ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUOS DE PEDRAS ORNAMENTAIS

Analysis of the performance of concrete with partial replacement of fine aggregate by waste ornamental stones

Moacir Braz da Silva Neto
Instituto Federal da Paraíba, Campus Cajazeiras | Cajazeiras, Paraíba | moacir.neto@academico.ifpb.edu.br

Alex Cauã Oliveira Araújo
Instituto Federal da Paraíba, Campus Cajazeiras | Cajazeiras, Paraíba | alex.caua@academico.ifpb.edu.br

Robson Arruda dos Santos
Instituto Federal da Paraíba, Campus Cajazeiras | Cajazeiras, Paraíba | robson.santos@ifpb.edu.br

Evelly de Souza Lira
Instituto Federal da Paraíba, Campus Cajazeiras | Cajazeiras, Paraíba | evelly.lira@academico.ifpb.edu.br

Jorge Luiz Martins Maciel
Instituto Federal da Paraíba, Campus Cajazeiras | Cajazeiras, Paraíba | jorge.martins@academico.ifpb.edu.br

Maria Mikaelly Lisboa Fernandes
Instituto Federal da Paraíba, Campus Cajazeiras | Cajazeiras, Paraíba | lisboa.mikaelly@academico.ifpb.edu.br

Josiel Lucas Crispim dos Santos
Instituto Federal da Paraíba, Campus Cajazeiras | Cajazeiras, Paraíba | josiel.lucas@academico.ifpb.edu.br

Resumo

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil. Objetiva-se com esse estudo substituir parte do agregado miúdo pelo pó de mármore (PM) gerado durante o corte da rocha, partindo do princípio que, essa aplicação reduz os impactos ambientais, pois estes resíduos seriam descartados inadequadamente na natureza, desse modo, estudar sua viabilidade de uso auxilia a tornar a construção civil mais sustentável. Assim, a areia fina no concreto estudado foi substituída por 20% e 30% de pó de mármore. Analisando o empacotamento dos materiais na mistura, se fez comparação, em relação às propriedades e à capacidade de migração de cloretos, compressão axial e absorção de água por capilaridade, com o concreto convencional. Finalmente, observou-se que a substituição potencializou a resistência à compressão do concreto, contudo, aumentou os valores de migração de cloretos devido ao refinamento dos poros.

Palavras-chave: Agregados; Concreto; Mármore; Natureza; Substituição.

ABSTRACT

Concrete, composed of coarse and fine aggregate, cement, water and additives, is one of the most used materials in civil construction. The objective of this study is to replace part of the fine aggregate with the marble dust generated during the cutting of the rock, assuming that this application reduces environmental impacts, since this debris would be inappropriately discarded in nature, thus studying its viability of use helps to make civil construction more sustainable. Thus, the fine sand in the studied concrete was replaced by 20% and 30% marble powder. Analyzing the packaging of the materials in the mixture, a comparison was made, in relation to the properties and capacity for chloride migration, axial compression and water absorption by capillarity, with conventional concrete. Finally, it was observed that the replacement increased the compressive strength of the concrete and reduced the chloride migration values due to the refinement of the pores.

Keywords: Aggregates; Concrete; Marble; Nature; Replacement.

1 INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais são muito utilizadas na construção civil, principalmente em revestimentos e equipamentos fixos como pias e balcões. Segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM) no Brasil, o consumo de rochas foi estimado em 6,0 Mt em 2017, impactado pela continuidade da retração do mercado da construção civil. Uma delas é o mármore, toda rocha carbonatada de origem sedimentar (calcário ou dolomito) ou metamórfica (mármore sensu stricto) (SILVA, MARGUERON, 2002), que, em 2018, a quantidade extraída no Brasil, 8 milhões de toneladas, representou cerca de 5,4% da extração mundial (MONTANI, 2019), para o comércio. Em contraponto, durante o corte para obtenção desse material, é gerado um alto nível de resíduo, que costumeiramente é descartado aos arredores das pedreiras e marmorarias, poluindo o solo e os mananciais.

