

Tactile-floor tile hydraulic with addition residue improvement dimension stones

Ladrilho hidráulico piso tátil com adição de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais



A. S. REIS^a
alessandrar@ifes.edu.br

F. A. TRISTÃO^b
fernandoavancini@ct.ufes.br

Abstract

The hydraulic tile is a cement material produced in a handmade way, pressed, composed by three layers. With the coming of sidewalks adaptation in accessibility patterns, the tactile-floor tile hydraulic was developed to constitute the floor strip of alert for vision disabled people. The work has the objective to develop the mix design of the tile containing hydraulic binder with addition of granite residue. Properties analyzed: water absorption, rupture load, flexural modulus and wear by abrasion test. It was verified that the addition of residue to the tile, that it acted as a filler, promoted improvements in the analyzed properties; which makes the addition of granite residue an alternative technically feasible for the use in sidewalks and also a contribution to the sustainable development of the sector of granite improvement.

Keywords: tactile-floor tile hydraulic, residue improvement dimension stone, accessibility, sustainability, recycling.

Resumo

O ladrilho hidráulico é um material cimentício produzido de forma artesanal, prensado, composto de três camadas. Com o advento da adaptação de calçadas em padrões de acessibilidade, foi desenvolvido o ladrilho hidráulico piso tátil para constituir a faixa de piso de alerta para deficientes visuais. O trabalho tem como objetivo desenvolver a dosagem do ladrilho contendo aglomerante hidráulico com adição de resíduo de granito. Foram analisadas as propriedades: absorção de água, carga de ruptura, módulo de resistência à flexão e a resistência ao desgaste por abrasão. Foi verificado que a adição do resíduo ao ladrilho, que agiu como um filler, promoveu melhorias nas propriedades analisadas, o que faz com que a adição de resíduo de granito seja uma alternativa tecnicamente viável para uso em calçadas e contribua para o desenvolvimento sustentável do setor de beneficiamento de granito.

Palavras-chave: ladrilho hidráulico piso tátil, resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais, acessibilidade, sustentabilidade, reciclagem.

^a Instituto Federal de Tecnologia do Espírito Santo (Ifes) – Campus Colatina, alessandrar@ifes.edu.br, Av. Arino Gomes Leal, 1700, Santa Margarida - CEP 29700-558, Colatina – Espírito Santo - Brasil

^b Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - LEMAC-CT, fernandoavancini@ct.ufes.br, Av. Fernando Ferrari, n°514, Goiabeiras – CEP 29075-973 –, Vitória - Espírito Santo – Brasil

1. Introdução

O recente crescimento na demanda de utilização de ladrilhos hidráulicos piso táteis na execução de calçadas com padrões de acessibilidade em várias cidades brasileiras levantou a problemática da escassez de métodos de dosagem científicos para o produto em questão, existindo apenas estudos empíricos feitos por artesãos, o que se deve ao fato do caráter de produção artesanal do ladrilho hidráulico [1, 2] (Figura 1).

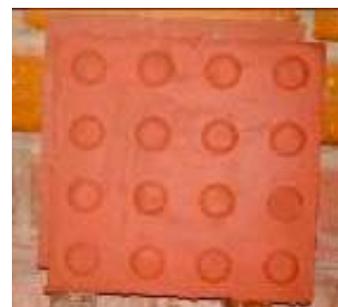
Nesse sentido, o objetivo deste artigo é desenvolver a dosagem do ladrilho hidráulico piso tátil com adição de resíduo do beneficiamento de granito, com o propósito de tornar o ladrilho um material de construção mais sustentável ao reciclar o resíduo em questão como matéria-prima na sua fabricação, além de promover melhorias nas propriedades dos ladrilhos produzidos, as quais são avaliadas segundo aos parâmetros das normas brasileiras NBR 9457:1986 [3], NBR 9459:1986 [4] e da NBR 9050:2004 [5].

1.1 O aproveitamento do resíduo gerado no beneficiamento do granito no ladrilho hidráulico

As atividades de extração e beneficiamento das rochas ornamentais são bastante importantes para o desenvolvimento econômico do Brasil. Em 2007, o setor totalizou cerca de 8,0 milhões de toneladas produzidas gerando aproximadamente 140 mil empregos diretos e 420 mil empregos indiretos [6]. Concomitantemente, verifica-se que a elevada produção no setor acarreta elevada quantidade de resíduo gerado, o qual corresponde a um percentual de 25% a 30% do volume do bloco de rocha no processo de serragem em placas [7, 8, 9]. O setor de rochas atualmente sofre retração na produção como consequência da crise econômica mundial e pode-se apontar como alternativa para retomada do desenvolvimento do setor a extração de chapas beneficiadas que agregam valor ao produto ao invés de blocos de rocha, o que vem resultar em maior geração de resíduo e com isso a maior preocupação na sustentabilidade no aspecto ambiental da indústria de rochas ornamentais. Diversos pesquisadores [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16] afirmam que o resíduo, o qual é normalmente descartado pela indústria pode contaminar o meio ambiente, e ser nocivo à saúde humana quando em forma de pó. E apesar de existirem várias pesquisas científicas sobre a reciclagem do resíduo em materiais para construção civil apresentando resultados bastante relevantes, a aplicação prática ainda é pequena, que pode ser devido à cultura dos cidadãos e empresários, além do próprio governo, na falta de incentivos.

Estudos realizados sobre o aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais em argamassa cimentícia e em concreto confirmam a manutenção ou a melhoria nas propriedades no estado fresco e no estado endurecido dos produtos formados, tal como, aumento da resistência à compressão e da densidade e

Figura 1 - Ladrilho hidráulico e utilização em calçada



(a) Ladrilho hidráulico



(b) Utilização em calçada

diminuição da porosidade, o que contribui para confirmar o efeito "filler" promovido pelo resíduo [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28]. Portanto, com o uso do resíduo de beneficiamento de granito no ladrilho hidráulico piso tátil, pretende-se obter um aumento da compacidade e da durabilidade do produto final.

