após o endurecimento. Após a aplicação do desmoldante, é aplicada na forma corante diluído que dá a cor do ladrilho, em seguida é realizada a camada intermediária com uma mistura de cimento e areia. A terceira e última camada é executada usando cimento, areia e água. Na próxima etapa de fabricação a forma é fechada e levada para prensa manual onde o material é compactado, unindo todas as camadas, depois dessa prensagem os ladrilhos são levados para prateleiras durante 24 horas. Após esse tempo, os ladrilhos ficam submersos em um tanque durante 1 hora, em cura úmida, e depois são paletizados, finalizando o processo.

O processo de fabricação deve seguir e atender os requisitos da ABNT NBR 9457:2015 que estabelece os formatos e dimensões do ladrilho tais como: comprimento nominal máximo de 400 mm, largura nominal mínima de 100 mm e espessura mínima de 18 mm. Requisitos mínimos de absorção de água, módulo de ruptura à flexão, carga de ruptura também são estabelecidas pela NBR 9457:2015.

3. METODOLOGIA

Para a fabricação do ladrilho hidráulico piso tátil deste artigo, utilizou-se o traço composto por cimento Portland CPIII 40, areia média e água. Sendo o cimento, CPIII 40 usado como aglomerante, e de acordo com o fabricante segue as exigências da NBR 11579: 2012, atendendo ao nível de finura exigido para cimentos. Além disso, a areia média possuía um diâmetro máximo de 0,42mm a 2 mm.

3.1 Proporção dos materiais utilizados

O LBRO foi adicionado ao traço nas proporções de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% em relação à massa de cimento utilizada, devido a esse ser o material mais fino da mistura. O processo de fabricação utilizado por ele era composto por três camadas utilizando a prensa hidráulica e cura úmida. A **Tabela 1** apresenta os traços em massa necessários para fabricação de 12 peças de 200x200mm, utilizando 4 porcentagens da LBRO.

Tabela 1. Traço de materiais segundo as porcentagens da LBRO .

Porcentagem de LBRO	Cimento	LBRO	Areia	Água
0%	2 kg	0 kg	6 kg	0,5 kg
10%	1,8 kg	0,2 kg	6 kg	0,5 kg
20%	1,6 kg	0,4 kg	6 kg	0,5 kg
30%	1,4 kg	0,6 kg	6 kg	0,5 kg
40%	1,2 kg	0,8 kg	6 kg	0,5 kg

Fonte: Autor.

3.2 Estudo da adição de resíduos no beneficiamento de rochas em ladrilho hidráulico piso tátil

Para o fim que se destina esse artigo, foi realizada uma coleta do LBRO, diretamente do tanque de decantação de uma empresa beneficiadora de rochas ornamentais no Estado do Espírito Santo. O material coletado foi o granito Siena Bege, que foi escolhido, principalmente ao fato do corte do granito ter sido realizado pelo tear multifio, e nesse processo não foi utilizada granalha no corte aumentando assim a pureza da amostra coletada. Essa amostra foi submetida a ensaios de caracterização segundo as normas técnicas brasileiras para cimento Portland.

3.2.1 Ensaio: determinação da massa específica

A análise da massa específica foi obtida através da referência da NBR NM 23:2000. Para isso foi adicionado o xilol ao frasco de *Le Chatelier* com auxílio de um funil de haste longa, aferindo se o nível entre as marcas correspondentes de 0 e 1 cm³ de acordo com Figura 1.

Figura 1. Escala graduada Frasco Le Chatelier com amostra



Fonte: O Autor, 2016

3.2.2 Ensaio: determinação da água para consistência normal

No ensaio de determinação da água para consistência normal foi utilizada a NBR NM 43:2002. Para definir a quantidade ideal de água, realizaram-se tentativas até chegar à medida ideal, com a mistura de 500g de material seco (cimento e LBRO nas porcentagens analisadas) e água, com o auxílio do misturador mecânico a pasta foi misturada seguindo as indicações da Norma. Após a mistura, a pasta foi colocada no molde com formato de tronco de cone e regularizada com régua, de modo que a pasta ficasse nivelada. Em seguida a sonda de Tetmajer deve ser solta na massa. A pasta foi considerada como tendo consistência normal quando a sonda de Tetmajer marcou uma distância de 6 mm da placa base que fica no fundo do cone, após 30 segundos do instante em que a sonda foi solta, assim como ilustra a **Figura 2**.

