

ESTUDO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM CONCRETOS COM RESÍDUO DE LAMA DE MARMORARIA

STUDY OF ELECTRICAL RESISTIVITY IN CONCRETE WITH RESIDUE OF MARMORARIA MUD

ARAÚJO, Fabiana Madeira de

Mestranda em Construção Civil, UFMG
fabianamadeira@gmail.com

COSTA, Josiane Moraes

Mestranda em Construção Civil, UFMG
josianemoraescosta@gmail.com

CHAHUD, Eduardo

Doutor em Engenharia de Estruturas, UFMG
chahud@demc.ufmg.br

JUNIOR, Daniel Paiva

Pós-Graduado em Gestão de Negócio na Construção Civil, BI/FGV
danielpjuni@yaho.com.br

RESUMO

A lama abrasiva ou lama de marmoraria refere ao resíduo gerado no beneficiamento de rochas ornamentais nos processos do corte e polimento. Esse resíduo depositado no meio ambiente, pode trazer consequências prejudiciais aos recursos hídricos, contaminando o lençol freático e solo, e acarretando na descaracterização da paisagem natural. Devido ao número crescente de exportação de rochas processadas no decorrer dos anos e a grande expansão do uso dessas rochas no mercado brasileiro da construção civil, o volume do resíduo e sua disposição tem sido considerado preocupante. Dessa forma, o estudo do reaproveitamento dessa lama demonstra ser importante para a contribuição da redução do volume nos aterros e/ou descartes irregulares provocando danos ao meio ambiente. O presente artigo tem como objetivo avaliar o comportamento do uso do resíduo de pó da lama de marmoraria no concreto e verificar a durabilidade através dos ensaios de resistividade elétrica superficial e resistividade elétrica volumétrica. Para tanto, realizou um estudo experimental em que foram confeccionados três diferentes tipos de traços de concreto com o uso dos materiais como cimento CPV, areia média, brita 1 e relação a/c de 0,53. O primeiro traço foi de referência, no segundo, foi adicionado 20% do volume do cimento em resíduo de lama de marmoraria, e o terceiro, refere a substituição de 20% do volume de cimento por resíduo do pó da lama de marmoraria. Os corpos de prova de 15cmx30cm foram submergidos a água potável em um recipiente e submetidos a ensaios de resistividade elétrica superficial e volumétrica na idade de 28 dias. Para o ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova de 10cmx20cm encontravam em câmara úmida até o dia do

ensaio. Os resultados indicam que a resistência à compressão não modificou com a adição do resíduo, mas apresentou uma redução de cerca de 12% com a substituição do cimento pelo resíduo. A resistividade elétrica volumétrica não apresentou variações significativas em nenhuma das variações das dosagens. Quanto à resistividade elétrica superficial, tanto a adição quanto a substituição do cimento pelo resíduo colaboraram para a redução em torno de 12% em ambas as dosagens.

Palavras-chave: Concreto. Lama de marmoraria. Resistividade elétrica superficial. Resistividade elétrica volumétrica.

ABSTRACT

Abrasive sludge or mud from marble works refers to the residue generated in the processing of ornamental stones in the cutting and polishing processes. This residue deposited in the environment, can bring harmful consequences to the water resources, contaminating the water table and soil, and causing in the decharacterization of the natural landscape. Due to the increasing number of exports of processed rocks over the years and the great expansion of the use of these rocks in the Brazilian construction market, the volume of the waste and its disposal has been considered a concern. Thus, the study of the reuse of this mud proves to be important for the contribution of the reduction of the volume in the landfills and/or irregular discards causing damage to the environment. The purpose of this paper is to evaluate the behavior of the use of the powder residue of the marble sludge in the concrete and verify the durability through the tests of surface electrical resistivity and volumetric electrical resistivity. For this, an experimental study was carried out in which three different types of concrete traces were made using materials such as CPV cement, medium sand, gravel 1 and w/r of 0,53. The first trace was a reference, in the second, 20% of the cement volume was added to the sludge mud residue, and the third one refers to the replacement of 20% of the cement volume with the residue of the mud from the marble slurry. The specimens of 15cmx30cm were submerged in drinking water in a container and subjected to superficial and volumetric electrical resistivity tests at the age of 28 days. For the compressive strength test, the 10cmx20cm specimens were housed in a humid chamber until the day of the test. The results indicate that the compressive strength did not change with the addition of the residue, but showed a reduction of about 12% with the replacement of the cement by the residue. Volumetric electrical resistivity did not show significant variations in any of the dosage variations. As for the surface electrical resistivity, both the addition and the replacement of the cement by the residue contributed to the reduction of around 12% in both dosages.