2. Metodologia

Foi feita inicialmente a caracterização dos materiais componentes do ladrilho hidráulico e do resíduo a ser adicionado na mistura. Para o estudo de metodologia de dosagem do ladrilho hidráulico foram realizadas visitas técnicas às fábricas de ladrilho hidráulico existentes no estado do Espírito Santo e a partir daí foi iniciado o estudo experimental de dosagem do ladrilho hidráulico piso tátil com adição de resíduo e a verificação das propriedades dos ladrilhos hidráulicos obtidos no LEMAC-UFES.

Tabela 1 - Caracterização do resíduo

Ensaio	Norma	Resultado
Massa específica	NBR NM 23:2001 (29)	2,770 g/cm ³
Área específica	NBR NM 76:1998 (30)	494,2 m ² /kg
Granulometria	NBR NM 248:2003 (31)	Vide tabela 1

Tabela 2 – Distribuição granulométrica do resíduo de beneficiamento de granito

Peneira N°	(ABNT) # (mm)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
50	0,300	4	4
100	0,150	3	7
200	0,075	10	17
325	0,044	10	27
fundo	-	73	100
total		100	-

3. Caracterização dos materiais

Os materiais que compõem o ladrilho hidráulico são distribuídos em três camadas, sendo:

- camada superior - composta por cimento Portland CP III 40RS, resíduo, pigmento Bayferrox 732 e água;
- camada intermediária – composta por cimento CP III 40RS e resíduo;
- camada inferior – composta por cimento Portland CP III 40RS, areia natural de jazida, resíduo e água.

O resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais usado foi caracterizado de acordo com os procedimentos dos ensaios do Tabela 1 com seus respectivos resultados.

A granulometria do resíduo está apresentada na Tabela 2.

Foi verificado que o resíduo possui 83% de partículas menores que 0,075mm, ou seja, trata-se de um material pulverulento que deve atuar como um filler, colmatando os vazios existentes em materiais cimentícios e aumentando sua compactidade.

A caracterização química do resíduo é apresentada na Tabela 3.

Verificou-se na análise química que o resíduo apresenta alto teor de sílica (SiO_2) e de alumina (Al_2O_3), evidenciando ser o resíduo um material sílico-aluminoso. A presença de óxido de cálcio e óxido de ferro (CaO e Fe_2O_3) é oriunda principalmente da cal e da granalha contidas na lama abrasiva e usadas no processo, como lubrificante e abrasivo, respectivamente. Observa-se também a presença de sódio e potássio (Na_2O e K_2O), que são agentes fundentes, oriundos do feldspato e da mica presentes no granito, rocha que dá origem ao resíduo.

A caracterização mineralógica do resíduo é apresentada na Figura 2.

No difratograma de raios X foram identificados picos que correspondem a fases cristalinas dos principais minerais presentes no resíduo: quartzo, microclina, albita, calcita e muscovita.

A caracterização ambiental do resíduo obtida nos ensaios de Lixiviação (NBR 10005:2004 [32]) e de Solubilização (NBR 10006:2004 [33]) classificou o resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais como não-perigoso (Classe II) e inerte (B), ou seja, trata-se de um resíduo do tipo classe II-B.

A caracterização da areia está apresentada na Tabela 4 e na Tabela 5.

A caracterização do cimento Portland CP III-40RS utilizado está apresentada na Tabela 6.

4. Dosagem do ladrilho hidráulico piso tátil com adição de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais

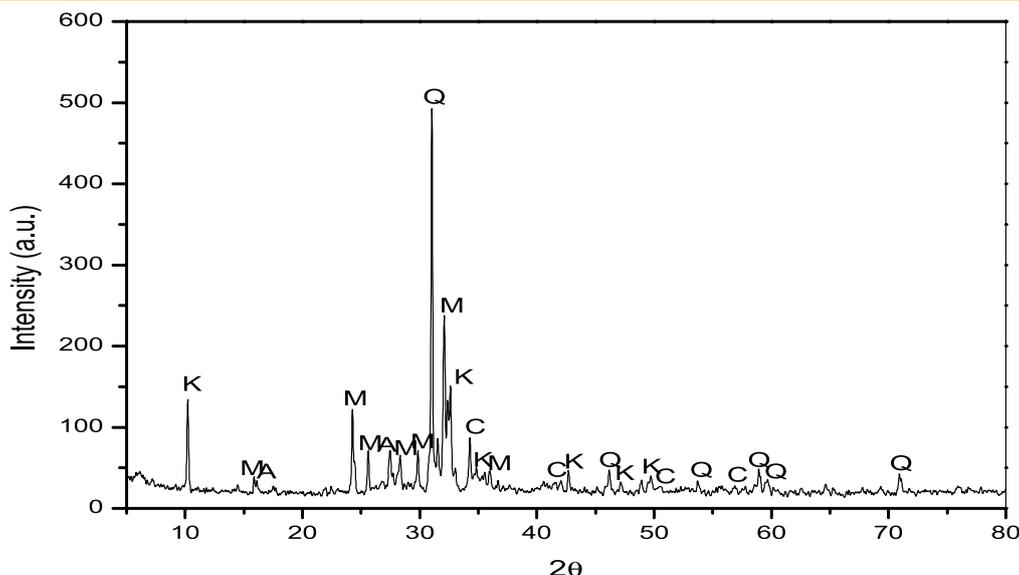
Devido à escassa literatura científica sobre métodos de dosagem dos materiais constituintes do ladrilho hidráulico, tomaram-se necessárias visitas às fábricas de ladrilho hidráulico existentes no estado do

Espírito Santo (as quais utilizam proporções empíricas na dosagem do produto) e a realização de estudos de dosagem baseados em métodos científicos de empacotamento de partículas por meio da granulometria dos materiais e de eficiência de compactação. Tais estudos visam obter um produto de elevada densidade de empacotamento e máxima compactação de partículas na prensagem [44, 45], pois o resíduo, tratando-se de um filler, deve ter ação de efeito físico de empacotamento granulométrico em produtos cimentícios [46, 47]. A partir daí, foram iniciados os estudos de dosagem para as três

