Capítulo 01

Uso dos Resíduos de Pedra São Tomé da Cidade de Castelo do Piauí na Produção de Concreto

Use of São Tomé Stone Waste from the City of Castelo do Piauí in Concrete Production

Diego Angeles Carvalho Macedo
Felipe José Amâncio Holanda

Resumo: Os agregados artificiais oriundos de rochas ornamentais, em especial a pedra Morisca, se tornaram uma boa alternativa na produção de concretos e redução dos impactos ao meio ambiente. Com isso, a pesquisa objetiva analisar a viabilidade técnica do reaproveitamento do pó da pedra Morisca na produção de concreto. Sua metodologia é de cunho quantitativo e experimental. Com a coleta de dados realizada in loco pôde-se analisar a extração da pedra, conhecer e registrar as etapas, os métodos de extração, as ferramentas utilizadas pelos operários e a observar do desperdício do material. A análise de dados foi feita com a confecção dos corpos de prova com substituição parcial do aglomerante pelo pó da pedra Morisca (PM) com 5%, 7,5%, 10% e 12,5 % em massa, e realizado ensaios de granulometria, de consistência e de resistência a compressão simples. Dentre os resultados, no ensaio de resistência à compressão, observou-se que o traço de referência não atingiu o valor de resistência esperado de 25 Mpa. Na amostra com 5% a resistência diminuiu, com 7,5% houve um aumento e partir das demais substituições tornou a diminuir. Em todos os traços não se obteve a resistência especificada, sendo assim, nenhum dos traços tornou-se viável para a utilização em concretos estruturais.

Palavras-chave: resíduo de pedra; material alternativo; resistência à compressão.

Abstract: Artificial aggregates from ornamental rocks, especially Morisca stone, have become a good alternative in the production of concrete and reduction of impacts on the environment. With this, the research aims to analyze the technical feasibility of reusing the powder of Morisca stone in the production of concrete. Its methodology is quantitative and experimental. With the data collection carried out in loco, it was possible to analyze the extraction of the stone, to know and record the steps, the extraction methods, the tools used by the workers and to observe the waste of the material. Data analysis was performed with the preparation of specimens with partial replacement of the binder by Morisca stone powder (PM) with 5%, 7.5%, 10% and 12.5% by mass, and granulometry tests were performed, consistency and simple compressive strength. Among the results, in the compressive strength test, it was observed that the reference trace did not reach the expected strength value of 25 Mpa. In the sample with 5% the resistance decreased, with 7.5% there was an increase and from the other substitutions it decreased again. In all traces, the specified strength was not obtained, therefore, none of the traces became viable for use in structural concrete.

Keywords: stone residue; alternative materia; compressive strength.

INTRODUÇÃO

O concreto é o principal material de construção da atualidade por suas várias formas em que se apresenta, por exemplo, como simples, armado, protendido

DOI: 10.47573/aya.5379.3.8.1

etc. Sendo um elemento composto por cimento, água, agregado miúdo, agregado graúdo, além do ar, podendo ou não, conter aditivos e adições para melhorar ou até mesmo modificar suas propriedades, afim de promover o melhor desempenho. É essencial que a dosagem possua uma mistura ideal de uma maneira econômica com os materiais disponíveis na região [1].

As propriedades que são fundamentais desse material são: estabilidade direcional, resistência e durabilidade. Porém a que mais se destaca e necessita de maior controle é a resistência, onde tem uma proporção inversa com quantidade de vazios (porosidade) e esta por sua vez possui relação direta com o fator água-cimento, onde quanto mais poroso for a microestrutura será menos resistente. Por isso é essencial fazer uma boa escolha dos materiais apropriados e de suas proporções [2].

Assim, os agregados artificiais oriundos de rochas ornamentais tornaram-se uma alternativa útil não somente por melhorar as propriedades do concreto substituindo total ou parcialmente o cimento portland, mas como alternativa para diminuir os agravantes dos impactos ao meio ambiente através da extração da areia natural. O excedente que antes seria descartado na natureza seja utilizado como agregado miúdo [3].

A pedra Morisca se inclue como um resíduo especial por ser bastante utilizado no Brasil e países afora. É formada por camadas contínuas e espessuras variáveis no qual seu aproveitamento é controlado pela fratura e a variação da composição dessas camadas constituintes, que é um fator primordial para que a rocha se quebre em camadas (folhas), fator condicionante para o aproveitamento na jazida como utilização ornamental e como revestimento [4].