Figura 2. Sonda de Tetmajer.



Fonte: Autor, 2016.

3.2.3 Ensaio: material fino que passa na peneira 0,075 mm

No ensaio de material fino que passa na peneira 0,075mm foram utilizados os parâmetros da NBR 11579: 2012. Para isso foi coletada uma amostra de LBRO com massa de 50 gramas, e em seguida a amostra foi submetida a três diferentes etapas de peneiramento utilizando a peneira de malha 0,075mm. A primeira etapa do peneiramento foi realizada com movimentos suaves de vai e vem no sentido horizontal espalhando sobre a malha da peneira toda a amostra. O peneiramento foi repetido durante 3 minutos. Na segunda etapa do peneiramento foram dados suaves golpes com o bastão de PVC na lateral da peneira desprendendo o material da malha da peneira. A última etapa de peneiramento foi realizada, com a peneira ligeiramente inclinada e com movimentos mais rápidos. Nesta última etapa, o procedimento foi realizado até que os grãos passantes atingissem no máximo 1% da massa inicial de 50g. Para a determinação do índice de finura do material, foi coletada a massa retida na malha da peneira e o valor encontrado foi 0,503 g. A determinação da finura da LBRO é definida através da equação 1.

$$IF = \frac{r \times FC}{m} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

IF= índice de finura do LBRO expresso em porcentagem (%);

r = é o resíduo de LBRO na peneira 0,075mm, expresso em gramas (g);

m= é a massa inicial do cimento, expressa em gramas (g);

FC = é fator de correção da peneira utilizada no ensaio que nesse trabalho foi adotado igual a 1,0.

3.2.4 Ensaio: expansibilidade

No ensaio de expansibilidade, preparou-se uma pasta de água e LBRO, segundo a NBR NM 43:2002. Em seguida, foram moldados 3 corpos de provas para serem colocados em agulhas que estavam previamente untadas com óleo. Na parte inferior da agulha foi colocada uma placa de vidro e na parte superior foram posicionadas uma placa de vidro com uma massa capaz de manter a pasta na agulha. Após a moldagem, o conjunto (agulha, corpo de prova, placas de vidro e peso) foi imerso em tanque de água potável, mantida em temperatura de 23±2 °C durante 20 horas, onde as leituras da abertura das hastes das agulhas foram registradas conforme **Figura 3**. Com o término da cura inicial, as agulhas sem as placas de vidro foram colocadas em um tanque de fervura obtendo-se a segunda leitura da abertura das hastes.

Figura 3. Agulhas de Le Chatelier imersas.



Fonte: Autor, 2016.

3.3 Produção do ladrilho piso tátil

A produção dos pisos foi realizada no Laboratório de Técnicas Construtivas da Universidade Vila Velha. Os materiais (cimento, LBRO, Areia e água) foram adicionados nessa ordem de acordo com a composição especificada na **Tabela 1** e misturados manualmente). Utilizou-se um molde de fibra quadrado com dimensões de 200x200mm, seguindo as especificações da NBR 9050:2004 ilustrado pela **Figura 4**.

Figura 4. Forma para a fabricação do ladrilho piso tátil.



Fonte: Autor, 2016.

Antes do preenchimento das formas, utilizou-se desmoldante na parte interna das formas para facilitar a retirada do piso e depois as formas foram submetidas à vibração. Após o período de vibração, retirou-se as formas preenchidas com massa da mesa vibratória levando para local protegido. Os pisos permaneceram na posição horizontal por um período de 24 horas, passando pelo processo de secagem à temperatura ambiente. Após o período de 24 horas, o piso foi desmoldado.

3.4 Ensaios para análise da viabilidade do ladrilho hidráulico piso tátil

Os ensaios de verificação do ladrilho hidráulico piso tátil foram realizados no Laboratório de Técnicas Construtivas da Universidade Vila Velha, os experimentos foram realizados dimensionais aos 14 dias de fabricação e os ensaios de absorção e flexão aos 28 dias de fabricação. Para a realização dos ensaios, foram utilizados como base as normas apresentadas na **Tabela 2** a seguir.