Keywords: Concrete. Marble sludge. Surface electrical resistivity. Volumetric electrical resistivity.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, muitos municípios encontram dificuldades no gerenciamento e na destinação final dos resíduos. E várias atividades industriais, como o beneficiamento de rochas ornamentais, são fatores de geração de resíduos, tanto os retalhos quanto a lama de marmoraria. Essa lama é

gerada devido a água utilizada para a refrigeração das máquinas dentro das empresas de marmoraria em conjunto com o pó que advém do processo de corte e polimento de rochas ornamentais (LIMA *et al.*, 2010). Vale salientar que, a lama de marmoraria descartada sem nenhum tratamento ou de forma imprópria no meio ambiente, poderá causar contaminação dos recursos hídricos, solo e descaracterização da paisagem (LANGSCH *et al.* 2009; SANTOS *et al.*, 2010; HANIEH *et al.* 2014; GALETAKIS *et al.*; MELO, 2016).

Segundo ABIROCHAS (2018), as exportações e o uso no mercado interno de rochas ornamentais cresceram nos últimos anos e conseqüentemente, um volume crescente na geração de resíduos. Esse cenário propicia riscos ambientais e danos à saúde humana se descartado irregularmente no meio ambiente (MOTHÉ FILHO, 2005; SANTOS *et al.*, 2013; KHODABAKHSHIAN *et al.*, 2018).

Por outro lado, a aplicação da lama de marmoraria na massa do concreto, em substituição parcial ao cimento, pode proporcionar um menor impacto no meio ambiente, podendo gerar um descarte mais apropriado e conseqüentemente, levando a uma redução do consumo do cimento (Rana *et al.*, 2015).

Diversos estudos avaliaram a aplicação do uso da lama de marmoraria no concreto. E quanto as propriedades mecânicas, Petry *et al.* (2017), avaliou o comportamento de concretos convencionais com adição de resíduos de marmoraria nos teores 10% e 20% e o resultado de resistência à compressão com adição do resíduo não influenciou significativamente comparando com o traço do concreto sem adição.

Em relação aos trabalhos de Singh *et al.* (2017) foram avaliadas as propriedades mecânicas e concluíram que a resistência mecânica reduzia à medida que a substituição do cimento pelo resíduo aumentava. E relataram que ao incorporar o resíduo acima de 20% de substituição ao cimento, ocorreu uma queda na resistência em comparação com o concreto de referência.

Nos estudos de Khodabakhshian *et al.* (2018) demonstraram um aumento da resistência à compressão nos corpos de prova com substituição do cimento por lama de marmoraria inferior a 10%. Mas ao aplicar uma quantidade maior de resíduo, os resultados demonstraram menores comparados com os corpos de prova de referência.

Gans *et al.* (2017) destacaram em seus estudos que ao misturar adições minerais ao clínquer, mudanças ocorrem na matriz cimentícia devido as conseqüências da reação química entre o cimento e água, impactando nas propriedades elétricas do concreto.

Neste artigo, a introdução da lama de marmoraria na produção do concreto é analisada quanto aos seus efeitos nas propriedades físicas do concreto. Diante do volume gerado, o emprego desse material em produtos da construção civil pode apresentar alternativas positivas para o meio ambiente e sociedade.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar o comportamento do uso do resíduo de rochas ornamentais no concreto e comparar os resultados da resistividade elétrica superficial com a resistividade elétrica volumétrica aos 28 dias de idade em corpos de prova de 15cmx30cm.

3. RESISTIVIDADE ELÉTRICA

A resistividade elétrica é uma propriedade intrínseca de cada material. Essa característica está relacionada ao quanto a estrutura de um material permite a passagem da corrente. De acordo com Halliday (2016), a resistividade elétrica tem como variantes a natureza do material utilizado, que determinará a resistividade elétrica específica (ρ), o comprimento L (m) e a seção transversal A (m²).

Formando a Equação 1:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

Onde: R é a resistência elétrica (Ω/m);

ρ é a resistividade elétrica específica do material ($\Omega.m$);

L é o comprimento (m);

A é a área de seção transversal (m²).

3.1 Resistividade Elétrica Superficial

O método dos quatro pontos, conhecido como método de Wenner, foi executado para obtenção da resistividade elétrica superficial das amostras aos 28 dias de idade. O ensaio de resistividade elétrica é de aplicação direta e não destrutivo, de baixo custo e de fácil execução, consiste em uma técnica conhecida e empregada para obtenção da resistividade no concreto (LÜBECK, et al., 2008; MCCARTER, et al., 2015).