Por esse motivo, ao se falar em concreto, é notável a busca incessante por novos meios que darão mais economia ao construir, e é por isso já existem vários estudos como também aplicações de alternativas para a reutilização dos resíduos dos processos de lavra e de beneficiamento da pedra morisca. Um exemplo é o recorte primário das rochas sendo reutilizados na própria pedreira e como forma de artesanato, e já os resíduos da porção secundária, podem ser reutilizados mais especificamente na construção civil na indústria cimentícia, em argamassas, e no caso desse estudo, são reutilizadas no concreto [5].

Diante disso, este estudo tem como intuito avaliar a viabilidade em se produzir concreto com o pó residual gerado através do beneficiamento da pedra de Castelo.

METODOLOGIA

A metodologia é do tipo quantitativa, visto que utilizar o pó da pedra na produção do concreto, todas as características devem ser avaliadas, principalmente quando se refere a novos tipos de materiais como é o caso da pedra Morisca, onde a viabilidade técnica dependerá dos resultados dos testes sobre o comportamento deste quando atribuído ao concreto.

Para análise dos dados, registros fotográficos foram realizados para auxiliar na elaboração da demonstração do ensaio de granulometria, visto que ajuda a examinar e relacionar o tamanho dos grãos em relação aos outros durante o peneiramento, assim como a numeração das peneiras. Após isso o material foi incorporado ao concreto fresco no laboratório. Os ensaios efetuados a fim de comparar o concreto com resíduo da rocha com o natural foram: granulometria, consistência e resistência à compressão.

Materiais

Cimento Portland

O cimento utilizado foi o Cimento Portland CPII32–E, da marca POTY, adquirido no comércio local na cidade de Teresina/PI (figura 1). O material estava em perfeito estado de conservação, anteriormente foi armazenado em ambiente fechado, seco e sem presença de umidade, sem contato direto com o chão, distante a 10 cm do chão e 30 cm da parede.

Figura 1 – Cimento Portland.

Fonte: autoria própria.

Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado, figura 2, foi do tipo seixo e estava ausente de matéria orgânica.

Figura 2 – Agregado graúdo (Seixo).

Fonte: autoria própria.

Agregado Miúdo

O agregado miúdo foi areia natural fina (0,018 mm), ver figura 3.

Figura 3 – Agregado miúdo (Areia).

Fonte: autoria própria.

Água de amassamento

A água de amassamento usada foi disponibilizada pelo Centro Universitário Santo Agostinho. Esta possui características físicas e químicas adequadas para a produção do concreto, ver figura 4.

Figura 4 – Água de amassamento.

Fonte: autoria própria.

Resíduo de beneficiamento da pedra Morisca

As jazidas de extração da pedra morisca ficam localizadas na cidade de Castelo do Piauí, esta se encontra na zona rural da cidade, à 189,3 Km da capital Teresina. A empresa estudada, dedica-se à extração, beneficiamento e exportação de rochas ornamentais, principalmente pedra morisca e é bastante importante para o setor econômico local, do estado e até mesmo para o país visto que promove exportação para vários países.

Foi utilizado o pó do resíduo da pedra Morisca gerado no processo de beneficiamento, onde ocorre o corte ou polimento e foi usado para substituição parcial como aglomerante. O pó utilizado foi mantido com os mesmos cuidados do cimento e foi destorroado antes do amassamento, está representado na figura 5.

Figura 5 – Pó da pedra Morisca.

Fonte: autoria própria.

Confecção de Corpo de Prova

Os traços foram constituídos por Cimento Portland, areia natural, seixo e pó de pedra Morisca em suas devidas proporções de 1: 2,4: 3,28, para obtenção de um fck de 25 MPa, tomando como referência o traço com 100% de cimento portland

(TR). No total foram feitos cinco traços, o traço de referência (TR), e mais quatro com substituição parcial do aglomerante cimento portland pelo pó da pedra Morisca (PM) com 5%, 7,5%, 10% e 12,5 % em massa. A relação a/c é de 0,64 para o TR e foi repetida para as demais proporções, ver na tabela 1.

Tabela 1 – Proporção das misturas [6].

Substituição (%)	Cimento kg	Areia Natural (kg)	PM (kg)	Seixo (kg)	Fator a/c
TR	7,00	16,8	0	22,96	0,64
5%	6,65	16,8	0,350	22,96	0,64
7,5%	6,475	16,8	0,525	22,96	0,64
10%	6,30	16,8	0,700	22,96	0,64
12,5%	6,125	16,8	0,875	22,96	0,64

Fonte: Teixeira *et al.* 2020.