Tabela 3 – Composição elementar da amostra de resíduo de granito (% massa) expressa em óxidos

Composição elementar expressa em óxidos	Concentração (%)
SiO_2	59,37
Al_2O_3	13,50
CaO	7,88
Fe_2O_3	6,52
K_2O	4,83
Na_2O	2,90
MgO	1,08
TiO_2	0,61
P_2O_5	0,54
BaO	0,18
MnO	0,09
SO_3	0,09
SrO	0,05
ZrO_2	0,05
Cl	0,04
Rb_2O	0,02
PF	2,24
	100,00

Figura 2 – Análise mineralógica do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais



Nota: Q = quartzo, M = microclina, A = albita, C = calcita, K = muscovita

camadas do ladrilho hidráulico separadamente para atendimento à NBR9457:1986[3], que determina que o produto em questão seja produzido em 3 camadas distintas. Em cada estudo de dosagem das camadas foram moldados ladrilhos hidráulicos piso táteis em prensa hidráulica semi-industrial com pressão variando de 200 Kgf/cm² a 250 Kgf/cm² (Figura 3).

Após prensagem, o ladrilho hidráulico permaneceu ao ar livre por 24h, e em seguida foi procedida a cura imersa em câmara úmida por 7 dias. Depois desse período, o ladrilho permaneceu ao ar livre até 28 dias para realização dos ensaios de verificação das propriedades do ladrilho hidráulico nos estudos realizados. Tal verificação visou analisar a influência do resíduo e o atendimento aos limites prescritos na NBR 9457:1986 [3], que são apresentados na Tabela 7.

4.1 'Estudo da dosagem da camada superior do ladrilho hidráulico

A pasta que forma a camada superior deve se espalhar no molde

e fluir para a camada intermediária de maneira a não dificultar a desforma do ladrilho hidráulico após prensagem, fazendo-se necessários estudos de fluxo da camada. A pasta deve ter boa trabalhabilidade e coesão, que dependem da proporção de partículas finas na mistura, o que leva a se estudar várias proporções de mistura para obter a coesão adequada [46].

Logo, o resíduo foi adicionado nos teores 0%, 10%, 20%, 30% e 40% em relação à massa de cimento e foram realizados os ensaios de mini slump e de funil Marsh. Os procedimentos do ensaio de mini slump seguiram a metodologia de Gomes [50]. O ensaio tem como objetivo estudar o comportamento das pastas com adições minerais [51], e assim encontrar a dosagem ótima da relação entre fino e cimento. O ensaio para determinação do índice de fluidez da pasta pelo funil Marsh seguiu a NBR 7682:1983 [52], onde o índice de fluidez é a medida do tempo em segundos, que 1000 cm³ de pasta levam para escoar pelo funil Marsh. Foi determinada também a densidade da pasta.

Tabela 4 – Caracterização da areia

Ensaio	Norma	Resultado
Massa específica	NBR NM 52:2003 (34)	2,63g/cm ³
Massa unitária no estado compacto	NBR NM 45:2006-Método A (35)	1,56 Kg/dm ³
Índice de vazios (Ev)		40,68%
Massa unitária no estado solto	NBR NM 45:2006-Método C (35)	1,48 Kg/dm ³
Índice de vazios (Ev)		43,73%
Teor de materiais pulverulentos	NBR NM 46:2003 (36)	0,43%
Teor de torrões de argila	NBR 7218:1987 (37)	Não há
Coeficiente médio de inchamento	NBR 6467:1987 (38)	1,31
Granulometria	NBR NM 248:2003 (31)	Vide tabela 2

Tabela 5 – Distribuição granulométrica da areia

Peneira N°	(ABNT) # (mm)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
4	4,800	0	0
8	2,400	2	2
16	1,200	16	18
30	0,600	40	58
50	0,300	31	89
100	0,150	9	98
200	0,075	2	100
total		100	-

Tabela 6 – Caracterização do cimento Portland

Ensaio	Norma	Resultado
Água da pasta de consistência normal	NBR NM 43:2003 (39)	31,0%
Superfície específica Blaine	NBR NM 76:1998 (30)	4000 cm ² /g
Tempo de início de pega	NBR NM 65:2003 (40)	250 minutos
Tempo de fim de pega		300 minutos
Massa específica	NBR NM 23:2001 (29)	2,98 g/cm ³
Finura na #200	NBR 11579:1991 (41)	0,1%
Resistência à compressão axial	NBR 7215:1996 (42)	3 dias – 17 MPa 7 dias – 30 MPa 28 dias – 45 MPa
Expansibilidade de Le Chatelier	NBR 11582:1991 (43)	0,5 mm

4.2 Estudo da dosagem da camada inferior do ladrilho hidráulico

Foram realizados testes preliminares de fabricação de ladrilhos hi-

Figura 3 – Prensa hidráulica



dráulicos para se estabelecer um procedimento de produção e se obter de uma dosagem inicial do ladrilho hidráulico que fizesse com que os mesmos fossem desformados sem quebras, sendo adotadas para a camada inferior a dosagem 1:3 (cimento:material seco) e para a camada intermediária a dosagem 1:2 (cimento:resíduo), ambas em massa.

O estudo da camada inferior foi antecipado em relação ao estudo da camada intermediária, pois foi verificado nos testes preliminares que ela influencia mais diretamente nas propriedades do ladrilho hidráulico, tais como: a absorção de água e o módulo de resistência à flexão.