O equipamento possui quatro contatos espaçados de distância igual a ($d=5\text{cm}$). Ao posicionar o equipamento sobre a superfície do corpo de prova, conforme demonstrado na Figura 1, uma corrente elétrica é aplicada entre os dois contatos externos. Essa diferença de potencial resulta na medida pelos dois contatos internos (MEDEIROS-JUNIOR e LIMA, 2014).

Polder (2000), Andrade e D'Andrea (2011) e Vijayalakshmi et al. (2013), ressaltam que a resistividade elétrica está relacionada com a permeabilidade e vem sendo aplicado como parâmetro para a previsão da vida útil da estrutura, podendo ser avaliada a durabilidade do concreto e está relacionado com a resistência do concreto à penetração de agentes agressivos no interior do concreto. Polder (2000) demonstra na Tabela 1 uma análise da possibilidade de corrosão em função dos valores da resistividade.

Tabela 1 - Probabilidade de corrosão em função da resistividade

Resistividade do concreto (Ohm.m)	Indicação da probabilidade de corrosão
< 50	Muito alta
50 - 100	Alta
100 - 200	Baixa
> 200	Desprezível

Fonte: Polder, 2000.

3.2 Resistividade Elétrica Volumétrica

Segundo McCarter *et al.* (2015), o ensaio de resistividade elétrica é de execução direta e não destrutivo e a análise desta propriedade está relacionada a durabilidade do concreto. Conhecido como resistividade elétrica volumétrica ou como o método de dois eletrodos, seu ensaio equivale a uma aplicação da corrente elétrica em um ponto do material por meio do eletrodo externo e por meio do eletrodo interno, sendo analisada a diferença de potencial (Chen et al., 2014; Khodabakhshian *et al.*, 2018).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este artigo refere a uma pesquisa experimental, onde foram confeccionados 3 diferentes grupos de corpos de prova de concreto de dimensões $15\text{cm} \times 30\text{cm}$, para ensaio de resistividade elétrica, e de $10\text{cm} \times 20\text{cm}$, para ensaios de resistência à compressão. Sendo o primeiro grupo denominado de referência, sem adição da lama de marmoraria com a finalidade de comparar a

influência do material nos grupos distintos entre eles, o segundo com adição de 20% do resíduo no traço de referência e o terceiro, com substituição parcial de 20% do cimento pelo pó de lama de marmoraria na massa do concreto.

4.1 Materiais

Os materiais utilizados para a confecção dos corpos de provas foram:

- ✓ Resíduo de lama de marmoraria;
- ✓ Cimento Portland CPV Ari;
- ✓ Agregados miúdo de gnaiss (areia artificial);
- ✓ Agregados graúdo de gnaiss (brita 1); e
- ✓ Água potável.

4.2 Métodos

4.2.1 Caracterização dos agregados

O agregado miúdo empregado para a fabricação dos concretos foi areia artificial de gnaiss. Apresentando módulo de finura de 2,68, conforme NBR NM248:2003, massa específica de 2,62 g/cm³, conforme NBR NM52:2009, e massa unitária de 1,33 g/cm³, conforme NBR NM45:2006. Outras informações de caracterização do agregado miúdo, estão contidas na Tabela 2, seguindo as normas: NBR NM26:2001, NBR NM30:2001, NBR NM46:2003, NBR NM49:2001, NBR 7211:2009 e a distribuição granulométrica do agregado, segundo a NBR NM248:2003 é apresentado pelo Gráfico 1.

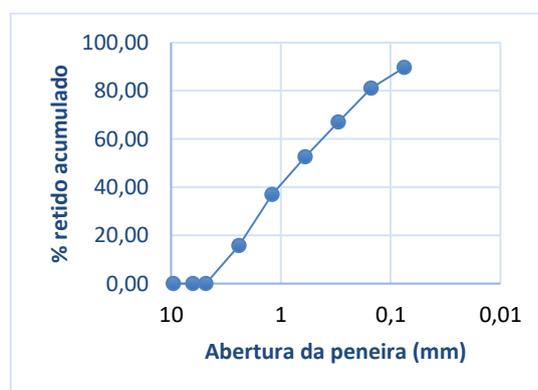
Tabela 2: Caracterização do agregado miúdo

Número	Abertura (mm)	Peso retido (g)	% retido	% acumulado	% retido acumulado
3/8"	9,5	0,00	0,00	100,00	0,00
1/4"	6,3	0,00	0,00	100,00	0,00
4	4,8	1,00	0,13	99,87	0,13
8	2,4	122,03	16,34	83,53	16,47
16	1,2	172,32	23,07	60,46	39,54
30	0,6	128,14	17,16	43,30	56,70
50	0,3	100,24	13,42	29,88	70,12
100	0,15	111,07	14,87	15,01	84,99
200	0,075	75,54	10,11	4,90	95,10
Fundo		36,60	4,90	0,00	100,00
Soma		746,94			