Os dados da tabela 1, estão de acordo com os parâmetros de segurança da NBR 6118/2021 [7] entre a classe de agressividade e qualidade do concreto.

Moldagem e cura dos corpos de prova (cp's)

Foram moldados três corpos de prova cilíndricos com dimensões de (100x200) mm para cada traço definido como mostra na Figura 6, totalizando 15 corpos de prova. Em seguida foram curados inicialmente nas primeiras 24h, após isso foi realizado o desmolde e colocados em cura úmida em um tanque com água até os 28 dias a partir do término da moldagem, como mostram as Figuras 6 e 7. A moldagem foi realizada conforme diretrizes da NBR [8]. Posteriormente, dado os 28 dias de cura, foi feito o ensaio de resistência à compressão.

Figura 6 – Moldagem de corpo de prova.

Fonte: autoria própria.

Figura 7 – Cura úmida.

Fonte: autoria própria.

Ensaios realizados

Granulometria

Realizou-se a caracterização dos resíduos da pedra Morisca para a determinação da distribuição granulométrica e dimensão máxima característica. Foi realizada por peneiramento com o agitador de peneiras, conforme a NBR [9], afim de obter granulometria uniforme para ser usada como aglomerante e verificar o diâmetro médio, o peneiramento está representado na figura 8.

Figura 8 – Ensaio de peneiramento.

Fonte: autoria própria.

Durante o ensaio de peneiramento foi colocado a amostra na peneira de 9,5 mm e ligado o agitador de peneiras. Ao final do processo foi pesado o material retido em cada peneira e calculado a porcentagem em relação a amostra total, também foi identificada o diâmetro médio.

Ensaio do concreto - estado fresco

Consistência

O ensaio de consistência foi realizado por meio de ensaio de abatimento do tronco de cone de acordo com a NBR [10] e foi feito para cada traço e verificado os valores de abatimento em milímetros.

Ensaio do concreto - estado endurecido

Resistência à compressão

Foram utilizados seis corpos de prova, para cada traço com dimensões de (100x200) mm, aos 28 dias de cura, seguindo a NBR [11]. O ensaio foi realizado com a aplicação de uma prensa hidráulica, disponibilizada pelo laboratório de concreto do Centro Universitário Santo Agostinho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização granulométrica do pó da pedra Morisca

Para a análise da distribuição granulométrica (tabela 2) foram realizados dois ensaios, com o intuito de verificar se houve notável variação no somatório de massa retida em relação a cada peneira. Acerca disso foi verificado que as maiores variações foram nas peneiras de 1,8 e 0,3 mm, o equivalente a 0,33%, já sobre a massa retida média em porcentagem foram obtido os valores de 0,0%; 0,0%; 0,42%; 6,60%; 12,56%; 19,03%, 12,56%, 8,63% e 40, 21% para as peneiras de 9,5 mm; 6,3mm; 4,75mm; 2,36mm; 1,18mm; 0,6mm; 0,3mm; 0,15mm e fundo, respectivamente, resultando em grande quantidade de finos.

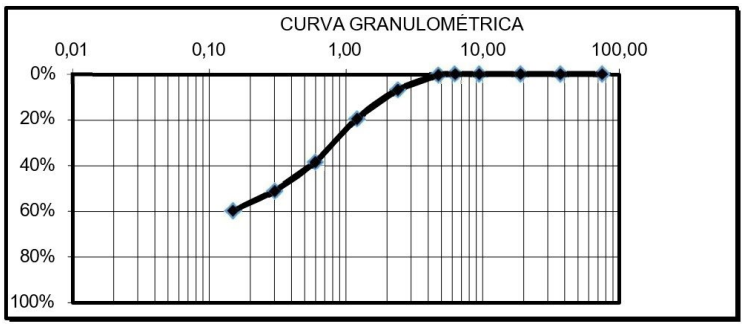
Tabela 2 – Granulometria do pó da pedra Morisca.

Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa fina seca (g)=	500			Massa retida Var. +- 4%	Massa retida média (%)	Massa Retida Acum. (%)
	b) massa fina seca (g)=	500					
	Massa retida (g)		Massa retida (%)				
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b			
9,5	0	0	0,0%	0,0%	0%	0%	0,00%
6,3	0	0	0,0%	0,0%	0%	0%	0,00%
4,75	2	2,1	0,4%	0,4%	0%	0%	0,42%
2,36	33,3	31,9	6,8%	6,4%	0%	7%	7,02%
1,18	61	63	12,4%	12,7%	0%	13%	19,58%
0,6	94	93,9	19,1%	19,0%	0%	19%	38,61%
0,3	61	63	12,4%	12,7%	0%	13%	51,16%
0,15	43	42,2	8,7%	8,5%	0%	9%	59,79%
Fundo	198	199	40,2%	40,2%	0%	40%	100,00%
Total	492,3	495,1	-	-	-		-

Fonte: autoria própria.