A construção civil é uma das áreas que mais afetam negativamente o planeta. Segundo Salvador (2022), esse setor é responsável pela extração de cerca de 50% dos recursos naturais e quase 40% referente ao consumo de energia e às emissões de gás carbônico na atmosfera. Diante disso, é necessário procurar maneiras de evitar ou atenuar os danos causados ao meio ambiente por esse setor. O concreto, um dos materiais mais utilizados no mundo, sendo menos utilizado que água (GARCIA et al., 2014), é essencial na construção de estruturas, sendo produzido a partir da mistura de agregados miúdos, graúdos, água, cimento e aditivos, algumas partes dessa combinação são extraídos da natureza, podendo interferir no ecossistema de uma região, como os leitos de rios e lagos, na extração da areia, mudando os cursos d'água. Segundo Galvão (2008), a substituição de materiais poluentes na produção do concreto corresponde a uma perspectiva da atualidade referente às atividades de pesquisa da área de Tecnologia do Concreto e Meio Ambiente.

Desse modo, este trabalho visa utilizar os resíduos do corte de mármore como substituto da areia fina (agregado miúdo), já que os mesmos possuem características comuns: o pó de mármore (PM) é inerte; possui partículas finas; quando acrescentado à produção do concreto, auxilia em sua resistência mecânica e diminuindo a absorção de água. Diante disso, foi possível analisar a viabilidade da substituição e verificar sua eficiência, evidenciando que tal tecnologia pode ser uma alternativa empregada na fabricação de um concreto mais sustentável, tornando a construção civil aliada à preservação do meio ambiente.

Este artigo busca apresentar, a partir de ensaios de resistência à compressão, absorção de água por capilaridade e migração de cloretos, o comportamento do concreto tendo parte do seu agregado miúdo substituído por PM em 20% e 30%.

2 METODOLOGIA

Para a realização e comparação em relação à migração de cloretos, absorção por capilaridade e a resistência à compressão axial foram produzidos: concreto convencional (referência) e concretos com substituição de agregado miúdo por pó de mármore (20% e 30%).

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

O concreto produzido tem como aglomerante, cimento Portland composto com Fíller (CP-II-F). Obteve-se o agregado miúdo no comércio local, em Cajazeiras/PB, e o resíduo do mármore em uma marmoraria da referida cidade, o qual foi destorroado e passado na peneira 0,074 mm.

Os agregados e o resíduo de corte do mármore foram caracterizados por meio de sua análise granulométrica, referente às normas NM 248, 52 e 53 (2003); NBR 16972 (2021) e 16605 (2017). Tais materiais foram descritos (Tabela 1) nos laboratórios de Geologia, Tecnologia das Construções e Estruturas, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba *Campus* Cajazeiras.

Tabela 1: Resultado da caracterização dos agregados.

Material	Massa Específica (g/cm³)	Massa Unitária (g/cm³)	Módulo de Finura
Cimento	3,04	-	-
Areia Fina	2,65	1,64	2,41
Areia Média	2,63	1,61	2,32
Brita	2,50	1,45	3,21
Pó de Mármore	2,64	1,74	0,81

A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento pública da cidade de Cajazeiras. Para melhorar a trabalhabilidade do concreto, sem causar segregação dos materiais, foi utilizado o hiperplastificante ADVA Cast 525.

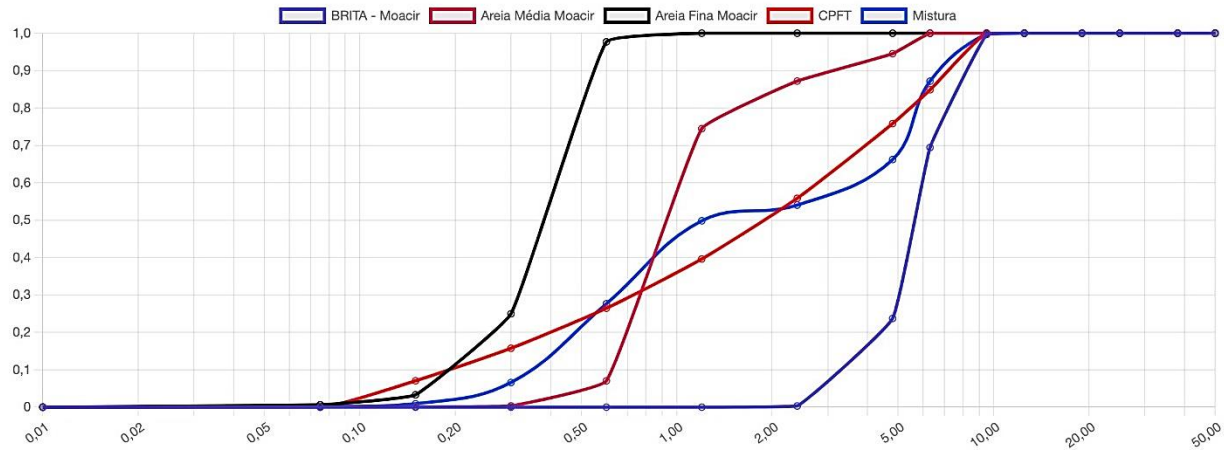
2.2 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Utilizando o método matemático de empacotamento, calculou-se um traço de referência, sem os resíduos, e a dosagem para realizar a substituição do agregado miúdo por 20% e 30% de resíduo de mármore, com a utilização de 1%, referente a massa de cimento, de aditivo plastificante, para o traço de referência e 1,1% para os traços com substituição, presentes na Tabela 2, com valores em quilograma. Manteve-se o fator água/cimento (a/c) em 0,48 para cada produção.