Módulo de finura = 2,68
Dimensão máxima = 4,80 mm
Massa úmida = 7,60 g
Massa seca = 7,50 g
Teor de umidade = 2,10 %
Teor de material pulverulento = 4,90 %
Massa unitária seca = 1,55 kg/dm³
Massa unitária = 1,33 kg/dm³
Massa específica = 2,62 g/cm³
Umidade do material (%) = 1,87
Teor de argila em torrões = 0,20 %

Fonte: Autora, 2018

Gráfico 1: Gradação de agregados miúdos



Fonte: Autora, 2018

O agregado graúdo utilizado foi brita 1 de gnaise, que apresentou módulo de finura de 6,98, conforme NBR NM248:2003; massa específica de 2,62 g/cm³, conforme NBR NM53:2009; e massa unitária de 1,45 g/cm³, conforme NBR NM45:2006. Outros resultados da caracterização dos agregados graúdos foram realizados conforme as seguintes normas NBR NM26:2001, NBR 7211:2009, NBR7251:1982, que constam na Tabela 3 e a distribuição granulométrica do agregado, segundo a NBR NM248:2003 é apresentado pelo Gráfico 2.

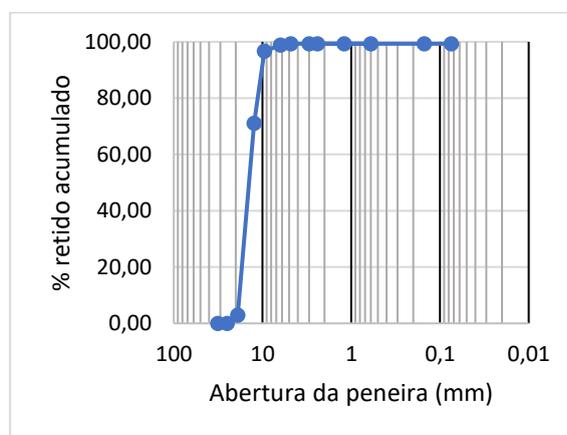
Tabela 3: Caracterização do agregado graúdo

Número	Abertura (mm)	Peso retido (g)	% retido	% acumulado	% retido acumulado
1 1/4"	32	0,00	0,00	100,00	0,00
1"	25	0,00	0,00	100,00	0,00
3/4"	19	44,12	4,26	95,74	4,26
1/2"	12,5	720,50	69,65	26,09	73,91
3/8"	9,5	225,88	21,84	4,25	95,75
1/4"	6,3	34,70	3,35	0,90	99,10
4	4,8	3,89	0,38	0,52	99,48
8	2,4	1,60	0,15	0,37	99,61
16	1,2	0,37	0,04	0,33	99,67
30	0,6	0,18	0,02	0,31	99,69
50	3	0,00	0,00	0,31	99,69
100	0,15	0,00	0,00	0,31	99,69
200	0,075	1,18	0,11	0,20	99,80
Fundo		2,05	0,20	0,00	100,00
Soma		1034,47			

Módulo de finura = 6,98
 Dimensão máxima: 19,00 mm
 Massa úmida = 1036,00 g
 Massa seca = 1034,50 g
 Teor de umidade = 0,14 %
 Massa unitária = 1,45 kg/dm³
 Massa específica do agregado seco = 2,62 g/cm³

Fonte: Autora, 2018

Gráfico 2: Gradação de agregados graúdo



Fonte: Autora, 2018

4.2.2 Caracterização do cimento

O Cimento Portland CP V-ARI, contém alta resistência inicial e foi empregado por conter menor teor de adições ativas. A caracterização do cimento foi fornecida pela fabricante, conforme Tabela 4 abaixo:

Tabela 4: Caracterização do Cimento CP V-ARI

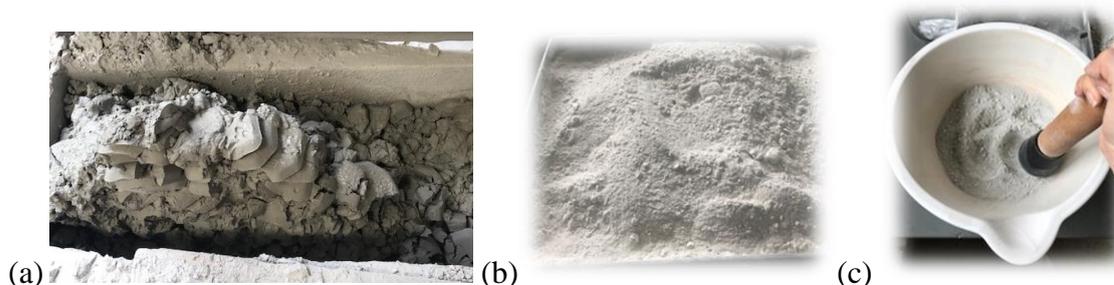
Massa Específica		3,09 g/m ³
Área Superficial Específica - BET		1,450m ² /g
Área Específica - BET		4,906 cm ² /g
Finura	#200	0,20%
	#325	2,20%
Início de pega		60 min
Fim de pega		196 min
Resistência à compressão (MPa)		
1 dia		26,1
3 dias		37,4
7 dias		46,6

Fonte: Empresa Cauê – Intercement, 2018- Adaptado

4.2.3 Preparação e caracterização do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais (lama de marmoraria)

A lama coletada na marmoraria, passa por um processo de tratamento com a utilização do equipamento do filtro prensa, que tem a função de reduzir a quantidade de água na massa para ser transportado para o aterro com menor volume. Após a coleta, o resíduo foi encaminhado para o laboratório de Argamassa e Concreto da UFMG, e submetido a um processo de secagem na estufa à temperatura de 110°C por 24 horas. Enfim, o material resfriado ao ambiente, passa pelo processo do destorroamento manual, transformando em um pó fino, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1: (a) Lama no tanque da marmoraria; (b) resíduo da lama em pó após a secagem; (c) Processo de destorroamento do resíduo em pó



Fonte: Autora, 2018

O módulo de finura foi determinado baseada na NBR 11579:2013 e a massa específica foi determinado por meio do equipamento *Auto density*, demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5: Caracterização do Pó de lama de marmoraria

Finura #200	0,10%
Massa Específica	2,62 g/m ³

4.2.4 Dosagens e preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova de concreto utilizados foram cilíndricos de dimensão 15cmx30cm, sendo preparados e confeccionados segundo a NBR 5738:2015. Para cada dosagem, foram confeccionados 5 corpos de prova de dimensão 15cmx30cm, totalizando 15 corpos de prova. Depois de 24 horas, foram desenformados e identificados. Em seguida, submetidos ao processo de cura, submersos em água potável em um recipiente dentro do laboratório.

O traço padrão determinado foi de 1: 2,04: 2,34, com relação água cimento de 0,53, para uma resistência característica de 25MPa aos 28 dias. Tendo como ponto de partida o traço de referência, mais duas dosagens foram executadas. Uma adicionou na dosagem 20% do resíduo do pó da lama de marmoraria ao volume de cimento (T20%Ad), e a outra, substituiu 20% do volume de cimento pelo pó do resíduo de marmoraria (T20%Sb), mantendo os outros materiais, conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6: Especificações das dosagens dos traços

Descrição	Nomenclatura no artigo	Cimento	Resíduo	Agregado miúdo	Agregado graúdo	a/c
Referência	TRf	1,00		2,04	2,34	0,53
Adição de 20% do resíduo no traço de referência	T20%Ad	1,00	0,20	2,04	2,34	0,53
Substituição de 20% do cimento	T20%Cs	0,80	0,20	2,04	2,34	0,53

4.2.5 Ensaios

Os corpos de prova foram mantidos em cura submersa por 28 dias. Para a realização dos ensaios de resistividade elétrica superficial e volumétrica foram utilizados os corpos de prova 15cmx30cm, e para o ensaio de resistência à compressão corpos de prova 10cmx20. Os ensaios foram realizados aos 28 dias de idades.

4.2.6 Resistividade elétrica superficial

Para o ensaio de resistividade elétrica superficial aos 28 dias, foram utilizados 5 corpos de prova para diferentes tipos de traços, de acordo com as especificações da norma americana NBR 5739 (ABNT, 2007). Os corpos de prova encontravam saturados em água potável no recipiente dentro do laboratório de Caracterização de Concreto da UFMG. E para a realização do ensaio, foi utilizado um modelo de equipamento Resipod, demonstrado na Figura 2, desenvolvido de quatro eletrodos, sendo dois internos e dois externos onde os eletrodos ficam em contato com a superfície do corpo de prova ensaiado.