A partir da massa retida acumulada foi elaborado a curva granulométrica do aglomerante oriundo do resíduo da pedra Morisca, sendo utilizado os dados do ensaio b pois foi o que se obteve menos perdas de massa. Foi observado que o diâmetro médio é 34,90 micrômetros, ou 0,03490 milímetros, o equivalente a 50% da massa acumulada retida, como mostra o gráfico 1.

Gráfico 1– Curva de distribuição granulométrica do pó da pedra Morisca.



Fonte: autoria própria.

De acordo com a NBR [12] o material que fica retido por lavagem na peneira de 0,075 mm (Nº 200) é considerado areia e o que passa se enquadra como silte ou argila e após a análise do material e ter constatado que este é muito fino, passando

100%. Com isso, torna-se inviável a utilização como agregado, por isso a pesquisa foi reajustada para ser utilizada como aglomerante, onde sua granulometria se encaixa, o processo do ensaio e a quantidade passante estão representados nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

Figura 9 – Ensaio de determinação de material fino passante na peneira de 0,075 mm.

Fonte: autoria própria.

Durante o ensaio o material foi lavado e percebeu-se que o material passava pela peneira sem dificuldade, demonstrando grande quantidade de finos.

Figura 10 – Material passante na peneira de 0,075 mm.

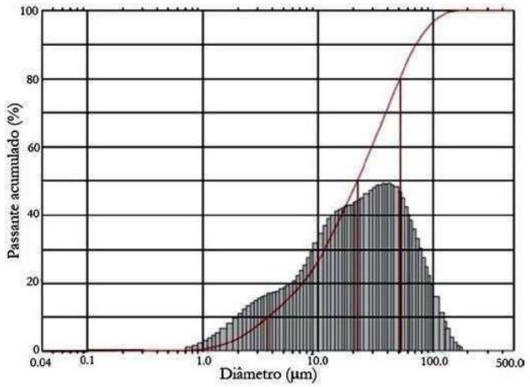
Fonte: autoria própria.

Na figura 10 fica evidente que todo o material passou pela peneira de 0,075 mm, na porção inferior da imagem encontra- se o resíduo na pia.

É importante frisar que não foram encontrados resultados de pesquisas anteriores que contemplem os estudos sobre a utilização do pó da pedra Morisca

como aglomerante em substituição parcial pelo cimento Portland. Com isso foi realizado a comparação com outro tipo de pedra. O resíduo de beneficiamento de rocha ornamental (RBRO) estudado é composto principalmente por quartzito, assim como a pedra Morisca, sendo observado que o diâmetro médio é 30,95 micrômetros, ou 0,03095 milímetros, ver gráfico 2.

Gráfico 2 – Curvas de distribuição granulométrica do RBRO.



Fonte: Teixeira *et al.* 2020.

Por meio da comparação dos resultados foi possível averiguar que os diâmetros médios se assemelham, porém, a distribuição granulométrica do RBRO fica restrita a 0,001mm a 0,2 mm e o pó da pedra morisca fica na faixa de 0,0015 a 4,75 mm.

Consistência

O ensaio foi realizado para cada traço executado, obtendo como resultado de abatimento de 10 mm para o traço de referência (TR), havendo um acréscimo a partir daí, com 13mm para 5% de substituição, 53 mm para 7,5%, 66mm para 10% e 75 mm para 12,5%. Na tabela 3 está representado os valores encontrados.

Tabela 3 – Consistência.

% de substituição	Consistência (mm)
TR	10
5	13
7,5	53
10	66
12,5	75

Fonte: autoria própria.

Diante dos resultados encontrados foi comprovado que para o TR e substituição de 5% não foi obtido trabalhabilidade aceitável para o TR, visto os abatimentos tem características muito baixa (0-10) e baixa (15-30), respectivamente. Já as demais substituições obtivem uma consistência média (35-75), ver figuras 11, 12, 13, 14 e 15.

Figura 11 – Abatimento para o traço de Referência.

Fonte: autoria própria.