Tabela 2: Traço em Quilograma para Produção dos Concretos.

Formulação	Cimento	Resíduo de Mármore	Areia Fina	Areia Média	Brita	Água	Aditivo
0% (Referência)	7,60	0,00	9,35	11,50	15,10	3,70	0,076
20%	7,60	1,87	7,48	11,50	15,10	3,70	0,0836
30%	7,60	2,805	6,545	11,50	15,10	3,70	0,0836

Figura 1: Empacotamento das Partículas



Para cada traço referenciado, foram produzidos 8 Corpos de prova, segundo a NBR-5738, direcionados aos ensaios de resistência à compressão axial e absorção por capilaridade. Após 24 horas, foram desmoldados e imersos em água com cal, onde os corpos permaneceram por 7, 21 e 90 dias para obtenção da resistência à compressão axial, em um local seco para a realização do ensaio de absorção por capilaridade, segundo a NBR-9779, e separados para o ensaio de migração de cloretos, como na NT-*Build*-492.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados dos ensaios de compressão axial encontram-se na Figura 2. Comparando a resistência dos corpos de prova com 20% de substituição com os de referência, nota-se um aumento de 30,95% da resistência. Entre os corpos com 30% de substituição e o de referência, ocorre um aumento da resistência em 23,95%. Porém, comparando o de 30% com o de 20%, os corpos de 30% perdem 9,2% da resistência. Fato explicado pelo melhor empacotamento na mistura causado pelo PM.

Silva (2017) realizou o ensaio de compressão axial em corpos de prova com substituição de parte do agregado miúdo, em 10% e 20% de PM. Com base nos resultados observa-se que os elementos com 20% no período de 21 dias apresentaram cerca de 10 MPa, comparado aos resultados do presente artigo, com o mesmo índice de substituição, estes conseguiram resistir cerca de 300% a mais. Analisando os valores alcançados, observa-se que existe uma quantidade ideal para a substituição.

Segundo, Silva Júnior (2021), o PM como agregado miúdo contribui razoavelmente para o ganho de resistência dos concretos, fato que pode ser explicado pela alta resistência à compressão (cerca de 159 MPa), que o pó possui. Contrariando, o presente estudo mostrou que, quando há uma grande fração de substituição do agregado miúdo pelo PM, ocorre a redução da resistência; tal fato está associado ao empacotamento das partículas. Oliveira (2013) define o estudo de empacotamento das partículas como um problema de correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados, ou seja, precisa que esta proporção ocorra de forma ideal para que a propriedade de resistência adequada do concreto seja atingida. Esta

proporção ideal está na faixa de 20% de substituição, como observado a partir dos resultados desse trabalho, assim como quando comparado ao trabalho de outros autores, como o de Silva (2017).

