

Avaliação das propriedades mecânicas do concreto com incorporação de pó de seixo como agregado miúdo

Karla Cristina Bentes Moreira (UniCatólica) E-mail: kaarlamoreira@gmail.com
Fernando Antonio da Silva Fernandes (UniCatólica) E-mail: fernandesfernando27@gmail.com

Resumo: O pó de seixo é o resíduo obtido pela britagem do seixo rolado, coletado no fundo de rios, e pode substituir areia grossa na produção de concreto. O estudo é direcionado ao seixo coletado no Rio Tocantins próximo a cidade de Palmas-TO. A utilização deste pó promove um descarte ambientalmente correto ao resíduo e possibilita a redução da extração da areia natural dos rios na região. Este estudo analisou a viabilidade técnica da substituição de areia natural por pó de seixo em 10%, 20%, 30%, 50% e 100%. O estudo foi realizado através de ensaios de caracterização do material em questão, além de ensaios com concreto (abatimento e resistência à compressão) com incorporação parcial de pó de seixo. Os resultados encontrados estão de acordo com o que preconiza as normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. Os melhores resultados foram obtidos com substituição de 20% de pó de seixo, mostrando que este teor seria o ideal para utilização de pó de seixo em concreto estrutural.

Palavras-chave: Cimento Portland; Areia Natural; Pó de Seixo; Substituição Parcial.

Mechanical properties evaluation of concrete with pebble powder incorporation as fine aggregate

Abstract: The pebble powder is the waste obtained from pebble crushing, collected in riverbeds, and can replace coarse sand in production of concrete. This study is directed to the pebble collected in Tocantins River, near the city of Palmas, TO. The use of this powder promotes an environmentally correct disposal of the waste and enables the reduction of extraction of the natural sand from the rivers in region. This study analyzed the technical feasibility of replacing pebble powder in 10%, 20%, 30%, 50% and 100%. The study was performed through pebble powder characterization, plus concrete tests (slump test and compressive strength) with partial incorporation of pebble powder. The results found are in accordance with the standards of Brazilian Association of Technical Standards, ABNT. The best results were obtained with substitution of 20% of pebble powder, showing that this percentage is the ideal when regarding pebble powder in structural concrete.

Keywords: Portland Cement; Natural Sand; Pebble Powder; Partial Replacement.

1. Introdução

A construção civil é uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico e social, entretanto, também é considerada uma geradora de impactos ambientais negativos no que se refere ao consumo de recursos naturais, à modificação da paisagem e geração de resíduos sólidos por novas obras (PINTO, 2005).

O Conselho Internacional da Construção (CIB) afirma que a indústria da construção é o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando inúmeros impactos ambientais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016).

Dentro deste cenário, surge a ideia da substituição parcial de areia natural por pó de pedra. Estudos recentes mostram que o pó de inúmeros minerais pode ser utilizado nessa

substituição, tais como: calcário (SHAFIGH et al., 2016), pedra-pomes (AMEL et al., 2017; KURT et al., 2016), areia de duna (AMEL et al., 2017), mármore (HAMEED et al., 2012; ALYAMAÇ; AYDIN, 2015) e granito (HAMEED et al., 2012; DUARTE, 2013). Na Figura 1 é possível observar exemplos dos minerais citados.

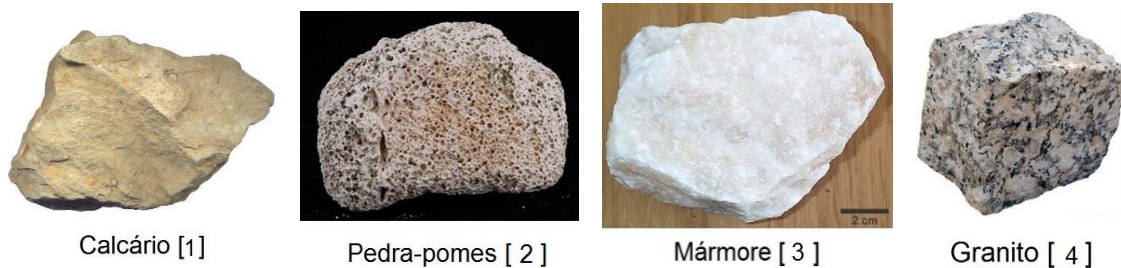


Figura 1 – Exemplos de minerais (MADEIRA (2017) [1], PLURITEC LIRA (2021) [2], CRISTAIS DE CURVELO (2017) [3], SECRETARIA DA EDUCAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ (2017) [4]).