A partir da análise da figura 12 é possível verificar que o abatimento, portanto a consistência, está muito baixa.

Figura 12 – Abatimento para substituição com 5% do pó da pedra Morisca.

Fonte: autoria própria.

A diferença de abatimento do traço anterior para o com substituição tem uma diferença de apenas 3 mm, com característica de consistência baixa.

Figura 13 – Abatimento para substituição com 7,5% do pó da pedra Morisca.

Fonte: autoria própria.

A partir da substituição de 7,5% é possível notar que o abatimento tem um aumento mais considerável, nesse traço verificou-se que foi obtido consistência média.

Figura 14 – Abatimento para substituição com 10% do pó da pedra Morisca.

Fonte: autoria própria.

A substituição de 10% também trouxe valores de consistência média, assim como o de 7,5%.

Figura 15 – Abatimento para substituição com 12,5% do pó da pedra Morisca.

Fonte: autoria própria.

Com a substituição de 12,5% notou-se que houve um abatimento bem maior que os demais citados anteriormente, mas ainda se encaixava na consistência média.

De acordo com a tabela 4 pode-se observar que à medida que aumenta o teor de substituição presente na mistura, também aumenta a trabalhabilidade, fato que pode ser explicado pelo fator do pó da pedra Morisca tenha quantidade de finos menor que o cimento Portland. Para o traço de referência e o com 5% de substituição possuem consistência seca, o que tornam inviáveis para serem utilizados, os com substituição de 7,5% tem consistência plástica e os com 10% e 12,5% estão na faixa de consistência branda. Sendo assim os três últimos citados se enquadram na zona aceitável para ser utilizado na construção civil como concreto estrutural, com a observação de que deve seguir um parâmetro para cada tipo de constrição.

Resistência à compressão

Obedecendo os procedimentos da NBR [11], os valores encontrados de resistência nos 28 dias de cura estão representados na tabela 4.

Tabela 4 – Ensaio de resistência à compressão.

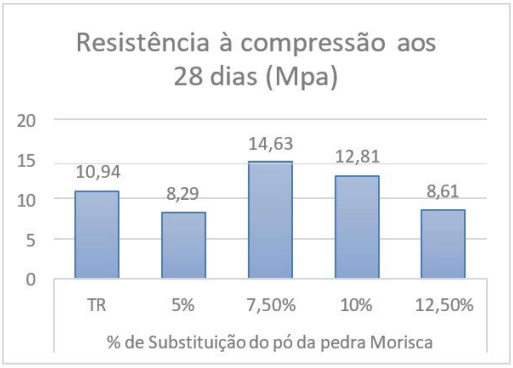
% de substituição	Resistência a compressão aos 28dias (Mpa)	Resistência a compressão aos 28dias (tf)	Concreto Fck	Data de moldagem	SLUMP (mm)	28 dias Data
TR	10,94	8,59	25 Mpa	23/10/2021	10	21/11/2021
5%	8,29	6,50	25 Mpa	24/10/2021	13	22/11/2021
7,5%	14,63	11,51	25 MPa	25/10/2021	53	23/11/2021
10%	12,81	10,06	25 MPa	26/10/2021	66	24/11/2021
12,5%	8,61	6,76	25 MPa	27/10/2021	75	25/11/2021

% de substituição	Resistência a compressão aos 28dias (Mpa)	Resistência a compressão aos 28dias (tf)	Concreto Fck	Data de moldagem	SLUMP (mm)	28 dias Data
DESVIO PADRÃO	2,73	2,14			0,48	
Média	10,94	8,59			9,6	
K	1,2	1,2			1,2	
Xmáx	12,14	9,79			10,8	
Xmín	9,74	7,39			8,4	

Fonte: autoria própria.

No traço de referência TR foi obtido o valor de 10,94 Mpa e para o traço com 5% houve uma diminuição para 8,29 Mpa. Já para 7,5% de substituição encontrou-se 14,63 Mpa, em 10% foi de 12,81 MPa e para 12,5% o valor de 8,61 Mpa. Na figura 16 demonstra com detalhes os resultados encontrados no ensaio de compressão uniaxial.

Figura 16 – Resistência à compressão.



Fonte: autoria própria.