Foi feito o estudo do empacotamento de grãos na camada inferior do ladrilho hidráulico piso tátil por meio da análise granulométrica da areia e do resíduo, pois o resíduo por apresentar partículas menores do que as presentes na areia utilizada, deve melhorar o empacotamento dos grãos na mistura, o que foi constatado por Neville (1997) [46]. O modelo aplicado foi o de ALFRED descrito em Oliveira et al. (2000) [44]. O cálculo de CPFT (Equação 1), que consiste em estabelecer uma porcentagem acumulada de partículas menores que um determinado tamanho (D_p), foi realizado com base no pressuposto de que o diâmetro da menor partícula (D_s) do

Tabela 7 – Ensaios realizados e Limites da NBR9457:1986 (3)

Propriedades	Ensaio	Limites NBR9457:1986 (3)
Absorção de água	NBR13818:1997 Anexo B (48)	Máximo de 8%
Resistência ao desgaste por abrasão	NBR12042:1992 (49)	Máximo de 3 mm em 1000m
Módulo de ruptura à flexão (MRF)	NBR13818:1997 Anexo C (48)	Valor médio da amostra 5 MPa Valor individual mínimo 4,6 MPa
Espessura	NBR13818:1997 Anexo S (48)	Tolerância de $\pm 10\%$
Comprimento e largura	Avaliação dimensional	Tolerância de $\pm 0,2\%$

resíduo, que é um filler, mede 1 μm (0,001mm) e que o diâmetro da maior partícula (D_L) da areia mede 4,80mm. Adotando-se $q=0,37$ do modelo, sendo:

$$CPFT = \left[\frac{D_p^q - D_s^q}{D_L^q - D_s^q} \right] \times 100 (\%) \quad (1)$$

Considerando a análise granulométrica do resíduo e da areia, que apresentaram respectivamente, 93% e 2% de partículas situadas abaixo da peneira #0,150mm e por meio do cálculo do CPFT, foi observado que 24,5% de partículas menores que 0,150mm poderiam ser completados por partículas do resíduo, resultando no aumento do teor de resíduo em relação à massa total de areia com resíduo, de 4,5%; e em um aumento de 3,3% no teor de resíduo em relação a massa seca da camada.

A análise da compactação de partículas foi feita mediante a realização do ensaio de compactação, seguindo a norma NBR12023:1992 – Solo-cimento – Método A [53]. Foi feita uma mistura anidra dos componentes da camada inferior do ladrilho hidráulico piso tátil para estudo do teor de umidade que levasse ao valor da massa específica aparente seca máxima. Para simular a energia de compactação empregada no ladrilho hidráulico durante a prensagem, foram feitas adaptações, tais como: o número de golpes foi 63 em cada uma das 3 camadas, uso do soquete grande (4,536 Kgf), altura de queda do soquete de 45,7cm e uso do cilindro padrão. Foi obtida então a relação a/c ideal para máxima compactação da camada.

A partir dos resultados encontrados, foram moldados ladrilhos hidráulicos nas dosagens 1:3, 1:2 e 1:1 em massa para se obter o maior empacotamento granulométrico possível entre o resíduo e a areia e verificar a influência do aumento da quantidade de cimento Portland nos valores obtidos na resistência à flexão.

4.3 Estudo da dosagem da camada intermediária do ladrilho hidráulico

Foi adotada inicialmente a dosagem 1:3 (cimento:resíduo) em massa, modificando-se a proporção de resíduo para 1:2 e 1:4. Foram moldados ladrilhos hidráulicos com as três dosagens e verificadas as propriedades. Foi mantida a dosagem da camada inferior em 1:2 neste estudo.

4.4 Estudo da dosagem final do ladrilho hidráulico

Foi adotada dosagem final para o ladrilho hidráulico a partir dos resultados dos ensaios de absorção de água e de resistência à flexão. Foram moldados ladrilhos hidráulicos na dosagem final para avaliação dimensional e verificação da resistência à abrasão do piso.

4.5 Avaliação dimensional do ladrilho hidráulico

O ensaio de avaliação dimensional nos ladrilhos hidráulicos foi executado de acordo com a NBR 13818:1997 – Anexo S [48], e foi realizado no Laboratório de Metrologia da UFES no equipamento denominado Suporte Contrapontas marca C.Stiefelmayer K.G. Foi feita a determinação do comprimento, da retitude dos lados, da ortogonalidade dos lados, da curvatura central, da curvatura late-

Tabela 8 – Equações dos desvios percentuais da avaliação dimensional

$$\text{Desvio percentual da ortogonalidade dos lados} = \frac{\Delta l_1}{W \text{ (do lado correspondente)}} \times 100 (2)$$

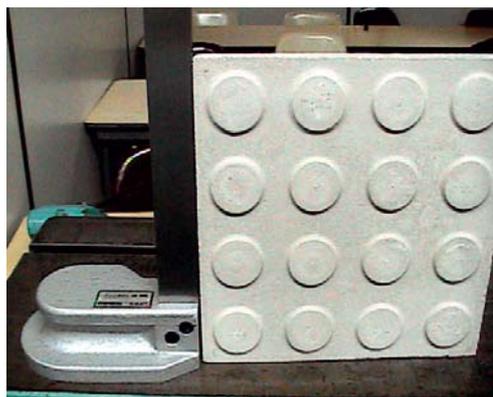
$$\text{Desvio percentual da retitude dos lados} = \frac{\Delta l_2}{W \text{ (do lado correspondente)}} \times 100 (3)$$

$$\text{Desvio percentual da curvatura central} = \frac{\Delta l_3}{D_e} \times 100 (4)$$

$$\text{Desvio percentual da curvatura lateral} = \frac{\Delta l_4}{W \text{ (do lado correspondente)}} \times 100 (5)$$

$$\text{Desvio percentual do empeno} = \frac{\Delta l_5}{D_e} \times 100 (6)$$

Figura 4 – Detalhes do ensaio de avaliação dimensional



(a) Ortogonalidade do lado



(b) Empeno do piso

Tabela 9 – Resultados dos ensaios de mini slump, do Funil de Marsh e da obtenção da densidade da pasta da camada superior

Teor resíduo (%)	a/c	Mini slump (mm)	Funil Marsh(s)	Densidade (Kg/m ³)
0	0,70	111,41	14	1,630
10	0,70	102,44	39	1,652
20	0,70	85,23	134	1,676
30	0,70	68,67	1208,4	1,713
40	0,70	64,22	n.d.	1,756

Nota: n.d. tempo de escoamento não determinado

ral e do empeno. Os resultados do ensaio foram expressos em forma de desvios percentuais, através das Equações 2, 3, 4, 5 e 6 (Tabela 8). Alguns parâmetros analisados no ensaio estão apresentados na Figura 4.