Além da economia, os concretos produzidos com esses materiais podem apresentar redução na massa específica, aumento nas resistências iniciais e finais de compressão, melhor resistência à abrasão e redução na absorção de água (SHAFIGH et al., 2016; AMEL et al., 2017; KURT et al., 2016; HAMEED et al., 2012; ALYAMAÇ; AYDIN, 2015; DUARTE, 2013).

O tema do presente trabalho foi escolhido devido à grande utilização de recursos naturais pela construção civil e à falta de utilização do pó de seixo, material encontrado em abundância no Estado do Tocantins, na produção de concreto. A partir deste ponto, com o intuito de desenvolver traços com novas possibilidades de matérias primas, diversificar os materiais utilizados e evitar a escassez de matérias primas naturais, o pó de seixo foi escolhido como nova possibilidade de agregado miúdo na mistura de concreto. A inserção da areia artificial na construção civil tende a reduzir danos decorrentes da extração da areia natural dos lagos e leitos de rios (HOLSBACH, 2004).

A utilização de pó de pedra, no caso o pó de seixo, como agregado miúdo no concreto permite comercializar um produto oriundo de rejeito, promovendo um mercado consumidor para um subproduto estagnado que gerava transtornos ambientais e econômicos (DUARTE, 2013).

O objetivo do presente trabalho é analisar a viabilidade técnica de utilizar o pó de seixo como agregado miúdo. Esta possível substituição permitiria reduzir custos de material para produção do concreto e promover um mercado consumidor ao pó de seixo, até então, um resíduo sem utilidade.

2. Materiais e métodos

O programa experimental desenvolvido buscou analisar de forma exploratória o comportamento dos materiais estudados, diante das propriedades e da resistência mecânica a tensão de compressão uniaxial. Para isso, seis tipos de corpos de prova foram produzidos, sendo dois para cada ensaio de forma a atender as condições dos equipamentos de ensaio.

A pesquisa foi laboratorial e aplicada, a partir do procedimento metodológico científico, para avaliar os resultados dos ensaios realizados e estudar a utilização desse tipo de concreto.

2.1. Caracterização do pó de seixo e agregado natural

O processo teve início na lavagem dos agregados miúdos e graúdos, utilizando a peneira de nº 200, para realizar a medição dos materiais pulverulentos presentes, seguindo os parâmetros da

NBR NM 46:2003 (ABNT, 2003). Esta norma define material pulverulento como sendo aquele cujas partículas minerais tem dimensão inferior a 0,075 m, inclusive os materiais solúveis em água. Em seguida, de acordo com a norma NBR NM 30:2001 (ABNT, 2001), a secagem dos agregados foi em estufa, por um tempo de 24 horas, à temperatura de 105° ~ 110° C, para que não houvesse influência da umidade natural nos resultados de ensaio.

A composição granulométrica dos agregados foi obtida a partir do ensaio de peneiramento de acordo norma NBR NM 248:2003 (ABNT, 2003), para melhor compreensão utilizou-se a terminologia relativa às peneiras de ensaio e ao ensaio de peneiramento de acordo norma NBR NM-ISO 2395:1997 (ABNT, 1997). O ensaio de massa específica dos materiais foi realizado de acordo com a norma NBR 9776:1987 (ABNT, 1987), com auxílio do frasco de Chapman, e o ensaio de massa unitária foi realizado de acordo com a norma NBR NM 45:2006 (ABNT, 2006).