Figura 2: Equipamento Resipod



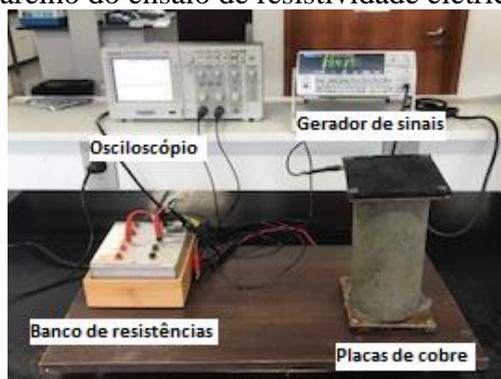
Fonte: Autora, 2018

4.2.7 Resistividade elétrica volumétrica

Para a realização do ensaio de resistividade elétrica volumétrica, o modelo utilizado é baseado no sistema de dois eletrodos posicionados nas extremidades dos corpos de prova de concreto de dimensão 15x30cm, e entre as superfícies do corpo de prova é colocado a esponja de lã de aço úmida para o contato dos eletrodos.

Os corpos de prova encontravam saturados em água potável em um recipiente dentro do laboratório de Caracterização de Concreto da UFMG. Os mesmos corpos de prova que foram medidos para o ensaio de resistividade elétrica superficial foram utilizados para o ensaio de resistividade elétrica volumétrica nas dosagens TRf, T20%Ad, T20%Cs para a idade de 28 dias.

Figura 3: Aparelho do ensaio de resistividade elétrica volumétrica



Fonte: Autora, 2018

5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para a realização do ensaio é determinado uma força axial aplicada ao corpo de prova na posição vertical preso entre os eixos da prensa, conforme determina a norma NBR 5739 (ABNT, 2018).

Os corpos de prova encontravam em câmara úmida até o dia do ensaio, sendo realizado na idade de 28 dias. O ensaio foi realizado no laboratório ViaTest, por meio de uma prensa elétrica digital, conforme Figura 4.

Figura 4 - Máquina de ensaio de compressão e posicionamento do corpo de prova



Fonte: Autora, 2018

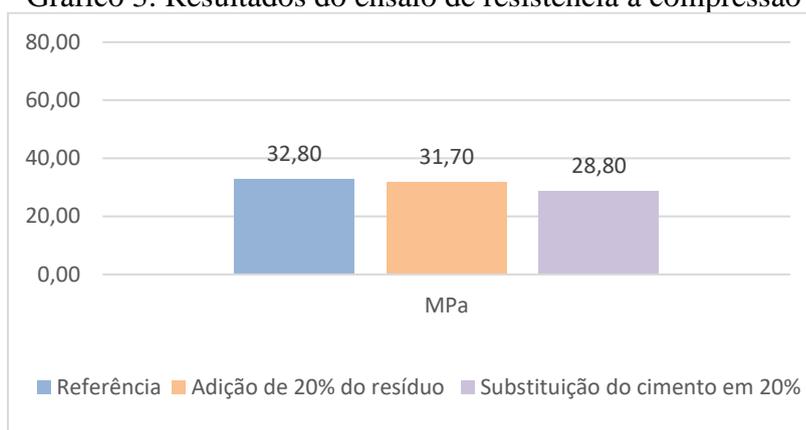
6. RESULTADOS

6.1 Resistência à compressão

Conforme apresentado no Gráfico 3, os valores de resistência à compressão do concreto com adição da lama de marmoraria apresentaram uma variação irrelevante quando comparado aos valores do concreto da dosagem de referência. Resultados semelhantes são observados no trabalho de Aliabdo *et al.* (2014), no qual os autores demonstraram que a resistência diminuiu levemente, sendo o mais provável a redução do material de cimentação C_3S e C_2S , sendo o principal responsável pela resistência do concreto.

O uso de 20% do pó da lama de marmoraria como substituto do cimento, resultou em uma redução em torno de 12% da resistência à compressão comparado às outras dosagens. Esses resultados podem-se confirmar com trabalhos de Rana *et al.* (2015) e Singh *et al.* (2017), nos quais a resistência à compressão apresenta redução com o uso de porcentagem igual ou acima de 20% comparado com o traço de referência.

