

ANÁLISE DO CONCRETO PRODUZIDO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUO DE MÁRMORE

Maria Luiza Ramalho de Araújo¹

Nathália Lins Gonzaga²

Josivaldo Sátiro³

Antônio Acácio de Melo Neto⁴

RESUMO

A construção civil é o setor com maior potencial para aproveitamento de diversos tipos de resíduos industriais. Diante disso, a intenção é cada vez mais explorar as várias possibilidades que já existem, realizando, assim, uma interação e/ou integração entre segmentos e cadeias produtivas. As indústrias de beneficiamento de mármore têm gerado grandes volumes de resíduos com potenciais para serem utilizados na construção civil como matéria prima alternativa. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas do concreto incorporado com resíduos de mármore em substituição ao agregado graúdo. Foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 10 cm x 20 cm com substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de mármore nos teores de 5% e 10% e foi determinada a absorção de água e resistência à compressão simples nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias. Observou-se que a substituição do agregado graúdo por resíduo de mármore possibilitou a obtenção de um concreto com propriedades que atendem aos parâmetros normativos, destacando o percentual de 10% de substituição que apresentou resistência à compressão simples aproximadamente 7% superior ao concreto de referência.

Palavras-chave: Concreto, Construção civil, Resíduo de mármore.

INTRODUÇÃO

Atualmente, devido ao crescimento populacional, associado à intensa industrialização e ao surgimento de novas tecnologias, o consumo de matéria-prima tem se tornado excessivo. A construção civil é um dos seguimentos industriais que mais causam impactos ambientais, uma vez que é responsável por um alto consumo dos recursos naturais, que geralmente são extraídos da natureza de forma desenfreada, além

¹ Mestranda do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, luiza.ramalho@ufpe.br;

² Mestranda pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, nathalia.lgonzaga@ufpe.br;

³ Doutorando do Curso de Engenharia Civil da Universidade da Beira Interior - UBI, Portugal, FibEnTech_josivaldo.satiro@ubi.pt;

⁴ Professor Doutor da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, antonio.meloneto@ufpe.br;

de gerar uma grande quantidade de resíduos, que geralmente são descartados de forma inadequada possuindo impacto direto sobre o meio ambiente (DOMENICO et al., 2018).

A utilização de resíduos na produção de concretos e argamassas tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores (SANTOS et al., 2012; MATTA et al., 2013; ALYAMAC E TUGRUL, 2014; KUMAYAMA, 2014). De acordo com Ferreira e Thomé (2011), alternativas viáveis para a diminuição do impacto ambiental causado pelo ramo da construção civil já estão sendo utilizadas em alguns países, como por exemplo, a produção de agregados reciclados em substituição aos agregados naturais e a incorporação de resíduos de construção em concretos e argamassas.

Nesse contexto, o concreto por apresentar diversas propriedades agregadas aos seus constituintes, possui um grande potencial para absorver componentes com características semelhantes aos seus elementos básicos que garantam as mesmas propriedades físicas e mecânicas. Diante disso, destaca-se a adição de resíduos gerados pela fabricação de rochas ornamentais no concreto como alternativa para a diminuição dos impactos ambientais, tanto pela incorporação de resíduos que anteriormente não possuíam destinação, quanto pela diminuição da exploração de recursos naturais.

Dentre esses resíduos, destaca-se o resíduo da indústria de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), proveniente do corte dessas rochas em chapas para o uso em vários ramos da construção civil. Segundo Rana et al. (2016), a quantidade total de resíduos provenientes do processamento dos blocos e placas de mármore varia dependendo de parâmetros como tipo de serra, método de corte e tipo de mármore e está entre 30% e 50% do volume de todos os blocos processados. De acordo com Kumayama (2014), a quantidade estimada da geração simultânea do resíduo desse resíduo no Brasil é de 240.000 toneladas/ano.

Desta forma, este estudo tem como principal objetivo avaliar o desempenho do concreto incorporado com resíduos de mármore em substituição ao agregado graúdo, avaliando as propriedades mecânicas a partir do ensaio de resistência à compressão simples do concreto e a propriedade de absorção de água, provendo assim, uma forma de destinação segura e sustentável para o resíduo de Mármore.