2.2. Ensaio de caracterização do concreto

Seguindo orientações da literatura científica foram definidos os percentuais de pó de seixo em substituição à areia de 10%, 20%, 30%, 50% e 100% (DUARTE, 2013). Foram moldados 14 corpos de prova cilíndricos (100 x 200 mm) para cada traço, de acordo com a norma NBR 5738:2015 (ABNT, 2015), nomeados conforme o teor de substituição e submetidos a ensaios de resistência à compressão com idade de 7, 14, 21, 28 dias e 63 dias, de acordo com a norma NBR 5739:2007 (ABNT, 2007). As nomenclaturas das composições das misturas do concreto com pó de seixo estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 – Nomenclatura das composições com pó de seixo.

Nomenclatura	Denominação das misturas do concreto com pó de seixo
T0	0% de pó de seixo (traço referência)
T10	10% de pó de seixo
T20	20% de pó de seixo
T30	30% de pó de seixo
T50	50% de pó de seixo
T100	100% de pó de seixo

O fluxo de atividades consistiu na obtenção e preparação dos agregados, e posterior análise granulométrica dos agregados em ensaio de peneiramento; em seguida os materiais utilizados, areia, seixo britado, pó de seixo e cimento Portland, foram misturados junto a água em um betoneira estacionária, produzindo um concreto homogêneo fresco do qual foi feito o ensaio de abatimento por tronco de cone segundo a norma NBR NM 67:1998 (ABNT, 1998); sendo feita a moldagem dos corpos de prova e 24 horas depois foi feita a desmoldagem dos corpos de prova e foram encaminhados para o tanque onde foram submersos para cura úmida, sendo a cura em água o único tipo de cura utilizado; nas idades definidas, os mesmos foram submetidos ao ensaio de compressão, segundo a norma NBR 5739:2007 (ABNT, 2007), a fim de determinar sua resistência. Foi utilizada a prensa hidráulica modelo Emic DL30000, com auxílio do software Tesc versão 1.10, para realização dos ensaios de compressão.

Para realizar a pesquisa foram fixados alguns valores: resistência à compressão do concreto (f_{ck}), abatimento do concreto, resistência do cimento, relação água/cimento e teor de substituição de pó de seixo no concreto. Esses parâmetros foram necessários para gerar o traço referência e, conseqüentemente, os demais traços de concreto com pó de seixo, e estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros fixos da dosagem.

Parâmetros	Valores
Fator a/c	0,61
f_{ck}	30 MPa
Abatimento	90 ± 10 mm
Cimento	CP II-F 40

3. Resultados e discussões

A seguir são apresentados os resultados referentes aos ensaios realizados para caracterização do pó de seixo como agregado miúdo, além dos resultados dos ensaios realizados com concreto para avaliar corretamente a influência do pó de seixo nas propriedades mecânicas do concreto fresco e endurecido.

3.1. Caracterização do pó de seixo

Na Figura 2 é ilustrada a curva granulométrica obtida dos ensaios de caracterização com as amostras de pó de seixo e areia natural, usados na produção dos corpos de prova, os resultados são comparados às faixas granulométricas presentes na norma NBR 7211:2005 (ABNT, 2005). Na Tabela 3 são apresentados os valores de massa específica e massa unitária tanto do pó de seixo quanto da areia natural.