Gráfico 3: Resultados do ensaio de resistência à compressão

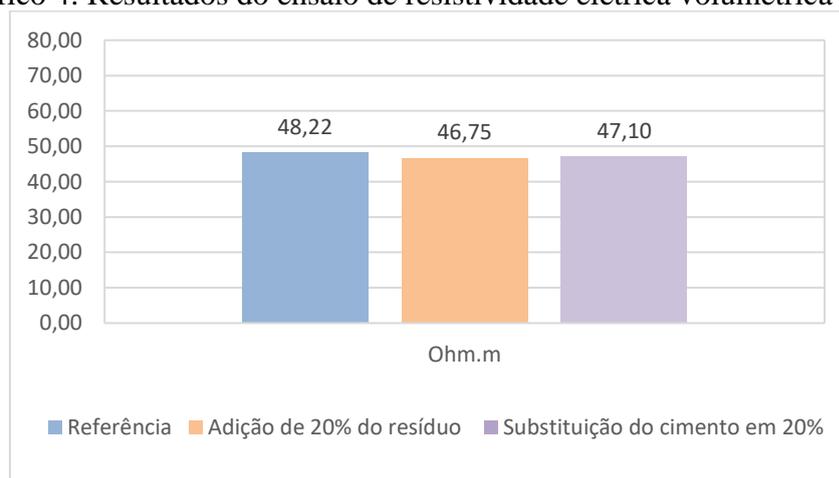


Fonte: Autora, 2018

6.2 Resistividade Elétrica Volumétrica

Em relação aos valores de resistividade elétrica volumétrica, conforme apresentado no Gráfico 4, os resultados mostram que tanto a adição da lama de marmoraria no concreto quanto a substituição do cimento pelo pó da lama não aumentam a resistividade elétrica volumétrica do concreto. Observa-se que a dosagem com substituição (T20%Cs) apresentou menor valor de resistividade elétrica se comparado a dosagem de referência (TRf) e a dosagem com adição (T20%Ad).

Gráfico 4: Resultados do ensaio de resistividade elétrica volumétrica

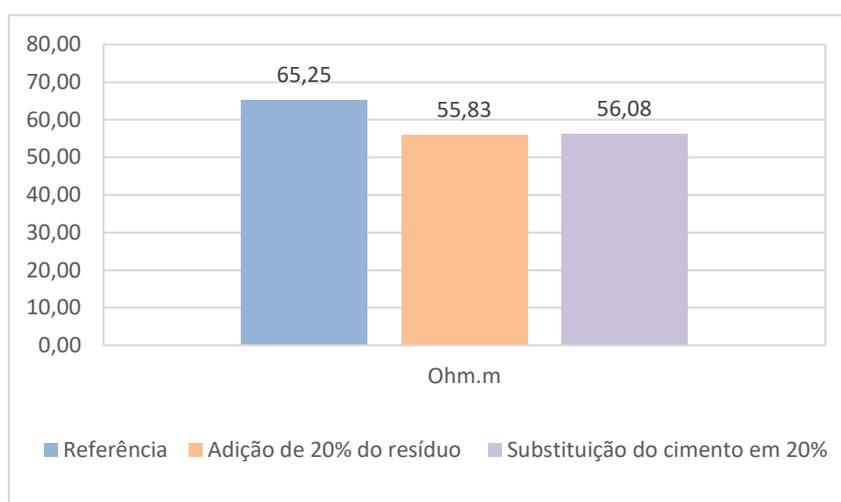


Fonte: Autora, 2018

6.3 Resistividade Elétrica Superficial

Quanto aos valores de resistividade elétrica superficial, os valores do Gráfico 5 indicam que tanto a substituição quanto a adição da lama de marmoraria no concreto não aumentam a resistividade elétrica do concreto. A dosagem com substituição apresentou menor valor de resistividade elétrica se comparado a dosagem de referência e a dosagem com adição, uma redução de 13%.

Gráfico 5: Resultados do ensaio de resistividade elétrica superficial



Fonte: Autora, 2018

7. CONCLUSÃO

A lama de marmoraria no concreto endurecido foi avaliada a partir dos ensaios de resistência à compressão, resistividade elétrica superficial e resistividade elétrica volumétrica.

- O uso do resíduo da lama de marmoraria no concreto, tanto a adição como a substituição, não colabora para a melhora da resistência à compressão. A redução de valores apresentada não compromete a qualidade da propriedade física do concreto.
- O uso do resíduo da lama de marmoraria no concreto, tanto a adição como a substituição, não colabora para o aumento da resistividade elétrica volumétrica do concreto. Tanto a substituição quanto a adição apresentaram variações irrelevantes.