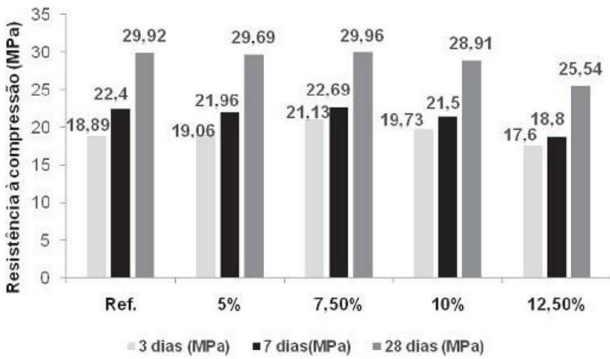
Ao analisar os resultados, observou-se que o traço de referência não atingiu o valor de resistência esperado que seria de 25 Mpa. Na medida que foi feita a substituição para 5% a resistência diminuiu mais, com 7,5% houve um aumento e partir das demais substituição voltaram a diminuir. Em todos os traços não obtida a resistência especificada, sendo assim, nenhum dos traços tornou-se viável para a utilização em concretos estruturais.

Fato que deve ser explicado pela escolha do fator água/cimento, que foi iniciado pelo concreto com substituição de 5% de pó da pedra Morisca com intuito de criar um parâmetro para os demais traços, assim foi adotado o fator de 0,64, pois ao colocar água foi observado que o composto continuava seco com as demais quantidades com um fator menor, com isso tornou- se inviável para a obtenção dos

requisitos da NBR [7], que estabelece o fator água/cimento máximo de 0,60 para um concreto armado de 25 MPa, com classe de agressividade II. Tornando esse valor uma possível relação com a diminuição da resistência a compressão.

Os resultados do RBRO no qual foi feito a comparação mostrou valores satisfatórios aos 28 dias, obtendo 29,92 MPa, 29,69 MPa, 29,96 MPa, 28,91 MPa e 25,54 MPa para TR e para as porcentagens de substituição de 5%, 7,5%, 10% e 12,5%, respectivamente (ver figura 17).

Figura 17 – Resistência a compressão do RBRO.



Fonte: Teixeira *et al.*, 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da análise dos dados obtidos foi possível concluir que o pó da pedra Morisca diminui a resistência à compressão do concreto em todas as substituições adotadas, porém não foi possível comparar com o traço de referência de maneira satisfatória, pois o mesmo não obteve a resistência esperada de 25 MPa, devido ao fator água/cimento adotado no traço de 5% que serviu como parâmetro para os demais traços, ou até mesmo pelo pó da pedra ter teor de finos menor que o cimento portland.

Mas mesmo não atingindo valores positivos para o uso em concretos estruturais, a análise de como o material em questão pode influenciar nas características do concreto como um aglomerante é inovadora e trará benefícios para o campo da ciência e da construção civil. Visto que não há registros de pesquisas sobre esse tema utilizando especificamente a pedra Morisca.

Este estudo traz benefícios para a construção civil no que tange a respeito da economia do aglomerante cimento Portland, pois a substituição parcial do pó da pedra em questão faz com que haja a redução de sua utilização e se julgar pela proporcionalidade em que as obras utilizam a quantidade de concreto, tem-se a noção dessa economia, outro fator é a descoberta de outra opção de aglomerante que poderia ser disponibilizada a indústria da construção civil, a fim de ser utilizada como concreto não estrutural.

REFERÊNCIAS

Couto JAS, *et al.* **O concreto como material de construção.** Cad Grad – Ciênc Exatas Tecnol, Sergipe. 2013;1(17):49–58.

Mehta PK, Monteiro PJM. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 3rd ed. São Paulo: IBRACON; 2008.

Nascimento IE. **Estudo da utilização de resíduo de quartzito como agregado miúdo em concreto convencional [dissertation]**. Angicos: Universidade Federal Rural do Semiárido; 2018.

Dreyer T. P**otencialidade dos quartzitos do complexo Porongos da região de Torrinhas para seu aproveitamento na construção civil [dissertation].** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2016.

Nunes TM. E**studo de viabilidade da utilização de resíduo de rochas ornamentais na produção de concreto: uma revisão literária [dissertation].** João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba; 2020.

Teixeira FR, Magalhães FC, Wally GB, Sell Júnior FK, Paliga CM, Torres AS. **Uso do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais como substituto parcial ao aglomerante na produção de concretos estruturais.** Rev Ibracon Estrut Mater. 2020;13(3):501–14. doi:10.1590/S198341952020000300004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT; 2021.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5738: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro: ABNT; 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR NM 248: agregados – determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT; 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR NM 67: concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro: ABNT; 1998.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5739: concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT; 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR NM 46: agregados – determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.** Rio de Janeiro: ABNT; 2003.