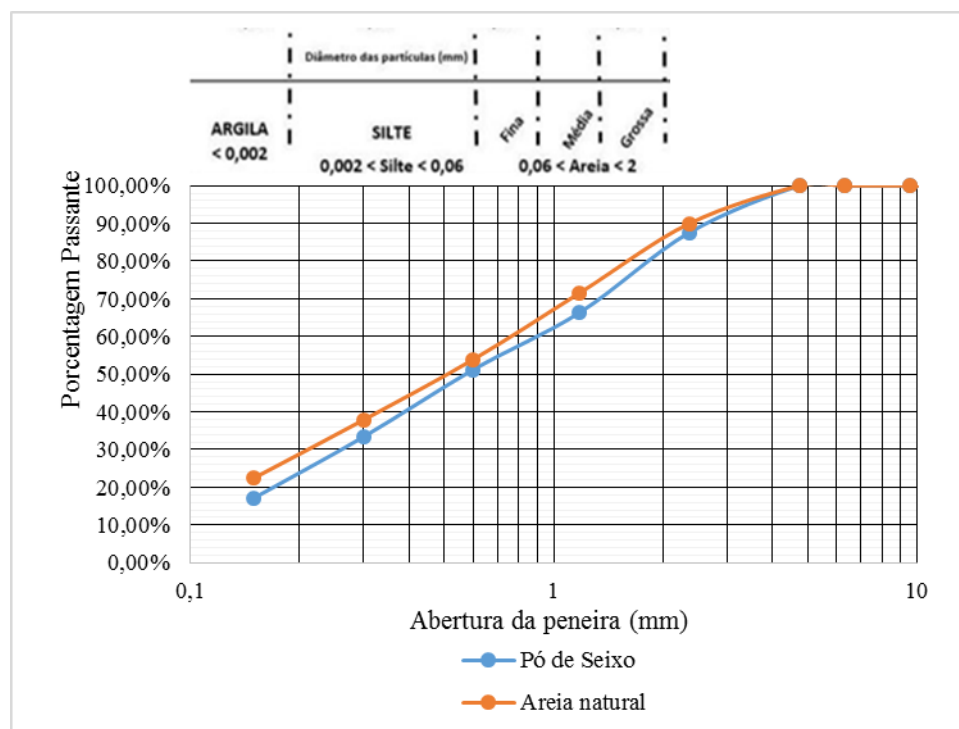


Figura 2 – Curva granulométrica dos materiais (pó de seixo e agregado natural).

Tabela 3 – Valores de massa específica e massa unitária do pó de seixo e da areia natural.

Materiais	Massa específica	Massa unitária
Pó de seixo	2596,1 kg/m ³	1592,6 kg/m ³

Areia natural	2659,6 kg/m ³	1643,5 kg/m ³
---------------	--------------------------	--------------------------

Os resultados apresentados na Figura 2 mostram que o material pode ser classificado como agregado miúdo, apresentando granulometria bem graduada. Analisando a Tabela 3 pode-se perceber que o pó de seixo apresenta características de massa específica e massa unitária semelhantes à areia natural, favorecendo seu uso na produção dos corpos de prova.

A partir do procedimento previsto na norma NBR NM 46:2003 (ABNT, 2003) foram encontrados os teores de 2,9% e 2,3% de material pulverulento para pó de seixo e areia natural, respectivamente. Ambos os teores estão em conformidade com o limite máximo estabelecido pela norma NBR 7211:2005 (ABNT, 2005), de 5,0% para agregado miúdo em concreto.

3.2. Ensaio de abatimento por tronco de cone (*Slump test*)

O concreto foi submetido ao slump test em estado fresco, e os resultados de abatimento dos traços estão ilustrados na Figura 3.

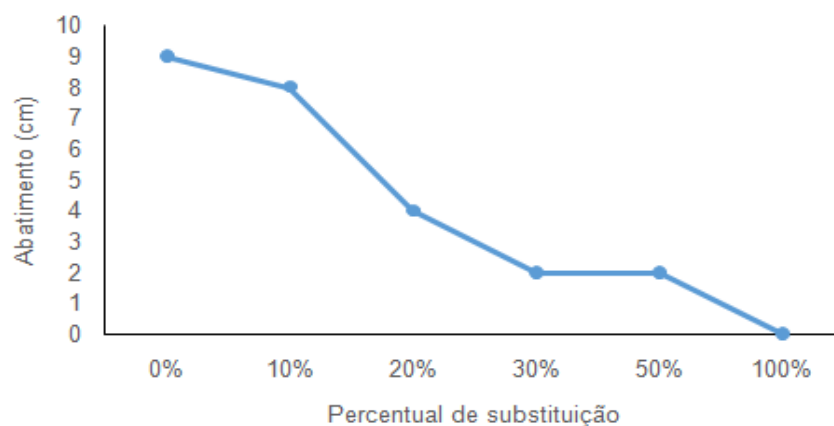


Figura 3 – Resultados do ensaio de abatimento por tronco de cone.

Os resultados apresentados na Figura 3, mostram a redução do abatimento, com o aumento do pó de seixo, estando apenas o traço referência e o T10 dentro da faixa de abatimento prevista na dosagem. Sugere-se, portanto, que os demais traços sejam melhorados com aditivos plastificantes para aumentar sua trabalhabilidade. Os concretos T30, T50 e T100, ainda, apresentaram nichos de concretagem na moldagem dos corpos de prova, estes poderiam ser eliminados ou reduzidos a partir do uso de aditivos.