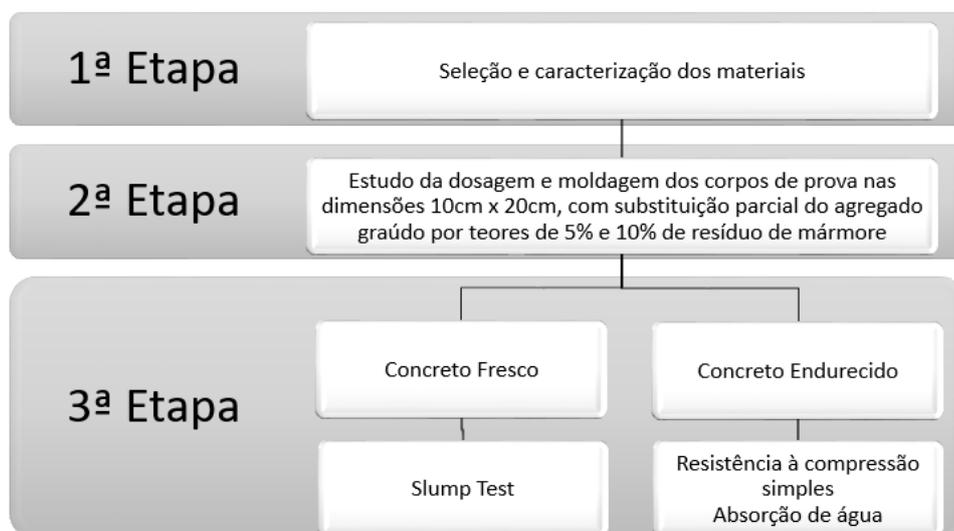
METODOLOGIA

Os materiais utilizados para a realização da pesquisa foram:

- Cimento portland: O cimento Portland utilizado para realização deste estudo foi o CII Z32 (Cimento Portland composto com adição de pozolana). Apresentando massa específica de $3,07 \text{ g/cm}^3$;
- Agregado graúdo: Brita de origem granítica, apresentando diâmetro máximo padronizado para brita 19 mm, apresentando massa específica de $2,77 \text{ g/cm}^3$, finura de 6,65 e diâmetro máximo 19,1 mm. Utilizou-se também a brita graduada de 9,5 mm, também chamada de “cascalhinho”.
- Agregado miúdo: Areia quartzoza do tipo natural proveniente de jazida do leito do Rio Paraíba, apresentando diâmetro máximo de 2,4 mm, finura igual a 2,45%, massa específica de $2,57 \text{ g/cm}^3$ e teor de materiais pulverulentos de 0,07%.
- Resíduo de mármore: O resíduo de mármore utilizado no desenvolvimento deste projeto foi proveniente da indústria GRANFUJI situada no distrito industrial de Campina Grande-PB.
- Água: Fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

Para o prosseguimento desta pesquisa foram desenvolvidas as etapas descritas no fluxograma a seguir:

Figura 1: Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Seleção e caracterização dos materiais

Nesta etapa foram selecionadas as matérias-primas, dentre elas os agregados que passaram por um processo de peneiramento a fim de separar impurezas indesejadas bem como diminuir a quantidade de material pulverulento. Para a caracterização física dos materiais foi realizado o ensaio de Massa Específica segundo o método de ensaio da NBR 11513 (ABNT, 2016) e o ensaio de Análise Granulométrica para determinar a granulometria dos agregados graúdos e miúdos segundo o método de ensaio da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Estudo da dosagem dos materiais e moldagem dos corpos de prova

A dosagem dos materiais foi realizada de acordo com a metodologia da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) a partir da caracterização dos elementos utilizados, sendo obtido o traço determinando a proporção dos materiais como sendo 1:2:3,14 com o fator água/cimento ($f_{a/c}$) de 0,58. O traço adotado como referência possui como resistência característica (f_{ck}) de 20 MPa. O ensaio para determinação da consistência do concreto - Slump Test foi executado de acordo com a norma técnica NBR 16889 (ABNT, 2020) e fixado entre (40 – 60 mm).

A moldagem dos corpos de prova foi estabelecida de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2016). Nesta pesquisa, foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões 100mm x 200mm tanto para o concreto de referência (CREF) quanto para os concretos com substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de mármore nos percentuais de 5% e 10%. Estipularam-se as idades de cura para o rompimento em 7, 14, 21 e 28 dias.