Tabela 2. Ensaios realizados para análise e suas respectivas normas utilizadas

Ensaios	Normas utilizadas
Avaliação dimensional	NBR 13818/1997- Anexo S e NBR 9050/2004
Comprimento e Largura	NBR 9457/2013
Espessura	NBR 9457/2013
Módulo de Ruptura à flexão (MRF)	NBR 9457/2013 E NBR 13818/1997- Anexo C
Carga de Ruptura (CR)	NBR 13818/1997- Anexo C
Absorção de Água	NBR 13818/1997 – Anexo B

Fonte: Autor, 2016

4. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Para analisar as características do ladrilho hidráulico piso tátil foram realizados os ensaios que constam na **Tabela 2**, e citados anteriormente. Na **Tabela 3** são mostrados os resultados da modulação dos ladrilhos e os limites estabelecidos por norma, para cada proporção de LBRO.

Tabela 3. Modulação dos ladrilhos hidráulicos pisos táteis.

Ensaios dimensionais NBR 9050:2004	Limites estabelecidos em norma (mm)	0% LBRO	10% LBRO	20% LBRO	30% LBRO	40% LBRO
Diâmetro da base do relevo	22-30	32,61	33,70	32,84	32,21	31,98
Diâmetro do topo do relevo	11-20	32,28	33,11	32,45	33,03	31,32
Distância horizontal do centro do relevo	42-53	48,77	49,04	48,12	47,89	49,01
Distancia diagonal do centro do relevo	60-75	72,13	72,85	71,88	73,04	71,21
Altura do relevo	3-5	3,74	3,62	4,03	3,89	3,94
Distância do eixo da 1ª linha de relevo até a borda do piso	21-27	24,17	25,03	24,89	25,43	26,63

Fonte : Autor, 2016

Na **Tabela 4 e 5** é possível perceber os resultados dos ensaios dimensionais e os limites estabelecidos por norma, para cada proporção de LBRO.

Tabela 4. Análise dimensional, espessura, comprimento e largura dos ladrilhos hidráulicos pisos táteis.

Ensaio dimensionais NBR 9457:2013	Limites exigidos pela NBR 9457:2013	0% LBRO	10% LBRO	20% LBRO	30% LBRO	40% LBRO
Espessura	(18 a 20) ±1	19,17	19,16	19,10	19,39	19,26
Comprimento	Comprimento máximo 400 mm tolerância ±3mm	199,60	200,14	199,38	199,34	199,40
Largura	Largura mínima 100mm tolerância ±3mm	199,47	199,88	199,57	200,10	199,58

Fonte: Autor, 2016

Tabela 5. Determinação da retitude dos lados, ortogonalidade dos lados, curvatura central, curvatura lateral e empeno.

Percentual de LBRO (%)	Retitude dos lados (mm)	Ortogonalidade dos lados (mm)	Curvatura central (mm)	Curvatura Lateral (mm)	Empeno (mm)
Tolerâncias (mm) da NBR 13818:1997					
0%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
10%	0,207	0,206	0,15	0,07	0,17
20%	0,210	0,207	0,09	0,13	0,08
30%	0,209	0,223	0,17	0,09	0,11
40%	0,189	0,231	0,14	0,21	0,06
	0,224	0,207	0,15	0,08	0,05

Fonte: Autor, 2016

Na **Tabela 6** é encontrado as médias de absorção dos ladrilhos segundo cada percentual de LBRO.

Tabela 6. Determinação da absorção.

Percentual de LBRO	Nº de corpos de prova	Média de Absorção (%)
0%	10	8,07
10%	10	7,84
20%	10	8,51
30%	10	9,06
40%	10	10,72

Fonte: Autor, 2016

Na **Tabela 7** é possível perceber os resultados das cargas de ruptura realizada para diferentes percentuais de LBRO.

Tabela 7. Determinação da carga de ruptura .