3.3. Ensaio de resistência á compressão

Os seis tipos de traço foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão uniaxial nas idades de 7, 14, 21, 28 e 63 dias, conforme descrito na metodologia, e a Figura 4 ilustra as curvas da resistência à compressão dos corpos de prova em relação ao tempo de cura (dias).

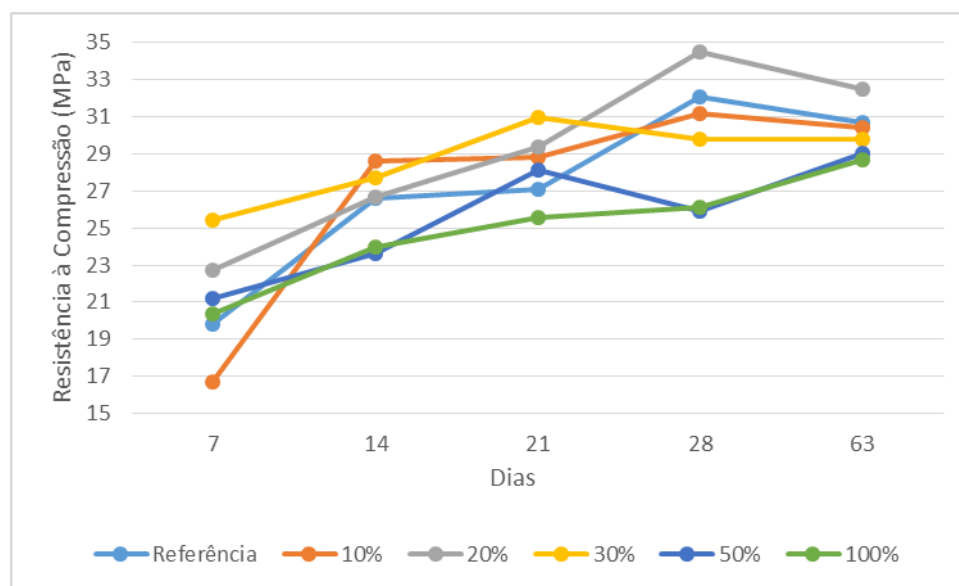


Figura 4 – Comparação de desempenho de resistência à compressão.

Por fim, os resultados de resistência obtidos foram analisados, a fim de comparar os diferentes traços com substituição do pó de seixo ao traço referência de concreto. É possível observar um aumento na resistência à compressão aos 28 dias do concreto com 20% de substituição, em comparação ao traço referência. Na Tabela 4 observa-se a descrição numérica dos resultados individuais em cada idade, com seu respectivo desvio padrão.

Tabela 4 – Resistência à compressão em cada idade.

Traço	Resistência à compressão (MPa)				
	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	63 dias
T0	19,8 ± 0	26,6 ± 0,99	27,1 ± 0,64	32,1 ± 2,47	30,7 ± 0,21
T10	16,7 ± 1,06	28,6 ± 1,91	28,8 ± 1,84	31,2 ± 8,13	30,4 ± 2,62
T20	22,7 ± 0,35	26,7 ± 0,92	29,4 ± 1,7	34,5 ± 2,33	32,4 ± 0,57
T30	25,4 ± 1,77	27,7 ± 1,63	31 ± 3,82	29,8 ± 0,35	29,8 ± 0
T50	21,2 ± 0,85	23,6 ± 3,39	28,1 ± 0,99	25,9 ± 7,21	29 ± 1,34
T100	20,4 ± 0,78	24 ± 2,76	25,6 ± 2,76	26,1 ± 6,01	28,7 ± 0,21

Em virtude do uso de apenas duas amostras de concreto no ensaio de compressão, é notório um desvio padrão acentuado em determinadas idades. O ensaio de 63 dias foi prejudicado estatisticamente pelo número reduzido de amostras, pois as resistências deveriam aumentar sutilmente com o passar do tempo. Todavia, observou-se a redução da mesma em alguns traços.