4.6 Resistência ao desgaste por abrasão do ladrilho hidráulico

O ensaio de determinação de resistência ao desgaste por abrasão, que seguiu a NBR12042:1992, foi realizado nos ladrilhos hidráulicos fabricados na dosagem final aos 28 dias de idade.

5. Resultados e discussão

Os resultados da verificação das propriedades dos ladrilhos hi-

Tabela 10 – Dosagem da camada superior (massa)

Dosagem	cimento	pigmento	resíduo	água
1ª camada	1	0,03	0,20	0,70

dráulicos piso táteis produzidos na pesquisa são apresentadas a seguir.

5.1 Resultado do estudo de dosagem da camada superior do ladrilho hidráulico

Os resultados dos ensaios estão apresentados na Tabela 9. O fluxo da pasta no Funil de Marsh se tornou descontínuo com teor de 40% de resíduo. A dificuldade de realização do ensaio já foi notada quando a adição de resíduo foi de 30%. Esses fatos estão de acordo com Calmon et al.(2005) [26], que verificaram que as pastas com espalhamento final no ensaio de mini slump abaixo de 70 mm não fluem no Funil Marsh. Os resultados dos ensaios conduziram a um teor de 20% de resíduo na camada superior do

Tabela 11 – Dosagens do estudo de empacotamento da camada inferior (massa)

Dosagem	cimento	areia	resíduo	água	Teor resíduo (%)
1:3	1	2,4	0,60	0,35	15
	1	2,27	0,73	0,35	18,3

Tabela 12 – Resultado do estudo de empacotamento na camada inferior do ladrilho hidráulico piso tátil

	Dosagens				Absorção de água (%)			MRF (MPa)		
	(massa)	cimento	areia	resíduo	água	n° c.p.	Média	D.P.	n° c.p.	Média
1:3	1	2,4	0,6	0,35	5	14,97	0,45	5	4,41	0,65
	1	2,27	0,73	0,35	3	12,99	1,25	3	5,16	1,30

Nota: c.p. = corpo de prova; D.P. = desvio padrão.

Tabela 13 – Resultado do estudo de compactação na camada inferior do ladrilho hidráulico piso tátil

	Dosagens				Absorção de água (%)			MRF (MPa)		
	(massa)	cimento	areia	resíduo	água	n° c.p.	Média	D.P.	n° c.p.	Média
1:3	1	2,27	0,73	0,30	3	14,26	0,45	3	4,08	0,11

Nota: FSM = flexural strength modulus; s. = specimen; S.D. = standard deviation.

Tabela 14 – Resultado do estudo das dosagens 1:1, 1:2 e 1:3 na camada inferior do ladrilho hidráulico piso tátil

	Dosagens				Absorção de água (%)			MRF (MPa)		
	(massa)	cimento	areia	resíduo	água	n° c.p.	Média	D.P.	n° c.p.	Média
1:1	1	0,75	0,25	0,20	3	16,25	0,23	3	6,62	0,52
1:2	1	1,6		0,20	3	13,06	0,70	3	6,23	0,28
1:3	1	2,27	0,73	0,35	3	12,99	1,25	3	5,16	1,3

Nota: c.p. = corpo de prova; D.P. = desvio padrão.

Tabela 15 – Resultado do estudo na camada intermediária do ladrilho hidráulico piso tátil

Dosagens (massa)	Absorção de água (%)			MRF (MPa)		
	n° c.p.	Média	D.P.	n° c.p.	Média	D.P.
1:2	3	13,51	0,14	3	5,43	0,19
1:3	3	13,06	0,7	3	6,23	0,28
1:4	3	14,02	0,12	3	5,04	0,25

Nota: c.p. = corpo de prova; D.P. = desvio padrão

ladrilho hidráulico. A dosagem da camada superior é apresentada no Tabela 10.

5.2 Resultado do estudo do dosagem da camada inferior do ladrilho hidráulico

No estudo do empacotamento granulométrico de grãos foi obtido o aumento no teor de resíduo (Tabela 11). Foram verificadas as propriedades dos ladrilhos hidráulicos na dosagem 1:3 com os teores de resíduo de 15% e de 18,3% (obtido no estudo) em relação à massa seca da camada (Tabela 12).

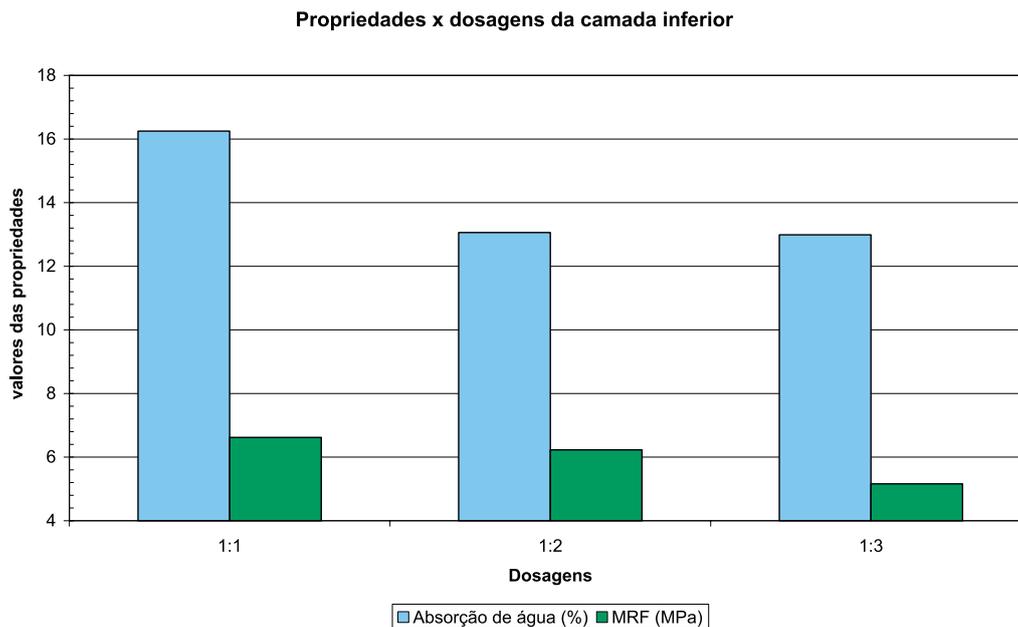
O módulo de resistência à flexão atendeu ao valor médio prescrito na norma NBR9457:1986 [3], enquanto a absorção ape-

sar de sofrer diminuição no valor, não atendeu a norma.