- O uso do resíduo da lama de marmoraria no concreto, tanto a adição como a substituição, não colabora para o aumento da resistividade elétrica superficial do concreto. Tanto a substituição quanto a adição reduziram em cerca de 13%.
- De um modo geral, o uso do resíduo da lama de marmoraria não corrompe a propriedade física do concreto. Considerando que o custo do cimento seja um dos mais elevados na produção do concreto, a inserção do resíduo pode ser uma alternativa para economia do produto. Além de ser uma possibilidade para um descarte mais adequado do resíduo.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26:2001 Agregados – Amostragem**. Rio de Janeiro, Maio, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30:2001 Agregado miúdo – Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, Maio, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46:2003 Agregado – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μ m, por lavagem**. Rio de Janeiro, Julho, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49:2001 Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro, Novembro, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52:2003 Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, Julho, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53:2003 Agregado graúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, Julho, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:2003 Agregado – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, Julho, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015, 6p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:2007 Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:2009 Agregado para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 7251:1982 Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, Abril, 1982.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9204:2012 Concreto endurecido – Determinação da resistividade elétrica-volumétrica – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS

ORNAMENTAIS. **O setor brasileiro de rochas ornamentais**. Informe 05/2018. Brasília, 2018.

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

ANDRADE, C., D'ANDRÉA, R. **La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad**. Revista ALCONPAT, V.1, No. 2, pp. 93-101, 2011.

CHEN, C.T; CHANG, J.J; YEIH, W. C. **The effects of specimen parameters on the resistivity of concrete**. Construction and Building Materials, [s.l.], v.71, p.35-43, nov.2014.ElsevierBV.

GALETAKIS, M.; SOULTANA, A. **A review on the utilisation of quarry and ornamental stone industry fine by-products in the construction sector**. Construction and Building Materials. 102 - 769-781, 2016.

GANS, P. S.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A.; LIMA, M. G. **Efeito da escória de alto forno na resistividade elétrica superficial do concreto**. 2º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções, pp, 14-23, 2017.

HANIEH, A. A.; ABDELALL, S.; HASAN, A. **Sustainable development of stone and marble sector in Palestine**. Journal of Cleaner Production 84 (2014) 581- 588.

KHODABAKHSHIAN, A; GHALEHNOVI, M.; BRITO, J.; SHAMSABADI, E.A. **Durability performance of structural concrete containing silica fume and marble industry waste powder**. Journal of Cleaner Production, v.170, p.42-60, 2018.

LANGSCH, J. E.; CARRISSO, R. C. C.; PEITER, C. C. **Tratamento do efluente proveniente do corte de rochas ornamentais**. Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 23, 2009, Gramado/RS. Anais. Porto Alegre: 2009. p. 65 – 70.

LIMA, Rosa do Carmo de Oliveira. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduos de granito**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Federal de Campina Grande – Centro Tecnológico de Recursos Naturais. Campina Grande, 2010.

LÜBECK, A. **Resistividade elétrica de concretos de cimento Portland branco e elevados teores de escória de alto forno**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.

MCCARTER, W J et al. **Two-point concrete resistivity measurements: interfacial phenomena at the electrode–concrete contact zone**. Measurement Science And Technology, [s.l.], v. 26, n. 8, p.85-98, 10 jul. 2015. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/0957-0233/26/8/085007>.

SANTOS, J. G.; SILVA, S. S. F.; NASCIMENTO, N. M. S.; TRAJANO, M. F.; MELLO, V. S. **Caracterização da lam a abrasiva gerada nos processos de beneficiamento do granito: um estudo de caso na Granfugi localizado em Campina Grande**. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP. São Carlos - SP, 2010.

MELO, L.S.C. **Caracterização de compostos de cimento Portland confeccionados com resíduos do processamento a úmido de rochas ornamentais de origens distintas**. Mestrado em materiais de construção civil. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

MOTHÉ FILHO, H. F., POLIVANOV, P., MOTHÉ, C. G., **Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ Vol. 28-2 p.139-151, 2005.

PETRY, N. S.; DELONGUI, L.; MULLER, A. L.; MASUERO A. B.; DAL MOLIN, D. C. C. **Avaliação do uso de resíduos de marmoraria na produção de concretos**. Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 6, n. 2, p. 71-92, Jul. – Dez., 2017.

POLDER, R. B. **Test methods for on site measurement of resistivity of concrete** – a RILEM TC – 154 technical recommendation. Construction and Building Materials, v. 15, p. 125-131, 2000.

RANA, A., KALLA, P., CSETENYI, L. J. **Sustainable use of marble slurry in concrete**. Journal of Cleaner Production, v.94, p.304-311, May, 2015.

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

SINGH, M., SRIVASTAVA, A.; BHUNIA, D. **An investigation on effect of partial replacement of cement by waste marble slurry**. Construction and Building Materials, p. 471, Mar., 2017a.

VIJAYALAKSHMI, M., SEKAR, A.S.S., GANESH PRABHU, G. **Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste**. Construction and Building Materials, v.46, pp.1-7, 2013.