Após a moldagem, as amostras foram colocadas em uma superfície plana e sem vibrações por um período de 24 horas, após isso realizou-se o desmolde, identificação dos moldes e cura imersa dos corpos de prova em um tanque de cura.

Ensaio de resistência à compressão simples do concreto

A determinação da resistência à compressão axial do concreto foi realizada de acordo com o procedimento do método de ensaio da NBR 5739 (ABNT, 2018). A classificação do concreto em relação à resistência é determinada pela NBR 8953

(ABNT, 2015) de acordo com a resistência obtida pela idade de cura correspondente a 28 dias após moldagem.

A Figura 2 ilustra a realização do ensaio de resistência à compressão simples dos corpos de prova de concreto.

Figura 2: Resistência à compressão simples dos corpos de prova de concreto – (a) antes do rompimento (b) após o rompimento



(a)



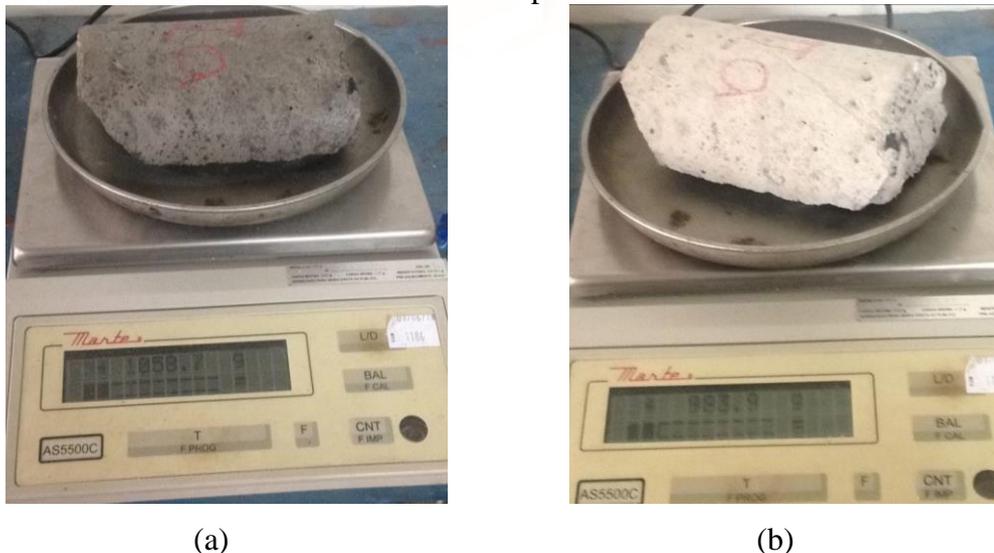
(b)

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Ensaio de absorção de água

A determinação da absorção dos corpos de prova dos concretos foi realizada segundo o método de ensaio descrito pela NBR 9778 (ABNT, 2009). A Figura 3 ilustra o ensaio de absorção de água por imersão dos corpos de concreto.

Figura 3: Ensaio de absorção de água por imersão – (a) amostra saturada (b) amostra seca em estufa na temperatura de 105°C



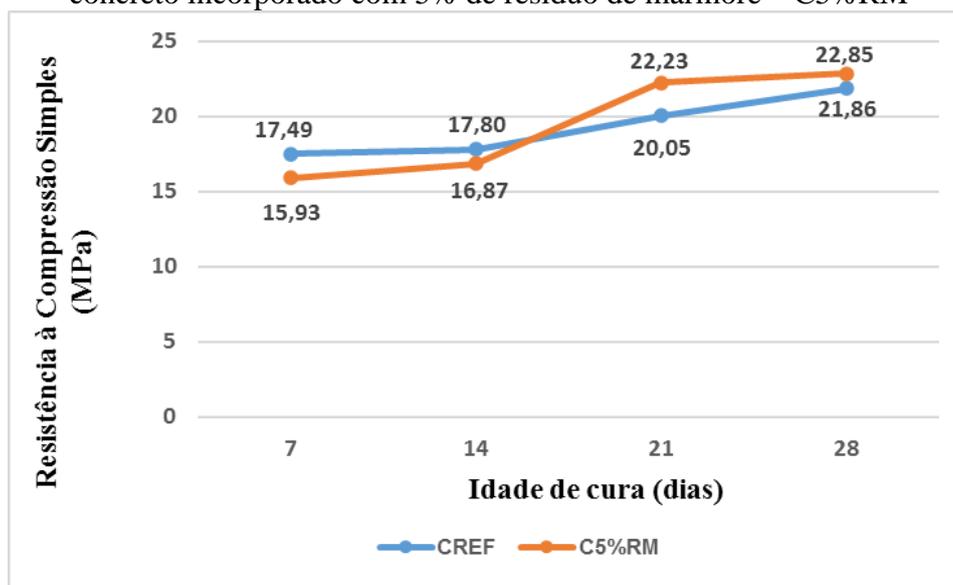
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resistência à compressão simples