No estudo da compactação de partículas foi obtido o teor de umidade ótima de 7,5%, o que corresponde a relação a/c=0,30 e assim foram moldados ladrilhos hidráulicos e verificadas suas propriedades de acordo com a Tabela 13.

Foi verificado que não houve melhoria nos valores das propriedades dos ladrilhos hidráulicos piso táteis moldados com o teor de umidade obtido no ensaio de compactação em relação aos valores obtidos no estudo do empacotamento. A relação a/c obtida no ensaio de compactação não foi suficiente para lubrificar e facilitar a acomodação dos grãos para melhorar a compacidade do ladrilho hidráulico com a prensa usada.

Figura 5 – Valores obtidos de absorção de água e módulo de resistência à flexão (MRF) x dosagens da camada inferior



As dosagens para melhoria da resistência à flexão e resultados obtidos são apresentados na Tabela 14.

Verificou-se que a dosagem 1:2 obteve alto valor de resistência à flexão para um aproveitamento de resíduo considerável. E foi considerado também que a dosagem 1:3 ficou muito próximo do limite de norma e a dosagem 1:1 apresentou absorção mais elevada.

5.3 Resultado do estudo do dosagem da camada intermediária do ladrilho hidráulico

Os resultados dos ensaios na camada intermediária são apresentados na Tabela 15.

Verificou-se através dos resultados dos ensaios de determinação do módulo de resistência à flexão e de absorção de água, que a dosagem 1:3 obteve melhores resultados na camada intermediária.

5.4 Absorção de água e módulo de resistência à flexão

A Figura 5 apresenta os valores encontrados nos ensaios de absorção de água e de módulo de resistência à flexão nas três dosagens 1:1, 1:2 e 1:3 na camada inferior.

O módulo de resistência à flexão atendeu ao valor médio prescrito na norma NBR9457:1986 [3].

Quanto à absorção de água, o limite de 8% da norma não foi respeitado. Porém, a NBR9457:1986 [3] especifica que a camada inferior do ladrilho

hidráulico deve ser constituída de material poroso, devendo favorecer a aderência. Como a porosidade é a medida da proporção do volume total do concreto ocupada pelos poros, e na absorção mede-se o volume dos poros [46], conclui-se que o ladrilho hidráulico piso tátil, que possui camada superficial inferior porosa, terá um teor de absorção de água elevado, fato também constatado por Cavalli e Valduga (2006)[1].

5.5 Resultado da dosagem final do ladrilho hidráulico piso tátil com resíduo

A dosagem final é apresentada na Tabela 16.

5.6 Resultado da avaliação dimensional

A análise de aceitação da avaliação dimensional foi baseada nos valores da NBR 13818:1997 [48], em seu Anexo T - Quadro IX - Grupo de Absorção BIIb (prensado) com absorção de água (Abs) no intervalo: 6% < Abs < 10% com superfície (S) do produto entre 190cm² e 410cm²; e está apresentada na Tabela 17.

De acordo com os valores encontrados no ensaio de avaliação dimensional, o ladrilho hidráulico piso tátil fabricado na pesquisa atende aos limites da norma.

5.7 Resultado da determinação da resistência ao desgaste por abrasão

O resultado está apresentado na Tabela 18.

Tabela 16 – Dosagem final (em massa)

Camadas	Dosagem final				
	cimento	areia	resíduo	água	pigmento
superior	1	0	0,2	0,70	0,03
intermediária	1	-	3	0	0
inferior	1	1,6	0,4	0,20	0

Tabela 17 – Resultado da avaliação dimensional do ladrilho hidráulico piso tátil

Características geométricas	Unid	Limites NBR13818:1997(48)	Valores obtidos
Desvio de r em relação a W	%	± 0,75	0,06
Desvio de r em relação a R	%	± 0,5	0,15
Desvio de e em relação a ew	%	± 5,0	3,05
Retitude dos lados - $\Delta L5$	%	± 0,5	-0,15
Ortogonalidade - $\Delta L1$	%	± 0,6	0,17
Curvatura central - $\Delta L3$	%	± 0,5	-0,35
Curvatura lateral - $\Delta L4$	%	± 0,5	0,23
Empeno - $\Delta L2$	%	± 0,5	0,21

Nota: r = média dos quatro lados do ladrilho hidráulico; R = média dos lados do grupo amostral; e = espessura do ladrilho hidráulico; ew = espessura de referência.

Tabela 18 – Resultado do ensaio de resistência ao desgaste por abrasão do ladrilho hidráulico

Desgaste (mm) após 1000m		
Resultado	Limite máx. NBR	D.P.
8,92	< 3	0,63

Nota: D.P.= desvio padrão

Foi verificado que o ladrilho hidráulico não atendeu ao limite de desgaste da norma, que se deve ao fato do produto apresentar na camada superficial uma alta relação *a/c*, o que não conduz a bom adensamento e com isso diminui a resistência à compressão e a resistência ao desgaste por abrasão do piso [46].

6. Conclusões

Com base no desenvolvimento experimental e nos resultados obtidos, pode-se concluir que a adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais no ladrilho hidráulico piso tátil aumentou a resistência à flexão do produto, que se situou acima do limite especificado na NBR 9457:1986 [3], confirmando assim o seu efeito “*filler*” em materiais cimentícios.