4. Conclusão

Os resultados obtidos pelos ensaios de Slump Test e resistência à compressão uniaxial, foram comparados com os previstos em norma e comparados entre si, a fim de considerar a viabilidade do uso de pó de seixo em concreto. Mostram que os corpos de provas com adição de 0 e 10% (T0 e T10) de pó de seixo apresentaram abatimento dentro do previsto. Os corpos de provas com maior adição (T20, T30, T50 e T100), tiveram uma redução gradativa da trabalhabilidade. Os traços T30, T50 e T100, ainda, apresentaram o surgimento de nichos de concretagem na moldagem dos corpos de prova. O maior resultado de resistência a compressão, foi apresentado pelo corpo de prova com 20% de adição de pó (34,5 MPa, com desvio padrão de 2,33, aos 28 dias).

Com base nos resultados, pode-se concluir que a substituição da areia pelo pó de seixo em concreto com adição de até 20% é viável do ponto de vista mecânico, porém requer mais estudos quanto ao uso de aditivos plastificantes para adequar sua trabalhabilidade.

Referências

ALYAMAÇ, K. E.; AYDIN, A. B. *Concrete properties containing fine aggregate marble powder*. KSCE Journal Of Civil Engineering, [s.l.], v. 19, n. 7, p.2208-2216, 17 fev. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-015-0327-y>.

AMEL, C. L. et al. *Dune sand and pumice impact on mechanical and thermal lightweight concrete properties*. Construction And Building Materials, [s.l.], v. 133, p.209-218, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.043>.

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

_____. *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro, 2005.

_____. *NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman*. Rio de Janeiro, 1987.

_____. *NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água*. Rio de Janeiro, 2001.

_____. *NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro, 2006.

_____. *NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem*. Rio de Janeiro, 2003.

_____. *NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

_____. *NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

_____. *NBR NM-ISO 2395: Peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento - Vocabulário*. Rio de Janeiro, 1997.

CRISTAIS DE CURVELO. *Mármore: Aprenda mais sobre este mineral*. [s.l.], 2017. Disponível em: <https://www.cristaisdecurveo.com.br/pages/MARMORE-%252d-Aprenda-Mais-Sobre-Este-Mineral.html>.

Acesso em: 24 de maio 2021.

DUARTE, J. B. *Estudo Da Substituição De Agregados Miúdos Naturais Por Pó De Pedra Em Concreto De Cimento Portland*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

HAMEED, M. S. et al. *Self-compacting concrete using Marble Sludge Powder and Crushed Rock Dust*. KSCE Journal Of Civil Engineering, [s.l.], v. 16, n. 6, p.980-988, set. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-012-1171-y>.

HOLSBACH, T. S. *Avaliação da substituição da areia natural por areia artificial em argamassa de cimento cal e areia para assentamento*. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2004.

KURT, M. et al. *The effect of pumice powder on the self-compactability of pumice aggregate lightweight concrete*. Construction And Building Materials, [s.l.], v. 103, p.36-46, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.043>.

MADEIRA, R. Rocha. [s.l.], 2017. Disponível em: <http://www.os5elementos.com/glossary/rocha/>. Acesso em: 24 de maio 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Construção Sustentável*. [s.l.], 2016. Disponível em: http://www.mma.gov.br/cidades_sustentaveis/urbanismo_sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel. Acesso em: 24 de maio 2021.

PINTO, T. P. *Resíduos da Construção Civil: Soluções Sustentáveis para um grave problema urbano – Novas Normas, Legislação e soluções*. São Paulo: Informações e Técnicas, 2005.

PLURITEC LIRA. *Pedra-pomes*. [s.l.], 2021. Disponível em: <http://www.lirapluritec.com.br/pedra-pome/>. Acesso em: 24 de maio 2021.

SECRETARIA DA EDUCAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ. *Granito*. [s.l.], 2017. Disponível em: <http://www.ciencias.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1749&evento=6>. Acesso em: 24 de maio 2021.

SHAFIGH, P. et al. *Engineering properties of lightweight aggregate concrete containing limestone powder and high volume fly ash*. *Journal Of Cleaner Production*, [s.l.], v. 135, p.148-157, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.082>.