Figura 2: Comparativo de resistência à compressão de cada porcentagem de adição por idade

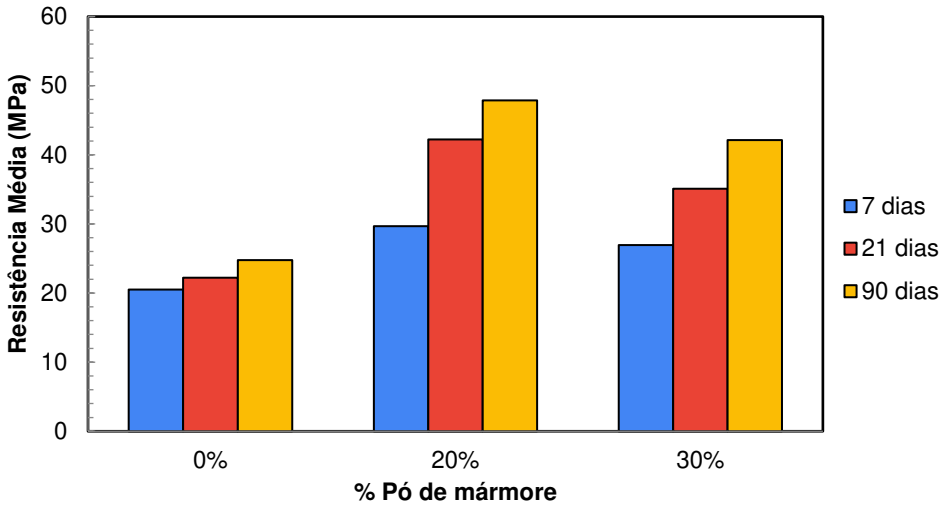


Figura 3: Corpos de prova rompidos axialmente



3.2 ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

A realização do ensaio de absorção por capilaridade aos 14 dias do desmolde dos corpos de prova e com 24 horas de secagem na estufa à temperatura de (105 ± 5) °C. As medidas aferidas da quantidade de água absorvida estão contidas no gráfico da Figura 4, no qual são relacionadas às horas descritas na norma NBR-9779.

Figura 4: Gráfico de Absorção por Capilaridade

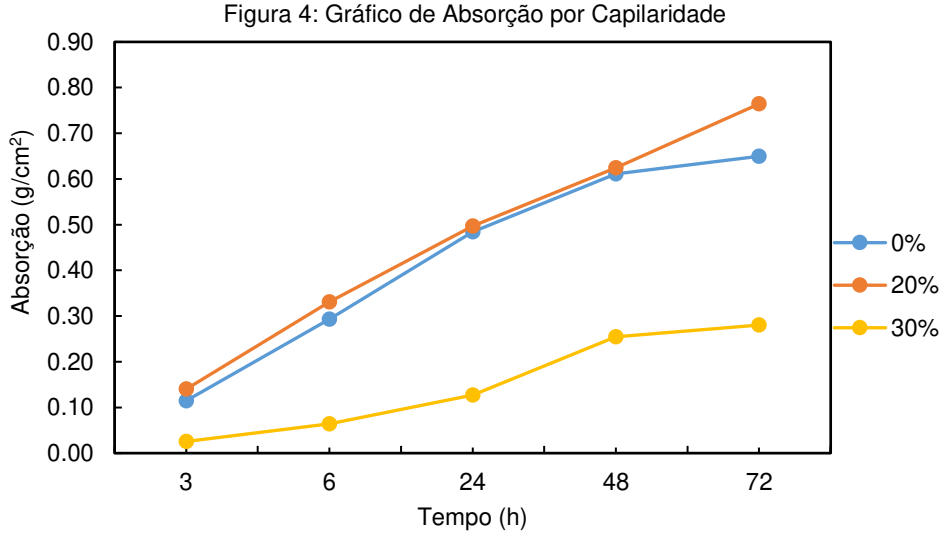
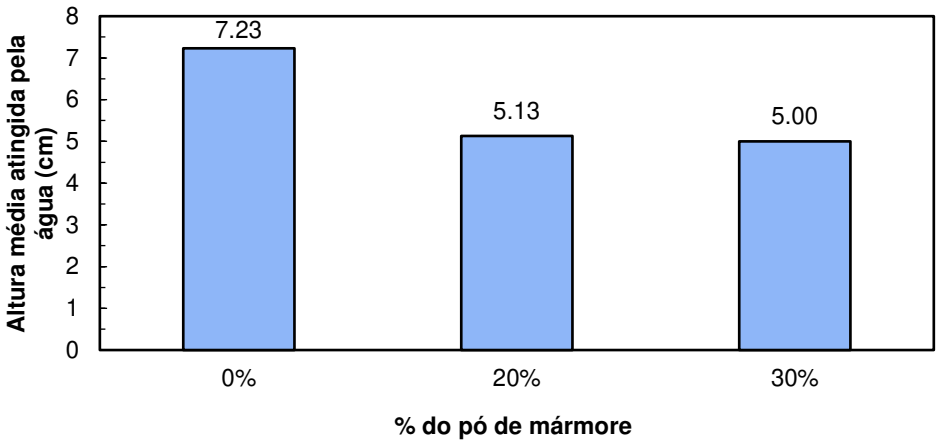