A avaliação dimensional atendeu a todos os parâmetros da NBR 9459:1986 [4], o que significa dizer que as propriedades geométricas do molde confeccionado estão adequadas.

A absorção de água apresentou resultado mínimo de 13%, o qual não atende ao valor de 8% da Norma. Tal fato é explicado devido ao ladrilho possuir uma camada inferior porosa para favorecer sua aderência ao substrato. Testes de durabilidade deverão ser realizados para verificação da influência da absorção de água, para se necessário for, propor estudo de alteração no índice de absorção na NBR9457:1986 [3]. De acordo com REIS (2008) [2], pode-se constatar que os ladrilhos hidráulicos comercializados na região do estado do Espírito Santo, os quais não contêm resíduos, também não atendem aos valores prescritos de absorção.

A resistência ao desgaste por abrasão não foi atendida, por se

tratar de um piso no qual a camada superficial apresenta elevada relação água cimento (*a/c*=0,70), que é inerente ao processo de fabricação para a pasta conseguir fluir no molde e se obter perfeito acabamento superficial no produto, além de possibilitar a desforma sem quebras. Novos estudos de dosagens na camada superficial devem ser feitos com o uso de aditivos plastificantes para diminuição da relação *a/c*, sem prejuízo da trabalhabilidade da pasta. Tal medida deve favorecer o aumento da resistência ao desgaste à abrasão do piso.

Nesse sentido, há a necessidade de continuidade da pesquisa quanto aos resultados obtidos para a absorção de água e para a resistência ao desgaste por abrasão do piso.

É importante salientar que este trabalho dá início a uma discussão de metodologias de dosagem para o ladrilho hidráulico, que atualmente volta a ser utilizado, no sentido de melhorar as propriedades técnicas e a uma discussão dos parâmetros de norma aplicados ao produto.

Com a pesquisa, pode-se reafirmar que a reciclagem do resíduo sólido gerado no setor de beneficiamento de rochas ornamentais é uma das alternativas para tornar o setor sustentável no aspecto ambiental, pois ocasiona diminuição do volume de aterros, bem como de possíveis contaminações de solo e de água, além da adição do resíduo possibilitar a diminuição do consumo de materiais naturais não renováveis na confecção dos novos produtos.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, ao Ifes e ao LEMAC-UFES pelo apoio a esta pesquisa.

8. Referências bibliográficas

- [01] CAVALLI, Angelina Franciele; VALDUGA, Laila. Ladrilhos Hidráulicos: Reconstituição e Caracterização. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2006, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, p.4042-4050, 2006.
- [02] REIS, Alessandra Savazzini. Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho

- hidráulico piso tátil. Vitória, 2008. 218f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo.
- [03] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ladrilho Hidráulico. - NBR 9457, Rio de Janeiro, 1986.
- [04] _____. Ladrilho Hidráulico. – Formato e dimensões. - NBR 9459, Rio de Janeiro, 1986.
- [05] _____. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. NBR 9050, Rio de Janeiro, 2004.
- [06] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). Situação atual e perspectivas brasileiras no setor de rochas ornamentais. Informe 002/2008. São Paulo. 2008. Disponível em: <http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/6020/Situacao_Perspectivas.pdf>. Acesso em: 30 março 2008.
- [07] GONÇALVES, J. P.. Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos, Porto Alegre, 2000. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 120p.
- [08] CAVALCANTI, Diogo Jatobá de Holanda. Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais, Alagoas, 2006, Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Alagoas, 141p.
- [09] REIS, A. S. dos; ALVAREZ, C. E. de. A sustentabilidade e o resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais. In: Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis – ELECS. Anais, Mato Grosso do Sul, ANTAC, 2007, CD-ROM.
- [10] CALMON, João Luiz; TRISTÃO, Fernando A.; LORDÉLLO, Fernando. S. S. ; DA SILVA, Sérgio A. C. ; MATTOS, Flávio. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de tijolos de solo cimento. In: VII ENTAC – VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1998, Florianópolis. Anais...Florianópolis: ANTAC, 1998.
- [11] SILVA, Sérgio Augusto das Chagas. Caracterização do resíduo da serragem de blocos de granito. Estudo do potencial de aplicação na fabricação de argamassas de assentamento e de tijolos de solo cimento. 1998. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES,1998.
- [12] ALMEIDA, Salvador L. Matos de; PONTES, Ivan Falcão. Aproveitamento de rejeitos de pedreiras e finos de serrarias de rochas ornamentais brasileiras. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS e II SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2001, Bahia. Anais eletrônicos... Bahia: CETEM/MCT, p. 89-110, 2001. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/SEMINARIO_ROCHAS.pdf>. Acesso em: 10 out 2006.
- [13] SOUZA, Joselito Novaes de. Utilização do resíduo proveniente da serragem de rochas graníticas como fíler no concreto asfáltico usinado a quente. 2001. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande/Paraíba. 2001.
- [14] TORRES, P.; FERNANDES, H.R.; AGATHOPOULOS, S.; TULYAGANOV, D.U.; FERREIRA, J.M.F. Incorporation of granite cutting sludge in industrial porcelain tile formulations. Journal of the European Ceramic Society, 24, p. 3177–3185, 2004.
- [15] MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. (Utilization of ornamental rock waste from Northwest Fluminense in red ceramic). Revista Cerâmica. v.51, n.319, p.180-186, São Paulo, Jul./Set. 2005.
- [16] OLIVEIRA, Inês Constâncio de Almeida. Recuperação paisagística de um aterro superficial de lamas em Pêro Pinheiro (Sintra). 2005. 70f. Relatório de fim de curso de arquitectura paisagística (Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa), Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2005. Disponível em: <http://www.isa.utl.pt/ceap/index_files/ufcoliveira.pdf>. Acesso em: 10 mar 2008.
- [17] FREIRE, Alexandre Sayeg; MOTTA, José Francisco M. Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito. Revista Rochas de Qualidade. São Paulo. Ano XXV. Edição 123, p.98-108, jul/ago, 1995.
- [18] TRISTÃO, Fernando Avancini. Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento. 1995. 188f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Curso de Pós-Graduação Engenharia Civil) -Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 1995.
- [19] CALMON, João Luiz; TRISTÃO, Fernando A.; LORDÉLLO, Fernando. S. S. ; DA SILVA, Sérgio A. C. ; MATTOS, Flávio. V. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1997a. Anais... Salvador: ANTAC, p.64-75, 1997.
- [20] MOURA, Washington A.; GONÇALVES, Jardel P., LEITE, Roneison da Silva. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. Revista da Universidade Estadual de Feira de Santana - Sítientibus, Feira de Santana, n.26, p.49-61, jan./jun. 2002
- [21] CRUZ , Daniel Fontan Maia da; LAMEIRAS, Rodrigo de Melo; BARBOZA, Aline da Silva Ramos; LIMA, Luciana Amaral de. Estudo das propriedades mecânicas de argamassas produzidas utilizando-se resíduo do corte de mármore e granito. In: VI SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: IBRACON, 2003.
- [22] TENÓRIO, Jonathas J. L.; LAMEIRAS, Rodrigo de M. ; LIMA, Luciana A. de. Desempenho de argamassas produzidas com resíduo do beneficiamento de chapas de granito (RBCG).