Percentual de LBRO	Nº de corpos de prova	Média CR (N)	Media MRF (MPa)
0%	7	461,97	1,87
10%	7	281,25	1,12
20%	7	348,45	1,42
30%	7	487,35	1,95
40%	7	264,73	1,11

Fonte: Autor, 2016

Através das análises realizadas pode-se observar que os diâmetros da base e do topo respectivamente encontrados, foram maiores que os especificados na NBR 9050:2004. Nos demais ensaios, as dimensões encontradas atendem à norma. Os resultados dimensionais de espessura, comprimento e largura analisados apresentaram um resultado satisfatório, ficando todos dentro dos limites exigidos pela NBR 9457:2013. Os dados analisados apresentados na Tabela 5 atendem aos parâmetros exigidos pela NBR 13818:1997 de retitude dos lados, ortogonalidade dos lados, curvatura central, curvatura lateral e empeno, verificou-se que nos aspectos dimensionais dos ladrilhos apresentam uma uniformidade nos resultados, o que é um ponto positivo ao processo de fabricação. Verificou-se também, que as amostras dos ladrilhos com 40% da LBRO apresentaram os maiores valores de absorção de água (10,72%) este fato pode ter ocorrido devido à grande exsudação ocorrida na vibração durante sua fabricação que gerou grande porosidade. Enquanto isso, os ladrilhos com 10% da LBRO apresentaram os menores valores de absorção em pisos com adição (7,84%). A NBR 13818:1997 impõem limites máximos de 10% de absorção para os corpos de prova, sendo assim os ladrilhos de 40% ficariam reprovados neste quesito.

A norma NBR 13818:1997 determina um limite mínimo de 800N para média de carga de ruptura dos corpos de prova e 3,5 MPa para módulo de ruptura a flexão, os valores atingidos pelos ladrilhos estão abaixo do especificado nesta Norma. Tais valores encontrados podem estar relacionados devido ao grande número de poros presentes nos ladrilhos, como também, o alto teor de material pulverulento presente no ladrilho.

6. CONCLUSÃO

As propriedades analisadas nas amostras de ladrilho hidráulico pisos táteis, com adição da LBRO, fabricados no Laboratório de Técnicas Construtivas da Universidade Vila Velha, atenderam as exigências da Norma quanto as características dimensionais tais como distância horizontal, diagonal e altura do relevo. Os resultados dimensionais de espessura, comprimento e largura analisados apresentaram um resultado satisfatório, ficando todos dentro dos limites exigidos pela NBR 9457:2013. Em relação aos ensaios de retitude, ortogonalidade, curvatura central dos lados, curvatura lateral e empeno, verificou-se uma uniformidade nos resultados, um ponto positivo ao processo de fabricação.

No ensaio de resistência à flexão, as médias dos valores de MRF e CR das amostras de 30% de adição atingiram os maiores valores se comparadas com as outras porcentagens. Por outro lado, os valores de 10, 20 e 40%, ficaram abaixo do esperado para o ladrilho, uma possível justificativa para esses resultados é o processo de fabricação, sendo neste trabalho adotado apenas o processo de vibração. Verificou-se que as amostras dos ladrilhos com 40% de adição da LBRO apresentaram os

maiores valores de absorção de água 10,72%, esse fato ocorreu devido à alta exsudação gerada na vibração durante a fabricação o que provocou muitos poros nos ladrilhos. Com esse resultado o ladrilho com adição de 40% está reprovado em relação à NBR 13818:1997.

Dessa forma, neste trabalho foi possível perceber que a aplicação da LBRO na porcentagem de 30% é viável para fins de fabricação de ladrilhos hidráulicos pisos táteis, levando em consideração seus resultados de resistência à flexão, absorção e análises dimensionais. É importante ressaltar que os padrões de fabricação devem ser aprimorados, além disso, os relevos das formas devem estar adequados aos padrões especificados em Norma.

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Informe 01/2015: Balanço sucinto das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento em 2015. São Paulo, 2015.

ALENCAR, Carlos Rubens Araújo. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais**. Instituto Euvaldo Lodi, Cachoeiro de Itapemirim. 242 p. 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Ladrilho Hidráulico: Passeio Público**: resíduos sólidos – classificação. São Paulo.2010.28p.2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23:2001**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 43:2002**: Cimento portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9457**: Ladrilhos Hidráulicos para pavimentação –Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro,2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579:2012**: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15012**: Rochas para revestimentos de edificações — Terminologia Rio de Janeiro, 2013

DOS SANTOS BRAGA, Florindo et al. **Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais**. Eng Sanit Ambient, v. 15, n. 3, p. 237-244, 2010.

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

SARDOU FILHO, Ruben. **Atlas de rochas ornamentais do estado do espirito santo**. Ministerio de minas e energia, Brasilia. 358 p. 2013

VIDAL, Hélio C. A. Azevedo, Nuria F. Castro – **Beneficiamento de rochas ornamentais** .Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 41p.: il.