Figura 5: Gráfico de Altura da Absorção por Capilaridade



Fonte: Autoria própria

Figura 6: Corpos de prova – ensaio de absorção de capilaridade



Fonte: Autoria própria

O concreto com maior índice de absorção foi o de 20% de PM, por apresentarem capilares menores. Ademais, o concreto com 30% absorveu menos que os outros durante as primeiras horas, contrariando o que aconteceu com o de 20%. A proporção encontrada pode ser um fator de inflexão, no qual a quantidade de resíduo se torna suficiente para aumentar a densidade da mistura e, evitar a penetração da umidade no concreto.

Em seu estudo, Teixeira. F *et. al.* (2021) concluiu que o concreto com 7,5% do pó de pedra ornamental proporcionou uma redução da permeabilidade durante os ensaios, comparado às suas demais proporções de substituição (5% e 10%) estaria indicando uma adequada quantidade desse *filler* nesse ensaio. No presente artigo, os dados coletados sobre a absorção por capilaridade não condizem com o valor apresentado.

3.3. MIGRAÇÃO DE CLORETOS

Após 24 horas de aplicação da corrente elétrica nos corpos de concreto, conforme a NT-*Build*-492, anotou-se a voltagem individual dos corpos e rompidos verticalmente. Com a aspersão do nitrato de prata, houve a reação entre a substância e os íons de cloreto penetrados, gerando um resíduo de cor clara. Utilizando um paquímetro, realizou-se a medida da penetração conforme a norma. A partir de todos esses dados coletados anteriormente, calculou-se o coeficiente de migração em estado não estacionário, dado em m²/s, Dnssm, segundo a NT-*Build*-492, onde os resultados estão na Figura 7.

Pela Figura 8, pode-se observar que os corpos de prova de Referência apresentaram maior resistência na passagem de corrente elétrica, demonstrando que houve uma menor penetração dos íons cloreto. Os corpos de prova com 30% de substituição tiveram uma resistividade menor em comparação aos de 20%, confirmando que houve uma penetração maior de íons cloreto.

Júnior. F *et al*. (2021), no estudo referente à penetração de cloretos no concreto pozolânico, afirma, a partir dos dados coletados nos ensaios de compressão e migração de cloretos, que os concretos mais resistentes apresentam maior capacidade de barrar a entrada de cloretos. O resultado obtido com o PM, mesmo com a elevação da resistência mecânica, não demonstra bom desempenho em ambiente agressivo com cloreto, pois este material reduz a resistividade do concreto, como visto no trabalho de Maciel et al. (2019).