A Figura 4 ilustra os resultados obtidos para a resistência a compressão simples do concreto de referência - CREF e do concreto com 5% de rejeitos de mármore.

Figura 4: Resistência à compressão simples do concreto de referência – CREF e do concreto incorporado com 5% de resíduo de mármore – C5%RM



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

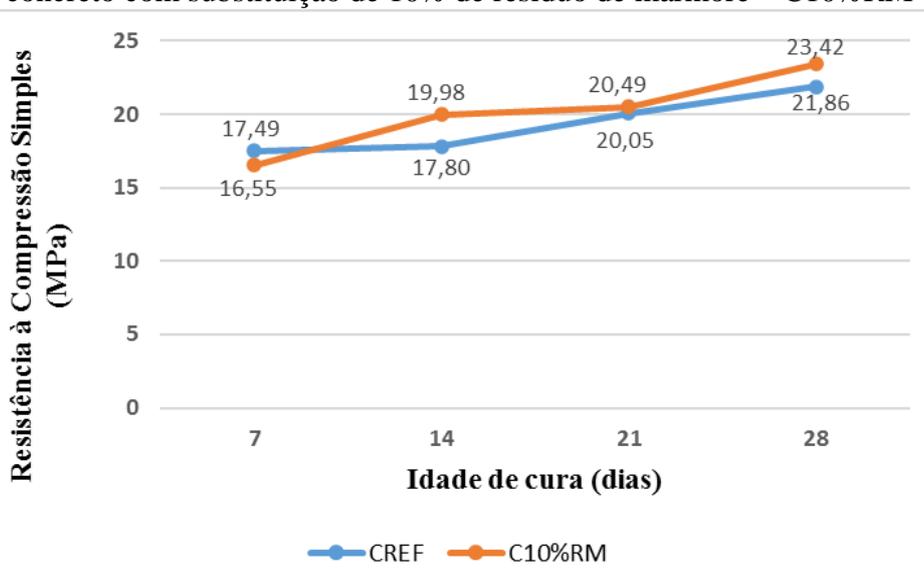
Analisando os resultados constata-se que a adição de 5% do resíduo de mármore em substituição do agregado graúdo convencional promoveu a elevação da resistência à compressão simples do concreto em comparação com o de referência, obtendo aos 28 dias um aumento de 4,53%. Observou-se que foi alcançada resistência superior à resistência característica (fck) determinada de 20MPa de acordo com a dosagem realizada, classificado como C20, ainda com 21 dias obtendo sua resistência máxima esperada aos 28 dias.

A partir da NBR 5739 (ABNT, 2018), para o concreto com 5% de substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de mármore, houve coeficiente de variação de 0,19 entre os valores das amostras apresentadas enquadrando-se como excelente na classificação, representando a menor dispersão entre os dados que foram obtidos.

Neville (2016) descreve que a resistência do concreto é influenciada pela textura e forma do agregado graúdo, contudo, essa influência é variável e está relacionado ao fator água/cimento da mistura realizada. Nos estudos de Tunc (2018), o efeito do uso de resíduos de mármore em concreto na resistência do concreto foi investigado e os resultados obtidos sugeriram que o uso de resíduo de mármore residual como substituto de agregado graúdo / miúdo, cimento e outros, melhorou a resistência do concreto o que corrobora com os resultados obtidos no presente trabalho.

A Figura 5 ilustra os resultados obtidos para a resistência a compressão simples do CREF em comparação com o C10%RM.