- In: VI SBTA – SEMINÁRIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSA e I INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 2005. Florianópolis/SC. Anais... Florianópolis: ANTAC, 2005.
- [23] FAJARDO, Beatriz Faria. Aproveitamento de dois resíduos industriais – pó do corte do granito e catalizador do craqueamento do petróleo na fabricação de elementos construtivos estruturais. 2005. 312f. Dissertação (Mestrado em Ciências em engenharia civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- [24] MOURA, W. A.; LIMA, M. B. L.; CALMON, J. L.; MORATTI, M.; SANTOS SOUZA, F. Lordello dos. Utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO) como substituição parcial do cimento na produção de blocos pré-moldados de argamassa. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2006a, Florianópolis. Anais...Florianópolis: ENTAC, p4217-4226, 2006a.
- [25] _____. Produção de pisos intertravados com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2006b, Florianópolis. Anais...Florianópolis: ENTAC, p4227-4236, 2006b.
- [26] CALMON, João Luiz; MORATTI, Mirko; MORATTI, Marcus. Concreto auto-adensável: utilizando resíduo de serragem de rochas ornamentais como fíler. Aplicação em pré-fabricados. Guia Empresarial Sinprocim. n.2, p. 26-31, 2005.
- [27] REIS, Alessandra Savazzini dos; TRISTÃO, Fernando Avancini. Análise de argamassas com resíduo de corte de rochas ornamentais. In: II CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2007, Lisboa - Portugal. Anais... Portugal: APFAC, 2007. CD-ROM.
- [28] ALMEIDA, Nuno; BRANCO, Fernando; SANTOS, Jose Roberto. Recycling of stone slurry in industrial activities: application to concrete mixtures. Building and Environment, v. 42, n.2, p. 810-819, 2007.
- [29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica. NBR NM 23, Rio de Janeiro, 2001.
- [30] _____. Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine). NBR NM 76, Rio de Janeiro, 1998.
- [31] _____. Agregados - Determinação da composição granulométrica. NBR NM 248, Rio de Janeiro, 2003.
- [32] _____. Lixiviação de Resíduos. NBR 10005, Rio de Janeiro, 2004.
- [33] _____. Solubilização de Resíduos. NBR 10006, Rio de Janeiro, 2004.
- [34] _____. Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. NBR NM 52, Rio de Janeiro, 2003.
- [35] _____. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. NBR NM 45, Rio de Janeiro, 2006.
- [36] _____. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometros, por lavagem. NBR NM 46, Rio de Janeiro, 2003.
- [37] _____. Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. NBR 7218, Rio de Janeiro, 1987.
- [38] _____. Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio. NBR 6467, Rio de Janeiro, 1987.
- [39] _____. Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. NBR NM 43, Rio de Janeiro, 2003.
- [40] _____. Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. NBR NM 65, Rio de Janeiro, 2003.
- [41] _____. Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (número 200). NBR 11579, Rio de Janeiro, 1991.
- [42] _____. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. NBR 7215, Rio de Janeiro, 1996.
- [43] _____. Cimento Portland – Determinação da expansibilidade de Le Chatelier. NBR 11582, Rio de Janeiro, 1991.
- [44] OLIVEIRA, Ivone R. de; STUDART, André R.; PILEGGI, Rafael G.; PANDOLFELLI, Victor C. Dispersão e empacotamento de partículas. São Paulo: Fazendo arte, 195p., 2000.
- [45] SOUZA JÚNIOR, Joacy Demétrio de. O efeito de compactação e propriedades dos solos utilizados na pavimentação do estado do Ceará. 2005. 211f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/Ceará, 2005.
- [46] NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. Tradução: Salvador E. Giammusso. 2ª edição. São Paulo: PINI, 1997, 828p.
- [47] DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Adições minerais para concreto estrutural concreto fresco. In: ISAIA, Geraldo Cechella. CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, v.1, p.345-379, 1600p, 2005.
- [48] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio. NBR 13818, Rio de Janeiro, 1997
- [49] _____. Materiais inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão. NBR 12042, Rio de Janeiro, 1992.
- [50] GOMES, Paulo César Correia. Optimization and characterization of high-strength self compacting concrete, Barcelona/Espanha, 2002, Tesis (doctoral) - Universitat Politècnica de Catalunya, 139p.
- [51] CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; GIACOMETTI, M.; MENEGUELLI, M.; MORATTI, M. Estudo de finos e pastas para a produção de concreto auto-adensável de alta resistência com *filler* de escória de aciaria e outras adições. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais, Bento Gonçalves, IBRACON, 2007, CD-ROM.
- [52] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Calda de cimento para injeção – determinação do índice de fluidez. NBR 7682, Rio de Janeiro, 1983.
- [53] _____. NBR 12023: Solo-cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1992.