Figura 7: %Pó por Migração

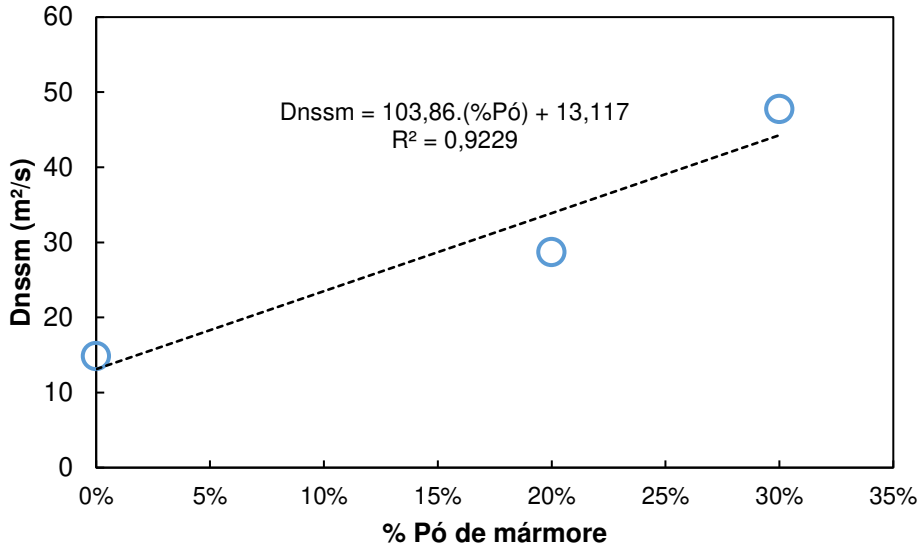


Figura 8: Migração por Resistência

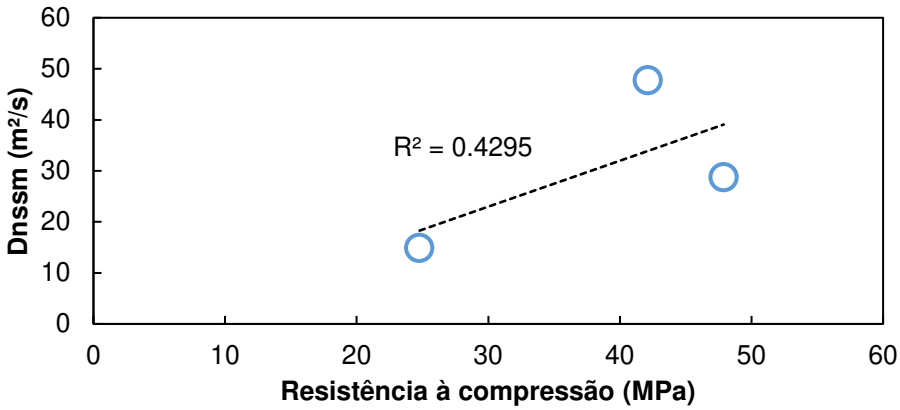


Figura 9: Reação do nitrato de prata com o cloreto penetrado



4 CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos, conclui-se que os corpos de prova com 20% de substituição do agregado miúdo apresentaram resultados satisfatórios de resistência mecânica. Embora os concretos com 20 e 30% de PM tenham apresentado o melhor desempenho mecânico, os resultados de migração de cloretos mostram que esta substituição pode acelerar o ingresso de cloreto na estrutura.

Percebe-se que existe uma quantidade ideal, por volta de 20%, demonstrada nos ensaios de resistência à compressão, absorção de água por capilaridade e migração de cloretos, pois o desempenho do concreto de 30% de PM cai consideravelmente.

Conclui-se que o resíduo proveniente do corte da pedra de mármore pode ser reutilizado na produção do concreto, melhorando suas propriedades mecânicas e, por consequência, diminuir o impacto da construção civil no planeta, fornecendo um destino mais eficiente àquilo que seria descartado de forma incorreta no ambiente, sem qualquer controle e cuidado. Contudo, deve haver uma dosagem focada em um esqueleto

granulométrico mais empacotado, que diminua a porosidade do material, visto a diminuição da resistividade do concreto causada pela substituição do agregado natural.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Rochas Ornamentais e de revestimentos.** Brasília, DF: ANM, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/Rochas_Ornamentais_SM_201810112020.pdf. Acesso em: 05 fev. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). (2021) **Panorama Nacional de Resíduos Sólidos 2021**. Disponível em: https://abrelpe.org.br/panorama-2021/. Acesso em: 30 mai. 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2009). **ABNT NBR 52 Agregado miúdo – determinação da massa específica e da massa específica aparente**. Disponível em: www.abnt.org.br

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2009). **ABNT NBR 53, Agregado graúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Disponível em: www.abnt.org.br

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009), **ABNT NBR 248, Agregado miúdo – determinação da composição granulométrica**. Disponível em: www.abnt.org.br

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007), **ABNT NBR 5739, Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Disponível em: www.abnt.org.br

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005), **ABNT NBR 9778, Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Disponível em: www.abnt.org.br

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012), **ABNT NBR 9779, Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Disponível em: www.abnt.org.br

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2004). **ABNT NBR 10004 - Resíduos sólidos - Classificação.** Disponível em: www.abnt.org.br

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2017). **ABNT NBR 16605 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Disponível em: www.abnt.org.br

BARBOSA, Rildo Pereira; IBRAHIN, Francini Imene Dias. **Resíduos sólidos: impactos, manejo e gestão ambiental.** São Paulo: Érica, p. 1-176, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002. **Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 nov. 2002.