Figura 5: Resistência à compressão simples do concreto de referência – CREF e do concreto com substituição de 10% de resíduo de mármore – C10%RM



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Conforme resultados obtidos, verifica-se que a substituição do agregado graúdo natural por resíduo de mármore promoveu uma elevação da resistência para os teores de substituição nas idades de cura, observando-se que o aumento do percentual de substituição contribuiu para a obtenção de resistências mais elevadas, destacando-se o aumento do percentual de 10% de substituição que apresentou resistência a compressão simples cerca de 7% superior ao concreto de referência. Considerando o coeficiente de variação calculado de 1,17 classifica-se como um nível excelente segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018).

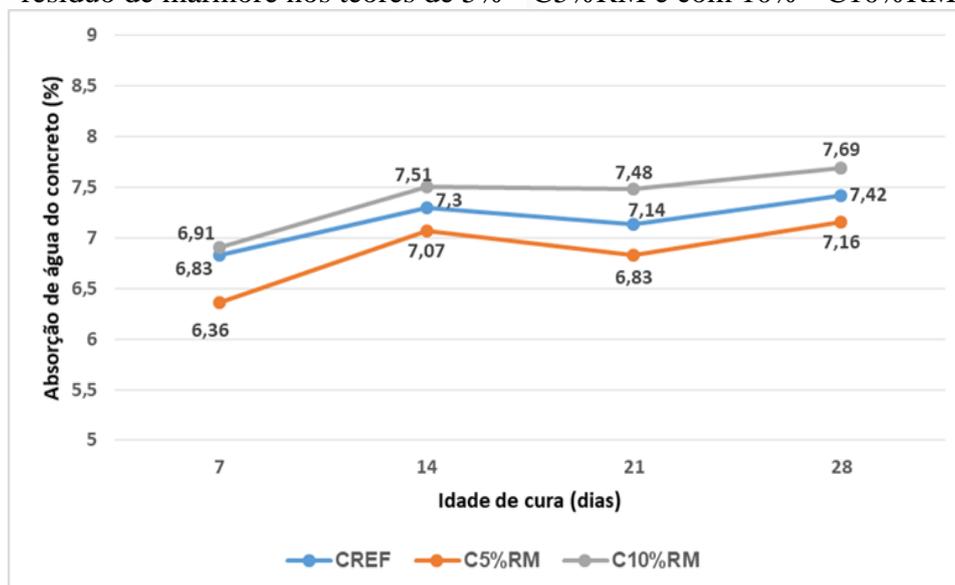
Alhadas (2008) verificou a influência do agregado graúdo provenientes de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto, observando que os resultados obtidos mostraram que o agregado graúdo, dentre os quais estava o calcário que possui origem geológica similar ao mármore, exerceu significativa influência na obtenção da resistência à compressão esperada para os concretos estudado.

Kore e Vyas (2016) produziram misturas com substituição do agregado de calcário de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% por resíduos de mármore. Foi observado que até 80% do uso de resíduos de mármore aumentou a resistência à compressão das amostras.

Absorção de água

A Figura 6 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água obtida para o concreto de referência – CREF, para o concreto com resíduos nos teores de 5% - C5%RM e para o concreto com 10% - C10%RM.

Figura 6: Absorção de água do concreto de referência – CREF e do concreto com resíduo de mármore nos teores de 5% - C5%RM e com 10% - C10%RM



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Conforme com os resultados obtidos, observa-se que a utilização do resíduo de mármore em substituição ao agregado graúdo não contribuiu para alterações significativas quanto à absorção de água do concreto. Os resultados obtidos são praticamente semelhantes aos valores verificados para o concreto de referência.

De acordo com Silva (2016), a absorção do concreto sofre interferência de diversos fatores, como exemplo, impurezas dos agregados, quantidade de água presente no traço, composição do cimento utilizado, bem como alterações humanas como o tratamento dado com os corpos de prova endurecidos, além das condições de realização de todo o ensaio.

Segundo Rodrigues (2015), valores de absorção estabelecidos entre 4% e 5% servem de indicação de concretos com permeabilidades mínimas, sendo materiais que se utilizados com função estrutural provavelmente apresentarão falhas devido exsudação. Porém os resultados obtidos nessa pesquisa apresentam absorções maiores que 6% para todos os corpos de prova, o que indica que poderiam ocasionar patologias no concreto decorrentes de um maior índice de vazios presentes, caso sejam utilizados como função estrutural.

O fato do concreto com maior quantidade de resíduo possuir uma maior absorção em relação aos demais é decorrente também das características físicas do mármore, por ser um material mais poroso que a brita. Contudo, somente com o ensaio de absorção

não é possível ter parâmetro ideal para classificar o concreto em estudo, sendo recomendado a realização de estudos sobre a microestrutura do concreto com o objetivo de entender com exatidão o processo analisado.

Gameiro et al. (2014) utilizaram resíduos obtidos em pedreiras de mármore para substituição do agregado nas taxas de 0%, 20%, 50% e 100%. O agregado de mármore adicionado afetou positivamente a absorção de água e os resultados indicaram que as características gerais obtidas com agregados de mármore em substituição aos agregados miúdos (especialmente na faixa de 50–100%) exibiram melhores desempenhos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos propostos neste estudo e com os resultados obtidos, pode-se considerar que a substituição do agregado graúdo com adição de 10% de resíduo de mármore apresentou resultados mais elevados para a resistência à compressão simples do concreto, enquadrando-se dentro da faixa de valores aceitáveis na literatura e acima da resistência estimada na pesquisa.

Para o ensaio de absorção de água observou-se que houve uma pequena variação entre os resultados obtidos entre o concreto de referência e os concretos com adição de 5% e 10% de resíduo de mármore, no entanto os resultados obtidos foram praticamente semelhantes ao verificados para o concreto de referência.

Com isso, a utilização do resíduo em componentes da construção civil, apresenta uma potencial alternativa para minimizar o descarte no meio ambiente, que agregará valor ao resíduo e contribuirá para a redução da extração de matérias-primas convencionais utilizadas na produção de concretos.

Vale destacar que apesar dos resultados satisfatórios apresentados do ponto de vista mecânico e de absorção de água, outras propriedades como a forma e textura do resíduo, bem como a microestrutura e durabilidade, devem ser analisadas em estudos futuros com o intuito de viabilizar a incorporação dos resíduos de mármore como agregados em concretos.

REFERÊNCIAS

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2002.

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

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupo de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11513**: Materiais granulares usados em fundição — Determinação da massa específica pelo uso do frasco volumétrico de “Le Chatelier”. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

ALHADAS, M. F. S. Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais**. Belo Horizonte: UFMG, 2008.

ALYAMAC, K.E., TUGRUL, E. A durable, eco-friendly and aesthetic concrete work: marble concrete. In: **11th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2014)**, vol. 50. pp. 21–25, 2014.

DOMENICO, Paulo Di *et al.* Influência do agregado miúdo reciclado na resistência à compressão e porosidade do concreto. Volume 8, n.1. **Revista Internacional de Ciências**, 2018.

FERREIRA, M. C.; THOMÉ, A. Utilização de resíduo da construção e demolição como reforço de um solo residual de basalto, servindo como base de fundações superficiais. N.18. **Passo Fundo: Teoria e Prática na Engenharia**, 2011.

GAMEIRO, F.; BRITO, J.; SILVA, D. “Durability performance of structural concrete containing fine aggregates from waste generated by marble quarrying”. **Eng Struct**, v. 59, n. 2, p. 654–62, 2014.

MATTA, V. R. P. *et al.* Efeitos da adição do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) no desempenho das argamassas de cimento portland no estado endurecido. **IX Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 1, p. 87-104, 2013.

KORE, S.D., VYAS, A.K. Impact of marble waste as coarse aggregate on properties of lean cement concrete. **Case Studies in Construction Materials**. 4, 85–92, 2016.

KUMAYAMA, R. Estudo da viabilidade do emprego do pó de mármore para produção de concreto autoadensável e substituição parcial dos agregados por pérolas de poliestireno expandido (EPS). São Paulo: **Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho**, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

RANA, A., KARLLA, P., VERMA, H., MOHNOT, J., 2016. Recycling of dimensional stone waste in concrete: a review. **J. Clean. Prod.** 135, 312-331.

RODRIGUES, M. A. Utilização dos resíduos de cortes de placas de mármore e granitos como adição na fabricação de concreto autoadensável. Manaus: **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Amazonas**, 2015.

SANTOS *et al.* Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito. v. 8, n. 8, p. 1818-1828. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, set./dez. 2012.

SILVA, J. B.; Avaliação do desempenho de blocos de concreto estrutural dosados com politereftalato etileno (PET) micronizado. Campina Grande: **Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande**, 2016.

TUNC, E. T. Recycling of marble waste: A review based on strength of concrete containing marble waste. In: **Journal of Environmental Management**, 2018.