ENAP - Escola Nacional de Administração Pública. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da ENAP**. 2. ed. Brasília, DF: ENAP, 2018. Disponível em: https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4923/1/PGRS_ENAP_R2.pdf. Acesso em: 30 mai. 2023.

ENILDO TALES FERREIRA. **Estudo de Resíduos da Construção Civil para Concreto Estrutural Aplicado em Lajes Pré-Moldadas.** [s.l.] Editora Appris, 2022.

FUSCO, Pericles Brasiliense; ONISHI, Minoru. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto.** Cengage Learning, 2017.

GALVÃO, J. **Uso de materiais poliméricos reciclados em estruturas de concreto para superfícies hidráulicas.** 2010.

GARCIA, A.; SPIN, J. A.; SANTOS, C. A.. **Ensaios dos materiais**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

JÚNIOR, F.; WALLY, G.; MORAIS, M.; MATTOS, A.; TEIXEIRA, F.; MAGALHÃES, F. **Penetração de cloretos em concretos com cimento pozolânico: aplicação dos métodos ASTM C1202 e NT Build 492**. RETEC, Ourinhos, v. 12, n. 1, p. 17-30, jan./jun., 2019.

KAROLLINY, K.; VALÉRIO, L.; VIEIRA, R.; ALEXANDRE, C. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de pó de granito como adição no concreto.** [s.l: s.n.]. Disponível em: https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2021/06/revista-mundo-tecnologico-v12-n14-artigo02.pdf. Acesso em: 5 fev. 2023.

KUMAYAMA, Rosemarie et al. **Estudo da viabilidade do emprego de pó de mármore para produção de concreto auto-adensável e substituição parcial dos agregados por pérolas de poliestireno expandido** (EPS. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 10, n. 2, 2015.

LELLES, LEANDRO CAMILLO de et al. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água**. Revista Árvore, v. 29, p. 439-444, 2005

MACIEL, Kuelson Rândello Dantas et al. **Utilização do resíduo de mármore e granito no concreto: lacunas no conhecimento**, v. 6, p. 266-281, 2019.

MONTANI, CARLOS. **XXX Relatório mármore e rochas no mundo 2019: Dossiê Brasil. Brasília: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**, 2019. Disponível em:https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Dossier_Brazil_2019-mailing.pdf. Acesso: 5 fev. 2023.

NEVILLE, ADAM M. **Propriedades do Concreto. 5. ed**. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto.** 2 ed., São Paulo: Bookman, 2013. 390 p

OLIVEIRA, C. O. **Analise das propriedades reológicas de materiais cimentícios associando o conceito de empacotamento de partículas.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, p. 141, 2013.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança; CRIVELARO, Marcos. **Materiais de Construção.** 2. ed. São Paulo: Érica, 2016.

SALVADOR, PAULO. **Construção civil busca soluções sustentáveis: Monitor Mercantil**, 2022. Disponível em: https://monitormercantil.com.br/construcao-civil-busca-solucoes-sustentaveis/. Acesso em: 5. fev. 2023

SENA, M. O.; LISBOA, D. C. S.; ROCHA, L. N.; ZENKNER, L. S.; CORDEIRO, F. S.; MULLER, R. M. L.; SANTANA, C. G.. **Utilização do resíduo do corte do mármore e granito como adição no concreto.** Engineering Sciences, v.8, n.1, p.27-37, 2020.

SILVA, Rosana Elisa Coppedê; MARGUERON, Claudio. **Estudo geológico: técnico de uma pedreira de rocha ornamental no município de Santo Antônio de Pádua-Rio de Janeiro.** Anuário do Instituto de Geociências, v. 25, p. 125-150, 2002.

SILVA, Rafael Vieira da. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do concreto incorporado com resíduo de mármore em pó.** 2017.

SILVA JÚNIOR, Gilber da. **O efeito filler em blocos de pavimentação com uso do pó de mármore.** 2021.

TAGUCHI, S. P., SANTOS, J. C., GOMES, T. M., et al, **Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado**, Cerâmica, v. 60, n. 354, pp. 291-296, Ago. 2014.

TEIXEIRA,F .R.; WALLY, G .B.; MAGALHÃES, F. C.; JUNIOR, F. K. S.; PALIGA, C. M.; TORRES, A. S., **Avaliação de propriedades relacionadas à penetração de cloretos em concretos produzidos com substituição parcial de cimento por resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais.** Revista Matéria v. 23 n. 03, 2021.